



DemSSO
PROGRAMA DOUTORAL EM SEGURANÇA
E SAÚDE OCUPACIONAIS

Determinação de gasto energético por actigrafia em contexto ocupacional

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Segurança e Saúde Ocupacionais

André Duarte Lucena

Orientadora: Joana Cristina Cardoso Guedes

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP

Coorientadores:

Mário Augusto Pires Vaz

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP

Luiz Bueno da Silva

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba – DEP/UFPB

2019



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: www.fe.up.pt



Correio Electrónico: feup@ fe.up.pt

Presidente do Juri

Doutora Olivia Maria de Castro Pinho. Professora Catedrática da Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto.

Vogais

Doutor Nelson Bruno Martins Marques Costa, Professor Auxiliar da Escola de Engenharia da Universidade do Minho (Arguente)

Doutor Manuel Rubim Silva Santos, Professor Coordenador da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto (Arguente)

Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista, Professor Associado com Agregação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Doutora Joana Cristina Cardoso Guedes, Professora Auxiliar Convidada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Orientadora)

“O trabalho é humano, mas o humano não é só trabalho. Mede-se o trabalho, mas o trabalho não mede o homem.”

André Duarte Lucena

Agradecimentos

A Deus, por entender e crer que dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas.

A Hadassa, minha amada esposa, companheira de todas as horas, parceira acadêmica, principal incentivadora e inspiração para viver e prosseguir.

A meus pais Walter e Fátima, primeiros mestres, exemplos de professores, incentivadores e patrocinadores dessa vivência. A meu irmão e também professor Adri, minha cunhada Larissa e meu sobrinho Pedro a quem amo, por quem sou amado e que torcem por mim. Aos demais familiares que toleraram a ausência, incentivaram e torceram pelo sucesso.

Aos amigos de perto e de longe, por tantas vezes essenciais.

À professora Doutora Joana Guedes pelo privilégio dessa parceria.

Aos professores e colaboradores da FEUP, em especial aos professores Doutor João dos Santos Baptista, Doutor Mario Vaz e a Mestre Raquel Martins que contribuíram mais efetivamente nessa vivência.

Ao professor Doutor Luiz Bueno, por aceitar a coorientação deste trabalho pelo que muito me honra; ao Mestre Erivaldo Lopes que além de colega de curso e profissão é excelente pesquisador; a Mestre Denisse Bustos, aos Engenheiros Wesley Cunha e Ittalo Santos pela parceria e suporte técnico-científico.

Ao Labiomep por concessão de equipamentos para a componente experimental.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a concretização deste ciclo, declaro minha gratidão.

RESUMO

Existem vários métodos de estimativa de gasto energético humano, sendo os mais comuns e mais precisos baseados na quantidade de calor perdido. O uso de actigrafia para o cálculo de gasto energético, é uma alternativa que tem apontado vantagens práticas em relação a outros métodos. Todavia, também apresenta oportunidades de melhoria. O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de determinação de gasto energético por integração de actigrafia com outros parâmetros para aplicação em situações ocupacionais. Para tal, desenvolveu-se uma componente teórica com revisões de literatura para identificar as principais características das práticas de determinação de gasto energético por actigrafia; um experimento laboratorial com medições com 50 pessoas durante a execução de 15 atividades diversas, variando as posturas e o nível de atividade; e desenvolveu-se a modelação do gasto energético por dois métodos diferentes cujos resultados foram comparados com os resultados da replicação de outros métodos e de um método padrão recomendado em norma. Assim, foi possível propor um sistema de determinação do gasto energético para situações ocupacionais. O sistema considerou a integração de duas componentes: a medição das variáveis escolhidas com base no que aponta a literatura; e o algoritmo para converter essas variáveis em valores de gasto energético. Como resultado principal apresenta-se um sistema com variáveis relacionadas às pessoas e variáveis relacionadas ao movimento. Os instrumentos necessários são actígrafos, medidor de frequência cardíaca, analisador de composição corporal e questionários. O tratamento dos dados no sistema se dá por um modelo desenvolvido por um algoritmo de floresta aleatória. O erro médio dos dados do modelo em relação aos dados medidos foi de -0,0003409, o coeficiente de determinação $R^2 = 0,9918$, desvio padrão = 0,201179. Portanto, é possível e viável o desenvolvimento de um sistema para determinação do gasto energético para situações ocupacionais com erro comparável aos métodos da norma.

Palavras-chave: Gasto energético, actigrafia, contexto ocupacional.

ABSTRACT

There are several methods to estimate human energy expenditure, being the most common and accurate based in the amount of heat lost. The use of actigraphy to calculate energy expenditure is an alternative that has shown practical advantages compared to other methods. Nevertheless, it also presents opportunities for improvement. The main goal of the work is the development of a system to measure energy expenditure by integrating actigraphy with other parameters to be used in occupational context. To this propose, was developed a theoretical component composed by reviews to identify the main practical features of energy expenditure determination by actigraphy; a laboratory experiment measuring 50 people while doing a 15 activities protocol, varying postures and activities intensity, two different methods to estimate energy expenditure in occupational situations were developed and the results were compared with other methods and a standard. The proposed system considers the integration of two components: the choosen variables measure based on the literature; and the algorithm to convert those variables in energy expenditure. As results is presented a system with variables related to people and variables related to movement. The necessary instruments are actigraphers, heart rate monitor, body composition analyzer and questionnaires. The treatment of the data in the system is given by a model developed by a random forest algorithm. The mean error of the model data refered to the measured data is -0.0003409, determination coefficient $R^2 = 0.9918$ and a standard deviation of 0.201179. Therefore, was possible and feasible to develop a system to determine the energy expenditure for occupational situations with comparable error to standard methods.

Keywords: Energy expenditure, actigraphy, occupational context.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	1
PARTE 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	5
A. ASPETOS HISTÓRICOS SOBRE ENERGIA HUMANA, MÉTODOS DE ESTIMATIVA E ESTUDOS DO TRABALHO.....	7
i) Uma perspetiva da evolução histórica do conceito de energia humana	7
ii) Evolução dos conceitos modernos de energia humana e dos métodos de mensuração	9
iii) Evolução de dispositivos de mensuração de atividade humana	10
iv) Energia humana e a evolução dos estudos do trabalho	12
B. TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA NO CORPO HUMANO	17
C. METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO	23
D. NORMATIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO	27
PARTE 2. COMPONENTE TEÓRICA	31
1 INTRODUÇÃO.....	33
1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE DA COMPONENTE TEÓRICA.....	34
Objetivo geral da componente teórica	34
Objetivos específicos da componente teórica	34
Hipótese da componente Teórica	34
1.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	34
2 UM PANORAMA SOBRE GASTO ENERGÉTICO E ACTIGRAFIA.....	37
2.1 INTRODUÇÃO	37
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS	37
2.3 RESULTADOS	39
2.4 DISCUSSÃO	42
2.5 CONCLUSÕES	45
3 EQUAÇÕES DE GASTO ENERGÉTICO	47
3.1 INTRODUÇÃO	47
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS	47
3.3 RESULTADOS	48
3.4 DISCUSSÃO	52

3.5 CONCLUSÕES	54
4 GASTO ENERGÉTICO POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	55
4.1 INTRODUÇÃO	55
4.2 RESULTADOS.....	55
4.3 DISCUSSÃO	57
4.4 CONCLUSÕES	59
5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A COMPONENTE TEÓRICA	61
PARTE 3. COMPONENTE PRÁTICA E EXPERIMENTAL	63
6 INTRODUÇÃO.....	65
6.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE DA COMPONENTE PRÁTICA E EXPERIMENTAL	65
Objetivo geral da componente prática e experimental	65
Objetivos específicos da componente prática e experimental	65
Hipótese da componente prática e experimental.....	65
7 ASPECTOS METODOLÓGICOS	66
7.1 EXPERIMENTO	67
7.2 OUTROS MATERIAIS E MÉTODOS DA COMPONENTE EXPERIMENTAL	77
8 MODELO DE REGRESSÃO COM EFEITOS MISTOS.....	79
8.1 INTRODUÇÃO	79
8.2 METODOLOGIA	79
8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
9 MODELOS DE REGRESSÃO POR APRENDIZAGEM DE MÁQUINA	91
9.1 INTRODUÇÃO	91
9.2 METODOLOGIA	91
9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
10 ANÁLISES E COMPARAÇÕES A PARTIR DE OUTROS MÉTODOS.....	99
10.1 INTRODUÇÃO.....	99
10.2 METODOLOGIA.....	99
10.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
11 PROPOSTA DE SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO PARA SITUAÇÃO OCUPACIONAL	109
Requisitos do sistema	109
Composição do sistema	110

PARTE 4. CONCLUSÕES DA TESE.....	113
A. PRINCIPAIS RESULTADOS	115
B. CONSIDERAÇÕES E REFLEXÕES	119
C. PONTOS FORTES E LIMITAÇÕES DA TESE	121
D. PERSPETIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	123
REFERÊNCIAS	125
GLOSSÁRIO	135
APÊNDICE A: Artigos incluídos na revisão sistemática 1: Panorama do uso da actigrafia na determinação do gasto energético.	137
APÊNDICE B: Artigos incluídos na segunda revisão sistemática com menção ou apresentação de equações de gasto energético	151
APÊNDICE C: Equações identificadas e classificadas.....	165
APÊNDICE D: Artigos incluídos na revisão sistemática sobre redes neurais e actigrafia	177
APÊNDICE E: Termo de consentimento informado, livre e esclarecido	187
APÊNDICE F: Questionário 1 - Informações pessoais	195
APÊNDICE G: Questionário 2 - Sono e estado emocional.....	201
APÊNDICE H: Arranjo físico da câmara climática utilizada na pesquisa	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo hipotético do fluxo de energia no corpo humano	18
Figura 2: Componentes do gasto energético total diário e alguns determinantes chave.....	19
Figura 3: Metabolismo celular.....	20
Figura 4: Fluxo energético no corpo humano desde a ingestão até a transmissão de calor e execução de movimentos numa abordagem sistêmica	22
Figura 5: Fluxo da busca de artigos sobre determinação de gasto energético e actigrafia	38
Figura 6: Distribuição dos artigos inseridos por ano de publicação.....	39
Figura 7: Dispositivos mais utilizados no conjunto dos artigos analisados.....	40
Figura 8: Distribuição dos artigos de acordo com os métodos de comparação de referência	41
Figura 9: Fluxo da busca de artigos sobre equações de determinação de gasto energético	48
Figura 10: Distribuição das equações excluídas da análise por motivos.....	49
Figura 11: Variáveis presentes nas equações de gasto energético analisadas	52
Figura 12: Fluxo de busca de artigos sobre redes neurais artificiais e determinação de gasto energético.....	56
Figura 13: Etapas da pesquisa	66
Figura 14: Disposição dos dispositivos utilizados pelos participantes durante o experimento	69
Figura 15: Deitado em repouso	70
Figura 16: Atividade em computador	70
Figura 17: Manipulação de cartas em postura de pé.....	70
Figura 18: Elevação de carga à altura da vista.....	71
Figura 19: Pouso de carga à mesa	71
Figura 20: Primeiro descanso de recuperação	71
Figura 21: Varredura	71
Figura 22: Segundo descanso de recuperação	72
Figura 23: Agachamento exigido na manipulação das caixas na 1ª estante.	72
Figura 24: Transporte manual de cargas.....	72
Figura 25: Pouso e retirada das caixas na 2ª estante	72
Figura 26: Terceiro descanso de recuperação	73
Figura 27: Deslocamento para as escadas	73
Figura 28: Caminhada do laboratório às escadas.....	73
Figura 29: Descida das escadas do 4º pavimento ao térreo.....	73

Figura 30: Subida das escadas do térreo ao 4º pavimento	73
Figura 31: Caminhada de retorno das escadas ao laboratório	74
Figura 32: Quarto descando para recuperação.....	74
Figura 33: Gráfico de Homoscedasticidade dos erros de nível 2	86
Figura 34: Histograma dos resíduos de nível 2.....	86
Figura 35: Pesos das variáveis em percentual.....	97
Figura 36: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o modelo por floresta aleatória.....	105
Figura 37: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o modelo misto hierárquico	106
Figura 38: Gráfico de Bland-Altman de concordância entre os dados medidos e o modelo por redes neurais	106
Figura 39: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o método da relação com a frequência cardíaca	107
Figura 40: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e equação de Swartz (2000).....	107
Figura 41: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e equação de Freedson (2011).....	108
Figura 42: Sistema de determinação de gasto energético por actigrafia em contexto ocupacional	109

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Contribuições sobre conceito e práticas de medição de energia humana por autor, área e época.....	14
Tabela 2: Normas ISO que mencionam gasto energético ou taxa metabólica por número, título e tema.....	27
Tabela 3: Métodos de cálculo de gasto energético de acordo com o nível de abordagem	28
Tabela 4: Termos-chave utilizados nas revisões sistemáticas.....	35
Tabela 5: Principais dispositivos identificados nos artigos e características.....	40
Tabela 6: Equações analisadas	49
Tabela 7: Atividades do protocolo.....	70
Tabela 8: Variáveis significantes no modelo de acordo com nível hierárquico associado.....	80
Tabela 9: Efeitos aleatórios dos níveis investigados no intercepto	84
Tabela 10: Efeitos fixos das variáveis	84
Tabela 11: Novos valores dos efeitos fixos das variáveis.....	88
Tabela 12: Variância explicada por variações aleatórias nos efeitos das variáveis.....	88
Tabela 13: Valores por tipo de erro da rede neural desenvolvida	95
Tabela 14: Valores de validação cruzada e coeficiente de correlação para 10 subgrupos.....	95
Tabela 15: Valores dos erros por técnica de modelagem de aprendizagem de máquina	95
Tabela 16: Pesos e respectivas variáveis do modelo.....	96
Tabela 17: Métodos de estimativa do gasto energético utilizados	100
Tabela 18: Estimativa de taxa metabólica requerida por tarefa de acordo com as Tabelas B1 e B2 da ISO 8996:2004	101
Tabela 19: Estimativa de taxa metabólica por aproximação de tarefas típicas de acordo com a Tabela B.3 da ISO 8996:2004	102
Tabela 20: Valores estimados da taxa metabólica pelos métodos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h), comparado aos valores obtidos por calorimetria indireta (i);.....	103
Tabela 21: Média dos erros do gasto total do ciclo entre os métodos aplicados em relação ao gasto energético por calorimetria indireta.....	104
Tabela 22: Variáveis inseridas no sistema e respectivos modelos que justificam sua inserção	111
Tabela 23: Artigos incluídos na Revisão Sistemática 1 - Panorama do uso da actigrafia na determinação do gasto energético.....	137
Tabela 24: Artigos incluídos na segunda revisão sistemática com menção ou apresentação de equações de gasto energético	151
Tabela 25: Equações identificadas e classificadas na revisão sistemática	165

Tabela 26: Artigos incluídos na revisão sistemática sobre redes neurais e actigrafia177

Scripts

Script 1: Modelo de regressão por rede neural artificial	93
Script 2: Modelo de regressão por floresta aleatória.....	94

INTRODUÇÃO GERAL

As atividades humanas que estão relacionadas com o trabalho são foco dos mais variados estudos por razões que vão desde o fato de se empregar grande parte da vida humana em tais atividades até às consequências disso tais como questões económicas, aspetos relacionados com a saúde do trabalhador, autorrealização, motivação e assuntos relacionados com o trabalho (JUNG & YOON, 2016).

Um aspeto importante a considerar no estudo do ser humano é a sua energia, uma vez que ela é necessária para manter a vida humana e as suas capacidades cognitivas e motoras (KOWALTOWSKI, 2015).

Os movimentos de locomoção são outro aspeto importante para a vida humana pois são inerentes a ela. Todas as atividades humanas envolvem o uso do corpo com movimentos, adoção de posturas, aplicação de forças e outros fatores biomecânicos que só são possíveis devido às transformações energéticas promovidas no corpo humano.

De modo geral, o organismo humano transforma grande parte do que ingerimos em energia através de reações bioquímicas que, inseridas no metabolismo, permitem o funcionamento dos principais órgãos do corpo, os movimentos, a atividade cognitiva e outros processos necessários à manutenção da vida. As transformações bioquímicas que geram energia nas mitocôndrias celulares quebram moléculas de carboidratos, proteínas e lípidos, que são ingeridas, produzindo moléculas menores, entre elas água e o gás carbónico. Essa quebra de moléculas grandes está associada à produção de uma molécula com ligações químicas ricas em energia que é utilizada por todas as células, a adenosina trifosfato (ATP). O organismo humano utiliza ATP para suprir as células de energia que é utilizada nas reações bioquímicas e trabalho mecânico; atividade obtidas a partir da glucose obtida dos alimentos e do oxigénio, tendo como subproduto a libertação de água e CO₂. A água é eliminada pelo suor, pela urina e pela respiração. O gás carbónico é expelido através da respiração (Parsons, 2014).

Segundo Kowaltowski (2015), esse conjunto de transformações químicas que degrada e transforma os alimentos nas moléculas que constituem o corpo humano, além de formar energia na forma de ATP, é conhecido como metabolismo. Segundo Másculo e Vidal (2011, p.144), através desses processos metabólicos o organismo humano libera calor e proporciona a transformação da energia acumulada em energia mecânica necessária à execução dos movimentos. Portanto, o gasto energético não está relacionado apenas com as reações bioquímicas de cada organismo, mas também com a alimentação, com as capacidades físicas e cardiorrespiratórios.

De acordo com a norma ISO 8996:2004 (ISO, 2004), a taxa metabólica dada pela conversão de energia química em energias mecânica e térmica, fornece valores de gasto energético através do valor de taxa metabólica da tarefa ou atividade desenvolvida.

Com base nesses valores, vários estudos relacionados com o gasto energético têm sido desenvolvidos com ênfases diversas, como por exemplo, estudos sobre distúrbios do sono, como os de Robillard, et. al. (2016), Roveda, et. al. (2016) e Dobrosielski, et. al. (2016); gasto energético e patologias como os trabalhos de Singh, et. al. (2016), Moura, et. al. (2014) e Celikagi, et. al. (2014); sobre gasto energético e atividades relacionadas ao trabalho como os de Chen, et. al.(2016),

Cao, et. al. (2016), Sprod, et. al.(2016), Caljouw, Vries, e Withagen (2017), Mantzari et al. (2019); Mantzari et al. (2019); entre tantos outros.

Como uma das características importantes dos processos metabólicos e do gasto energético é a geração de calor, os métodos de estimativa e medição de gasto energético recomendados prioritariamente, devido à sua precisão, são a [calorimetria direta](#), além do método da água duplamente marcada e [calorimetria indireta](#) por consumo de oxigênio (ISO 8996:2004). Entretanto, as medidas diretas podem ser complexas, dispendiosas e pouco confiáveis para uso em estudos de campo (BRODERICK et. al., 2014).

Como alternativa a esses estudos, outra característica importante relacionada com os processos metabólicos tem sido utilizada para a medição de gasto energético. Esta característica é a execução de movimentos. Os métodos baseados na medição de atividade, através da análise dos movimentos, tem-se mostrado adequados para estudos de campo sobre medição de gasto energético, tendo aplicações em monitorizações contínuas, de longo curso, em contextos agrestes, onde aplicação de métodos mais precisos é comprometida (SHEPHARD e AOYAGI, 2012).

Neste contexto desenvolveu-se e apresenta-se aqui um estudo sobre medição de gasto energético com a utilização de actigrafia, considerando melhores possibilidades de configuração do sistema de medição e dos parâmetros relacionados com processos metabólicos, tendo em vista a melhoria dos resultados estimados para situações reais, especialmente de contextos ocupacionais.

O trabalho é constituído por quatro partes: fundamentação teórica e contextualização do tema do estudo, uma componente teórica, uma componente experimental, e uma parte sobre os principais resultados e conclusões do estudo.

A Parte 1 está organizado em 4 tópicos. O tópico A diz respeito à aspectos históricos do conceito de energia humana; subdividindo-se em 4 subitens. O subitem i apresenta uma perspectiva histórica da evolução do conceito de energia humana. O subitem ii trata da evolução dos conceitos modernos de energia humana e de métodos de mensuração da respetiva época. No subitem iii é abordada historicamente a evolução de métodos de mensuração de atividade física. No subitem iv são apresentados aspectos históricos dos estudos do trabalho, mais especificamente no que diz respeito à engenharia do trabalho, buscando evidenciar a evolução e relação entre esse tema e o gasto energético humano em situações de trabalho.

O item B apresenta uma síntese sobre as transformações de energia no corpo humano no que diz respeito a geração de energia muscular necessária para execução de trabalho mecânico humano. O item C introduz sobre as principais metodologias de determinação de gasto energético humano com ênfase àquelas indicadas em norma. O item D apresenta um apanhado das normas que mencionam ou têm relação com a determinação de taxa metabólica.

A partir desse alicerce construído na Parte 1, apresenta-se a Parte 2 constituída de uma componente teórica da tese que tem caráter exploratório e foi desenvolvido por revisões sistemáticas. Na Parte 2 buscou-se identificar aspectos relevantes do uso de actigrafia na estimativa do gasto energético, observando-se as possibilidades de aplicação em contexto ocupacional, com um aprofundamento sobre os métodos de cálculo. O Capítulo 1 constitui-se da introdução desse bloco, apresentando os objetivos e aspetos metodológicos dos demais capítulos subsequentes. O Capítulo 2 apresenta uma revisão com um panorama sobre o uso de actigrafia para determinação de

gasto energético humano. Com base nesse panorama, foram desenvolvidos os capítulos seguintes como aprofundamento dos principais métodos de cálculo do gasto energético. O Capítulo 3 apresenta uma revisão das equações de estimativa de gasto energético e uma triagem daquelas que se adequam a situações ocupacionais. O Capítulo 4 traz os resultados de uma revisão sobre o uso de redes neurais para estimativa de gasto energético com base em dados de actigrafia. O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões e considerações sobre a componente teórica.

A Parte 3 é constituída de uma componente prática e experimental proveniente da vivência laboratorial e tratamento de dados. O Capítulo 6 é uma introdução dessa componente e apresenta os objetivos e aspectos metodológicos do bloco, destacando a vivência laboratorial e principais aspectos do tratamento dos dados. O Capítulo 7 apresenta os aspectos metodológicos do bloco. Já o Capítulo 8 mostra uma proposta de modelação mista hierárquica desenvolvida com base nos resultados do experimento e com objetivo de estimar o gasto energético e analisar características da interação das variáveis consideradas. No Capítulo 9 se apresenta o desenvolvimento e resultados da modelação por métodos de aprendizagem de máquina para estimativa do gasto energético. No Capítulo 10 estão os resultados de estimativa do gasto energético por outros métodos que constam em Norma, especificadamente estimativas pelo uso de tabelas e por equações consideradas aplicáveis para contexto ocupacional. As equações utilizadas estão entre as elencadas no Capítulo 3 da Parte 2. Em seguida os resultados desses métodos, bem como os resultados obtidos nos modelos desenvolvidos foram todos comparados com os valores medidos por um método de referência indicado por norma. O último elemento do terceiro bloco é o Capítulo 11 que apresenta a proposta de um sistema de estimativa de gasto energético para contexto ocupacional e suas principais características.

A Parte 4 apresenta um desfecho da tese. O tópico A apresenta uma sumarização dos principais resultados da tese. O tópico apresenta algumas considerações e reflexões sobre o trabalho. O tópico C aponta pontos fortes e as principais limitações da pesquisa; e o tópico D indica perspectivas futuras de desenvolvimento, uma vez que essa pesquisa não finda com a apresentação deste documento, mas é um ponto de partida para novas frentes de trabalhos de investigação.

PARTE 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A história mostra que há contribuições de diferentes áreas de conhecimento sobre a determinação de gasto energético humano e que essas contribuições variam de acordo com o tempo e o espaço. Tais contribuições também variam de acordo com as diferentes necessidades e cosmovisões de cada época e sociedade. Ou seja, a forma de perceber o mundo e a vida, inclusive o trabalho e a energia humana influenciavam na forma de percebê-los e mensurá-los.

Deve-se considerar também que o contexto do trabalho, assim como a sociedade onde ele está inserido, é dinâmico e às vezes veloz em suas transformações, promovendo o surgimento de novas demandas tecnológicas, mas também abrindo espaço para soluções de igual caráter.

Diante da abordagem atual sobre a transformação da energia no corpo humano e considerando os sistemas de normatização do trabalho que está relacionado ao gasto energético, percebe-se espaço de contribuição científica sobre o tema aqui proposto. Este primeiro bloco da tese apresenta uma contextualização histórica e normativa do tema. É sobre este alicerce histórico e normativo que se levanta a hipótese de que um sistema baseado no uso de actigrafia e outros recursos disponíveis permita estimar o gasto energético de forma adequada para situações de contexto ocupacionais.

A.ASPETOS HISTÓRICOS SOBRE ENERGIA HUMANA, MÉTODOS DE ESTIMATIVA E ESTUDOS DO TRABALHO

Em face ao tema proposto percebeu-se relevante historiar e levantar informações sobre a energia humana e aspectos fisiológicos e normativos relacionados com ela para alicerçar o desenvolvimento e as discussões posteriormente apresentados neste trabalho. Nessa fundamentação são apresentados pontos específicos, quais sejam: A) o desenvolvimento do conceito de energia humana, dos métodos e dispositivos de mensuração e dos estudos do trabalho; B) aspectos sobre a transformação de energia no corpo humano no contexto de gasto energético por atividade; C) algumas metodologias de determinação do gasto energético; e, D) considerações sobre normas relacionadas com a determinação de taxa metabólica com ênfase à norma ISO 8996 e os métodos de determinação de gasto energético nela apresentados.

A energia é geralmente vista como o combustível para atividades, cognição e manutenção da vida humana. Mas a energia viva dos seres humanos não foi sempre vista com as mesmas abordagens atuais. Neste tópico apresenta-se um breve histórico do desenvolvimento conceitual sobre as fontes e transformações da energia humana, e da relação dessa energia humana no contexto dos estudos de engenharia do trabalho, delineando uma interface com temas em segurança e saúde ocupacionais.

i) Uma perspectiva da evolução histórica do conceito de energia humana

As ideias ocidentais sobre a energia humana são antigas e evoluíram concomitantemente aos avanços científicos de cada época. Heymsfield, Bourgeois, e Thomas (2017), apresentam um panorama histórico sobre troca energética humana, elencando vários protagonistas da ciência nesse contexto e seus respectivos feitos. Baseando-se nesse trabalho desses autores e complementado com outros trabalhos, apresenta-se a seguir uma perspectiva da evolução histórica do conceito de energia humana. Para efeitos de alocação temporal dos protagonistas mais antigos citados, decidiu-se mencionar a época em que viveram¹.

Segundo alguns autores, as primeiras teorias sobre o calor humano e energia estão relacionadas a Hipócrates [460-370 a.C.], que afirmava que a variação de humor das pessoas estava relacionada com a variação de fluidos corporais, a saber: a bilis amarela, a bilis preta, o sangue e a fleuma. Baseando-se na ideia vigente à época de que toda a matéria era constituída por quatro outros elementos – terra, ar, água e fogo – reforçou-se a ideia dessa teoria de que o sangue carregava uma força vital, o calor inato, que alimenta os processos metabólicos.

Outro médico grego, Cláudio Galeno ou Galeno de Pérgamo [129 - 216 d.C.], baseando-se nessas teorias de constituição da matéria, avançou o conceito de que o calor inato ou vital é produzido pelo coração com “fogo” inserido nesse órgão ao nascer, proporcionando calor ao corpo e que o resfriamento necessário a esse processo gerador de calor era fornecido pela respiração.

O médico e fisiologista veneziano, Santório de Pádua [1561-1636], quantificou o peso corporal e as excreções sob certas condições. Ele mediu o peso corporal em longos períodos de tempo, quantificando perdas de água insensíveis. Ao publicar tal estudo de três anos em 1614, Santório estabeleceu pela

¹ Os anos de nascimento e morte dos citados estão entre colchetes para desambiguação com os anos das referências.

primeira vez os métodos de balanço para o estudo do metabolismo, que foram adaptados e usados mais tarde em métodos de calorimetria introduzidos três séculos depois.

O médico alemão e alquimista Johann Joachim Becher [1635-1682] introduziu em 1667, com base nas teorias gregas clássicas, a ideia de que as substâncias combustíveis contêm um elemento parecido ao fogo, o *Terra Pinguis*, que é liberado quando uma substância queima.

O médico e químico, Georg Ernst Stahl [1659 -1734], formalizou a teoria de Becher e chamou o *Terra Pinguis* como sendo o material inflamável denominado [flogisto](#), que significa “passado pelo fogo”. A teoria de Stahl explicou a extinção de uma chama contida dentro de uma câmara selada como um processo em que o [flogisto](#) é liberado da vela ardente, saturando o ar e tornando-o incapaz de combustão. A vela, de acordo com Stahl, torna-se “desflogesticada” neste processo. Becher e Stahl adotaram o conceito de vitalismo que considera que a vida, incluindo a geração de calor corporal, não é explicável pelas leis químicas e físicas.

O químico Robert Boyle [1627-1691], colocou uma cabaia e uma vela acesa dentro de um frasco selado e removendo o ar notou que o rato expirou e a vela se apagou quase ao mesmo tempo, levando Boyle a estabelecer a equivalência entre o fogo e a vida como processos de combustão, e concluir que um mesmo elemento no ar é necessário para suportar a combustão e a respiração.

Com base na observação de Boyle de que o ar é necessário para a combustão, o médico inglês John Mayow [1641-1679] colocou uma cabaia sobre água em um recipiente selado. Medindo a mudança no volume de ar do recipiente selado observando a mudança no nível de água, percebeu que o animal sucumbiu quando 1/14 do ar do recipiente foi consumido, indicando que uma parte do ar estava envolvida na respiração. O “ar fixo”, ou seja, o dióxido de carbono, foi identificado como um produto da respiração pelo médico e químico escocês Joseph Black [1728-1799] em 1754.

O teólogo e químico inglês Joseph Priestley [1733-1804] geralmente é creditado com a descoberta da natureza química do “*igneo-aereus*” ou “ar puro” de Mayow, que ele concebia como um ar *desflogesticado* “altamente reativo”, em 1774.

Carl Wilhelm Scheele [1742-1786], um farmacêutico sueco, também descobriu oxigênio em 1772, mas não informou suas descobertas até 1777. O ar não estava mais sendo visto como um “elemento puro”, como afirmado pelas teorias gregas clássicas, mas incluía vários gases diferentes em sua composição.

Adair Crawford [1748-1795], um médico e químico escocês, mediu a produção de calor de uma vela e um animal usando um calorímetro de revestimento a prova d’água, conforme relatado em 1779 na obra intitulada “Experiências e Observações sobre o calor dos animais” (CRAWFORD, 1779). Mas, segundo Heymsfield, Bourgeois, e Thomas (2017), Crawford continuou a interpretar seus resultados no paradigma flogístico.

Só na segunda metade do século XVIII é que os conceitos modernos, envolvendo calorimetria humana, começam a evoluir, transcender e se libertar de ideias baseadas nas teorias da antiguidade grega.

ii) Evolução dos conceitos modernos de energia humana e dos métodos de mensuração

A partir desse momento histórico, inicia-se um período de experimentações e proposições científicas relacionadas à composição do ar e aos métodos de mensuração de troca de calor humano. Isso inclui os achados do nobre e químico francês, Antoine Lavoisier [1743-1794], que descobriu que animais produzem o dióxido de carbono ao respirar. Também inclui a mensuração do consumo de oxigênio e produção do dióxido de carbono da respiração através de um calorímetro proposto por Lavoisier e o matemático francês Pierre Simon Laplace [1749-1827] em 1783 (KENNY, NOTLEY, e GAGNON 2017).

Nessa mesma época apresentam-se os resultados de Lavoisier e Armand Séguin [1767-1835] que examinaram os efeitos do frio, alimentação e trabalho muscular no consumo de "ar puro", frequência de pulso e respiração. Entre suas várias observações, eles relataram pela primeira vez a "ação dinâmica específica de alimentos".

Já entre os séculos XVIII e XIX há outros marcos históricos importantes. Um deles foi a proposição do calorímetro dos físicos e químicos franceses César-Mansuète Despretz [1791-1863] e Pierre Louis Dulong [1785-1838] em 1824 e 1838, conforme Kenny, Notley, e Gagnon (2017); e Macfarlane (2017). Outro marco foi a articulação da 1ª Lei da Termodinâmica em relação à energia humana pelo médico e físico alemão Julius von Mayer [1814-1878], estabelecendo em 1842 que a oxidação era a principal fonte de energia dos seres vivos; ou seja, a energia química pode ser convertida em energia térmica. Em 1849, o físico e químico Henri Regnault [1810-1878], juntamente com o químico agrícola e político francês Jules Reiset [1818-1896], apresentaram um dos primeiros sistemas de [calorimetria indireta](#) de circuito fechado, composto de uma câmara selada onde uma pessoa ou animal era inserido juntamente com materiais absorvedores (Poncet et al. 2012). Oxigênio também era inserido no sistema, sem alterar a pressão interna, em taxas controladas para substituir o oxigênio consumido pelo indivíduo ou pelo animal. Pela pesagem e análise do material absorvente em relação a água e ao dióxido de carbono, considerando as taxas de oxigênio fornecida, era possível quantificar os consumos metabólicos. Com esse dispositivo, Regnault e Reiset identificaram que a quantidade de oxigênio consumido e de dióxido de carbono exalado está relacionada com o tipo de alimento ingerido.

O médico e químico alemão Max von Pettenkofer [1818-1901], em 1862 construiu a primeira câmara de respiração de circuito aberto. O sistema de Pettenkofer media o fluxo de ar com um medidor de gás e as amostras de ar foram analisadas quanto ao dióxido de carbono e vapor de água, considerando também o balanço entre ingestão e excreção, e peso inicial e peso final do indivíduo. Em 1866, através do método de balanço carbono-nitrogênio, Pettenkofer e o fisiologista alemão Karl von Voit [1831-1908], conseguiram mostrar que o metabolismo pode ser explicado pela oxidação de proteína, gordura e carboidrato (Mtaweh et al. 2018). Mas foi o assistente laboratorial de Voit, o fisiologista alemão Max Rubner que construiu, em 1894, um calorímetro direto isotérmico e o acoplou a uma câmara respiratória de Pettenkofer, utilizando-a para comprovar que a produção de calor, calculada a partir de medições de gases respiratórios em cães, era quase exatamente igual à liberação de calor. Foi a pesquisa de Rubner que estabeleceu a validade da Lei de Conservação de Energia em animais. Mas só em 1899 que o químico norte-americano Wilbur Olin Atwater [1844–1907], juntamente com seu colega, o físico Edward Bennett Rosa [1873–1921], confirmaram a lei da conservação da energia em humanos (Mtaweh et al. 2018). Atwater, inspirado em visitas que fez ao laboratório de Voit, construiu com Rosa um calorímetro adiabático para o estudo de seres humanos entre 1893 e 1897 que, ao ser combinado com um calorímetro

indireto de circuito aberto, lhes permitiu mensurar simultaneamente o calor gerado e o calor liberado, sendo esta a base de funcionamento de vários calorímetros modernos.

Também relevante nesse intervalo temporal, destaca-se o surgimento da química orgânica como campo de pesquisa tendo como um dos precursores o químico alemão Justus von Liebig [1803-1873] que examinou em 1842 como as proteínas, gorduras e carboidratos de alimentos sofrem transformações químicas *in vivo* e reconheceu os diferentes conteúdos calóricos destes elementos dos alimentos (CARPENTER 2003).

A segunda metade do século XIX é marcada pelo aperfeiçoamento dos calorímetros, o que foi importante para o avanço do conhecimento relativo a metabolismo e calorimetria. Entretanto, um dos poucos subprodutos bons da guerra de 1939 a 1945 a química industrial despontou influenciando várias áreas de conhecimento e pesquisa. Nesse contexto, em 1949, o fisiologista estadunidense Nathan Lifson [1911-1989] e seus colegas descobriram que o oxigênio-18, quando administrado a cobaias realizava trocas no sangue com o oxigênio e CO₂ era exalado. A partir dessa observação, em 1955, Lifson, Gordon e McClintock afirmaram que esse CO₂ produzido pelas cobaias poderia ser estimado (Lifson, Gordon, e McClintock, 1955). Surge então o método denominado de “água duplamente marcada”, sendo o método considerado padrão *Gold Standard* da atualidade.

Mas seus altos custos de análises de material fizeram com que apenas em 1982 o fisiologista e biomédico Dale Schoeller [1948-] e o biólogo e químico Edzard van Santen [1953 -] lançassem o uso do método de água duplamente marcada para medir o gasto energético irrestrito nos seres humanos; através da administração de um isótopo cujos aspectos são comparados a outros analisados na saliva, sangue ou mais comumente na urina coletada após a atividade estudada (SCHOELLER e SANTEN 1982). Essa foi uma inovação disruptiva, tanto por sua natureza, como pela capacidade de driblar restrições dos calorímetros da época, facilitando em vários aspectos o desenvolvimento de estudos de campo.

iii) Evolução de dispositivos de mensuração de atividade humana

Tryon (2008) apresenta um breve histórico da mensuração de atividade física humana, a partir do [pedômetro](#), passando por relógios de pulso adaptados para contabilizar movimentos, até chegar aos actígrafos de modelos mais próximos ao que se encontra nos dias atuais. Certamente estudos anteriores tiveram sua relevância quanto à mensuração da atividade física. Contudo, segundo Tryon (2008), a criação do [pedômetro](#) foi atribuída a Leonardo da Vinci [1452-1519] por volta da década de 1480, devido também a sua documentação de projetos. Shephard (2016), coloca que Leonardo da Vinci teve propósitos inicialmente militares ao criar o [pedômetro](#) sugerindo que o dispositivo permitiria a elaboração de mapas territoriais mais precisos.

Entretanto, há controvérsias sobre o primeiro proponente do [pedômetro](#). Há sugestões de que outros protagonistas tenham dado suas contribuições no desenvolvimento do [pedômetro](#). Um dos tais seria o médico, fisiologista, matemático e astrônomo francês Jean Fernel [1497-1558] que, em 1525, teria lançado um dispositivo na forma de um relógio, com 4 mostradores (unidades, dezenas, centenas, milhares) todos ligados por um único mecanismo, desde a cintura, onde o dispositivo ficava, até o joelho. O cabo puxaria a alavanca, e a agulha do mostrador inferior avançaria em uma unidade em cada passo dado por um caminhante, registrando-os. Já o cientista inglês Robert Hooke [1635-1703] teria

desenvolvido um [pedômetro](#), em 1674, para ajudar topógrafos e mapeadores, sendo apenas um dos muitos instrumentos que ele inventou.

Ao suíço Abraham-Louis Perrelet [1729-1826] também é creditado o título de inventor do [pedômetro](#). Em 1777, ele foi oficialmente reconhecido como inventor de um relógio com mecanismo de alimentação automática. Este relógio tinha um mecanismo básico sensível ao movimento interno, sendo necessário apenas o movimento de caminhada do usuário para recarregá-lo. No entanto, em 1780, sua próxima invenção teria sido um [pedômetro](#) capaz de contar os passos e a distância percorrida enquanto caminhava. Ele inventou esse [pedômetro](#) adaptando a invenção inicial do relógio para um instrumento que media o número de passos dados, permitindo que a distância percorrida fosse estimada a partir do comprimento médio do passo do usuário (SHEPHARD, 2016).

Independente do pioneirismo, cada um destes estudiosos contribuiu de alguma forma no desenvolvimento de dispositivos para medir a atividade humana. Já entre as décadas de 1950 e 1960, Schulman e Reisman (1959), bem como Bell (1968) introduziram relógios automáticos modificados para medirem atividades no pulso, chamados actômetros (TRYON, 2008).

Para sanar as discrepâncias dos erros dos [pedômetros](#) da época, as empresas Seiko e Epson começaram a desenvolver um relógio digital antes dos Jogos Olímpicos de Tóquio, em 1964, em que uma tela de cristal líquido (LCD) foi adaptada para exibir os impulsos acumulados por cada passo dado (Shephard, 2016). Até então, esses dispositivos eram de uso técnico ou científico e só se popularizaram a partir de 1965. Atribui-se ao professor universitário e pesquisador japonês Yoshiro Hatano, o crédito por disseminar o [pedômetro](#) como dispositivo pessoal de monitoramento de atividades física, mas com objetivo de auxiliar no combate à obesidade epidêmica. Assim, em 1965 a empresa Yamasa Tokei (Keiki) comercializou o “Manpo-kei” (Shephard, 2016). O termo “manpo-kei” traz em seu significado a ideia de 10.000 passos diários, o que era estimado por Yoshiro Hatano como essencial para balancear o gasto energético diário de forma saudável.

A partir da década de 1960, a utilização de dispositivos para mensuração de atividade física avançou exponencialmente, acompanhando a tendência mundial de avanços tecnológicos. Passou-se a explorar outras técnicas e materiais, a exemplo da utilização de telemetria FM, como mencionado por Bradfield, Paulos, e Grossman (1971), que utilizaram para monitorar e registrar frequências cardíacas à distância e estimar a atividade física de estudantes obesas.

Mas, segundo Tryon (2008), foram Colburn, Smith, Guarini, & Simmons (1976), que apresentaram o primeiro actígrafo com acelerômetro de base computacional. Pouco depois, Kripke, Mullaney, Messin, & Wyborne (1978), apresentaram um actígrafo de pulso baseado em acelerômetro com [transdutor de atividade piezoelétrico](#) para medir períodos de sono, sendo esta uma das áreas de estudo de maior uso de actígrafos.

Wong et al. (1981), descreveram dentre outros, um dispositivo portátil baseado em acelerômetro para medir o gasto de energia humana; sendo este possivelmente um dos primeiros trabalhos com tal objetivo. Apesar de se encontrar na literatura registros do uso de actigrafia para estudos do sono desde a década de 1970, conforme a American Academy of Sleep Medicine (Littner et al. 2003), o trabalho de Wong e colegas, e outros trabalhos como os do engenheiro eletricitista e professor John G. Webster [1932-] com seus colegas, tais como Servais, Stephen B., Webster, e Montoye (1982), Montoye et al. (1983) e Servais e Webster (1984), estão entre os primeiros estudos mencionando o uso de dispositivos baseados

em acelerômetros para mensuração de atividade física e gasto energético. O uso do termo actigrafia no contexto de gasto energético é supostamente mais recente do que nos estudos do sono e, ampliou a abrangência do termo denotando agora o uso específico de acelerometria em pessoas com ênfase não restrita apenas aos estudos de comportamento durante o sono, mas também de gasto energético e classificação de atividades por intensidade.

A partir daí, concordando com Littner et al. (2003), os actígrafos evoluíram nas últimas décadas em dimensões, capacidade de memória, com acelerômetros unidirecionais e tridimensionais, incorporaram filtros de sinais para minimizar ruídos, giroscópios, [magnetômetros](#), sensores de luz, bem como outros sensores que ampliam as possibilidades de avaliação da execução da atividade física e das condições em que esta ocorre.

iv) Energia humana e a evolução dos estudos do trabalho

Vale a pena ressaltar que, a partir da década de 1780 e mais notadamente após as décadas de 1830 e 1840, ocorreram as mudanças profundas nos sistemas produtivos, economias e nas sociedades que caracterizam o que se conhece como a Revolução Industrial (Hobsbawm, 1996). Impulsionados por esse contexto de mudanças exponenciais, alguns estudiosos evidenciaram-se com seus estudos relacionados à melhoria de métodos de produção, principalmente nos recém-criados sistemas fabris, no intuito de aumentar a produtividade e os lucros das empresas. É nesse contexto que esse grupo de investigadores provenientes doutras áreas como engenharia e psicologia, também passaram a estudar o tema do gasto energético humano, mas no contexto laboral. Dentre eles pode-se citar o engenheiro mecânico Frederick Winslow Taylor [1856-1915] que propôs os Princípios da Administração Científica (Taylor, 1966) em que apresenta, dentre outras ideias, técnicas para o alcance do melhor método de execução de tarefas, ou seja, execuções de tarefas no menor tempo, com menor gasto energético, menor quantidade de movimentos e gerando a maior quantidade de produtos. Também o casal Frank Gilbreth [1868-1924] e Lilian Gilbreth [1878-1972] que propuseram a análise do trabalho por tarefas subdivididas e classificadas; e estudaram a minimização da fadiga por trabalho, utilizando-se dos seus conhecimentos de engenharia e psicologia (IMRHAN, 2014).

Após a grande guerra de 1914 a 1918, o desenvolvimento do Estudo do Trabalho prosseguiu em ritmo acelerado, tendo um clímax em 1932, com a criação da simplificação do trabalho pelo engenheiro industrial Allan H. Mogensen [1901-1989], conforme Barnes (1977). Mas foi Harold Bright Maynard [1902-1975] que unificou os estudos dos seus antecessores ao perceber que a otimização do trabalho, incluindo o gasto energético humano a ele relacionado, só seria alcançada com ações integradas das ferramentas e princípios já propostos. Estes últimos utilizavam uma abordagem mais próxima da ergonomia, em busca da maximização da produtividade humana e redução dos gastos energéticos em atividades físicas relacionadas com as tarefas laborais (BARNES, 1977).

Essa abordagem levava em consideração essencialmente a quantidade de movimentos e os métodos de trabalho utilizados para projetar e melhorar o desempenho humano considerando suas capacidades musculares, biotipo, posto de trabalho, instruções de trabalho, as ferramentas e os materiais. Tinha-se, portanto, um outro conjunto de estudiosos do gasto energético com objetivos e métodos diferenciados.

Os princípios dos Estudos do Trabalho, ou Engenharia de Métodos, ou ainda Estudo de Tempos e Movimentos inaugurados por Taylor foram adaptados e absorvidos pela ergonomia (Másculo, 2011), que expandiu-se para além da indústria bélica após a segunda grande guerra de 1939 a 1945. Entretanto, e Sistema Toyota de Produção (Ohno, 1997) trouxe contribuições singulares para a gestão da produção e também incorporou princípios de Engenharia do Trabalho, o que pode ser evidenciado com a busca e aplicação de técnicas para eliminação de desperdícios, inclusive de movimentação e, analogamente, de energia humana (KRAJEWSKI, MALHOTRA, e RITZMAN, 2017).

Além disso, segundo Másculo (2011) e Iida e Guimarães (2016), após a segunda grande guerra, que findou em 1945, a ergonomia se desenvolveu e passou a ser aplicada no contexto industrial e ocupacional. Passou-se a uma nova abordagem sobre a relação entre energia humana e o trabalho que considera o desafio da otimização da saúde e bem-estar humanos com o desempenho de sistemas produtivos, atendendo a requisitos normativos mas também buscando aumento de eficiência organizacional. Além disso, a abordagem ergonômica transcendeu os contextos de trabalho e passou a ser aplicados em aspetos do cotidiano, evidenciando-se em produtos, sejam bens ou serviços.

É possível que, dentre as contribuições mais recentes, essas sejam as mais significativas no que tange a abordagem da energia humana no contexto da engenharia do trabalho e suas práticas. Essa abordagem remete a uma perspectiva sistêmica das organizações onde o trabalho acontece e a energia humana é utilizada. Isso significa considerar novos aspectos, como por exemplo, a ideia de que o ser humano é parte ativa do sistema.

Outro aspeto são as influências e interações em níveis microsistêmico e macrosistêmico. Como exemplos podemos citar para o nível microsistêmico a perspectiva de que as ferramentas, máquinas e métodos de trabalho escolhidos e projetados para um posto de trabalho têm influência sobre o desempenho geral do sistema produtivo, inclusive na execução de tarefas pelo trabalhador. Para o nível macrosistêmico temos a ideia de que a performance do sistema produtivo tem interações e influências mútuas com o ambiente mercadológico em que a organização se encontra, com efeitos que perpassam por toda a cadeia produtiva. Nesse sentido, o trabalho de uma pessoa e a forma de utilização de energia humana influencia e sofre influências em nível microsistêmico e em nível macrosistêmico.

Diante do exposto, apresenta-se a Tabela 1 com as perspectivas aqui apresentadas da evolução conceitual de energia humana, sobre mensuração de atividade física, e alocação destas ideias ao estudo do trabalho.

Com essa Tabela 1, percebe-se que o estudo sobre a energia humana teve, num primeiro e majoritário período temporal do recorte, um protagonismo de estudiosos e profissionais das áreas de saúde e ciências da vida. Mas a partir da revolução industrial, outras áreas começam a interagir com o tema e outros protagonistas emergem delineando novas interfaces no estudo sobre gasto energético.

Portanto, pode-se afirmar que o estudo sobre gasto energético humano envolve, desde tempos longínquos, ciências exatas e da natureza como Matemática, Química, Física, Biologia; ciências médicas como Medicina, Farmácia, Nutrição, Saúde Coletiva / Pública, Fisiologia; ciências humanas, como Filosofia e Psicologia; ciências sociais aplicadas como Administração / Gestão, e Economia; e ciências tecnológicas como Engenharias e Computação; dentre outras. Acredita-se que é exatamente nessas interfaces que estão os desafios e as oportunidades de contribuição para inovação e geração de conhecimento atual, sem segmentar e segregar a ciência por áreas.

Tabela 1: Contribuições sobre conceito e práticas de medição de energia humana por autor, área e época

Época	Proponente	Ocupação	Proposição
~400 a.c.	Hipócrates	Médico	Sangue carrega a força vital, o calor inato
~200 a.c.	Galeno de Pérgamo	Médico	Calor inato vital é inserido no coração ao nascer
~1480 d.c.	Leonardo da Vinci	Polímata	Mecanismo precursor do pedômetro
1614	Santório de Pádua	Médico, fisiologista	Introduz ciências quantitativas em medicina e estabelece estudos de equilíbrio metabólico para estudar metabolismo
1661	Robert Boyle	Químico	Estabelece a equivalência do fogo e da vida como processos de combustão; há um componente do ar necessário para a combustão e para a vida
1667	Johann Joachim Becher	Médico, alquimista	Afirma que substâncias combustíveis contêm um elemento parecido ao fogo, o <i>Terra Pinguis</i> , que é liberado quando uma substância queima. Considera o vitalismo
1667	Georg Ernst Stahl	Médico e químico	Considerou <i>Terra Pinguis</i> como sendo o material inflamável denominado flogisto . Considera o vitalismo afirmando que a vida e o calor corporal transcendem leis físicas e químicas
1754	Joseph Black	Médico, químico	O “ar fixo”, ou seja, dióxido de carbono é identificado como um produto da respiração
1774	Joseph Priestley	Teólogo, químico	É creditado como descobridor da natureza química do “ <i>igneo-aereus</i> ” ou “ar puro”
1777	Carl Wilhelm Scheele	Farmacêutico	Também descobriu que o ar contém oxigênio em 1772, mas não informou sua descoberta até 1777
1779	Adair Crawford	Médico, químico	Usou calorímetro para medir calor de uma vela e um animal
1777~1790	Antoine Lavoisier	Químico	Juntamente com Laplace e Seguin iniciaram os fundamentos dos estudos modernos de metabolismo, incluindo conceitos de calorimetria direta e indireta ; e mostrando que a produção de calor animal é uma forma de combustão que consome oxigênio e libera dióxido de carbono
1780	Abraham-Louis Perrelet	Relojoeiro, inventor	Adaptou sua criação do relógio de recarga automática para um contador de passos pelo movimento de caminhada
1824 e 1838	César-Mansuète Despretz e Pierre Louis Dulong	Físicos, químicos	Propuseram calorímetros de respiração, quantificando oxigênio consumido, CO2 liberado e calor trocado
1842	Julius von Mayer	Médico e físico	Articula a Primeira Lei da Termodinâmica, estabelecendo que a energia química pode ser convertida em energia térmica e, portanto, fornece uma base física para conceituar o equilíbrio energético em sistemas biológicos
1842	Justus von Liebig	Químico	Começa a estabelecer uma base da química orgânica sobre como grupos compostos orgânicos específicos (proteínas, gorduras e carboidratos) transformam-se no corpo com estequiometrias discretas de acordo com a química e a física
1881	Frederick Winslow Taylor	Engenheiro Mecânico	Iniciou os estudos de tempos e movimentos nas oficinas da Midvale Steel Company
1911	Frederick Winslow Taylor	Engenheiro Mecânico	Publicou sua obra Princípios da administração científica
1916	Frank e Liliam Gilbreth	Engenheiros, Psicóloga (ela)	O casal Gilbreth publicam um dos trabalhos pioneiros sobre estudo de fadiga laboral em <i>Fatigue Study</i>
1955	Nathan Lifson	Professor de fisiologia	Desenvolveu com seus colegas o método de água duplamente marcada que só era usado com pequenos animais até a década de 1980

<i>Continuação</i>				
Perspectivas e marcos da era industrial (Revolução industrial à contemporaneidade)	Época	Proponente	Ocupação	Proposição
	1964	Seiko e Epson	Empresas	Começaram a desenvolver, antes dos jogos olímpicos de Tóquio, projetos do relógio digital
	1965	Yoshiro Hatano	Professor e pesquisador em educação física	Propôs a ideia do <i>Manpo-kei</i> que foi popularizado e comercializado pela empresa Yamasa Tokei (Keiki) como dispositivo pessoal
	1978	Daniel Kripke	Professor e pesquisador em cronobiologia	Apresentou um actígrafo com acelerômetro com transdutor piezoelétrico para medir períodos de sono.
	1978	Taiichi Ohno	Engenheiro Mecânico	Publica os princípios do sistema de produção da Toyota com eliminação de desperdícios, inclusive de movimentos e energia humana
	1981	John G. Webster	Engenheiro eletricista	Primeiros trabalhos com dispositivos baseados em acelerômetros para medir gasto energético
	1982	Dale Schoeller e Edzard van Santen	Fisiologista e biomédico / biólogo e químico	Apresentam o uso do método de água duplamente marcada em humanos

Fonte: Adaptado de Heymsfield, Bourgeois, e Thomas (2017); Barnes (1977); Taylor (1966); Tryon (2008); Shephard (2016).

A Tabela 1 também apresenta um recorte histórico de perspectivas sobre energia humana e do desenvolvimento de tecnologias que envolveram o estudo de tal tema, desde a era clássica até o final do século XX. Não significa que a história se limita a esse recorte que, não é só temporal, mas também apresenta apenas perspectivas ocidentais. O desenvolvimento de tecnologias continuou no decorrer da história, mas a perspectiva sobre as transformações energéticas no corpo humano que se admite nos dias atuais já está bem próxima da que se tinha no período que finda a representação desse recorte. O próximo tópico apresenta uma breve descrição sobre as transformações energéticas no corpo humano no que diz respeito aos principais processos relacionados com atividades físicas e movimentos corporais.

B. TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA NO CORPO HUMANO

Através dos estudos de pesagem e subtração de tudo o que foi ingerido, de tudo o que foi excretado e das diferenças de peso corporal durante três anos de sua vida, Santório de Pádua conseguiu identificar, em 1614, que uma parcela considerável de tal diferença de peso simplesmente desaparecia no corpo. Entretanto, ele não conseguiu explicar o que acontece com esse material ou energia (KOWALTOWSKI 2015).

A primeira lei da termodinâmica, ou da conservação de energia, garante que energia não pode ser criada nem destruída, mas toda ela se transforma. Assim também ocorre com os seres vivos, incluindo animais e humanos. Nestes últimos, há um fluxo de transformação.

Grande parte do que consumimos pela alimentação é processada e transformada em energia necessária para manutenção da vida. Segundo Kowaltowski (2015, p.12), esse conjunto de transformações químicas que degrada e transforma os alimentos nas moléculas que constituem o corpo humano, além de formar energia na forma de Adenosina Trifosfato - ATP, é conhecido como metabolismo. Segundo Másculo e Vidal (2011, p.144), através desses processos metabólicos o organismo humano também libera calor e proporciona a transformação da energia acumulada em energia mecânica necessária à execução dos movimentos. Portanto, o gasto energético não está relacionado apenas com as reações bioquímicas de cada organismo, mas também com a alimentação, e com as capacidades e esforços físicos e cardiorrespiratórios.

Kroemer, Kroemer, & Kroemer-Elbert (2010), apresentam um modelo hipotético do fluxo de energia no corpo humano desde a entrada, via alimentação, e as respectivas saídas por gasto ou excreção. Nesse modelo a representação está baseada na primeira lei da termodinâmica, considerando que a energia não se perde nem se cria, apenas se transforma. O trato digestivo não absorve a energia total ingerida pela alimentação. Portanto, parte dessa energia é expurgada nas fezes (F), urina (U) e gases (G). Subtraindo essas perdas do consumo inicial (I) resulta a energia assimilada (digerida, absorvida), chamada aqui de energia líquida (L). Segundo Lam & Ravussin (2016), essa energia é metabolizável e representa cerca de 90% da energia ingerida.

O corpo usa a energia líquida (L) de diferentes maneiras: uma parte do material digerido serve como blocos (B) para sintetização de componentes mais complexos, tal como a reposição celular; alguma energia é armazenada em células para uso posterior (A); e outras (O) secreções que tem sua importância no organismo são produzidas necessitando de energia para tal. Entretanto, a maior parte da energia de entrada é utilizada para a respiração, pois o processo de consumo de oxigênio e geração de CO₂ e calor (C) quando o corpo realiza uma atividade bioquímica que requer energia. Essa energia fica disponível a partir da quebra das moléculas energéticas de ATP. A energia liberada torna possível a contração muscular, como na realização de trabalho (T) em um objeto fora do corpo.

Considerando o processamento energético no corpo humano como um sistema, esse modelo pode ser representado conforme a Figura 1, a seguir:

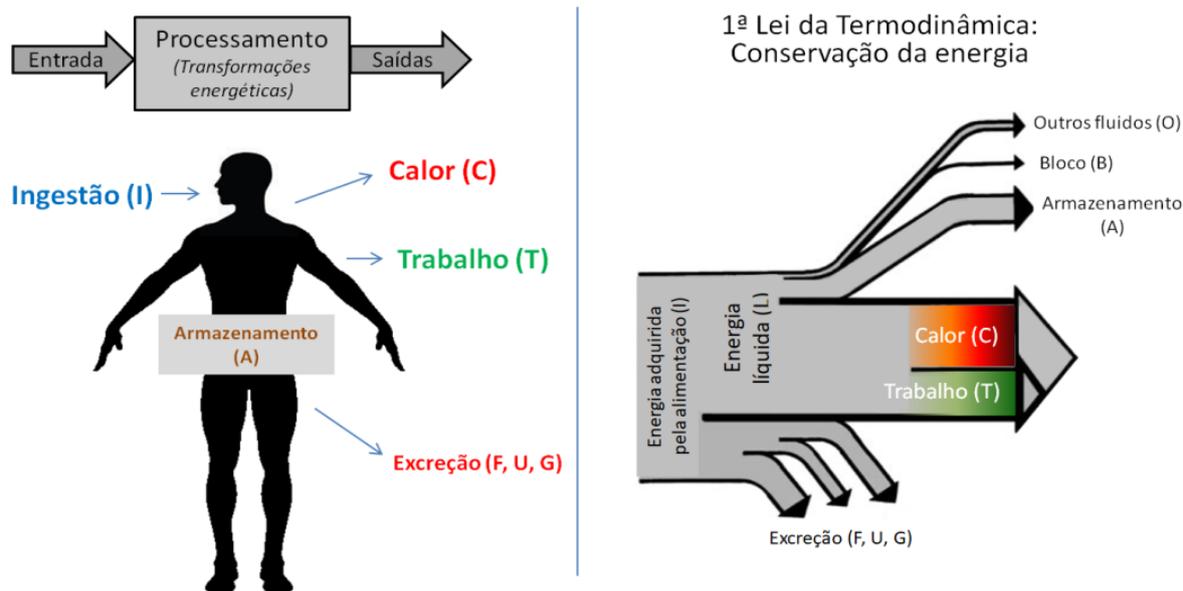


Figura 1: Modelo hipotético do fluxo de energia no corpo humano

Fonte: Adaptado a partir de Kroemer, Kroemer, e Kroemer-Elbert (2010)

No corpo humano, o equilíbrio energético é a diferença entre a energia adquirida e o gasto energético. Portanto, um balanço energético diferente de zero implica, numa mudança equivalente no conteúdo energético do corpo, geralmente, mudanças de peso e de outros componentes corporais que influenciarão no metabolismo do corpo no novo estado (LAM e RAVUSSIN, 2016).

O gasto total de energia diária é composto, basicamente, por três componentes: (a) taxa metabólica de repouso ou taxa metabólica basal; (b) efeito térmico dos alimentos, também conhecida como termogênese dos alimentos; e, (c) gasto energético por atividade. A taxa metabólica basal refere-se à energia necessária para sustentar os sistemas bioquímicos do corpo em repouso completo e representa cerca de 70% do gasto energético diário em indivíduos sedentários. Essa taxa inclui os gastos de energia durante o sono e a energia necessária para manter-se acordado, mas sem qualquer atividade física. Este último representa 0,5% da taxa basal com pequenas variações por etnia, sexo e obesidade (Kumahara, Shindo e Tanaka, 2004). A massa magra, ou massa livre de gordura, é apontado como o fator determinante mais forte da taxa metabólica e representa aproximadamente 70% de sua variação, juntamente com outros fatores como massa gorda, sexo, idade e traços familiares (WEYER et al. 1999).

A termogênese dos alimentos depende de elementos como idade, composição dietética, nível e hábitos de atividade física, obesidade e, neste público específico, o grau de resistência a insulina (de Jonee e Bray, 1997). Já o gasto energético referente à atividade física, seja ela espontânea ou voluntária, é o mais variável dos componentes do gasto energético diário total e depende de fatores como idade, sexo, traços genéticos e algumas interações complexas entre caminhos bioquímicos, fisiológicos e cerebrais que vão além do movimento em si, mas envolve também aspectos hormonais e mecanismos de recompensa, prazer e motivações do cérebro (GARLAND et al. 2011).

Pode-se representar a composição do gasto energético diário e alguns de seus determinantes chave conforme a Figura 2, apresentada a seguir:

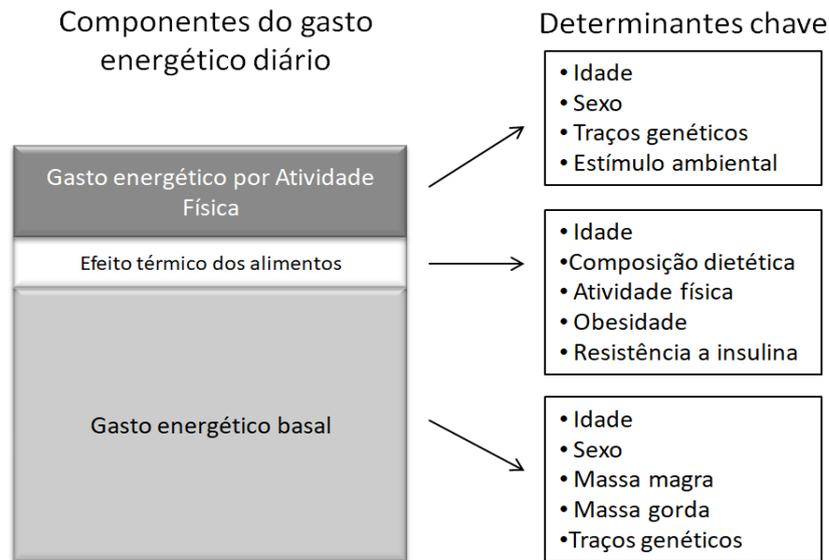


Figura 2: Componentes do gasto energético total diário e alguns determinantes chave

Fonte: Adaptado de Weyer et al., (1999)

Ao realizar o trabalho físico, a capacidade do organismo de manter um equilíbrio interno (homeostase) depende em grande parte do funcionamento coordenado dos sistemas circulatório e respiratório para atender os músculos envolvidos pelo fornecimento de energia e oxigênio e pela remoção de resíduos e calor.

De forma simplificada, após passar pelo estômago e pelos processos digestivos daquele órgão, os nutrientes são absorvidos no intestino delgado para armazenamento de energia, seja como gordura de construção de tecidos, glicogênio ou glicose para uso imediato ou iminente. A decomposição das moléculas dos alimentos, tais como os glícídios, lipídios e proteínas, liberta energia que é usada na síntese de ATP. Isso acontece principalmente nas mitocôndrias. Cada molécula de ATP contém uma porção de energia originalmente armazenada nas ligações químicas das moléculas dos alimentos. As moléculas de ATP são compactos energéticos que podem ser usados para conduzir outras reações químicas ou processos celulares (SEELEY, STEPHENS, e TATE, 2003).

A adenosina trifosfato (ATP) é uma molécula orgânica importante encontrada em todos os organismos vivos, e é constituída por adenosina e por três grupos de fosfato. A adenosina resulta da junção da ribose, que é um açúcar, à base orgânica chamada adenina. A energia potencial armazenada na ligação covalente entre o segundo e o terceiro fosfato é importante para os organismos vivos por ser esta a energia transformada e usada em quase todas as reações químicas que ocorrem no interior das células e, conseqüentemente no corpo, incluindo a transformação em energia mecânica muscular.

O [catabolismo](#) da glicose e de outros nutrientes traduz-se em reações que libertam energia. Alguma parte dessa energia é usada para sintetizar ATP a partir de ADP e um grupo fosfato inorgânico (Pi). Isso pode ser ilustrado da seguinte forma, conforme a Equação (1):



A molécula de ATP é gerado pela combustão de carboidratos, gorduras e proteínas. Mas, tomando a degradação da glicose como exemplo para ilustrar a produção de ATP a partir de moléculas dos alimentos, pode-se dizer que uma vez transportada para o interior da célula, a glicose sofrerá uma séria de reações químicas, coletivamente denominadas de glicólise, que convertem a glicose em [ácido pirúvico](#). Este, de acordo com a disponibilidade de oxigênio, pode tomar diferentes rumos. A disponibilidade de oxigênio nessas reações, define a respiração celular aeróbia e a não disponibilidade é denominada de respiração anaeróbia. Esses processos do metabolismo podem ser ilustrados conforme a Figura 3:

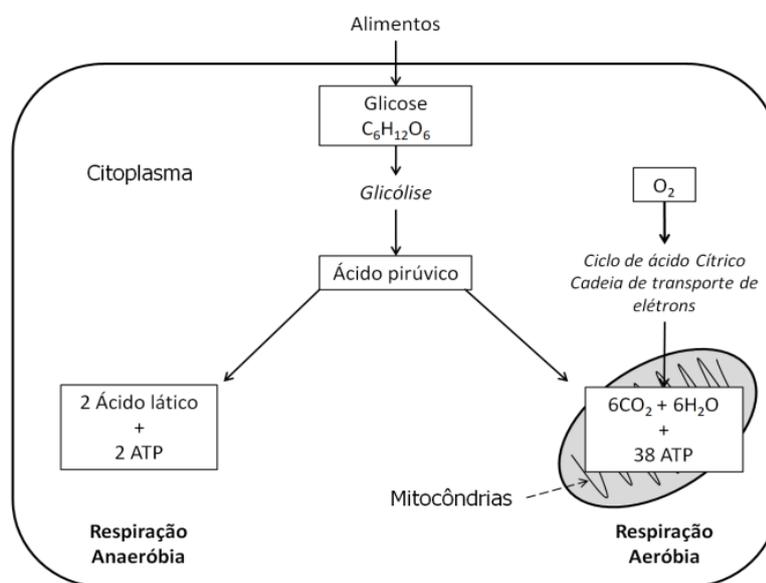


Figura 3: Metabolismo celular

Fonte: Seeley, Stephens, and Tate (2003)

Segundo Seeley et al. (2003), na respiração aeróbia as moléculas de [ácido pirúvico](#), através de um conjunto de reações químicas que ocorrem nas mitocôndrias denominado ciclo de Krebs, e de cadeias de transporte de elétrons, são convertidas em moléculas de dióxido de carbono e água, produzindo até 38 moléculas de ATP. Essas quantidades de ATP são imprescindíveis para manter as reações químicas que requerem energia necessárias à vida nas células humanas. Além disso, a última reação desse processo respiratório é a combinação do oxigênio com o hidrogênio para formar água, da qual mais de 70% do corpo humano é composto. Mas se esta reação não ocorrer, as reações imediatamente precedentes também não ocorrem. Por esta razão, sem oxigênio a respiração aeróbia é inibida e as células não produzem o ATP suficiente para sustentar a vida.

De certa forma, isso responde algumas questões de estudiosos do século XVII anteriormente citados como Stahl, Boyle e Mayow. Durante a respiração aeróbia os átomos de carbono das moléculas dos alimentos também se separam uns dos outros para formar dióxido de carbono que é expirado pelos seres humanos e, portanto, é proveniente dos alimentos que ingerimos, explicando a origem da parte considerada tóxica do ar expirado identificada por Joseph Black em 1754.

Já na respiração anaeróbia, ocorre a conversão do [ácido pirúvico](#) em ácido láctico, e uma produção de duas moléculas de ATP por cada molécula de glicose. A respiração anaeróbica não produz tanto ATP quanto a respiração aeróbica, mas permite que as células funcionem durante curtos períodos de tempo, quando os níveis de oxigênio são demasiado baixos para que a respiração aeróbia forneça todo o ATP necessário. Durante o exercício físico intenso, por exemplo, depois de a respiração aeróbia ter consumido toda a reserva de oxigênio, a respiração anaeróbia pode fornecer ATP adicional

Um músculo-esquelético ou estriado é envolto por um conjunto conjuntivo externo, o epimísio, que mantém os feixes de fibras musculares unidos. Esses feixes são denominados fascículos. As fibras musculares são células musculares individuais, mas diferentemente de outras células corporais que possuem apenas um núcleo, as fibras são multinucleadas. As maiores fibras do corpo humano possuem cerca de 12 centímetros de comprimento, o que corresponde a cerca de 500 mil sarcômeros que é a unidade funcional básica da miofibrila e a unidade contrátil básica do músculo.

As miofibrilas são compostas por pequenos filamentos de proteínas: os mais finos são compostos de actina e os mais grossos de miosina. Pela inervação das fibras musculares com motoneurônios alfa, mediante a interação com íons cálcio Ca^{2+} , as estruturas alternadas de miosina e actina deslizam entre si, provocando contração ou extensão muscular (Kenney, Wilmore, e Costill, 2013). Assim energia armazenada quimicamente no ATP é liberada nas mitocôndrias dos músculos; permite o trabalho contrátil muscular que gera energia cinética (mecânica).

Mas a contração muscular não acontece sem a energia do ATP. A miosina age como enzima, provocando a quebra do ATP em ADP (difosfato de adenosina) e Pi, liberando a energia exigida para proporcionar contração. Da mesma forma que a contração, o processo de relaxamento muscular também depende de energia fornecida pelo ATP. Quando a contração muscular não está ocorrendo, somente pequena quantidade de ATP é, normalmente, degradada pelos músculos, mas esse uso do ATP pode aumentar por, pelo menos, 150 vezes a do nível de repouso, durante curtas explosões de contração máxima (GUYTON e HALL, 2011).

No entanto, a maioria das demandas de energia consome rapidamente o pequeno fornecimento de ATP disponível; sendo necessário reabastecer o suprimento de ATP constantemente. O fosfato de creatina, também chamado de fosfocreatina (PCr), consegue isso transferindo uma molécula de fosfato para o difosfato de adenosina, ADP. No entanto, esta reação também requer energia. Portanto, o ciclo de conversão de ATP em ADP (liberando energia) e depois a reconversão de ADP em ATP (que requer energia) é anaeróbico, conforme Kroemer, Kroemer, e Kroemer-Elbert, (2010), podendo-se representar tais processos assim, conforme a Equação (2) e a Equação (3):



A conversão ATP-ADP-ATP é imediata, mas não é totalmente eficiente porque a quantidade de energia adquirida durante a quebra é menor do que a energia necessária para reconstruir ATP a partir de ADP. Como a ATP fornece energia rapidamente por apenas alguns segundos, a ressíntese do ADP é

necessária para uma operação contínua. Por essa eficiência, não perfeita, o corpo necessita de alimentação e descanso para compensá-la.

De modo geral, considerando os processos aqui descritos e as limitações aqui postas, pode-se ilustrar, numa abordagem sistêmica, o fluxo energético no corpo humano desde a ingestão até a execução de trabalho ou transmissão de calor, conforme a Figura 4:

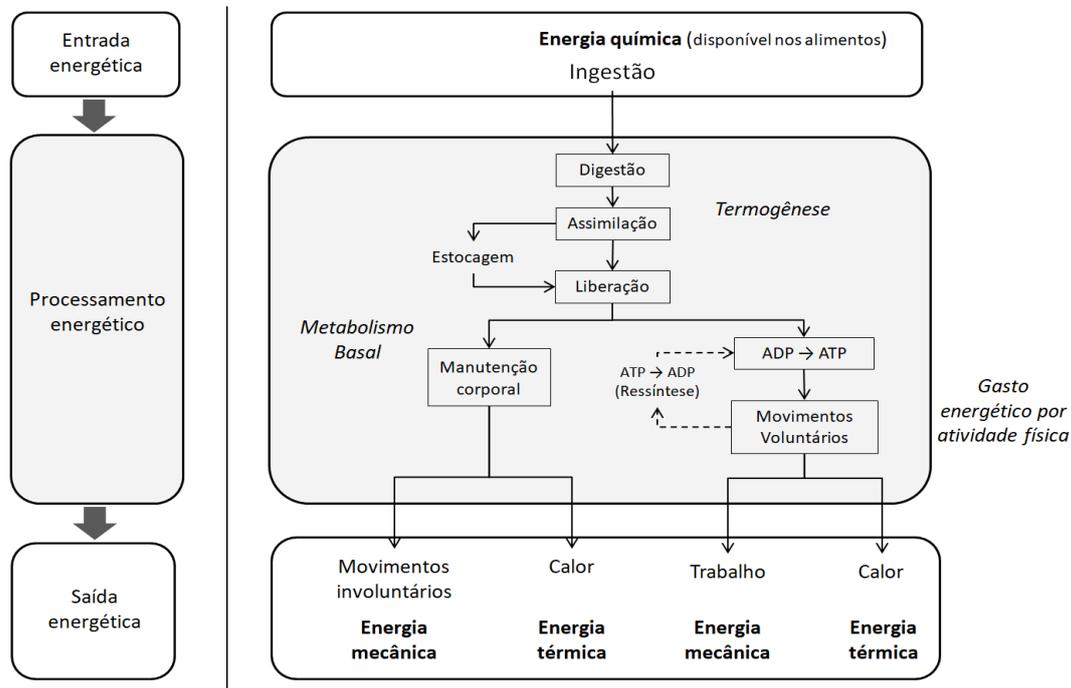


Figura 4: Fluxo energético no corpo humano desde a ingestão até a transmissão de calor e execução de movimentos numa abordagem sistêmica

Fonte: Baseado em Kroemer, Kroemer, and Kroemer-Elbert (2010)

Do processo de transformação energética no corpo resulta calor e energia mecânica manifestada pelos movimentos corporais. A maioria dos métodos de medição de gasto energético é baseado nessas duas formas de energia. Além disso, há também outros métodos de determinação, tais como a análise por observação direta, recurso a registro visual (filmagens ou fotografias), auto declaração de tarefas, que recorrendo ao uso de tabelas podemos estimar os valores de energia. Os métodos de determinação de gasto energético são objeto do próximo tópico.

C.METODOLOGIAS DE DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO

Os estudos de campo sobre a atividade física generalizaram-se no início do século XX quando fisiologistas aplicados, tais como John Scott Haldane, Joseph Barcroft, August Krogh e Johannes Lindhard usaram dispositivos para medição do consumo de oxigénio em operários (SHEPHARD e AOYAGI, 2012).

Os vários métodos de medição de gasto energético, assim como tantas outras tecnologias, evoluíram sendo impulsionados e influenciados pelas evoluções tecnológicas do século XX, das quais se pode enfatizar as promovidas pelas grandes guerras mundiais e pelo subsequente desenvolvimento das tecnologias e processos industriais.

Para avaliar quantitativamente atividades físicas podem usar-se várias técnicas, tais como: questionários retrospectivos, diários de atividade, medidas fisiológicas por meio de instrumentação mecânica, eletrónica e química, entre outros. Embora estes métodos meçam algum componente do movimento ou alterações de parâmetros fisiológicos mediante atividades físicas, a maioria produz dados que podem ser convertidos em valores de gasto diário total de energia ou gasto de energia relacionados com a atividade física em questão (LEENDERS, SHERMAN, e NAGARAJA, 2006).

Métodos simples de avaliação da energia humana gasta em atividade foram elaborados e utilizados com frequência no início do século XX, diante da expansão dos estudos de tempos e movimentos aplicados, principalmente, em estudos com operários, trabalhadores em geral e militares. Dentre esses métodos pode-se destacar a observação direta baseada em roteiros de observação e/ou agregada à cronometragem e consequente cronoanálise; a auto-reportação ou auto-declaração onde o executor das atividades declara que atividades realizou e por quanto tempo as fez; a filmagem, cuja análise era procedida imagem por imagem; e o uso de questionários e diários para registro das atividades pela própria pessoa analisada ou por terceiro (SHEPHARD e AOYAGI 2012).

Segundo Parsons (2014), alguns outros métodos para medição e estimativa de gasto energético podem ser elencados, os quais são apresentados a seguir.

Percepção de esforço e outros métodos subjetivos

Uma estimativa da taxa metabólica pode ser alcançada solicitando-se aos indivíduos uma avaliação do seu nível de esforço. Com efeito, isso é semelhante a solicitar aos indivíduos que usam tabelas de taxa metabólica de acordo com sua percepção de esforço. Uma das escalas mais conhecidas, segundo Parsons (2014), é a escala de percepção subjetiva de esforço de Borg. Estes valores de pontuação podem ser relacionados com estimativas da taxa metabólica, combinando classificações subjetivas com descrições gerais em tabelas, a exemplo das apresentadas na ISO 8996. Os métodos subjetivos oferecem um grande potencial de uso pela sua facilidade de administração. Contudo, eles devem ser cuidadosamente desenvolvidos e ajustados de acordo com a população a que se aplicam, pois, aspetos como preparação física e a disposição dos sujeitos em colaborar com o estudo serão importantes pois influenciam os resultados finais.

Uso de tabelas

Muitas vezes, na prática, os métodos ou estimativas de produção de calor metabólico por [calorimetria direta](#) ou [indireta](#) são inconvenientes ou inadequados. Nestes casos, não é raro obter uma estimativa pela consulta a tabelas com valores correspondentes a determinadas atividades ou de alguma atividade aproximadamente semelhante àquela em análise. Entretanto, deve referir-se que várias especificidades da atividade em questão podem não ser contempladas.

Estimativa de atividades básicas

Este método envolve uma estimativa da taxa metabólica partindo de uma descrição de componentes de tarefas que envolvem profissões e ocupações específicas a partir de valores disponíveis em tabelas.

Método da soma

Este método sugere a obtenção de valores referentes à produção de calor metabólico pela soma da estimativa de componentes separados. Os componentes envolvidos geralmente são a taxa metabólica basal, a taxa metabólica estimada devido à postura, a taxa metabólica estimada devido ao tipo de trabalho, e a taxa metabólica estimada devido ao movimento do corpo inteiro durante a execução de uma atividade.

Combinação de atividades

Em todas as pessoas a taxa metabólica irá variar com o tempo devido a uma alteração na atividade. Através de termorregulação o corpo mantém um equilíbrio dinâmico com o ambiente térmico. Em alguns trabalhos industriais, por exemplo, a taxa metabólica pode variar amplamente variando de descanso para trabalhos pesados. Qualquer estimativa da taxa metabólica será um valor médio ao longo de um tempo de interesse. Um método de integração de valores da taxa metabólica num único valor representativo, recomendado pela ISO 8996, é considerar as médias ponderadas dos valores representantes de cada atividade sobre o tempo.

Método da frequência cardíaca

Pode considerar-se que a frequência cardíaca pode ser função de vários fatores de ordens diversas, tais como estado físico de repouso ou atividade, aspetos e estado psicológico, fatores térmicos, dentre outros. Para além disso, segundo Parsons (2014), com valores a variar entre cerca de 120 e 160 batimentos por minuto (bpm) pode haver uma relação linear entre a taxa metabólica e o aumento na frequência cardíaca. A partir dessa relação é possível estimar gasto energético de acordo com a variação da frequência cardíaca durante a execução de uma atividade.

Água duplamente marcada

Este método consiste na ingestão de água com o isótopo $2\text{H}_2\ 18\text{O}$ pelo indivíduo e a comparação com taxas de concentração de seus componentes geralmente na urina. O deutério 2H é eliminado como água, enquanto o 18O é eliminado como água e gás carbônico. Assim, a diferença entre tais taxas de eliminação, corrigidas pelo conjunto de água corporal, corresponderia à produção de gás carbônico, que, por equações de [calorimetria indireta](#), é convertida em gasto energético total.

Calorimetria indireta

Consiste na estimativa da taxa metabólica pela medição da quantidade de oxigénio utilizado para execução de determinada atividade. Mede-se o ar inspirado e expirado durante a execução de atividades

específicas e, através da análise de parâmetros desse ar em conjunto com informações sobre os valores calóricos fornecidos ao corpo através da alimentação, estima-se a energia consumida. Conhecendo-se a razão entre volume de CO₂ expelido e o volume de O₂ consumido, é possível calcular a Energia Equivalente - EEq a partir das diretrizes da norma ISO 8996. Uma das vantagens que a [calorimetria indireta](#) tem sobre [calorimetria direta](#) é que algumas etapas do processamento alimentar do organismo podem ser estudadas in vivo.

Calorimetria direta

Uma das formas de medição da produção de calor metabólico é a medição direta do calor produzido por uma pessoa em um calorímetro de corpo inteiro. Isso geralmente é medido usando-se uma câmara controlada onde se mede o gasto de energia utilizando-se a diferença entre taxa à qual o calor é perdido a partir do corpo para o ambiente e os valores calóricos adquiridos através da alimentação. O método apresenta resultados fiáveis, mas não é um método suficientemente prático fora do ambiente laboratorial. Para uma estimativa de produção de calor metabólico, de forma aplicada, são necessários métodos mais práticos.

Modelos empíricos

Alguns modelos são desenvolvidos com base em estudos empíricos de [calorimetria indireta](#) e técnicas de regressão envolvendo componentes de uma tarefa ou características de um grupo específico. Assim, é possível inferir o gasto energético pela aplicação de equações modeladas para tais atividades ou pessoas, nas condições específicas da experiência, mediante combinação dos resultados do comportamento das variáveis analisadas. Como exemplo, pode citar-se os resultados da busca de Madden, Mulrooney e Shah (2016) por equações de predição, restringindo-se àquelas utilizadas para gasto energético em repouso de adultos em sobrepeso e obesos, somando 28 equações ou grupos de equações.

Muitos modelos de regressão tem sido desenvolvidos com actigrafia para medição de gasto energético em situações de esforços leves ou moderados, mas segundo Rawson e Walsh (2009), pouco se tem sobre exercícios de resistência.

Além disso, é possível encontrar equações e outros métodos de cálculo do gasto energético num documento de referência que é a norma Internacional ISO 8996:2004. Na norma internacional que trata especificamente da determinação da taxa metabólica no contexto do conforto térmico ambiental, considera-se a eficiência mecânica do trabalho muscular ou trabalho útil como sendo muito baixo, em alguns casos quase nula. Partindo disso, para os fins desta norma, a taxa metabólica é assumida como sendo igual à taxa de produção de calor.

No próximo tópico apresenta-se uma síntese sobre normas do sistema ISO que mencionam ou tem relação com a determinação da taxa metabólica relacionadas a situações ocupacionais ou ambientes.

D. NORMATIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO

No intuito de promover produtos e serviços seguros, confiáveis e de qualidade, atendendo a demandas de mercado, desde 1946, a *International Organization of Standardization* - ISO elabora e publica normas internacionais de padronização (ISO, 2019). Apesar da lógica predominantemente mercadológica da razão de existir da ISO de “reduzir custos minimizando desperdícios e erros e aumentando a produtividade” (ISO, 2019), várias normas relacionadas ao trabalho humano foram propostas pela organização, principalmente relacionadas à segurança ocupacional.

Apesar da norma ISO 8669:2004 tratar especificamente da determinação da taxa metabólica, outras normas do sistema ISO mencionam gasto energético ou taxa metabólica em outros contextos. Elas estão relacionadas, por exemplo, ao *design* do ambiente construído, ergonomia do ambiente físico, ergonomia do ambiente térmico, equipamentos de proteção respiratória, aspectos do trabalho de combatentes ao fogo, posturas estáticas de trabalho, transporte manual de cargas, dentre outros temas. Apresenta-se algumas dessas normas na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Normas ISO que mencionam gasto energético ou taxa metabólica por número, título e tema.

Norma ISO	Título da Norma	Tema da Norma
11855:2012	Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems	Design do Ambiente construído
28802:2012	Ergonomics of the physical environment — Assessment of environments by means of an environmental survey involving physical measurements of the environment and subjective responses of people	Ergonomia do ambiente físico
28803:2012	Ergonomics of the physical environment — Application of International Standards to people with special requirements	Ergonomia do ambiente físico
7243:1989	Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)	Ambientes quentes de trabalho
7730:2005	Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria	Ergonomia do ambiente térmico
7933:2004	Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain	Ergonomia do ambiente térmico
8996:2004	Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate	Ergonomia do ambiente térmico
9920:2007	Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble	Ergonomia do ambiente térmico
11079:2007	Ergonomics of the thermal environment — Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects	Ergonomia do ambiente térmico
15743:2008	Ergonomics of the thermal environment — Cold workplaces — Risk assessment and management	Ergonomia do ambiente térmico
12894:2001	Ergonomics of the thermal environment — Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments	Ergonomia do ambiente térmico
TS 14505:2007	Ergonomics of the thermal environment — Evaluation of thermal environments in vehicles	Ergonomia do ambiente térmico

continuação

Norma ISO	Título da Norma	Tema da Norma
15265:2004	Ergonomics of the thermal environment — Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions	Ergonomia do ambiente térmico
9886:2004	Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements	Estresse térmico e mensuração fisiológica
DIS 18639	PPE for firefighters undertaking specific rescue activities	Combatentes de fogo
DIS 18640	Protective clothing for firefighters — Physiological impact	Roupas de proteção de combatentes de fogo
TS 16976	Respiratory protective devices — Human factors	Dispositivos de proteção respiratória
ISO 13073:2016	Ships and marine technology — Risk assessment on anti-fouling systems on ships	Tecnologia marinha
ISO/DIS 16157	Space systems — Human-life activity support systems and equipment integration in space flight — Techno-medical requirements for space vehicle human habitation environments	Sistemas espaciais
ISO 11226	Evaluation of static working postures	Posturas estáticas de trabalho
ISO 11228	International Standards on manual handling	Transporte manual de cargas

TS = Technical Specification; DIS = Draft International Standard

Fonte: ISO (2018)

Apesar da existência de várias normas, a ISO 8996:2004 é provavelmente a norma mais relevante para o contexto desse trabalho uma vez que trata, especificamente, a mensuração da taxa metabólica e é a partir dela que é feito o recorte normativo de fundamentação desse trabalho. A norma ISO 8996:2004 também especifica diferentes métodos para a determinação da taxa metabólica no contexto da ergonomia do ambiente de trabalho. Seguindo a mesma filosofia e abordagem apresentadas na norma ISO 15.265 sobre a avaliação da exposição em ambientes térmicos, os métodos para a determinação e medição da taxa de calor metabólico apresentados e hierarquizados na norma ISO 8996:2004 são estruturados em quatro níveis. Para cada nível, recomendam-se alguns dos métodos já apresentados no item C, conforme se ilustra a Tabela 3.

Tabela 3: Métodos de cálculo de gasto energético de acordo com o nível de abordagem

Nível	Método
1 - Triagem	Classificação por ocupação Classificação por tipo de atividade
2 - Observação	Somatório das taxas metabólicas (Basal + postural + atividade + movimentos) Consulta a tabelas por atividades
3 - Análise	Relação do consumo de oxigênio com a frequência cardíaca
4 - Expertise	Relação com consumo de oxigênio Água duplamente marcada Calorimetria direta

Fonte: Adaptado da norma ISO 8996:2004

Sendo um documento de referência, os métodos de medição de gasto energético indicados na norma ISO 8996:2004 apresentam inconveniências para certos casos, principalmente para os estudos de campo. Os métodos dos níveis de abordagem de observação e triagem estão sujeitos a variações grosseiras entre os valores das tabelas e os valores reais. Os valores estimados e tabelados são próprios para médias humanas, sendo, para homens com 30 anos de idade, 70 kg de massa corpórea, 1,75m de altura e área da superfície do corpo de 1,80 m²; enquanto para uma média de mulheres de 30 anos de idade, massa corpórea de 60 kg, 1,70m de altura e área da superfície do corpo de 1,6 m². É mencionado na norma a devida correção de valores para casos como os de crianças, idosos e pessoas com deficiências, mas sem especificar ou indicar como são feitas tais correções. Os erros para o uso de tabelas são grandes, sendo mencionado na norma a expectativa de margens variando entre 5% a 20%. Tais erros têm relação atribuída pela norma a variáveis como temperatura ambiente, altura das pessoas, peso e gênero. Para situações de calor e frio correções são necessárias e deve-se considerar também as vestes do indivíduo para correções.

Além disso, a própria norma prevê situações onde é necessário utilizar valores de médias ponderadas e interpolações quando se executa atividades com descanso combinadas com atividades intensas numa distribuição assimétrica. As interpolações também são necessárias em casos de aplicação dos valores de frequência cardíaca para determinação da taxa metabólica. A frequência cardíaca está sujeita a outros fatores além da atividade física, podendo facilmente fornecer resultados com viés. Outra limitação do método da norma baseado na frequência cardíaca são os limites mínimos de 50kg e 20 anos de idade, e máximos de 90 kg e 60 anos de idade, excluindo pessoas enquadradas na população laboral fora desse intervalo, ou seja, abaixo dos 50kg e dos 20 anos de idade ou acima de 90kg e dos 60 anos de idade.

Já os métodos propostos na abordagem de expertise são mais precisos, mas não são práticos nem muito adequados para estudos de campo, além de apresentarem custo elevado para determinadas situações. No caso do método de água duplamente marcada a norma apresenta apenas o princípio do método. O tempo de execução mínimo recomendado para mensuração em crianças é de 6 dias, para adultos normais de 12 a 14 dias, e para idosos a norma indica que pode ser um período maior, sem o especificar, nem o estimar. A norma também admite que, no caso do método de água duplamente marcada, o conceito é simples, mas há inúmeros detalhes complexos que o usuário necessita ter ciência. Entretanto, esses detalhes não são mencionados. No caso de [calorimetria direta](#) um dos principais inconvenientes é a dificuldade ou impossibilidade de portabilidade dos equipamentos para estudos de campo, além do alto custo.

Diante disso, mesmo não sendo mencionados na referida norma, os métodos de medição de gasto energético por actigrafia podem ser uma alternativa mais fiável e viável para tais condições, e apontam algumas vantagens práticas sobre os outros métodos.

A história mostra que a percepção sobre a energia humana varia de acordo com o tempo e lugar, e que isso somado às tecnologias disponíveis influencia a forma de mensurá-la. Também mostra que os estudos e as principais contribuições sobre o tema são provenientes de pessoas que atuaram e atuam em diversas áreas do conhecimento. Diante disso, acredita-se que na interface de áreas diferentes estão os novos desafios e as oportunidades de contribuição para inovação e geração de conhecimento atual relevante, considerando o conhecimento e as abordagens atualmente aceitas sobre qualquer tema, inclusive sobre a determinação de gasto energético humano em situações ocupacionais.

Apesar do conjunto de normas apresentarem tanto os métodos de determinação de gasto energético como a utilização dessas estimativas relacionadas a situações ocupacionais, estando a actigrafia ausente das normas, é relevante explorá-la melhor como alternativa para determinação do gasto energético, considerando o que já se faz e as potencialidades de uso em contextos ocupacionais.

PARTE 2. COMPONENTE TEÓRICA

O uso de actigrafia para determinação de gasto energético tem apontado para resultados aceitáveis e para uma melhor adequação, principalmente à estudos de campo. Perceber as principais características do uso de actigrafia para determinação de gasto energético foi objeto de estudo dos capítulos dessa componente.

Para identificar a viabilidade e propor um sistema com vistas ao uso em contexto ocupacional foi necessário explorar as principais práticas de actigrafia e determinação de gasto energético indicadas pela literatura, considerando dispositivos, variáveis, métodos de cálculo e modelação, observando pontos fortes e oportunidades de melhorias dessas práticas. Para tal, foram desenvolvidas revisões sistemáticas que são apresentadas nesses próximos capítulos.

1 INTRODUÇÃO

Ao iniciar esta pesquisa foi necessário buscar por informações básicas sobre o uso da actigrafia para determinação do gasto energético. Partindo desse ponto, surgiram demandas de conhecimento, tais como: identificar quais as melhores práticas de actigrafia para determinação de gasto energético, identificar os tipos de actígrafos utilizados nos estudos científicos, as principais situações de aplicação prática de actigrafia para determinação de gasto energético, dentre outras.

A partir daí, sentiu-se a necessidade de aprofundar tal busca por temas mais específicos, tais como os métodos de cálculo do gasto energético a partir dos resultados de actigrafia, e quais desses métodos seriam mais adequados para situações ocupacionais.

Para isso, utilizou-se de revisão sistemática em três etapas específicas que progrediram de acordo com essa evolução da trajetória de busca de informações e conhecimento. A primeira fase se deu por uma busca exploratória com o objetivo de ter uma visão panorâmica sobre o uso de actigrafia para determinação de gasto energético. Para isso foi feita a primeira etapa da revisão sistemática.

Com base nos resultados dessa primeira fase, identificou-se que uma das principais formas de cálculo de gasto energético por actigrafia são as equações específicas. Nessa fase levantou-se a hipótese de que seria possível avaliar as equações utilizadas e propor alguma contribuição a partir desse contexto, fosse com uma nova modelação ou pela compilação de equações já existentes através de técnicas de decisão que elessem equações mais adequadas para situações específicas. Nessa etapa desenvolveu-se a segunda etapa da revisão sistemática abarcando a temática das equações de estimativa de gasto energético.

Entretanto, os estudos apontaram que no decorrer dos últimos anos a proposição de equações diminuiu e surgiram gradativamente proposições de regressão utilizando-se de técnicas de aprendizagem de máquina, com maior ênfase no número de proposições que utilizaram técnicas de redes neurais artificiais. Nessa fase foi desenvolvida a terceira etapa da revisão sistemática, abordando o uso de redes neurais para determinação de gasto energético.

Esse segundo bloco da tese apresenta as três revisões que representam a trajetória da evolução dessas buscas e da elaboração da hipótese principal da pesquisa.

A seguir são apresentados os objetivos e hipótese específicos do bloco, o capítulo 2 com um panorama geral sobre o uso de actigrafia para determinação de gasto energético, o capítulo 3 com uma revisão sobre equações de estimativa de gasto energético, o capítulo 4 sobre o uso de redes neurais para estimativa de gasto energético e o capítulo 5 com as principais conclusões do bloco.

1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE DA COMPONENTE TEÓRICA

Objetivo geral da componente teórica

Obter um panorama do uso de actigrafia para determinação de gasto energético humano em contexto ocupacional.

Objetivos específicos da componente teórica

- Identificar as melhores práticas para avaliar o gasto energético do ser humano apontadas pela literatura, com o recurso às técnicas de actigrafia;
- Identificar os principais dispositivos de actigrafia utilizados nos estudos apresentados na literatura e suas respectivas regras de utilização;
- Identificar as principais variáveis utilizadas nos métodos de cálculo;
- Identificar e analisar os principais métodos de cálculo utilizados para determinação de gasto energético com possibilidade de aplicação em contexto ocupacional.

Hipótese da componente Teórica

O uso de actigrafia é uma alternativa viável para estimativa do gasto energético em situações ocupacionais.

1.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

As revisões sistemáticas aqui apresentadas foram elaboradas com inspiração no protocolo apresentado por Lucena et al. (2018), de acordo com os seguintes passos: identificação de estudos, triagem, elegibilidade (inclusão / exclusão), extração de dados, análise e apresentação de resultados.

Para as três revisões foram utilizadas combinações de termos-chave diferentes. As bases de dados eletrônicas acessadas foram as mesmas para as três revisões, sendo elas: Academic Search Complete, Scopus, Science Direct, Web of Science, PubMed, e Informaworld by Francis & Taylor. Mas antes de escolhê-las foram testadas outras bases de dados e periódicos disponíveis no sistema de bibliotecas da FEUP. Entretanto, essas são as que fornecem resultados relevantes. A maior parte das bases de dados ignoradas forneceu resultado nulo para as buscas.

Os termos-chave utilizados por revisão estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Termos-chave utilizados nas revisões sistemáticas

Revisão	Termos-chave
1 Capítulo 2: Um panorama sobre gasto energético e actigrafia	“Energy Expenditure” + “Actigraphy”
2 Capítulo 3: Equações de gasto energético	“Energy Expenditure” + “Equation”
3 Capítulo 4: Gasto energético por redes neurais artificiais	“Energy Expenditure” + “Artificial Neural Network”

Não houve restrição de data de publicação para nenhuma das três revisões. Entretanto, utilizou-se filtros para as bases de dados em cada uma delas no intuito de diminuir o número de referências que não se enquadravam nos critérios de elegibilidade bem como os resultados nulos.

Na primeira revisão, a que gerou um panorama sobre a estimativa de gasto energético por actigrafia, para a busca na Scopus e na Science Direct utilizou-se o filtro “Title, Abstract and keywords”, e para a PubMed aplicou-se o filtro “Title and Abstract”.

Na segunda revisão, sobre equações de gasto energético, utilizou-se o filtro “Title” em todas as bases de dados.

Na terceira revisão, tratando sobre gasto energético por redes neurais artificiais, para as plataformas Scopus e Science Direct utilizou-se o filtro “Title, Abstract and Keywords”. Na base de dados PubMed utilizou-se o filtro “Title and Abstract”. Nas demais não se utilizou filtro de busca.

Apesar de cada revisão ter critérios específicos de triagem, todos os estudos encontrados foram triados considerando os critérios comuns de serem artigos cujos idiomas de escrita sejam restritos a Inglês, Português, Espanhol e Francês.

Foram excluídas as referências e artigos que eram protocolos de estudo, editoriais, capítulos de livros, artigos de opinião, resumos, comunicações de congressos e conferências; artigos cujos textos estavam indisponíveis, artigos sobre determinação de gasto energético de animais, artigos sobre determinação de gasto de energia elétrica, artigos com populações abaixo de 18 anos de idade, ou seja, crianças e adolescentes, e artigos com populações acima de 65 anos de idade. Também foram excluídos estudos sobre comportamentos e hábitos durante o sono; e estudos com populações doentes, ou em condições especiais, tais como obesos e gestantes.

As especificidades metodológicas de cada revisão são apresentadas em cada capítulo respetivo.

2 UM PANORAMA SOBRE GASTO ENERGÉTICO E ACTIGRAFIA

2.1 INTRODUÇÃO

Os estudos com uso de actigrafia para estimativa de gasto energético tem se desenvolvido desde a década de 1980 e tem sido aperfeiçoados com as possibilidades que as tecnologias tem oferecido nos tempos atuais. Mas a utilização da actigrafia em contexto ocupacional apresenta-se como uma alternativa a ser explorada.

Segundo Pinder, Mokhtar, e Byrne (2014), os acelerômetros ganharam considerável popularidade nos últimos anos como uma abordagem objetiva para medir a atividade física diária e representam uma melhoria substancial em relação às metodologias de autorrelato. A acelerometria permite uma estimativa da intensidade e duração do movimento, e a relação entre as [contagens](#) do acelerômetro e o gasto energético permite a classificação da atividade por intensidade. Possíveis vantagens do actígrafo em detrimento de outras técnicas podem ser a praticidade e a não invasividade, oferecendo um mínimo de desconforto, e a possibilidade de estimativa do gasto de atividades sedentárias.

O objetivo dessa revisão é obter um panorama geral sobre determinação de gasto energético por actigrafia com pessoas saudáveis, sem outras restrições e em idade laboral. Como objetivo secundário buscou-se identificar as principais práticas de actigrafia para este fim considerando os principais dispositivos utilizados, as principais variáveis consideradas nos estudos, e outros aspectos que se mostraram relevantes.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS

Foram encontradas 413 referências com a inserção dos termos-chave nas bases de dados e periódicos. Destas, foram excluídas 119 referências duplicadas e 42 que não eram artigos completos de periódicos científicos, sendo resumos, artigos de opinião, suplementos, comunicações de conferências, cartas a editores ou protocolos de revisão.

Dos 252 artigos restantes, foram excluídos 61 artigos que tratam de estudos do sono; 56 artigos sobre populações doentes, incapacitadas ou com outros tipos de restrições; 45 artigos sobre populações fora da faixa etária laboral de 18 a 65 anos de idade; 15 artigos sobre obesidade e/ou outros problemas de peso; 4 estudos com animais; 2 artigos com gestantes; e 12 artigos por outros motivos dentre os quais citamos estudo de marcha, esportes, trabalhos com metodologia inconsistente, ou fora do tema objetivado pela busca. Dos 54 artigos considerados à inclusão ainda 6 não mencionaram o uso de actígrafos, sendo excluídos. Assim, foram analisados um total de 48 artigos cujas referências estão apresentadas no Apêndice A.

O fluxo da busca sistemática de artigos está representada na Figura 5

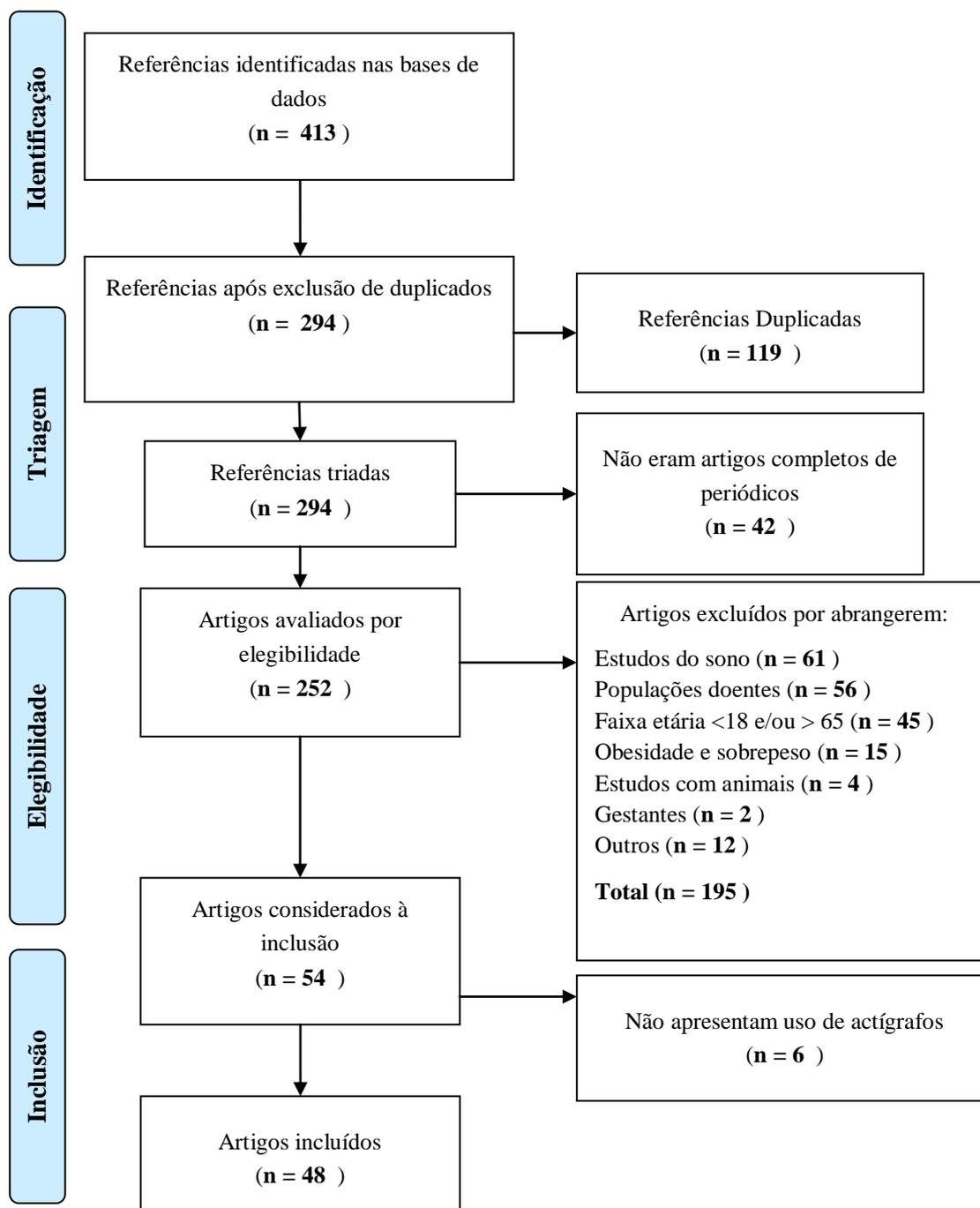


Figura 5: Fluxo da busca de artigos sobre determinação de gasto energético e actigrafia

A seguir apresentam-se os principais resultados provenientes da análise dos artigos incluídos.

2.3 RESULTADOS

Os autores dos artigos estão vinculados a instituições de vários países. Destacam-se os estudos de instituições dos Estados Unidos com 38 artigos, Austrália com 5, Inglaterra com 4, Espanha e França com 3 referências cada, Dinamarca, China e Noruega com 2 cada; Portugal, Itália, Polónia, Turquia, Holanda, Brasil, Canadá e Bélgica, com 1 referência cada. Dos 49 artigos 8 são de parcerias de pesquisadores de nações diferentes.

Foram incluídos na análise 48 artigos distribuídos por ano de publicação, conforme ilustra a Figura 6:

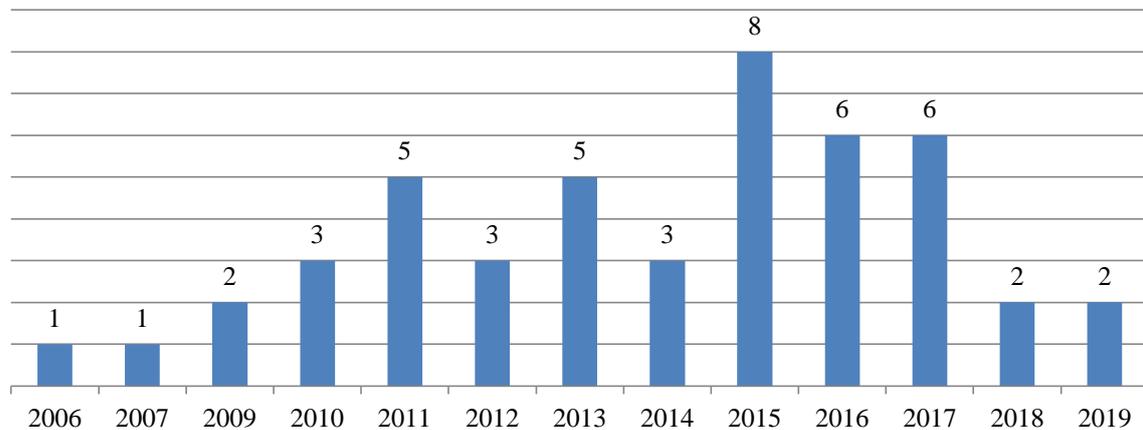


Figura 6: Distribuição dos artigos inseridos por ano de publicação

Buscou-se identificar os temas abordados nos artigos. Antes de comentá-los, vale ressaltar que dentre os 195 artigos eliminados, algumas informações relevantes puderam ser colhidas sobre o uso de actigrafia, tais como o uso em estudos de distúrbios do sono, obesidade, problemas respiratórios, alterações de ciclo circadiano, hiperatividade infantil; níveis de atividade e aspectos epidemiológicos, principalmente entre população de crianças e adolescentes; mobilidade e comportamento motor de populações doentes, dentre outros.

É possível categorizar os artigos incluídos, de forma geral entre os que trataram sobre dispositivos (69% dos artigos) e os que abordaram os métodos de cálculo de gasto energético (31% dos artigos). Os artigos sobre dispositivos também tratam de temas específicos, tais como proposição, avaliação e validação de dispositivos; comparação entre dispositivos, comparação de resultados de actigrafia com os obtidos por outros métodos de medição; e relatos de uso aplicado de actígrafos para estimativa de gasto energético, inclusive com trabalhadores. Os artigos que versam sobre métodos de cálculo de gasto energético tratam sobre modelação, proposição, avaliação, comparação e validação de métodos de cálculo.

Foram identificados 22 dispositivos de actigrafia. Destes, 10 dispositivos são comerciais de uso pessoal; 3 são acelerômetros comerciais programáveis e os outros 9 são reconhecidamente actígrafos, ou seja, dispositivos com acelerômetros podendo ter outros sensores integrados que permitam uma monitoração de movimentos de pessoas com mais informações. Os actígrafos encontrados são o ActivPal, Actiheart, Actical, Actigraph, RT3, Sensewear Armband, Tritrac. Os acelerômetros usados nos artigos

são o triaxial 3DNX modelo v3; o eZ430- Chronos e o ADXL330. Os monitores pessoais de atividade encontrados são o ActiWatch, Fitbit Flex, Fitbit UP, Fitbit, Shine, Nike Fuelband, Withings pulse, MicroMotionlogger, Basis Watch e o Polar FT7. A seguir, apresenta-se a distribuição quantitativa e características dos principais dispositivos encontrados na revisão, respectivamente na Figura 7 e na Tabela 5, excusando-se da inserção os dispositivos pessoais comerciais e os acelerômetros avulsos.

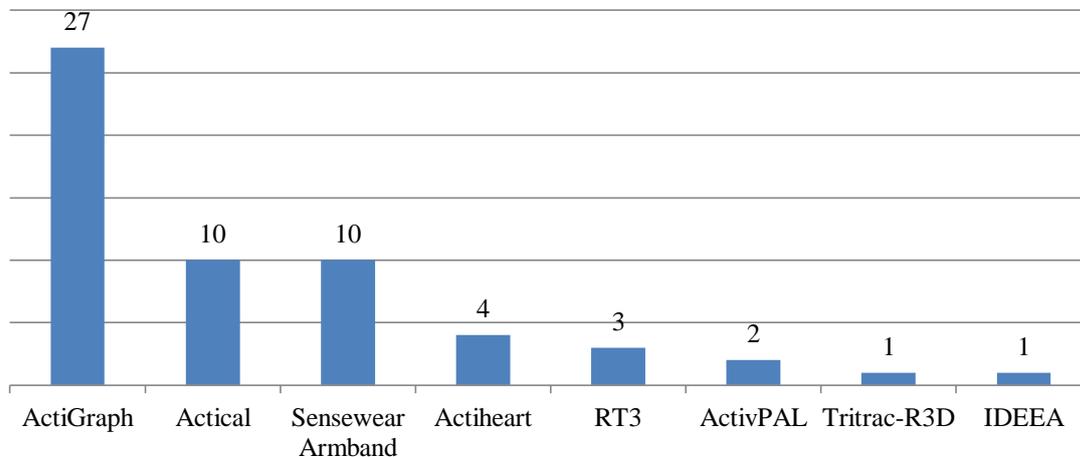


Figura 7: Dispositivos mais utilizados no conjunto dos artigos analisados

Tabela 5: Principais dispositivos identificados nos artigos e características

Dispositivo	Dimensões	Peso	Amostragem	Bateria	Memória	Posição	Restrições
ActiGraph	4.6cm x 3.3cm x 1.5cm	19g	30-100 Hertz	até 25 dias	4GB / 180 dias	Pulso, cintura, tornozelo, coxa	1,30 m sob água
Actical	29 mm x 37 mm x 11 mm	16g	32 Hz	até 12 dias	32MB	Pulso, cintura, tornozelo	5 a 40°C, 15% a 95% umidade relativa
Sensewear Armband	55mm x 62mm x 13mm	45,4g	NC	até 4 dias	14 dias	Braço	5 a 40°C, 5% a 95% umidade relativa
Actiheart	39.7 x 30.3 x 9.25mm	NC	25 Hz - 100 Hz	até 8 dias	1GB	Esterno e na lateral do tórax	Tem mas não apresenta valores
RT3	7,1 x 5,6 x 2,8 cm	65,2g	NC	Usa 2 baterias AAA	21 dias	Cintura	N.C.
ActivPAL	3,5 x 5,3 x 7 cm	15g	20 Hz	NC	NC	Coxa	N.C.

NC = Não consta

É importante ressaltar que aqui estão somados os vários modelos e/ou versões de cada dispositivo, uma vez que alguns modelos ou versões já não são mais produzidos nem comercializados, indisponibilizando dados sobre eles bem como uma estratificação por modelo ou versão de cada actígrafo.

Dos 48 artigos analisados, 33 (67%) fizeram comparação dos resultados dos actígrafos com outros métodos de referência. Destes, para calcular o gasto energético, em 25 artigos foi utilizada [calorimetria indireta](#), em 6 comparou-se com água duplamente marcada e em 1 artigo utilizou-se ambos. A distribuição desses artigos de acordo com tais métodos está representada na Figura 8:

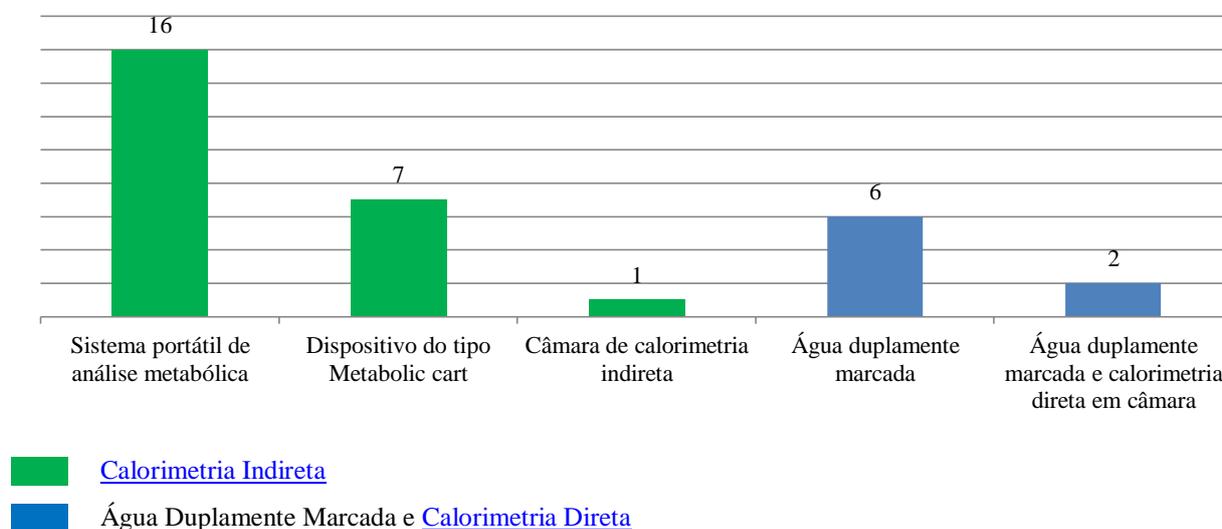


Figura 8: Distribuição dos artigos de acordo com os métodos de comparação de referência

Dos artigos onde foram utilizados dispositivos portáteis de análise metabólica, 11 utilizaram o K4b2 da Cosmed e 5 usaram o Oxycon Mobile da Vyaire.

As amostras dos estudos analisados variam de 4 a 1347 pessoas, de acordo com os objetivos, protocolos e possivelmente dos recursos disponíveis. Entretanto, a mediana desse conjunto de amostras é 30,5; tendo a maioria dos artigos utilizado amostras com valores próximos a esse.

De forma geral, os estudos foram executados em laboratório (24 artigos); em vida livre (9 artigos), em campo (8 artigos), sendo alguns experimentais e outros análises de situações reais; parte em vida livre e parte em laboratório (3 artigos); e em situações de vida livre em ambientes controlados (3 artigos).

Foram identificadas 16 variáveis incluídas nos estudos: peso, altura, índice de massa corpórea (IMC), idade, sexo, etnia, massa de gordura, massa livre de gordura, [contagens](#) dos actígrafos, frequência cardíaca, quantidade de passos, temperatura interna, [vetor magnitude](#) das [contagens](#), média dos dados brutos de aceleração, variância dos dados brutos de aceleração, e algumas outras características do sinal de aceleração. Entretanto, as mais utilizadas são as [contagens](#) dos actígrafos, peso, altura, idade, sexo, índice de massa corpórea e frequência cardíaca.

As [contagens](#) dos actígrafos são um artifício encontrado para evitar a integração da aceleração. Uma vez que os actígrafos utilizam filtros de sinal para mitigar os ruídos no sinal dos movimentos, não seria possível obter a velocidade diretamente pela integração matemática da aceleração no tempo. Assim,

toda atividade que faz com que o sinal de aceleração ultrapasse o limite considerado ruído é “contada” como atividade. Qualquer sinal abaixo desse limite é desprezado como ruído (ACTIGRAPH, 2019).

2.4 DISCUSSÃO

Os artigos analisados mostraram que há estudos de validação, tanto de dispositivos como de métodos de cálculo. Os estudos de validação de dispositivos buscam mostrar o desempenho, a fiabilidade e precisão dos mesmos, na maioria das vezes comparando com [calorimetria indireta](#), seja por análise do ar inspirado e expirado com dispositivos portáteis ou por *metabolic carts*, ou com auxílio de câmaras; ou por [calorimetria direta](#). Também há estudos de calibração de alguns dispositivos para avaliação em circunstâncias ou situações específicas, como populações específicas (Lee and Tse 2019), diferentes temperaturas ambientais (Van Hoye, Boen, and Lefevre 2015), tipos de atividades específicas (Nelson et al. 2016), a exemplo do teste de esforço máximo; do treinamento de resistência (Benito et al. 2012), de exercícios de resistência (Reeve, Pumpa, and Ball 2014) e (Rawson and Walsh 2009), entre outros.

Alguns fabricantes tem tentado implementar melhorias e corrigir seus actígrafos em cada nova edição dos dispositivos para mitigar as necessidades de calibração e ajustes. Entretanto, as demandas de uso também se modificam com o tempo exigindo a flexibilidade do ajuste nos *software* de análise de dados dos actígrafos.

Em relação ao uso de actígrafos com trabalhadores, foram encontrados estudos com classes de trabalhadores específicas que requerem atenção em relação à exposição ao calor, tais como bombeiros combatentes de fogo (Yasuda and Ruby 2017; Chappel et al. 2016; Cuddy et al. 2007); e trabalhadores agrícolas expostos ao calor, como mostram Mac et al., (2017). Pode ser a indicação para novos estudos ocupacionais, pois há muitas outras ocupações com riscos pela exposição ao calor que merecem atenção de estudos nesse sentido. O estudo de Mac et al., (2017) também ressalta as dificuldades de se analisar algumas situações reais de trabalho pela própria natureza desses trabalhos, sendo a actigrafia uma alternativa emergente para tais casos.

Mas também há estudos em situações aparentemente menos insalubres, como o de Can et al. (2016), com mulheres que trabalhavam em escritórios; e trabalhos que usam a actigrafia para obtenção do cálculo energético ou para avaliação do comportamento corpóreo do indivíduo, mas que o têm como um parâmetro secundário do estudo. Exemplo disso é o estudo da adaptação circadiana de trabalhadores (Hansen, Geving, e Reinertsen, 2010); e o estudo da influência dos movimentos de embarcações no gasto energético de pescadores em relação às atividades e tarefas ocupacionais a bordo (BREIDAHL, JEPSEN, e OMLAND, 2015)

Número e Posição dos Dispositivos

Entretanto, o uso dos actígrafos precisa seguir alguns critérios para se obter resultados adequados. Altini et al. (2015), buscaram compreender se o número e a disposição dos sensores no corpo afetavam a qualidade dos resultados de estimativa de gasto energético. Concluiu-se que a utilização de um único sensor na cintura ou peito não diminui a qualidade do resultado se comparado com a utilização de um

conjunto de 5 sensores em partes diferentes do corpo. Entretanto, segundo os autores, a estimativa do gasto energético pode ter um erro aumentado em até 80% no caso de se reduzir o número de sensores e escolher uma posição inadequada para alocar o sensor.

Em relação ao uso de actígrafos no pulso, há indícios de que o nível de concordância de padrões de medidas do gasto energético com os resultados exclusivamente provenientes das medidas dos sensores seja baixo. Ellingson et al. (2017) indicam que são necessárias pesquisas adicionais para refinar ainda mais a precisão do processamento de dados de acelerômetros no pulso. De fato, há atividades que exijam mais movimentação de membros superiores em detrimento do restante do corpo, proporcionando uma medida geralmente generalizada para estimar o gasto do indivíduo por completo. Mas os movimentos dos pulsos podem não ser boas representações para estimativa do gasto energético de forma generalizada a todo o corpo. Contudo, em condições pré-estabelecidas, o resultado da estimativa de gasto energético de actígrafos pode ser melhorado se combinado com o reconhecimento de atividade (SCHNELLER et al. 2015).

Em se tratando da adição de giroscópio aos actígrafos, sendo esta uma tendência aos actígrafos, Hibbing et al. (2018) identificaram melhorias na avaliação por dispositivos alocados na cintura e tornozelo, mas no pulso, não houve incremento significativo em seus estudos. Entretanto, o giroscópio pode ser útil na identificação da atividade executada, possibilitando posteriormente uma estimativa combinada ponderando-se essa variável.

As combinações de actígrafos com outros sensores, também estão presentes como tentativas de melhorar resultados de estimativas. Lin et al. (2012), propuseram a combinação de actígrafos com eletrocardiograma – ECG e, Hay et al. (2008), propuseram a combinação de actígrafos com eletromiógrafo para estimativas usando técnicas de inteligência artificial. Mas nesse contexto, há uma tendência de uso da combinação de frequência cardíaca com acelerometria em boa parte dos artigos. Como exemplo, Hay et al., (2008) mostraram que essa combinação apresenta resultados aceitáveis com um R^2 entre 0,75 e 0,82 para [calorimetria indireta](#). Os autores compararam 3 modelos: um só com acelerometria; outro só com frequência cardíaca; e um combinado, que forneceu o melhor resultado.

Variáveis

No que tange às variáveis utilizadas nos estudos, para simplificações de cálculos, há indícios de que resultados baseados no [vetor de magnitude](#) das [contagens](#) forneçam melhores resultados do que os baseados nos eixos em separado (Santos-lozano et al., 2013). Também fornecem melhores resultados quando utilizados em modelos de regressão ao invés daqueles que se baseiam apenas nas [contagens](#) de eixos verticais (Kim et al., 2016). Em relação à tendência de uso dos dados brutos de aceleração em detrimento do uso dos [vetores magnitude](#) das [contagens](#), há controvérsias. Ambos necessitam de filtragem e em alguns casos como o descrito por Montoye et al. (2018), num estudo com um conjunto diverso de atividades variando de sedentarismo a atividades domésticas e exercícios físicos, os dados de [contagens](#) apresentaram maior concordância do que os dados brutos de aceleração.

É sabido que há associação de maior gasto energético por atividade física e menor índice de massa corpórea - IMC e circunferência da cintura (Bonn et al. 2018). Nesse contexto, os estudos com actigrafia apontam para uma relação entre tais medidas antropométricas e o gasto energético, influenciando também as equações de gasto energético como indicam Feito et al., (2011). Horner et al.

(2013), também desenvolveram um modelo multivariado para estimativas de gasto energético e concluíram que os valores obtidos são altamente dependentes das medidas antropométricas, nomeadamente peso, altura e índice de massa corpórea. Entretanto, há casos em que equações de dispositivos distintos fornecem resultados com maior ou menor influência do IMC. Isso aponta para dificuldades de estudos com dispositivos diferentes simultaneamente (WAROLIN et al. 2012).

Brazeau et al. (2014), estudaram os resultados entre grupos de etnias diferentes e verificaram que as equações usadas para estimativa do gasto energético tiveram menor precisão entre grupo de pessoas negras do que com caucasianos. Uma hipótese plausível é a de que essa diferença tenha relação com o grau de homogeneidade das amostras utilizadas nas proposições dessas equações. Isso aponta para a possibilidade de que essa variável seja elegível para uma investigação.

Os trabalhos também apontam que a utilização combinada da frequência cardíaca com actigrafia podem dar melhores resultados em alguns tipos de atividades como aquelas nas quais a aceleração da pélvis não está intimamente relacionada ao gasto energético do corpo inteiro, como jogos de cartas e varredura (Spierer et al., 2011). Também há indícios de que uma combinação de frequência cardíaca com actigrafia podem dar melhores resultados de estimativa de gasto energético para atividades de vida livre (VILLARS et al., 2012).

Métodos de Cálculo

Em relação aos métodos de cálculo, os estudos mostram que há uma diversidade de técnicas utilizadas para calcular o gasto energético, desde a regressão linear, a regressão linear logarítmica, camadas ocultas de Markov, análise discriminante quadrática, redes neurais artificiais, máquinas de vetor suporte e modelos híbridos (Liu, Gao, e Freedson 2013; Crouter et al. 2010). Nesse contexto, aponta-se desafios em pelo menos três esferas para estudos posteriores que tem relação com os métodos de cálculo: aperfeiçoamento dos sensores, extração e tratamento das características dos sinais de aceleração e metodologia de cálculo.

Ao avaliar várias equações de estimativa de gasto energético, Lyden et al. (2011), apontam que as equações tidas por regressão lineares, desenvolvidas desde a década de 1990 até a década de 2010, comumente superestimam ou subestimam o gasto energético, o que é identificado em vários outros artigos. Diante disso, as técnicas de redes neurais e aprendizagem de máquinas são apresentadas como alternativas com tendências de melhores resultados para modelação de estimativa do gasto energético (Staudenmayer et al., 2009; Ellingson et al., 2016). Estes últimos autores ilustram limitações das técnicas de regressão, incluindo: (1) o relacionamento fixo e único assumido entre [contagens](#) e gasto energético ao usar modelos de regressão linear, (2) a insensibilidade desses modelos para fazer distinção precisa entre atividades sedentárias e leves, (3) a tradução insuficiente de modelos de regressão, especialmente modelos não lineares, para conjuntos de dados independentes do conjunto de dados de desenvolvimento e (4) a dependência de um conjunto de dados do sinal de acelerômetro integrado único em média ao longo do tempo e subsequente eliminação das possibilidades que a análise do sinal bruto pode fornecer.

2.5 CONCLUSÕES

Os resultados da análise dos 48 artigos apontam que os estudos que tratam de estimativa de gasto energético por actigrafia cresceram na última década, mas ao se restringir aos filtros dessa revisão, os estudos abordam majoritariamente desenvolvimento de dispositivos e de métodos de cálculo. Isto indica que a área está em desenvolvimento.

Os dispositivos identificados como sendo os mais utilizados apresentam características como dimensões, capacidade de amostragem, autonomia de bateria, capacidade de memória e possibilidades de alocação no corpo que se adequam a muitas situações ocupacionais de forma não invasiva. Além disso, apresentam outras funcionalidades além da acelerometria, tais como sensor de luz, sensor de uso, giroscópio, [magnetômetro](#), resistência a água, entre outras. Dentre os dispositivos, o Actigraph, o Actical, o Sensewear Armband e o Actiheart se destacam em frequência de uso nos artigos.

Não há consenso em relação ao número e posição dos actígrafos no corpo, mas há indícios de convergência de que a melhor alocação depende do tipo de atividade executada, e de que os resultados podem ser melhorados se a estimativa de gasto energético pela quantificação de movimento for combinada com uma identificação prévia da atividade executada.

Há vários estudos de validação dos resultados de actigrafia para gasto energético, sendo a maioria deles comparativos com [calorimetria indireta](#), e tendo como dispositivos mais frequentes o K4b2 da Cosmed e o Oxycon Mobile da Vyaire.

As variáveis identificadas são relacionadas a características das pessoas e a características do movimento. Entretanto, peso, altura, idade, sexo, frequência cardíaca e [contagens](#) das acelerações são as variáveis mais frequentes nos métodos de cálculo. Há variáveis com influências potenciais nos resultados de gasto energético por actigrafia que merecem ser analisadas, como por exemplo, os fatores ligados a etnia.

Os estudos em situação de vida livre mostram bons resultados, mas esse contexto de vida livre ainda é desafiador em relação aos métodos de cálculo, pois há variáveis que não podem ser controladas nessas situações e outras que possivelmente ainda não foram identificadas nem incluídas nos modelos elaborados em laboratório. Foram encontrados poucos trabalhos de determinação de gasto energético por actigrafia em situações ocupacionais.

Os principais métodos de cálculo são equações e redes neurais artificiais. As equações apresentam como desafio a superestimação ou subestimação dos resultados. Além disso, elas dependem das atividades e características da amostra que forneceu os dados para a modelação. Mesmo as regressões geradas por redes neurais apresentando melhores resultados de aproximação que as equações, há limitações nesses modelos.

Diante desse panorama geral do tema de actigrafia para determinação de gasto energético, há indícios da potencialidade de utilização de actigrafia para determinação de gasto energético em contexto ocupacional com resultados aceitáveis. Além disso, diante dos resultados encontrados emergiu uma demanda de apuração de temas específicos na revisão de literatura relacionados aos métodos de cálculo. Especificamente, buscou-se analisar estudos relacionados às equações de cálculo do gasto energético e os modelos com técnicas de inteligência artificial, sendo estes últimos apontados pela literatura como a tendência mais recente e com melhores resultados.

3 EQUAÇÕES DE GASTO ENERGÉTICO

3.1 INTRODUÇÃO

Há uma diversidade de equações de determinação de gasto energético elaboradas para situações e populações específicas. Há benefícios no uso delas, tal como a praticidade, mas também há limitações como a impossibilidade de generalizações diante das peculiaridades e dependência das variáveis utilizadas na amostra que deu origem ao modelo matemático.

Entretanto, para o contexto ocupacional alguns questionamentos impulsionaram essa etapa da pesquisa, como por exemplo: há equações adequadas para situações ocupacionais? Quais suas limitações de uso? Quais variáveis são consideradas? Os resultados podem ser considerados satisfatórios?

Nessa revisão sistemática delimitou-se como objetivo identificar e analisar equações de determinação de gasto energético aplicáveis em situações ocupacionais. A identificação não se restringiu às equações com uso de actigrafia, mas foram consideradas inclusive elas.

Para isso foram triados e identificados artigos que mencionavam ou apresentavam equações. Estas, por sua vez, foram elencadas e analisadas, identificando-se aquelas com potencial de utilização em situação ocupacional.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS

Além dos critérios comuns às outras duas revisões e já apresentados no item 1.2 referente aos aspectos metodológicos desse bloco, os artigos foram triados e a elegibilidade foi baseada no critério de apresentar ou mencionar equação de gasto energético humano. As equações apresentadas nos artigos foram registradas. As equações apenas mencionadas tiveram suas referências salvas e esses novos artigos foram buscados a fim de se obter as respectivas equações. Em seguida as equações foram analisadas.

Depois de identificadas, as equações foram analisadas e selecionadas baseando-se nos critérios de aplicabilidade à situações ocupacionais, considerando generalidade de atividades, população saudável sem restrições e com idade laboral. Foram excluídas da análise equações específicas para populações doentes, crianças, idosos, obesos, gestantes, e outras populações específicas não adequadas ao tema da tese.

No processo de identificação de referências foram encontradas 385 referências às quais foram adicionadas outras 5 por outras fontes. Destas referências, 176 eram duplicadas e foram excluídas por tal razão. Das 214 restantes, 59 não eram artigos completos publicados em periódicos científicos; 27 não estavam acessíveis, 5 foram excluídos por estarem fora do tema pelo título e 1 estava em idioma diferente dos considerados para inclusão. Dessa forma, 122 artigos foram elegidos para análise. Este fluxo está representado na Figura 9:

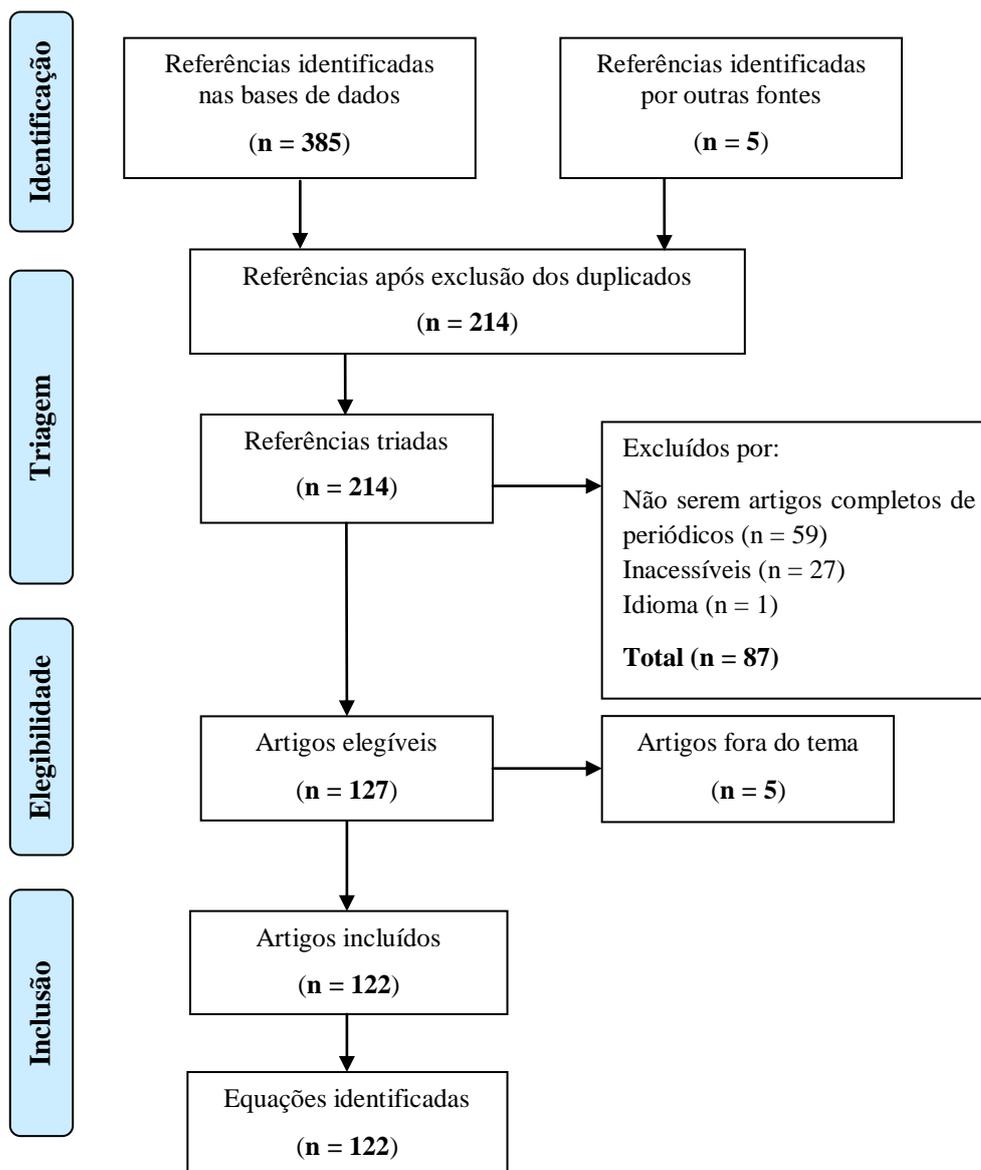


Figura 9: Fluxo da busca de artigos sobre equações de determinação de gasto energético

Nestes 122 artigos foram identificadas 122 equações ou referências a equações de gasto energético. As referências dos artigos incluídos, assim como as equações identificadas, estão apresentadas nos Apêndices B e C, respectivamente, com a numeração correspondente às respectivas equações.

3.3 RESULTADOS

As referências dos artigos com as equações foram consultadas e triadas. Foram identificadas e excluídas 32 equações próprias para gasto energético de crianças e/ou adolescentes, 27 de populações doentes, 11 para obesos, 10 equações cujos artigos estavam indisponíveis; 9 equações de manuais de

recomendações nutricionais, em sua maioria para populações específicas como coreanos, indianos, japoneses, entre outros; 4 equações para gasto energético basal com critérios muito específicos de uso; 2 equações para gestantes; 2 equações para multitarefa também com critérios muito específicos de uso; 2 equação não aplicável; 1 equação exclusiva para dispositivo específico; 1 equação para idosos; 1 equação de gasto energético durante o sono; e 1 equação para gasto energético de animais. A Figura 10 mostra essa distribuição.

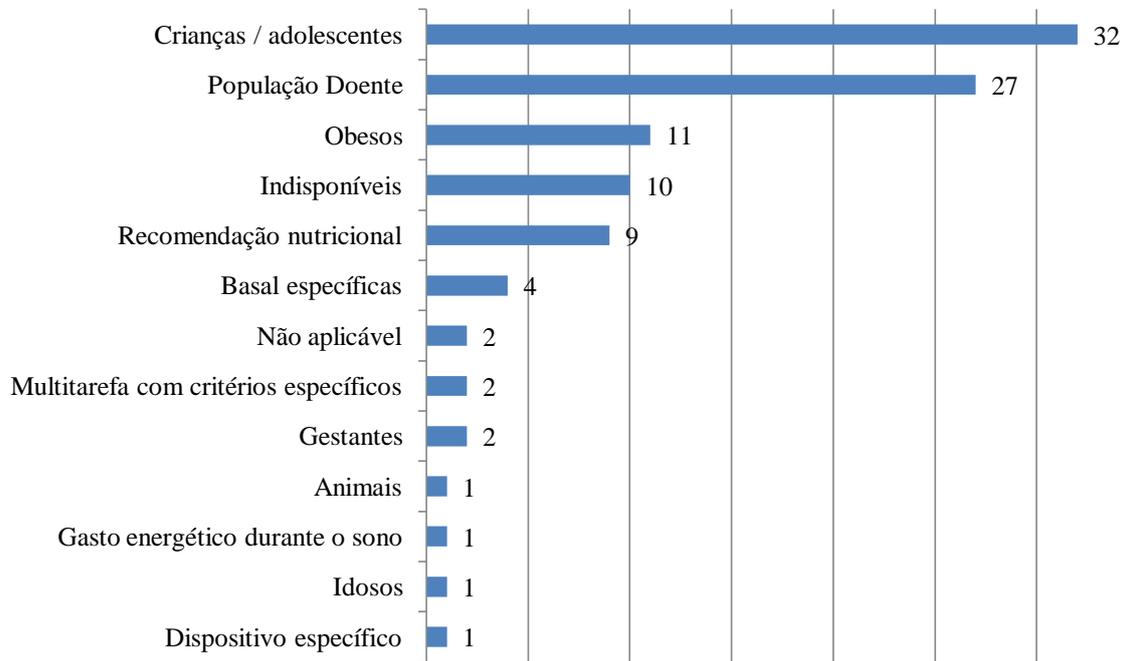


Figura 10: Distribuição das equações excluídas da análise por motivos

Foram consideradas para análise 20 equações de gasto energético que estão listadas a seguir na Tabela 6:

Tabela 6: Equações analisadas

AUTOR	DADOS	Indicação
Harris-Benedict	Homens, $EE = 66,4730 + (13,7516 * w) + (5,0033 * s - 6,7550 * a)$ Mulheres, $EE = 655,0955 + (9,5634 * w) + (1,8496 * s) - (4,6756 * a)$ EE = gasto energetico diário, w = peso (kg), s = altura (cm) / a = idade(anos)	Basal
Owen	Para Mulheres , $RMR = 795 + (7.18 * w)$ Para Homens, $RMR = 879 + (10.2 * wt)$ RMR = Resting Metabolic Rate; w = Peso	Basal
Mifflin	Resting EE (Homem) = $10 * peso(kg) + 6,25 * altura(cm) - 5 * idade(anos) + 5$ Resting EE (Mulher) = $10 * peso(kg) + 6,25 * altura(cm) - 5 * idade(anos) - 161$	Basal

<i>Continuação</i>		
AUTOR	DADOS	Indicação
Freedson et al.	<p>Modelo - Uniaxial:</p> <p>Se counts/min > 1951; kcal/min = (0,00094 × counts/min) + (0,1346 × massa(kg)) - 7.37418</p> <p>Se counts/min < ou = 1951; kcal/min = 0,0000191 × counts/min × massa(kg)</p> <p>Modelo – Triaxial:</p> <p>Se VM counts/min > 2453; Kcals/min= (0.001064×VM) + (0.087512 × massa(kg)) - 5.500229</p> <p>Se VM counts/min < ou = 2453</p> <p>Kcals/min = counts × 0,0000191 × massa (kg)</p> <p>VM = Vetor Magnitude</p>	Atividade
Swartz et al.	<p>Pulso: METs = 3.195 + (0,0001314* counts)</p> <p>Cintura: METs = 2.606 + (0,0006863* counts)</p> <p>Cintura e pulso:</p> <p>METs = 2,245 + (0.000679 × cintura counts) + (0,0001165 × pulso counts)</p> <p>Considerou-se 1 MET = 1kcal/(kg x h)</p>	Atividade
Crouter et al.	<p>Para, cnts·min-1 ≤ 10; EE = 1 MET</p> <p>Para, 10 < cnts·min-1 e CV ≤ 13;</p> <p>EE = 2.55095 × [exp (0.00013746 × cnts min-1)]</p> <p>Para, 10 < cnts·min-1 e CV > 13;</p> <p>EE = 1.466072 + 0.210755 × [ln(cnts·min-1)] - 0.0595362 × [ln(cnts·min-1)2] + 0.0157002 × [ln(cnts·min-1)3]</p> <p>CV = coeficiente de variação</p>	Atividade
Liu	<p>BMR= 13,88*weight(kg) + 4,16*height(cm)-3,43*age(years)-112,40*sex+54,34</p> <p>sexo: masculino = 0, feminino = 1.</p>	Basal
Ganpule	<p>Homens: (0,0481*peso(kg) + 0,0234*altura(cm) - 0,0138*idade - 0,4235)*1000/4,186</p> <p>Mulheres: (0,0481*peso(kg) + 0,0234*altura(cm) - 0,0138*idade - 0,9708)*1000/4,186</p>	Basal
FAO/WHO/UNU	<p>Homens: 18-30 :15,057kg + 692,2; 30-60: 11,472kg + 873,1</p> <p>Mulheres: 18-30: 14,818kg + 486,6 ;30-60: 8,126kg + 845,6</p>	Basal

<i>Continuação</i>		
AUTOR	DADOS	Indicação
Henry	<p>Homens:</p> <p>Idade 18–30 anos: $BMR = (14,4*W) + (313*h) + 113$</p> <p>Idade 30–60 anos: $BMR = (11,4*W) + (541*h) - 137$</p> <p>Idade ≥ 60 anos: $BMR = (11,4*W) + (541*h) - 256$</p> <p>Mulheres:</p> <p>Idade 18–30 anos: $BMR = (10,4*W) + (615*h) - 282$</p> <p>Idade 30–60 anos: $BMR = (8,18*W) + (502*h) - 11,6$</p> <p>Idade ≥ 60 anos: $BMR = (8,52*W) + (421*h) - 10,7$</p> <p>(W: Peso / h: altura)</p>	Basal
Cunningham	<p>$BMR \text{ (cal / dia)} = 500 + 22 \text{ (FFM)}$</p> <p>Homem: $FFM = (79.5 - 0,24 M - 0,15 A) * w + 73,2$</p> <p>Mulheres: $FFM = (69.8 - 0,26 M - 0,12 A) * w + 73,2$</p>	Basal
Muller (para peso normal e obeso)	<p>Modelo (i): $REE \text{ (MJ/d)} = 0.02606*weight(kg) + 0.04129*height(cm) + 0.311*sex - 0.08369*age(y) - 0.808.$</p> <p>Modelo (ii): $REE \text{ (MJ/d)} = 0.07885*FFM(kg) + 0.02132*FM(kg) + 0.327*sex + 2.694$</p>	Basal
Livingston	<p>$RMR \text{ (Mulheres)} = 248 * weight^{(0,4356)} - (5,09 * age)$</p> <p>$RMR \text{ (Homem)} = 293 * weight^{(0,4330)} - (5,92 * age)$</p>	Basal
Korth et.al.	<p>(i) $REE = 41,5*body \text{ weight (kg)} - 19,1*age \text{ (years)} + 35,0*height \text{ (cm)} + 1107,4*sex - 1731,2$</p> <p>(ii) Baseada em FFM(Bioimpedância): $REE = 106,8*FFM \text{ (kg)} + 1322$</p>	Basal
De Lorenzo	<p>Homem: $REE = 53.284*weight + 20,957*height - 23,857*age + 487$</p> <p>Mulheres: $REE = 46.322*weight + 15.744*height - 16,66*age + 944$</p>	Basal
Yang et. Al.	<p>$BEE \text{ (kJ/d)} = 277 + 89*weight \text{ (kg)} + 600*sex \text{ (male 1 female 0)} \text{ ou}$</p> <p>Homens: $BEE \text{ (kJ/d)} = 105*weight \text{ (kg)} - 58$</p> <p>Mulheres: $BEE \text{ (kJ/d)} = 69*weight \text{ (kg)} + 1335$</p>	Basal
Wang	$REE = 21.7*FFM + 374$	Basal
Pandolf	<p>$M = (1,5*w) + (2,0*(w + L)*(L/w)^2) + n*(w + L)*(1,5*V)^2$</p> <p>M = taxa metabólica / w = peso / L = carga / V = velocidade da caminhada / n = fator terreno.</p>	Atividade
Roza et. Al.	<p>Men $REE \text{ (kcal)} = 88.362 + 4.799 \text{ height (cm)} + 13.397 \text{ weight} - 5.677 \text{ age}$</p> <p>Women $REE \text{ (kcal)} = 447.593 + 3.098 \text{ height (cm)} + 9.247 \text{ weight} - 4.330 \text{ age}$</p>	Basal
Haaf & Weijs	<p>$REE(kJ/d) = 49:940*peso \text{ (kg)} + 2459,053 * altura \text{ (m)} - 34,014 * idade \text{ (anos)} + 799,257 * sex(M = 1, F = 0) + 122,502$</p> <p>$FFM\text{-based equation } REE \text{ (kJ=d)} = 95,272 * FFM(kg) + 2026,161$</p>	Basal

Das 20 equações analisadas, 16 são para determinação de gasto energético basal, 4 para determinação de atividades com movimentos corporais, sejam atividades específicas como para atividades de vida livre. São elas: as equações de Freedson e colegas (Freedson, Melanson, e Sirard, 1998; Sasaki, John, and Freedson, 2011), Swartz et al., (2000), Crouter et al., (2006), e Pandolf, Givoni e Goldman (1976).

As variáveis utilizadas nessas equações são: peso, sexo, altura, idade, massa livre de gordura (FFM), [contagens](#) dos actígrafos, massa de gordura (FM), coeficiente de variação (CV), área corporal, carga transportada. A Figura 11 mostra a frequência dessas variáveis nas equações analisadas.

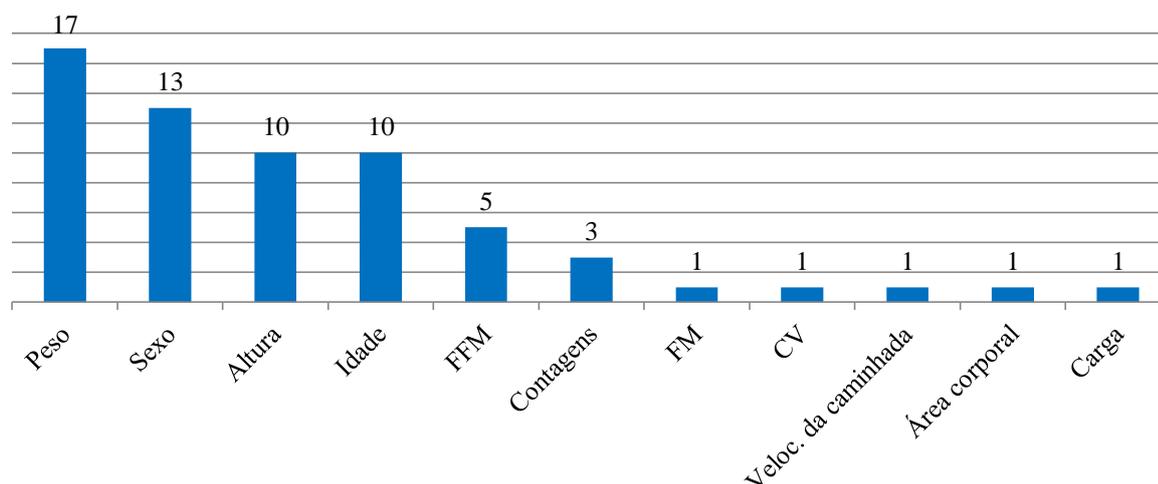


Figura 11: Variáveis presentes nas equações de gasto energético analisadas

No próximo tópico, a seguir, são apresentadas discussões sobre os resultados da revisão sobre as equações.

3.4 DISCUSSÃO

O primeiro destaque dos resultados é a quantidade de equações encontradas e a diversidade de usos e aplicações. Os resultados da busca por artigos mostram que, em relação à quantidade de referências encontradas, há uma predominância de equações desenvolvidas para estudos de comportamento e nível de atividade de crianças e adolescentes e as respectivas relações com aspectos epidemiológicos de obesidade e outras situações de saúde. Apesar das equações para este público terem sido excluídas do estudo

Outro grupo populacional que se destaca são as populações doentes, uma vez que situações específicas demandam fornecimento de energia adequado e condicionam o paciente a circunstâncias metabólicas também diferenciadas. Foram encontradas equações desenvolvidas para populações acometidas de situações de doenças ou restrições as mais diversas, tais como: anemia, diabetes, fibrose

cística, AIDS / SIDA, esquizofrenia, artrite reumatoide, pacientes renais, depressão, anorexia, pacientes ventilados, pacientes em cuidados intensivos, dentre outras. Geralmente são situações que alteram o metabolismo ou que alteram movimentação corporal.

Mesmo não sendo objeto principal desse estudo, essa característica da grande diversidade de equações para outras populações, simultaneamente às restrições de uso pelas especificidades das populações, também se aplicam às equações adaptáveis a contexto ocupacional. Isso pode explicar o fato de se identificar um número menor de equações aplicáveis a tal contexto.

Das equações analisadas e aplicáveis ao contexto ocupacional, várias tem como restrição o fato de serem específicas para estimativa do gasto energético basal ou para atividades pré-determinadas.

Em relação às variáveis, as equações apontam para a relação do gasto energético como dependente de 2 grupos de fatores: variáveis relacionadas à pessoa, como peso, altura, idade, sexo, quantidades de massa gorda e de massa magra; e variáveis relacionadas ao movimento, tais como as [contagens](#) do acelerômetro. Percebe-se também que os modelos consideram as diferenças entre sexo segmentando a modelação com uma equação para homens e outra para mulheres; ou ponderando um fator de diferenciação com peso específico para cada sexo. Também há segmentação das equações por faixa etária, em alguns casos.

As equações relacionadas a movimentos utilizam as [contagens](#) de actigrafia, velocidade de movimentos e peso do usuário, mas não são unânimes na combinação entre essas variáveis. Das 4 equações que consideram movimentos, 3 utilizam [contagens](#) do actígrafo como variável. Apenas 1 equação considera transporte de carga e velocidade de deslocamento do indivíduo. Também é possível perceber que a maioria das equações incluídas no estudo é de natureza linear, o que pode se constituir em outra limitação diante do intuito de generalizações, uma vez que a aproximação por linearidade dificilmente corresponderá a situações de movimentos humanos em situações ocupacionais reais.

Dentre as equações analisadas, a equação de Harris e Benedict (1919), é a mais antiga, entretanto é a mais citada e utilizada até os dias atuais para estimativa de gasto energético basal. As equações de Owen et al. (1986), foram desenvolvidas inicialmente a partir de uma amostra de 44 mulheres distribuídas em 3 grupos: com peso normal, obesas e atletas. Posteriormente os autores propuseram equação para homens (Owen et al., 1987). Os autores apontaram que a eficiência metabólica não era exclusivamente relacionada à obesidade. Portanto, a composição corporal tem sua importância na estimativa metabólica, mas não é o único fator determinante do gasto energético.

Já as equações de Mifflin et al. (1990) tiveram como diferencial a amostra tomada como base para a modelação com número de 498 participantes e a análise que apontou a massa livre de gordura (FFM) como melhor preditor do gasto energético de repouso. De modo geral, as demais equações de gasto energético basal seguem os mesmos princípios de modelação por regressão linear e utilização das mesmas variáveis relacionadas à fisiologia e antropometria.

Já em relação às equações que dizem respeito a movimento e execução de atividades, as de Patty S. Freedson, Melanson, e Sirard (1998); e Sasaki, John, e Freedson (2011), são muito utilizadas não apenas na literatura, mas também por estarem no software Actilife da Actigraph. O modelo com acelerômetro uniaxial foi usado também para mostrar que padrões de atividades podem ser classificados com auxílio de actigrafia de acordo com o nível de intensidade dos movimentos. Mas as atividades monitoradas foram restritas a caminhada e corrida em esteira, e a amostra foi de 35 pessoas. Já o modelo

para acelerômetros triaxiais foi elaborado com base numa amostra de 50 participantes e considera o [vetor magnitude](#) das [contagens](#) como indicador da quificação de movimento.

Swartz et al. (2000), buscaram integrar os dados de acelerômetros alocados na cintura e no pulso num modelo único, trazendo a discussão da otimização da alocação dos dispositivos e os efeitos dos cálculos combinados. Entretanto, Crouter et al. (2006) buscaram utilizar-se de regressão múltipla para modelação, demonstrando que o método utilizado pode incrementar os resultados obtidos.

3.5 CONCLUSÕES

Diante do exposto foi possível identificar equações de estimativa de gasto energético para vários contextos e populações, bem como as principais variáveis utilizadas e algumas características de aplicação. Dentre as equações, algumas foram identificadas com potencial de aplicação para situações ocupacionais, destacando-se 4 equações.

Algumas características da modelação dessas equações promovem limitações ao seu uso e, provavelmente por essa razão há uma grande quantidade de equações na literatura para atender a circunstâncias diferenciadas, evidenciando a dificuldade de generalização de equações para estimativa de gasto energético. Algumas dessas características podem estar relacionadas à homogeneidade das amostras utilizadas na modelação, ou à especificidades das atividades executadas e registradas para fins de modelação.

As equações encontradas na revisão são para determinação de gasto energético basal e gasto energético de atividades. As variáveis incorporadas aos modelos são basicamente semelhantes na maioria dos modelos, considerando características das pessoas e características do movimento, sendo as mais frequentes peso, altura, sexo, idade e as [contagens](#) dos actígrafos.

Entretanto, discussões sobre influência das variáveis nos modelos; e sobre quantidade e alocação de sensores, bem como sobre o uso de outras metodologias de regressão e aproximação de valores apontam para novas possibilidades de melhorias na estimativa de gasto energético para situações e contextos ocupacionais.

4 GASTO ENERGÉTICO POR REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

4.1 INTRODUÇÃO

Em relação aos métodos de cálculo de gasto energético, como apresentado no capítulo 2, há uma diversidade de técnicas utilizadas para calcular o gasto energético, desde a regressão linear, a regressão linear logarítmica, camadas ocultas de Markov, análise discriminante quadrática, redes neurais artificiais, máquinas de vetor suporte e modelos híbridos (LIU, GAO, e FREEDSON, 2013; CROUTER et al. 2010).

Enquanto as estimativas de gasto energético forem feitas para um conjunto pequeno de atividades padronizadas os resultados obtidos pelas equações podem ser razoavelmente satisfatórios. Entretanto, diante das limitações das equações de regressão linear e com a evolução da capacidade de processamento das ferramentas computacionais, bem como o aperfeiçoamento dos actígrafos, outras técnicas de modelação matemática emergiram como propícias a promover melhorias na estimativa de gasto energético. Dentre essas opções as técnicas de inteligência artificial se mostraram e continuam se mostrando como o passo seguinte da investigação na área de actigrafia.

O uso de redes neurais artificiais destaca-se na literatura como sendo útil para análise de imagens, classificação e reconhecimento de padrões, previsões de comportamento e controle de sistemas (SILVA, SPATTI, e FLAUZINO, 2016).

No caso de modelagens de regressão, como é a maioria dos casos de gasto energético, as redes são capazes de ponderar as variáveis de entrada de forma que aproximem um modelo matemático de resultados desejados. Essa ponderação ocorre mediante a capacidade de técnicas como redes neurais, árvores de decisão e modelos ocultos de Markov, de aprenderem a minimizar erros, ou seja, mitigarem as diferenças entre valores medidos e valores estimados, aperfeiçoando os modelos (FREEDSON et al., 2011).

Baseando-se nos resultados anteriores, desenvolveu-se essa revisão cujo objetivo foi identificar as principais características do uso de redes neurais para determinação de gasto energético, destacando possibilidades e limitações do uso dessas técnicas, variáveis incorporadas aos modelos, métodos, protocolos, dispositivos, dentre outras características identificadas como relevantes durante o estudo.

4.2 RESULTADOS

Ao todo foram encontradas 199 referências e 1 foi adicionada por outra fonte. Após a exclusão de 60 referências duplicadas, procedeu-se a triagem com a exclusão das 23 referências que não eram artigos completos de periódicos indexados, tais como resumos, comunicações de conferências, cartas a editores, dentre outros. Em seguida, 88 artigos fora do tema da busca foram excluídos e 1 por ter idioma diferente do português, inglês, francês ou espanhol. Ainda 3 artigos estavam com textos inacessíveis. Assim, 25 artigos foram incluídos para análise, conforme ilustra a Figura 12. Os artigos analisados estão referenciados no Apêndice D.

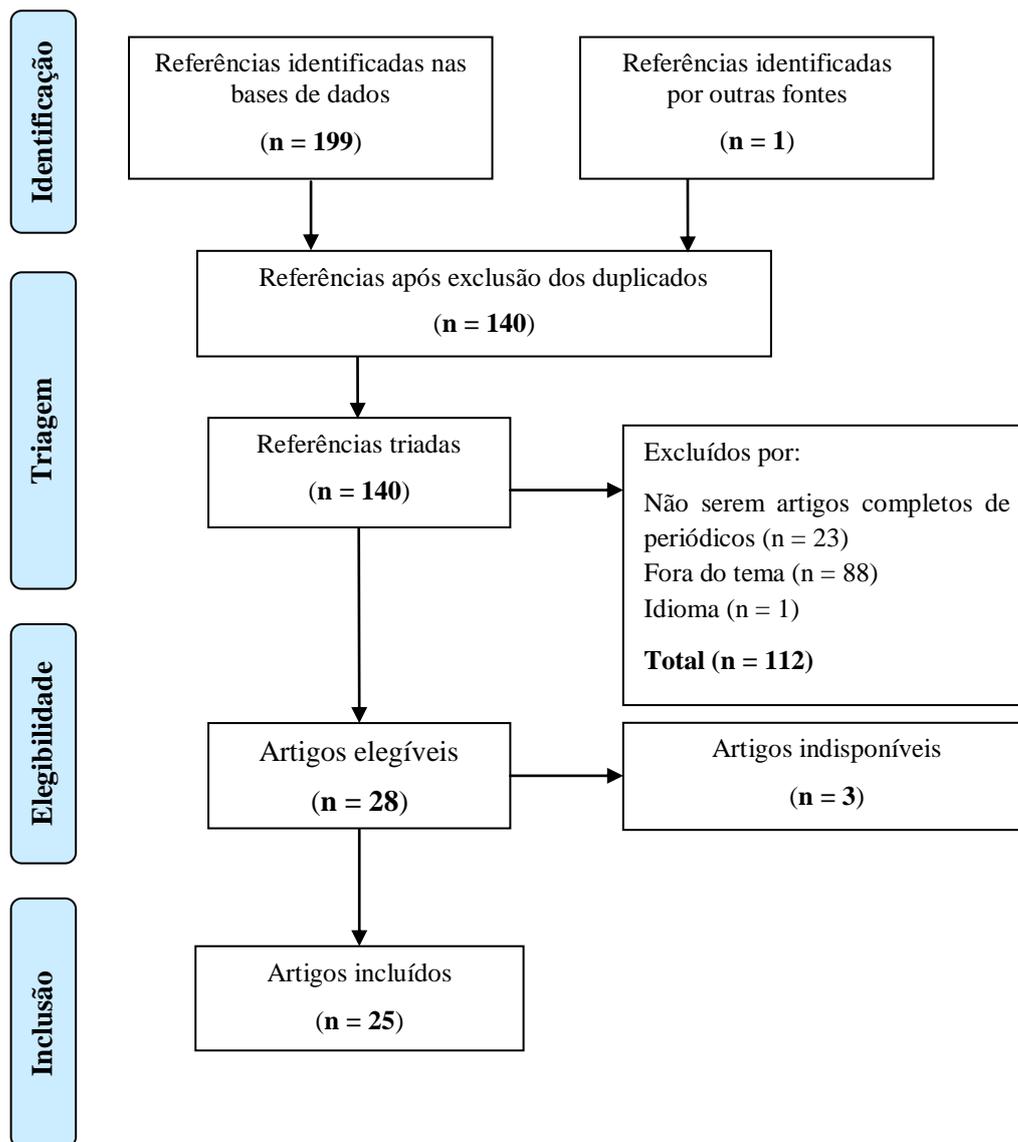


Figura 12: Fluxo de busca de artigos sobre redes neurais artificiais e determinação de gasto energético

Os artigos analisados foram publicados em maior número nos últimos 8 anos. Isto demonstra a atualidade do uso de redes neurais para modelação e estimativa de gasto energético. Assim, pode-se levantar a hipótese de uma tendência à substituição gradativa ou complementação das equações de regressão obtidas por métodos clássicos por modelos construídos a partir de técnicas de inteligência artificial.

Em relação aos objetivos dos artigos, 7 deles propõem ou avaliam modelos apenas de determinação de gasto energético, 5 artigos apresentam ou avaliam modelos de reconhecimento e classificação de atividade física, e 9 apresentam modelos de redes e aprendizagem de máquina numa abordagem conjunta de classificação de atividades e determinação de gasto energético. Outros 2 artigos comparam modelos e mais 2 artigos são revisões de literatura que abordam ferramentas de aprendizagem de máquina para determinação de gasto energético.

A média de participantes nas amostras dos estudos é aproximadamente de 35 pessoas, com mediana de 29 participantes. Os trabalhos com as menores amostras contaram com 10 participantes e o maior com 102.

As atividades dos protocolos dos estudos variam muito. A maioria dos estudos apresentou protocolos com variedades de atividades que incluíssem desde repouso até atividades moderadas e vigorosas, passando por atividades domésticas. Dentre as atividades identificadas pode-se citar: atividades de vida livre; repouso nas posturas deitado, sentado, de pé; andar, correr, pedalar estaticamente ou externamente, subir e descer escadas, varrer, espanar, aspirar, assistir televisão, cortar relva, dobrar roupas; práticas de esportes como jogar futebol, basquete, tênis; conduzir; atividades de escritório como digitação, manuseio de papéis dentre outras.

A maioria dos artigos analisados (20) apresenta estudos em laboratório com algumas atividades de vida livre acompanhadas de forma controlada. Os recursos desse controle vão desde filmagem, autorreportação pelo participante, ou observação direta dos pesquisadores.

O processo de modelação para a maioria dos estudos é baseado essencialmente na execução de um protocolo de atividades e a regressão dos dados coletados por actigrafia e outros sensores para aproximação dos dados mensurados. A [calorimetria indireta](#) por análise do ar inspirado e expirado, com uso de analisador metabólico portátil, foi utilizado em quase metade dos artigos como forma de obtenção de parâmetros comparativos. Dos demais artigos, 1 utilizou calorimetria com o uso de câmara calorimétrica, 1 artigo utilizou câmara autográfica para registrar os movimentos, 3 artigos usaram redes neurais apenas para identificação de atividades, 2 artigos são revisões onde o critério não se aplica, e 1 artigo comparou os resultados de 2 modelações por tipos de redes neurais diferentes.

Em relação às variáveis dos modelos foram identificadas variáveis que até então não eram utilizadas nas equações. Trata-se, em sua maioria, de características provenientes dos dados dos acelerômetros. Nos estudos analisados, o das já mencionadas variáveis identificou-se o uso de peso, altura, sexo, idade, índice de massa corpórea, frequência cardíaca (HR), sinal de ECG, [contagens](#) e dados brutos de aceleração. Dentre as provenientes do processamento de sinais identificou-se, dos dados brutos, o uso da média, variância, covariância, mínimo, máximo; média da orientação do eixo, variância da orientação do eixo; dos sinais de aceleração identificou-se o uso dos 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal; autocorrelação das [contagens](#) numa época ou intervalo de tempo; mediana, integral, picos de intensidade, intervalo interquartil, inclinação, curtose, pico do coeficiente de variabilidade de grupos de dados, erro médio absoluto (MAE); entropia, somatório da potência do sinal acima e abaixo de determinada frequência.

4.3 DISCUSSÃO

Em relação ao número médio de 29 participantes nas amostras, nota-se que para modelação esse número pode ser suficiente, mas o fato de vários estudos utilizarem números próximos a esse pode ocultar resultados, sugerindo assim a necessidade de estudos com maior número de pessoas no conjunto amostral. Segundo Clark et al. (2017), apesar do rápido desenvolvimento do campo das medições de atividade física, muitos desses estudos requerem desenvolvimento adicional para estabelecer medições confiáveis

em amostras maiores. Por outro lado, os autores afirmam que mesmo os trabalhos com bons resultados obtiveram sucesso em amostras relativamente pequenas.

Uma outra característica marcante nos artigos analisados é que há indícios de concordância e há recomendações do uso da combinação de identificação da atividade com a determinação de gasto energético, uma vez que classificar a atividade simultaneamente ao cálculo do gasto pode melhorar o resultado deste. Liu et al. (2012), justificam que deve-se avaliar gasto energético e tipo de atividade em conjunto porque 2 pessoas podem produzir mesmo gasto com performances diferentes ou executarem 2 atividades diferentes com mesmo gasto energético, dificultando generalizações. Ainda assim, a classificação de atividade física por métodos de redes neurais, seja atrelada à estimativa de gasto energético ou não, tem obtido sucesso (DUBEAU et al., 2015).

Já em relação à disposição dos acelerômetros no corpo parece não haver consenso sobre as melhores alocações ou combinações. As variações podem estar relacionadas às atividades de protocolo e aos métodos escolhidos para medições e modelação; não tratando adequadamente este aspecto. Além disso, essas e outras incongruências podem estar relacionadas às diferenças amostrais ainda não devidamente exploradas já que, segundo Dubeau et al. (2015), muitos fatores individuais que afetam a caracterização da atividade física variam de acordo com idade, sexo e competência motora.

Strath et al. (2015), também colocam que há diferenças na predição entre grupos etários, falta de generalização entre grupos etários, e modelos específicos para grupos etários têm melhor desempenho do que quando todas as idades são combinadas. Uma hipótese explicativa é que devido às diferenças conhecidas do padrão de movimento que ocorrem com a idade, as abordagens de aprendizado automático de máquinas podem não ser generalizáveis, por exemplo, para indivíduos mais velhos quando treinados em dados de indivíduos mais jovens.

Como mencionado, a maioria dos artigos analisados apresenta estudos em laboratório com algumas atividades de vida livre acompanhadas de alguma forma, podendo ser por filmagem, autorreportação do participante, ou observação direta dos pesquisadores (Lyden et al. 2015). De acordo com Staudenmayer et al. (2015), alguns investigadores apontam que nesse contexto modelos baseados apenas em experimentos de laboratório podem gerar resultados pobres quando levados para aplicação de dados de pessoas em vida livre.

Em relação às técnicas de modelação em si, Lubina e Rudzki (2015) apresentam tendências de metodologias de determinação de gasto energético, tais como: árvores de decisão; modelos ocultos de Markov; transformadas de Fourier; e as Redes Neurais Artificiais. Dessas, são várias as técnicas de aprendizagem de máquina utilizadas nos artigos analisados, tais como máquina de vetor de suporte (Liu et al., 2012; Schmid et al., 2013; Gyllensten, 2011), árvores de decisão (Ermes and Juha, 2008), classificação bayseana (Strath et al., 2015) e redes de regressão (Gyllensten, 2011). As redes neurais artificiais são encontradas em várias configurações, tais como *Radial Basis Function Network* – RBFN, a *Generalized Regression Neural Network* – GRNN (Lin et al., 2012); e *Multilayer Perceptron Feedforward Artificial Neural Network* - MLP-ANN (Gjoreski et al., 2015).

Apesar das redes neurais terem sido a metodologia mais frequente nas buscas anteriores, e ter sido o ponto de partida para esta revisão, reconhece-se que há outras técnicas e métodos de modelação que tem sido utilizadas para estimativa de gasto energético com dados de actigrafia.

As árvores de decisão são um método de classificação que pode fragmentar decisões complexas em conjuntos de várias decisões simples interligadas de forma ramificada (Lantz, 2015). Já as florestas aleatórias são um conjunto de árvores de decisão que se utilizam da média ou da maior frequência dos resultados das árvores de decisão que a compõem para orientar uma decisão.

Os modelos ocultos de Markov são modelos estatísticos com variáveis estocásticas onde um sistema é modelado e estima-se parâmetros desconhecidos a partir de outros conhecidos. São úteis para identificação de padrões e estudo de características da fonte dos parâmetros desconhecidos.

Classificadores bayesianos utilizam valores entre o intervalo de 0 a 1 para representar a probabilidade de um evento acontecer, podendo ser usado, por exemplo, para estimar o percentual de contribuição de variáveis independentes sobre uma dependente; ou para reconhecimento de padrões (Lantz, 2015). Já a máquina de vetor de suporte, segundo o mesmo autor, basicamente são classificadores que determinam hiperplanos capazes de separar dados em categorias buscando maximizar as distâncias entre os pontos das classes e esse plano.

Uma desvantagem desses métodos é o aspecto oculto do que os algoritmos fazem quando executam cálculos. Apesar de resultados mais próximos dos mensurados Não há possibilidade de saber o que se passa em cada etapa da execução de um algoritmo.

4.4 CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que as técnicas de aprendizagem de máquina, tais como as redes neurais, tem sido aplicadas e tem fornecido bons resultados com erros aceitáveis na estimativa de gasto energético. Também constatou-se que a identificação da atividade física tem potencial de melhorar os cálculos dos algoritmos os resultados dos modelos ou das modelagens.

As limitações de aplicação de modelos para atividades ou populações específicas que as esvações apresentam podem estar no caminho da mitigação com o uso dessas técnicas de inteligência artificial. Assim, as generalizações apresentam menores erros e as atividades já não são mais restritas, podendo-se aplicar essas técnicas em conjuntos de atividades diversos em relação ao nível de atividade, bem como atividades de vida livre.

Um desafio para a modelação por essas técnicas é o tratamento de dados que agora é mais amplo, assim como amplo também é o conjunto de métodos de modelação disponíveis para tal. Dentre essas possibilidades identificou-se o uso de máquinas de vetores de suporte, árvores de decisão, floresta aleatória, modelos ocultos de markov, classificadores bayesianos, dentre outras técnicas.

Se a modelação para estimativa de gasto energético por essas técnicas está em desenvolvimento, o uso delas para classificação de atividades parece já apresentar solidez. Assim, a combinação da classificação de atividade com a estimativa de gasto energético pode ser uma alternativa chave para ajustes em modelos reduzindo os erros.

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE A COMPONENTE TEÓRICA

Pelos resultados das revisões foi possível obter um panorama do uso de actigrafia para estimativas de gasto energético. Apesar da aplicação em outros contextos, há potencialidades de uso em contexto ocupacional com fornecimento de resultados melhores e mais adequados do que alguns já existentes por outros métodos.

Foram identificados os principais dispositivos e características de uso nos estudos analisados. A comparação dos resultados com análise do ar inspirado e expirado para [calorimetria indireta](#) é o método mais utilizado. Não há consenso sobre a alocação dos dispositivos no corpo, mas eles são comumente utilizados no pulso, tornozelo e cintura, por vezes apresentando melhores resultados quando combinados, dependendo da atividade executada. Também não há consenso sobre o número ideal de dispositivos para se obter os melhores resultados.

As variáveis dos modelos de cálculo são de duas dimensões: características das pessoas e características dos movimentos. As variáveis mais comuns inerentes às pessoas são peso, altura, idade e sexo e frequência cardíaca. A variável mais comum relacionada ao movimento são as [contagens](#), mas há outras variáveis utilizadas em ambas as dimensões.

As equações são uma alternativa prática para a estimativa do cálculo energético. Entretanto, está limitada a atividades específicas, às características da amostra utilizada, não conseguem fazer distinção precisa entre atividades e, por vezes apresentam diferenças ao se aplicar com dados reais diferentes dos usados na modelação.

Já os métodos de modelação baseados em aprendizagem de máquinas, tais como redes neurais, máquinas de vetor de suporte, e árvores de decisão, tem apresentado resultados melhores que as equações e dão mais possibilidades de generalizações para situações de multitarefa. Entretanto, não é possível perceber ou acompanhar o que acontece durante as modelações realizadas pelos algoritmos.

No contexto dessas técnicas, a combinação de identificação da atividade simultaneamente à estimativa de gasto energético aponta como uma alternativa chave para melhorias de resultados. Além disso, com o aperfeiçoamento dos dispositivos e de meios de programação computacionais, há mais possibilidades de coleta de dados de aceleração e outras variáveis em conjunto, bem como também tem sido possível aplicar outra gama de técnicas de modelação até poucos anos inviável.

Com base nessas constatações o próximo bloco apresenta a componente prática e experimental da tese tendo em vista a proposição de um sistema de estimativa de gasto energético para contexto ocupacional baseado em actigrafia e outras variáveis.

PARTE 3. COMPONENTE PRÁTICA E EXPERIMENTAL

Diante da fundamentação teórica, do panorama sobre o uso de actigrafia na estimativa de gasto energético e respectivos métodos de cálculo disponíveis, esse bloco apresenta a vivência laboratorial e o tratamento dos dados com vistas a proposição do sistema de estimativa de gasto energético para contextos ocupacionais.

São apresentados os aspectos metodológicos dos capítulos desse bloco, a vivência laboratorial, a modelação estatística, a modelação por técnicas de aprendizagem de máquina e os cálculos por métodos convencionais recomendados por norma. Os resultados são apresentados e comparados em seguida, subsidiando e culminando na proposição do sistema que é apresentada no final do bloco.

6 INTRODUÇÃO

As equações de regressão são uma alternativa prática para estimativa de gasto energético. Entretanto, no decorrer dos últimos anos a proposição de modelos de regressão utilizando-se de técnicas de aprendizagem de máquina, com maior ênfase nas redes neurais artificiais, tem apresentado novas possibilidades de aplicação prática.

Essa componente prática foi desenvolvida considerando a fundamentação teórica e os resultados dos capítulos anteriores. Ela é composta dos seguintes elementos: experimento, modelagens para determinação de gasto energético, cálculo do gasto energético por outros métodos, comparação desses resultados, proposição do sistema.

O capítulo 6, apresenta os objetivos do segundo bloco, aspectos metodológicos da componente prática e experimental, com as respectivas etapas, materiais e métodos. O capítulo 7 apresenta um modelo misto hierárquico desenvolvido no intuito de identificar possíveis relações entre as variáveis incluídas no experimento, mas também para calcular o gasto energético. O capítulo 8 apresenta um modelo de cálculo do gasto energético desenvolvido por implementação de algoritmo de aprendizagem de máquina. No capítulo 9 mostra-se os resultados dos cálculos por outros métodos, e apresenta comparações entre os modelos desenvolvidos e estes outros métodos.

6.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE DA COMPONENTE PRÁTICA E EXPERIMENTAL

Objetivo geral da componente prática e experimental

Propor um sistema que permita a medição do gasto energético humano em contexto ocupacional utilizando actigrafia complementada com a medição de outros parâmetros relevantes.

Objetivos específicos da componente prática e experimental

- Replicar práticas apontadas pela literatura para avaliar o gasto energético do ser humano, com o recurso às técnicas de actigrafia;
- Desenvolver um modelo de cálculo de gasto energético que incorpore dados obtidos na quantificação dos parâmetros no experimento;
- Comparar os resultados mensurados com os resultados dos modelos e de outros métodos de cálculo;
- Propor um sistema que integre dados de actigrafia e outros parâmetros para melhorar a precisão da avaliação do gasto energético de forma adequada ao contexto ocupacional.

Hipótese da componente prática e experimental

Um sistema que use actigrafia e outros parâmetros pode determinar o gasto energético de pessoas em situações ocupacionais com erro comparável ao previsto em norma.

7 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Nesse tópico apresenta-se os elementos metodológicos da componente experimental, tais como as etapas, e os respetivos materiais e métodos.

O experimento foi concebido considerando a fundamentação teórico e os resultados das revisões de literatura. Assim, foi realizado um experimento em laboratório que permitisse: coletar medições das variáveis escolhidas para o modelo, utilizar uma técnica de actigrafia recomendada pela literatura e utilizar uma técnica de determinação de gasto energético de referência apontada pela norma ISO 8996. A partir dos dados obtidos nessa etapa laboratorial foi possível reunir dados para a elaboração do modelo de cálculo proposto.

Em seguida foi feita a comparação dos resultados do modelo desenvolvido com os métodos de determinação do gasto energético por actigrafia, com métodos recomendados pela norma ISO 8996 e com equações encontradas que se adequavam com situações ocupacionais.

Com base nessas informações tem-se uma proposta de sistema de determinação de gasto energético. De forma geral, as etapas da pesquisa estão representadas pelo fluxograma que se apresenta a seguir na Figura 13:

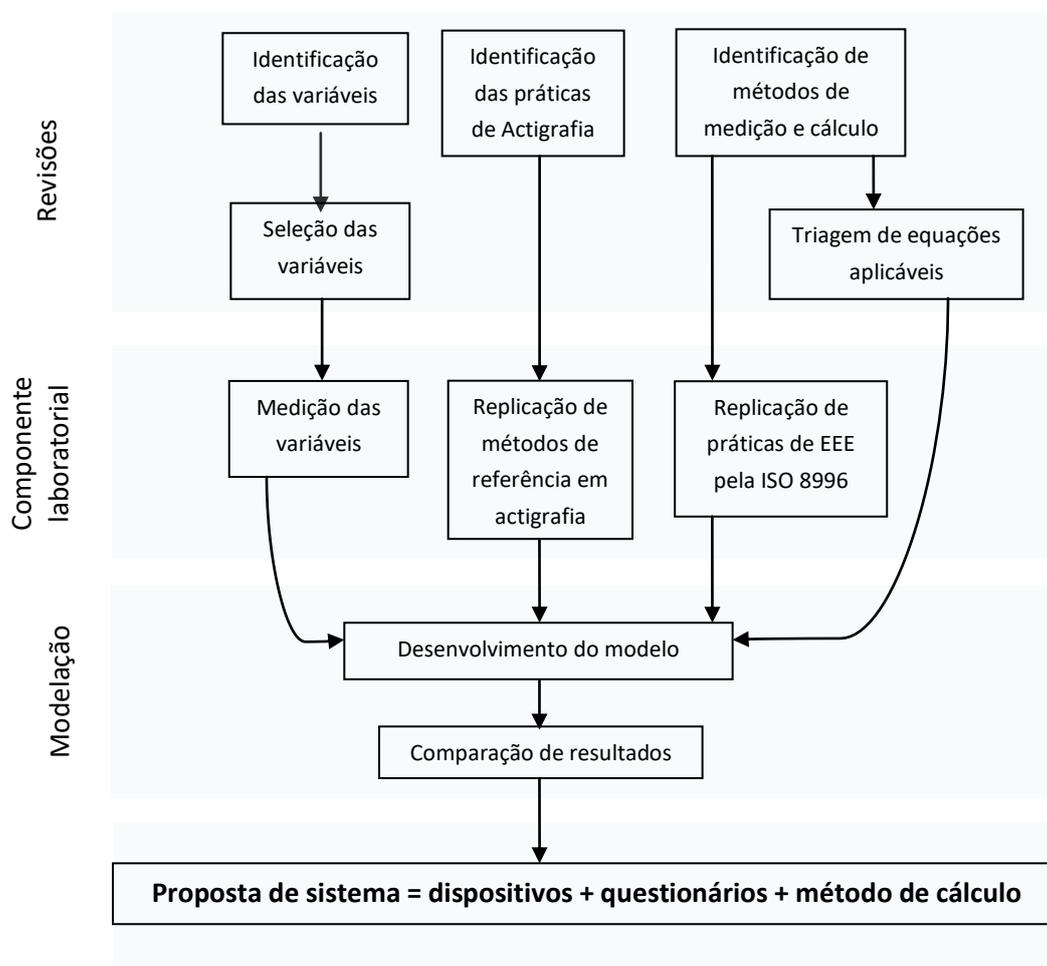


Figura 13: Etapas da pesquisa

*EEE = energy expenditure estimation, ou estimativa de gasto energético.

Para identificação das variáveis, dos métodos de cálculos e das práticas de actigrafia lançou-se mão das revisões de literatura já apresentadas. As variáveis foram identificadas nas revisões dos artigos, bem como nos modelos de cálculos identificados, tanto nas equações como nos modelos de aprendizagem de máquinas. A identificação das variáveis apresentadas na literatura serviu para a seleção das variáveis mensuradas.

Para medir variáveis, replicar um método de actigrafia e outras práticas de estimativa de gasto energético, foi vivenciado o experimento laboratorial. Os dados recolhidos foram tratados e utilizados em modelações.

Para a proposição do sistema de estimativa de gasto energético para situações ocupacionais utilizou-se os resultados de todas as etapas anteriores considerando o melhor modelo desenvolvido, com base nas comparações de resultados. Nos próximos tópicos as etapas da pesquisa serão explicitadas com os respetivos materiais e métodos utilizados em cada uma delas.

7.1 EXPERIMENTO

Após a identificação das variáveis com potencial de inserção no modelo de cálculo, identificação das práticas de actigrafia e dos métodos de cálculo, executou-se uma componente experimental em laboratório. Essa etapa constituiu-se da aplicação de questionários com os participantes e o cumprimento de um protocolo de atividades variadas com utilização de actígrafos, monitor de frequência cardíaca e [analisador metabólico](#) portátil, em ambiente com temperatura e umidade controlados em condição média de conforto térmico ambiental.

Os questionários foram utilizados para coleta de informações pessoais; informações sobre hábitos de alimentação, atividade física e sono; e historial clínico. Já o protocolo foi construído considerando os relatos da literatura em relação ao tipo e duração das atividades.

O experimento ocorreu nas dependências do Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Acidentes – PROA, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, utilizando-se de seus equipamentos e suporte de pessoal técnico. O experimento foi executado entre julho e setembro de 2018.

Seleção e caracterização da amostra

Foram convidados para participar do experimento voluntários com idades entre 18 e 40 anos, que se declararam não fumantes, não consumidores frequentes de suplementos nem complementos alimentares; não ter histórico clínico ou qualquer outra condição de saúde que apontasse riscos ou comprometesse as funções metabólicas, nem cardiorrespiratórias, nem ter limitações físicas nem outras restrições de movimentos. Os voluntários foram convidados a participar da pesquisa por mensagens formais de correio eletrônico direcionadas a estudantes universitários, e por anúncios em redes sociais.

Por questões de segurança, foram excluídos os voluntários que apresentassem doenças ou condições de limitações metabólicas; doenças ou condições de limitação cardiovascular; doenças renais, diabetes; hipertensão arterial; neoplasias; gestação ou suspeita de gravidez; asma por

esforço; alergias a qualquer elemento ou atividade presente no experimento; condição ou alteração de membros que interfira nos movimentos corporais; obesidade acima do nível I; depressão; alcoolismo ou sofrimento por uso de outras substâncias.

Um dos voluntários não completou o protocolo de atividades. Foram incluídos os dados de 50 voluntários que atendiam todos os critérios de inclusão, sendo 25 do sexo masculino e 25 do sexo feminino. Idade média de 29,5 anos, sendo a menor idade 18 anos e a maior 40anos, com mediana em 30. Dos participantes, 3 eram canhotos e 47 destros. Quanto à etnia 23 eram brancos, 19 mestiços, 7 negros e 1 amarelo. Quanto à nacionalidade 34 participantes eram brasileiros, 7 portugueses, 3 filhos de pais brasileiros e europeus, 2 ucranianos, 1 boliviano, 1 angolano, 1 iraniano e 1 argelino. Em relação ao grau de atividade física 17 participantes eram pouco ativos ou sedentários, 21 moderadamente ativos e 12 altamente ativos.

Preparação para o experimento

Ao se fazer contato com o voluntário era verificado o atendimento dos requisitos de participação, feito o agendamento e dadas instruções sobre as vestimentas adequadas para a participação.

No dia do experimento, no laboratório, as etapas que antecediam o protocolo eram:

- Chegada e recepção;
- Troca de roupas no vestiário do laboratório, caso necessário;
- Aplicação de questionários;
- Medição de altura na balança mecânica com estadiômetro;
- Medição de peso e percentuais de massa gorda e massa magra no analisador de composição corporal (por bioimpedância);
- Escolha da máscara mais adequada para o participante;
- Colocação dos dispositivos na seguinte ordem: medidor de frequência cardíaca, actígrafos e [analisador metabólico](#) portátil;
- Calibração do [analisador metabólico](#) portátil com o participante;
- Revisão das instruções do experimento.

A alocação dos dispositivos está representada na Figura 14, onde é possível identificar o [analisador metabólico](#) portátil na parte posterior do corpo, constituído de unidade portátil, bateria, máscara, termômetro para temperatura ambiente adjacente ao corpo (no ombro), actígrafos no pulso, na cintura e no tornozelo. Além destes, o medidor de frequência cardíaca foi utilizado por baixo das vestes de cada participante, em contato com a pele do tórax, conforme instruções de uso do fabricante.



Figura 14: Disposição dos dispositivos utilizados pelos participantes durante o experimento

Após as etapas de preparação para o experimento era executado o protocolo de atividades que será pormenorizado no próximo tópico.

Protocolo de atividades

Buscou-se um conjunto de tarefas que representassem uma ampla variedade de posturas e níveis de atividades variando entre leve e moderado, ao mesmo tempo que simulassem atividades comumente encontradas em postos de trabalho, considerando também algumas das atividades encontradas nas tabelas da Norma ISO 8669:2004, bem como as práticas mencionadas na literatura.

Como as recolhas foram feitas de forma contínua com cada voluntário, foi necessário simplificar o protocolo, suprimindo-se algumas atividades que intentava-se inserir e ajustando o tempo da maioria das atividades para cinco minutos. O tempo de cumprimento do protocolo era de cerca de 75 minutos.

O protocolo foi executado na câmara térmica do laboratório com o objetivo de padronizar as condições de temperatura a 25 °C e umidade do ambiente a 50%, de forma que proporcionasse situação considerada média de conforto térmico ambiental.

A seguir, apresentam-se as atividades do protocolo pela Tabela 7. As Figuras de 15 a 32 ilustram algumas das atividades executadas. As Figuras 20, 22, 26 e 32 representam os períodos de descanso para recuperação de frequência cardíaca e respiratória.

Tabela 7: Atividades do protocolo

Atividade	Ilustração
<p>1 Deitado no colchão, permanecer em repouso com o mínimo de movimentos possível por 10 minutos. As luzes da Câmara eram apagadas. O participante era orientado a não resistir caso sentisse sono, podendo inclusive dormir. Devido à disposição dos equipamentos era necessário deitar com as costas no colchão, conforme ilustra a Figura 15.</p>	 A participant is lying on their back on a grey mat on the floor. They are wearing a red shirt, black pants, and a blue head-mounted device. A black sensor belt is around their waist. The mat has the brand name 'Quechua' visible on it.
<p>Figura 15: Deitado em repouso</p>	
<p>2 Sentado, responder os testes no computador por 5 minutos, como ilustra a Figura 16. Os testes foram usados para simular atividade de trabalho em computador.</p>	 A participant is sitting in a black office chair at a white desk. They are wearing a red shirt, black pants, and a blue head-mounted device. A black sensor belt is around their waist. They are looking at a computer monitor and have their hands on a keyboard and mouse.
<p>Figura 16: Atividade em computador</p>	
<p>3 Em pé, em frente à mesa, manipular cartas por 5 minutos em ritmo normal, usando ambas as mãos, conforme a Figura 17. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço</p>	 A participant is standing in a room, wearing a red shirt, black pants, and a blue head-mounted device. A black sensor belt is around their waist. They are reaching down to handle a cardboard box on a table. There are other boxes and a metal shelving unit in the background.
<p>Figura 17: Manipulação de cartas em postura de pé</p>	

Continua

Continuação

Atividade

Ilustração

- 4 Em pé, em frente à mesma mesa, levantar pesos de 2,0 kg da bancada até a altura dos ombros, como mostra a Figura 18, e retornar à mesa, tal qual a Figura 19, seguindo o ritmo de um metrônomo (40 batidas por minutos) por 5 minutos. A tarefa foi proposta por simular uma atividade de inspeção manual-visual de produtos. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço



Figura 18: Elevação de carga à altura da vista



Figura 19: Pouso de carga à mesa

- 5 Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do repouso



Figura 20: Primeiro descanso de recuperação

- 6 Varrer área específica da câmara por 5 minutos, ilustrado pela Figura 21. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço

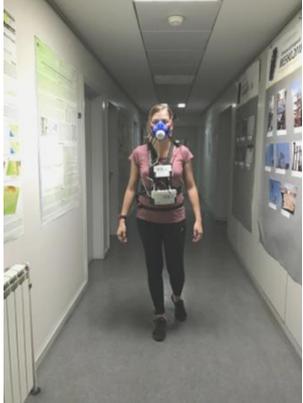


Figura 21: Varredura

Continua

<i>Continuação</i>	Atividade	Ilustração
7	Sentar e levantar da cadeira 10 vezes	
8	Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do repouso	
<p>Figura 22: Segundo descanso de recuperação</p>		
9	Transporte de caixas plásticas com carga de 5 kg de uma extremidade da câmara à outra por 5 minutos, como ilustra a Figura 24. Em uma das extremidades da câmara a estante onde colocava-se a caixa era propositalmente mais baixa, a 0,45 m do nível do chão, para incluir agachamento às atividades, como mostra a Figura 23. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço	
<p>Figura 23: Agachamento exigido na manipulação das caixas na 1ª estante.</p>		
<p>Figura 24: Transporte manual de cargas</p>		
10	Transporte de caixas plásticas com carga de 10 kg de uma extremidade da câmara à outra por 5 minutos. Utilizou-se a mesma configuração da atividade anterior, com a primeira estante propositalmente mais baixa (0,45 m) para incluir agachamento às atividades e a segunda em altura confortável (0,80 m do chão), conforme a Figura 25. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço	
<p>Figura 25: Pouso e retirada das caixas na 2ª estante</p>		

Continua

<i>Continuação</i> Atividade	Ilustração	
11 Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do repouso		
12 Após essas atividades era executada uma caminhada de deslocamento do laboratório até as escadas do prédio, como ilustram as Figuras 27 e 28.		
13 Nas escadas era monitorada a descida do 4º pavimento ao térreo e subida retornando ao ponto de início, conforme as Figuras 29 e 30, respectivamente. Ao término foi utilizada a escala de Borg de percepção de esforço		

Continua

<i>Continuação</i> Atividade	Ilustração
14 Em seguida, retornava-se ao laboratório com caminhada pelo mesmo percurso, representado na Figura 31.	 A photograph showing a person from behind, walking down a long, brightly lit hallway. The person is wearing a pink shirt and dark pants, and appears to be carrying a backpack or some equipment. The hallway has white walls and a dark floor.
Figura 31: Caminhada de retorno das escadas ao laboratório	
15 Finalmente, o participante descansava por 5 minutos sentado até recuperar as frequências cardíaca e respiratória.	 A photograph of a person sitting at a desk in a laboratory setting. The person is wearing a pink shirt and dark pants, and is looking at a computer monitor. They are wearing a blue face mask and a backpack. The desk has a computer monitor, keyboard, and mouse.
Figura 32: Quarto descansando para recuperação	

Após o cumprimento do protocolo, os equipamentos eram retirados, os dados recolhidos e questionava-se ao participante se restava-lhe alguma dúvida.

Uma consideração importante é que este protocolo não incluiu execução de atividades em circunstâncias anaeróbias, sendo este mais um desafio para os estudos na área, considerando as peculiaridades dessa condição.

Instrumentos e equipamentos do experimento

Os instrumentos de coleta de dados e equipamentos utilizados no experimento serão descritos de acordo com o fluxo das etapas do experimento.

Termo de Consentimento Informado, Livre e Esclarecido: O Termo, que se encontra no Apêndice E, foi disponibilizado aos participantes antes do experimento. Já no dia do experimento, o termo foi

lido novamente pelo pesquisador para cada participante. Após lido e esclarecido de qualquer dúvida, o Termo foi assinado e rubricado em todas as páginas.

Questionários: Os participantes preencheram os questionários que abordavam informações pessoais, questões sobre hábitos alimentares e outros consumos; historial clínico; nível de atividade física; tempo e qualidade de sono; e indicadores de estresse, ansiedade e depressão. Para que não fosse utilizado um único questionário grande, optou-se estrategicamente por dividir as questões em dois questionários: um com as informações pessoais, hábitos alimentares e outros consumos, histórico clínico, e nível de atividade física, apresentado no Apêndice F; e o outro com questões sobre o tempo e qualidade do sono, e estado emocional recente do participante, apresentado no Apêndice G. As questões referentes ao nível de atividade física foram uma aplicação do *International Physical Activity Questionnaire – IPAQ*, versão portuguesa, conforme apresenta Campanço (2016). As questões referentes ao tempo e qualidade de sono foram uma aplicação da versão curta do *Pittsburgh Sleep Quality Index – PSQI* (Buysse et al., 1989); e as questões sobre ansiedade, depressão e estresse são uma aplicação do *Depression Anxiety Stress Scales – DASS* (Lovibond e Lovibond, 1995), na versão de vinte e uma questões. Essas três ferramentas foram escolhidas pela praticidade de aplicação e por já serem validadas. A inserção das variáveis provenientes dos dados coletados com esses questionários é uma tentativa de verificação da influência delas sobre o gasto energético, conforme os indícios encontrados na revisão de literatura.

Balança mecânica com estadiômetro: Após o preenchimento dos questionários foi utilizado uma balança mecânica com estadiômetro modelo SECA 220 para mensuração da altura dos participantes.

Sistema de avaliação da composição corporal *InBody 230*: Utilizou-se tal sistema para avaliar a densidade e composição corporal do participante. Dessa forma, além do cálculo do peso do indivíduo, esse dispositivo informa porcentagem de gordura, de hidratação, de músculos, dentre outros possíveis parâmetros. Para processar os dados do *InBody 230* foi utilizado o respectivo software *Lookin'Body Basic*.

Monitor de frequência cardíaca Polar H7 Heart Rate: Após as medições, colocou-se nos participantes o monitor de frequência cardíaca, o [analisador metabólico](#) portátil e os actígrafos. O Polar H7 é fixado ao troco por uma cinta elástica de forma que os eletrodos façam contato com a pele do usuário na altura inferior do esterno. Ele permitiu monitorar dados da frequência cardíaca e sincronizar seus dados com o K4b2 e com os actígrafos simultaneamente.

Sistema de avaliação metabólica portátil - Cosmed K4b2: Tal sistema é acoplado ao corpo do usuário com um colete onde prende-se uma bateria, e a unidade portátil (PU), estando esta última, ligada a uma máscara. O sistema possui função de transmissão por telemetria, mas optou-se por guardar os dados das coletas de cada participante na própria memória da PU, coletando-as posteriormente com auxílio do software específico do Cosmed k4b2 e convertendo em formato de planilha eletrônica.

Actígrafos ActiGraph wGT3X-BT: Esses dispositivos serviram para monitorar a quantidade de movimentos do usuário baseando-se em sensores dos quais os mais importantes são os acelerômetros triaxiais. Os dados dos movimentos foram coletados a 30Hz, conforme indicado pela literatura como sendo uma frequência suficientemente adequada para boa medição nas condições

desse trabalho. Tais dados foram armazenados no dispositivo e posteriormente processados em computador no software específico do dispositivo. Os sensores medem 3,3 cm x 4,6 cm x 1,5 cm e foram fixados ao corpo no pulso do braço dominante, na cintura e no tornozelo dominante.

Câmara climática: A câmara térmica do PROA é produzida pela Aralab, modelo Fitoclima 25000EC20. O protocolo foi executado em seu interior com a temperatura em 25° C e a umidade do ar em 50% para fins de padronização das condições de execução das atividades do experimento. Esta condição é considerada usualmente como confortável para contexto de trabalho. A câmara mede 3,20 m x 3,20 m e um croqui com o layout utilizado no experimento é apresentado no Apêndice H.

Testes PEBL: Foram utilizados os testes psicológicos do *Psychology Experiment Building Language - PEBL*² para padronizar a atividade do protocolo de simulação de trabalho em computador. A opção se deu por serem testes gratuitos e serem usados também em contextos acadêmicos. Apesar de seu potencial de uso, os testes foram utilizados apenas para padronizar dessa atividade sem que seus resultados passassem por qualquer tratamento de dados.

Actilife software: Para inicializar os actígrafos e tratar os dados dos dispositivos foi utilizado o software específico Actilife versão 6.13.3 da Actigraphcorp.

Microcomputadores: Foram utilizados um notebook para o software do K4b2, um segundo notebook para o software de análise de composição corporal Lookin'body Basic, e um computador desktop para o software da câmara, o Actilife, e os testes PEBL. Para estes últimos, um monitor suplementar foi conectado a esse computador mas permaneceu na mesa interna da câmara climática.

Outros materiais: Na câmara, foram utilizados outros materiais de apoio, tais como colchão insuflável para a monitoração do período de repouso deitado, cadeira, 2 mesas, 2 estantes com prateleiras em alturas diferentes para apoiar as caixas de 5kg e 10kg, 2 caixas plásticas preenchidas com papel de forma que pesassem 5kg e 10kg respectivamente, peso de 2kg para simulação de inspeção, metrônomo, e um jogo de cartas.

Ordenação dos dados

Os dados dos dispositivos e dos questionários foram exportados para planilhas de Excel e em formato *comma separated values* – csv a fim de serem utilizados nas modelações e comparações.

Para efeitos de sincronização dos dispositivos para coleta de dados em relação ao tempo, utilizou-se um único computador considerando que os dispositivos tomam o relógio do computador como referência. Além disso, normalizou-se os dados coletados dos actígrafos com os dados coletados pelo [analisador metabólico](#) portátil K4b2. Para isso todas as variáveis que variam no tempo foram normalizadas utilizando-se valores médios por minuto. Isto inclui a frequência cardíaca, [contagens](#) dos acelerômetros e o gasto energético por [calorimetria indireta](#). A frequência cardíaca foi captada do medidor de frequência cardíaca e automaticamente sincronizada pelo

² Os testes podem ser encontrados em <http://pebl.sourceforge.net>

[analisador metabólico](#) e pelo actígrafo da cintura, que integram esses dados aos seus respectivos cálculos. Os resultados eram calculados na mesma periodicidade que os outros dois respectivos dispositivos. Entretanto, o actígrafo foi programado para trabalhar sempre a 30Hz, fornecendo medidas segundo a segundo. Já os dados de [calorimetria indireta](#) eram registrados de acordo com a velocidade de cada respiração, variando os intervalos de medição constantemente, de acordo com a atividade executada e o nível de cansaço do participante. Por isso, optou-se por normalizar os dados com uma média por minuto da frequência cardíaca e um valor de [contagens](#) no mesmo intervalo correspondente de 1 minuto, facilitando o tratamento dos dados.

7.2 OUTROS MATERIAIS E MÉTODOS DA COMPONENTE EXPERIMENTAL

A seguir são apresentados materiais e métodos da modelação, dos cálculos de gasto energético por outros métodos e da proposição do sistema.

7.2.1 Modelação

A modelação foi desenvolvida de duas formas: foram utilizadas técnicas de modelação estatística e de aprendizagem de máquina.

A modelação estatística iniciou-se com análise dos dados para verificação de correlações entre as variáveis mensuradas disponíveis. Posteriormente foram testados modelos simples e lineares, até concluir-se que um modelo misto hierárquico seria a melhor opção para o caso desse estudo. Para essa modelação utilizou-se o *software R*.

A modelação por técnicas de inteligência artificial iniciou-se por modelagens de redes neurais artificiais por ser uma das técnicas mais utilizadas para estimativa de gasto energético apresentadas na literatura. Posteriormente optou-se pela modelação de regressão por floresta aleatória, sendo uma técnica de regressão constituída pela adoção da média dos resultados de várias árvores de regressão. Foi utilizada a plataforma do Google Colaboratory para desenvolver e executar os códigos de implementação dos algoritmos. Essa plataforma permite tais ações *online*, usando exclusivamente o sistema virtual sem necessidade de processamento numa máquina.

7.2.2 Cálculo por outros métodos e comparação de resultados

Foram calculadas as estimativas de gasto energético por métodos diferentes, dentre eles alguns dos métodos previstos na Norma ISO 8996:2004, e algumas das equações de regressão encontradas na literatura que se adequam a situações laborais. Esses resultados, assim como os resultados dos modelos desenvolvidos foram comparados com os valores medidos e calculados a partir dos dados do [analisador metabólico](#) K4b2.

Também se comparou os resultados obtidos pela medição do consumo de oxigênio com o método de actigrafia utilizado. Entretanto, se utilizou no software do actígrafo uma das equações também utilizadas para estimativa do gasto energético encontrado na literatura.

Da Norma ISO 8996:2004 foram aplicados os métodos do nível de abordagem de observação – nível 2, e do nível de abordagem de análise – nível 3. Portanto, do nível 2 aplicou-se os métodos de estimativa de taxa metabólica requerida pela tarefa, estimativa por atividades típicas, e estimativa da taxa metabólica de um ciclo de trabalho.

Para estes último método mencionado é necessária a ponderação do tempo do ciclo de execução do protocolo da pesquisa, conforme o item 5.3 da Norma com recomendações para um ciclo de trabalho. A ponderação se dá pelo somatório do produto dos tempos pelos valores das taxas dividido pelo tempo total, conforme a expressão da Equação (4):

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i t_i \quad \text{Equação (4)}$$

Onde,

M é a taxa metabólica média para o ciclo, em W/m²

M_i é a taxa metabólica da atividade i, em minutos

t_i é a duração da atividade i, em minutos

T é a duração total do ciclo sendo o somatório do tempo de cada atividade, em minutos

A comparação dos resultados desses métodos só é coerente nesses formatos, diferente dos outros métodos que podem ser comparados por minuto, permitindo utilizar o erro médio absoluto como indicador.

Também foi aplicado o método do nível 3 de abordagem que usa a frequência cardíaca para estimar a taxa metabólica. Para tal, utilizou-se os dados coletados no experimento.

Em relação às equações, escolheu-se dentre as analisadas as que consideram movimentos e também se adequam a situações ocupacionais, conforme os critérios adotados no capítulo 3. As equações são de Freedson e Swartz.

7.2.3 Proposição do sistema de estimativa de gasto energético

A proposição do sistema foi baseada na consideração das variáveis com indícios de maior contribuição para estimativas, na aplicabilidade e viabilidade das ferramentas para situações de campo, menor invasividade ao usuário do sistema e melhores resultados de estimativa do gasto energético. A partir desses critérios, selecionou-se os componentes do sistema.

8 MODELO DE REGRESSÃO COM EFEITOS MISTOS

8.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados resultados do trabalho relacionados a um dos modelos desenvolvidos e algumas análises que o método aplicado permite realizar.

Segundo Fávero et al. (2009), os modelos de regressão com efeitos mistos ou modelos hierárquicos têm como habilidade principal prever e explicar o comportamento de uma variável de desempenho ao longo do tempo, bem como identificar os componentes de variância responsáveis por tal fenômeno em situações onde há variáveis com relações onde uma contém e depende de outras, podendo essas internas também conterem outras variáveis, e assim sucessivamente de acordo com o número de níveis do fenômeno. Assim, os modelos hierárquicos são modelos multiníveis, onde cada um dos níveis da estrutura dos dados é representado pelo seu próprio submodelo, que representa as relações estruturais e a variabilidade residual que ocorre no respectivo nível.

Para a obtenção do modelo por esta técnica foram considerados grupos que caracterizaram níveis de avaliação dos efeitos do gasto energético. Em níveis mais baixos estão a execução da atividade pelo participante, considerando a execução de movimentos e as atividades; e em um nível mais alto tem-se características dos participantes.

Na execução das atividades esses níveis exercem variações no valor do gasto energético. Usando modelo de efeitos mistos foi possível verificar o quanto da variação daquela variável pode ser explicado por características intrínsecas às pessoas, ou seja, pelo nível hierárquico relacionado ao participante; e quanto é decorrente de características da execução das atividades pelas pessoas, pela análise do nível de execução das atividades. Ainda foi possível estimar quanto dessa variação do gasto energético é provocado por outros aspectos que não foram considerados no estudo. A relevância dessa decomposição da variância está no fato da variação ser um indicador útil da importância desses níveis considerados no estudo.

As variações do gasto energético explicadas pelos níveis hierárquicos das variáveis podem ainda resultar de variações na média geral, que se dá a conhecer pelo [intercepto](#) daquela variável dependente, e pode resultar de variações aleatórias nos efeitos das variáveis independentes.

8.2 METODOLOGIA

O procedimento utilizado para selecionar os [efeitos](#) fixos e aleatórios das variáveis se deu em 3 etapas descritas a seguir:

Etapa 1 – Após a verificação de correlações entre as variáveis, todas as que foram registradas no estudo e que não eram correlacionadas, foram inseridas no modelo. Foram introduzidos apenas [efeitos aleatórios](#) no [intercepto](#). Em sucessivas execuções de ajuste do modelo, retirava-se aquela cujo [efeito](#) era menos significativo, ou seja, aquelas variáveis cuja estatística do teste de significância do parâmetro apresentou o valor mais próximo de zero. Esse procedimento foi repetido até que se obteve um modelo

apenas com [efeitos significativos](#), ou seja, estatística de teste com valor fora do intervalo entre -2 e 2, conforme os valores do *t-value* da Tabela 10, apresentada posteriormente.

Etapa 2 - No modelo selecionado na primeira etapa foram introduzidas variáveis com termos quadráticos e de interação entre variáveis. Os termos introduzidos foram aqueles com variáveis que haviam sido retiradas do modelo na Etapa 1.

Etapa 3 – No modelo selecionado na Etapa 2, introduziu-se sucessivamente [efeitos aleatórios](#) das variáveis que tinham [efeitos](#) fixos no modelo. Verificou-se quais variáveis pertenciam ao nível dos participantes e quais pertenciam aos níveis das atividades. Os [efeitos aleatórios](#) foram introduzidos então no nível correspondente.

Modelação

O modelo foi organizado em três níveis, baseando-se nos dados coletados. Cada nível será apresentado a seguir com coeficientes genéricos e as variáveis correspondentes a cada nível de acordo com o disposto na Tabela 8. Posteriormente é apresentada a estruturação do modelo na composição unificada. Em seguida é apresentada a modelação com a aplicação dos valores na equação genérica do modelo, na seção de Resultados.

Para efeitos dessa modelagem, considere-se a denominação das variáveis significantes para o modelo de acordo com a Tabela 8 a seguir:

Tabela 8: Variáveis significantes no modelo de acordo com nível hierárquico associado

Notação adotada	Variável	Associação / Nível hierárquico no modelo
x_1	Grau de atividade física	Atividade – Nível 2
x_2	Frequência cardíaca	Participante – Nível 3
x_3	Contagem por minuto no pulso	Registro por minuto – Nível 1
x_4	Contagem por minuto no tornozelo	Registro por minuto – Nível 1
x_5	Peso	Participante – Nível 3

Nível 1 - Associado ao registro por minuto

A Equação (5) indica que o gasto energético GE registrado a cada momento apresenta: uma parcela que independe das variáveis estudadas, sendo ela uma média (β_0); outra parcela que resulta do [efeito](#) de variáveis independentes associadas à execução momentânea das partes de uma atividade por minuto ($\beta_1x_3 + \beta_2x_4$); e uma terceira parcela resultante de variações aleatórias normais associadas àqueles momentos (π).

$$GE = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_3 + \beta_2 \cdot x_4 + \pi$$

Equação (5)

Nível 2 - Associado à atividade

No segundo nível tem-se um grupo de equações que descrevem um detalhamento da média ou [intercepto](#) (β_0) e efeitos de primeiro nível. Observa-se que os efeitos das variáveis descritas no primeiro nível, aquelas associadas aos registros a cada minuto, são admitidos como fixos e decorrentes de uma única parcela. Já a média de primeiro nível, que seria o gasto energético médio decorrente do momento de execução da atividade, é resultante de: uma parcela média que, de fato, está associada a cada momento (α_{00}); uma segunda parcela relacionada a uma variável cuja expressividade de significância é maior de acordo com a atividade executada, sendo nesse caso o grau de atividade física do participante ($\alpha_{01} \cdot x_1$); e de uma terceira parcela relacionada a variações aleatórias do gasto energético decorrentes das atividades, que não podem ser explicadas por variáveis independentes investigadas (ε_0), como mostram as Equações (6), (7), (8) e (9). As variações aleatórias referentes às variáveis ε_1 e ε_2 foram consideradas igual a zero por serem valores muito baixos, conforme apresentado posteriormente na Tabela 12.

$$\beta_0 = \alpha_{00} + \alpha_{01} \cdot x_1 + \varepsilon_0$$

Equação (6)

$$\beta_1 = \alpha_{10} + \varepsilon_1$$

Equação (7)

$$\beta_2 = \alpha_{20} + \varepsilon_2$$

Equação (8)

$$\varepsilon_1 = 0 = \varepsilon_2$$

Equação (9)

Nível 3 – Associado ao participante

No terceiro nível há uma descrição mais detalhada dos efeitos e da média ou [intercepto](#) de nível 2, que são atribuídas às atividades. O conjunto das equações desse nível indica que os efeitos relacionados à atividade apresentam: uma componente média associada a cada participante do experimento; uma parcela associada ao sexo do participante; e uma parcela decorrente de variações aleatórias normais ligadas a outras características dos pacientes.

Ainda no nível 3 temos uma descrição mais detalhada das componentes da média de nível 2 que é associada à atividade: uma parcela média que independe do participante observado; uma parcela que decorre de [efeitos de variáveis](#) independentes relacionadas a características dos participantes, sendo um desses efeitos não linear, ou seja, depende do valor da variável independente; e uma componente de variações aleatórias decorrente de características adicionais dos participantes da pesquisa. As Equações (10), (11), (12), (13) e (14) ilustram essa relação. As variações aleatórias referentes às variáveis u_{10} , u_{20} e

u_{01} foram consideradas igual a zero por serem valores muito baixos, conforme apresentado posteriormente na Tabela 12.

$$\alpha_{00} = \gamma_{000} + \gamma_{001} \cdot x_2 + \gamma_{002} \cdot x_5^2 + u_{00} \quad \text{Equação (10)}$$

$$\alpha_{01} = \gamma_{010} + u_{01} \quad \text{Equação (11)}$$

$$\alpha_{10} = \gamma_{100} + \gamma_{101} \cdot F_1 + u_{10} \quad \text{Equação (12)}$$

$$\alpha_{20} = \gamma_{200} + \gamma_{201} \cdot F_1 + u_{20} \quad \text{Equação (13)}$$

$$u_{10} = 0 = u_{20} = u_{01} \quad \text{Equação (14)}$$

Para compilar essas equações, substituiu-se as Equações de (6) a (9) na Equação (5), de onde temos a Equação (15):

$$GE = \alpha_{00} + \alpha_{01} \cdot x_1 + \alpha_{10} \cdot x_3 + \alpha_{20} \cdot x_4 + \varepsilon_0 + \pi \quad \text{Equação (15)}$$

Substituindo as Equações de (10) a (14) na Equação (15) obtém-se a Equação (16):

$$GE = (\gamma_{000} + \gamma_{001}x_2 + \gamma_{002}x_5^2 + u_{00}) + (\gamma_{010} + u_{01})x_1 + (\gamma_{100} + \gamma_{101} \cdot F_1)x_3 + (\gamma_{200} + \gamma_{201} \cdot F_1)x_4 + \varepsilon_0 + \pi \quad \text{Equação (16)}$$

Que pode ser reescrita na forma da Equação (17):

$$GE = \gamma_{000} + \gamma_{001} \cdot x_2 + \gamma_{002} \cdot x_5^2 + \gamma_{010} \cdot x_1 + \gamma_{100} \cdot x_3 + \gamma_{101} \cdot F_1 \cdot x_3 + \gamma_{200} \cdot x_4 + \gamma_{201} \cdot F_1 \cdot x_4 + \varepsilon_0 + \pi + u_{00} \quad \text{Equação (17)}$$

Onde:

x_1 : Grau de atividade física do participante

x_2 : Frequência cardíaca

x_3 : [Contagens](#) por minuto no pulso

x_4 : [Contagens](#) por minuto no tornozelo

x_5^2 : Termo quadrático do peso

F_{1x_3} : Fator do movimento do pulso relacionado ao sexo

F_{1x_4} : Fator do movimento do tornozelo relacionado ao sexo

$\gamma_{i,j,k}$: Coeficientes

ε, π, u : Parcelas aleatórias não explicadas pelo modelo

A Equação (17) indica que há uma média geral significativamente diferente de zero que independe do momento em que se registra o gasto energético e independe das variáveis presentes no modelo. Esta equação sugere que há também variações aleatórias associadas a: características da execução momentânea da atividade; características intrínsecas ao tipo de atividade que se está executando; características específicas associadas ao indivíduo. Portanto, a Equação (17) é uma generalização do modelo desenvolvido.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a aplicação da Equação (17) sugere-se que o gasto energético registrado apresenta [efeitos significativos](#) de cinco variáveis presentes no estudo, sendo esses efeitos de três tipos:

- Efeitos lineares do grau de atividade física do participante (x_1), da frequência cardíaca (x_2) e dos indicadores de movimento do pulso e do tornozelo (x_3 e x_4 , respectivamente). Esses efeitos independem do valor registrado dessas variáveis;
- Efeito não linear do peso (x_5), que dependem do valor registrado dessa variável (não sendo fixo para qualquer que seja o valor registrado do peso), tendendo a ser maior quando o peso é maior (já que está associada a uma função quadrática da variável);
- Efeitos de interação entre as variáveis de movimento (x_3 e x_4) e o sexo do indivíduo (F_1), sugerindo que a presença de efeitos adicionais dos movimentos de pulso e tornozelo depende do sexo do participante.

A Equação (17) é outra forma de expressar o conjunto das Equações (6) a (14), sendo uma maneira mais simples de expressar o modelo. O modelo expresso na forma das equações (6) a (14) é útil para que se entenda como a medida de gasto energético registrada em um determinado momento é formada, segundo o modelo de efeitos mistos proposto. Já o modelo expresso na forma da Equação (16) é útil para que se entenda de maneira mais simples os efeitos presentes e as variações aleatórias consideradas.

Neste caso, o [efeito aleatório](#) do nível hierárquico relacionado a movimentos, considerando a capacidade de explicação, foi excluído devido aos valores encontrados serem muito baixos. A Tabela 9 ilustra os [efeitos aleatórios](#) e dos níveis analisados, considerando a capacidade de explicação do gasto estimado pelo modelo.

Tabela 9: Efeitos aleatórios dos níveis investigados no intercepto

Nível	Parâmetro	Variância explicada	Valores relativos
Participantes	Intercepto	0,244	29,49%
Atividades	Intercepto	0,2767	33,45%
Residual	-	0,3066	37,06%

A Tabela 9 apresenta os resultados de um modelo selecionado na primeira etapa, que considerou apenas variações aleatórias no [intercepto](#), podendo ser interpretado como uma média geral que independe de efeitos das variáveis independentes. Observa-se que maior parte da variação do gasto energético é decorrente de aspectos relacionados aos participantes (29.49%) e à execução da atividade (33, 45%), totalizando 62.94% explicado por esses dois níveis e 37.06% é explicado por aspectos não explorados na pesquisa. Considerando separadamente as parcelas de variação dos dois níveis, verifica-se que maior parte dessa variação decorre de características da execução individual de cada atividade. Uma parcela menor, porém não menos importante, decorre de características individuais dos participantes.

A estimação dos parâmetros de variação foi feita usando o método citado por Marôco (2014), da máxima verossimilhança restrita (*Restricted Maximum Likelihood - REML*). Já os parâmetros de efeito são estimados pelo método da máxima verossimilhança não restrita.

A Tabela 10 apresenta os efeitos fixos das variáveis encontrados.

Tabela 10: Efeitos fixos das variáveis

Variável	Efeito estimado	t - value
Intercepto	-3,22	-12,679
Grau da atividade física (x_1)	0,0000346	2,291
Frequência cardíaca (x_2)	0,0489	40,721
Contagem por minuto no pulso (x_3)	0,0000444	8,09
Contagem por minuto no tornozelo (x_4)	0,000222	22,192
Termo quadrático do peso (x_5^2)	0,000209	7,242
Contagem por minuto no pulso: Sexo feminino ($x_3 : F_1$)	-0,000041	-8,676
Contagem por minuto no tornozelo: Sexo feminino ($x_4 : F_1$)	-0,000122	-16,282

Em relação aos efeitos fixos analisando-se o [intercepto](#), obteve-se um valor negativo. Embora o [intercepto](#) seja comumente considerado como uma média para a qual a variável dependente tende quando todas as variáveis independentes assumem o valor zero, é possível a ocorrência de valores negativos mesmo quando parecem incoerentes. No caso do presente estudo, o valor negativo do [intercepto](#) apenas

indica uma tendência de valores muito baixos quando as variáveis tendem a zero. Esse valor negativo do gasto energético deve ser interpretado com cautela porque a situação onde as variáveis independentes assumem valor zero não pode ser observada, considerando que o melhor repouso possível de uma pessoa ainda representaria o valor energético basal que é relevante por ser em torno de 70% do gasto energético total do indivíduo.

Considerando ainda a Tabela 10, verifica-se também que o maior efeito dentre as variáveis foi aquele referente à frequência cardíaca (0,0489). A variável “Grau de atividade física” 3, que representa quão fisicamente ativo o participante é, foi aquela que apresentou o menor efeito representativo (0,0000346). Dentre os indicadores de movimento, verificou-se que os movimentos do pulso tiveram um efeito menor do que os movimentos mensurados no tornozelo. O nível de movimentação do pulso e do tornozelo é descrito pelas [contagens](#) por minuto registradas pelos actígrafos. Os efeitos indicados na Tabela 9 apontam o quanto tende a aumentar no gasto energético quando cada variável aumenta em uma unidade.

Os resultados expressos na Tabela 10 também sugerem uma diferença entre indivíduos do sexo masculino e feminino no efeito dos movimentos sobre o gasto energético. Logo, o movimento executado nas atividades gera um efeito do gasto energético que contém uma parcela que independe do sexo do indivíduo e outra parcela que depende. Os participantes do sexo feminino tendiam a gastar uma quantia 0,000041 menor por unidade aumentada no registro do actígrafo presente no pulso do que aqueles do sexo masculino. Para o actígrafo localizado no tornozelo o gasto energético por unidade para os participantes femininos tende a ser 0,000122 menor do que aqueles dos indivíduos do sexo masculino.

Outro resultado proveniente do modelo e do processo de seleção dos seus termos é o indicativo de que efeitos lineares do peso não se apresentaram significativos. Porém, a variável apresentou um efeito significativo quando inserida sua forma quadrática. É importante ressaltar que termos lineares sugerem que independente do valor da variável o efeito é o mesmo, enquanto efeitos não lineares indicam que esse efeito depende do valor observado da variável.

Assim, a avaliação dos dois tipos de efeito no gasto energético sugere que o aumento esperado no gasto energético depende do peso que o indivíduo tem. Se o efeito do coeficiente é positivo conclui-se que o gasto energético tende a aumentar com o aumento do peso, mas esse aumento é mais expressivo para indivíduos com pesos maiores.

O uso do modelo apresentado na Equação 17 depende, porém, de alguns pressupostos. Os primeiros pressupostos cuja adequação pode ser investigada consistem na [normalidade](#) e [homoscedasticidade](#) dos resíduos de nível mais alto. As Figuras 33 e 34 apresentam respetivamente esses gráficos para o modelo.

³ Usa-se normalmente o termo “nível de atividade física”, mas para desambiguação entre essa variável do estudo e o grupo de características relacionadas à atividade analisado no modelo, optou-se por utilizar aqui o termo “grau de atividade física”.

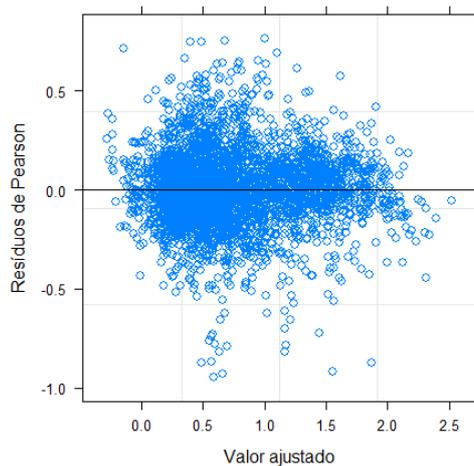


Figura 33: Gráfico de Homoscedasticidade dos erros de nível 2

A Figura 33 indica o gráfico dos resíduos de nível mais alto do modelo em função do valor ajustado. Quanto mais uniforme for a distribuição dos pontos representados nesse gráfico, mais adequado será o modelo quanto à [homoscedasticidade](#). Entretanto, no gráfico observam-se indícios de uma variação menor dos resíduos para valores ajustados maiores, de modo que não temos com clareza uma uniformidade na distribuição dos pontos. É possível que o modelo não seja adequado nessas condições.

Na Figura 34 tem-se um histograma, que é útil para avaliar indícios de [normalidade](#). Pela figura há indícios de que a distribuição é normal, de modo que é possível considerar que não haja problemas no modelo em relação a esse pressuposto.

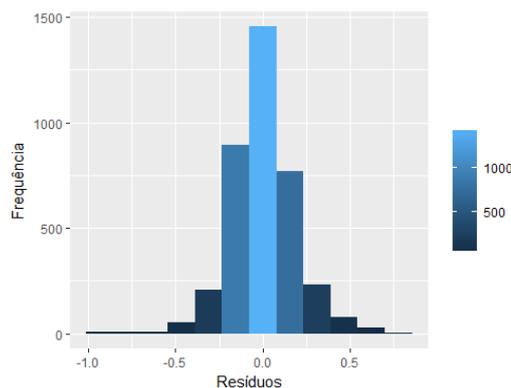


Figura 34: Histograma dos resíduos de nível 2

Apesar de não haver indícios de problemas de [normalidade](#), o modelo parece apresentar alguns vícios de [heterocedasticidade](#). Uma medida comumente usada para correção dessa situação consiste numa transformação da variável dependente, sendo a transformação logarítmica uma dessas mais comuns. Ao usar essa transformação, porém, o modelo apresentará uma forma diferente e os parâmetros fixos deverão ser interpretados de outro modo.

O modelo obtido pode ser descrito pela Equação (18) e descreve o comportamento do gasto energético - GE de acordo com as variáveis presentes na Tabela 10.

$$GE = -3,22 + 0,0000346x_1 + 0,0489x_2 + 0,0000444x_3 + 0,000222x_4 + 0,000209x_5^2 - 0,000041x_3F_1 - 0,000122x_4F_1 + \varepsilon + \pi \quad \text{Equação (18)}$$

Na Equação (17) ε e π são erros aleatórios associados, respectivamente, ao nível 1 (do participante) e ao nível 2 (da execução da atividade).

Para corrigir os vícios de [heterocedasticidade](#), aplicou-se na variável dependente a função logarítmica e conseqüente reajuste do modelo. O resultado é dado pela Equação (19).

$$\log(GE) = \log(-3,22 + 0,0000346x_1 + 0,0489x_2 + 0,0000444x_3 + 0,000222x_4 + 0,000209x_5^2 - 0,000041x_3F_1 - 0,000122x_4F_1 + \varepsilon + \pi) \quad \text{Equação (19)}$$

Resultando na forma da equação 20, apresentada a seguir

$$\log(GE) = -0,9783 + 0,00001181x_1 + 0,01465x_2 + 0,00002453x_3 + 0,00005135x_4 + 0,000062x_5^2 - 0,00001022x_3F_1 - 0,000009019x_4F_1 + \varepsilon + \pi \quad \text{Equação (20)}$$

Aplicando-se a função exponencial nos dois membros da Equação (20) obtém-se como resultado a Equação (21).

$$GE = e^{-0,9783 + 0,00001181x_1 + 0,01465x_2 + 0,00002453x_3 + 0,00005135x_4 + 0,000062x_5^2 - 0,00001022x_3F_1 - 0,000009019x_4F_1 - \varepsilon + \pi} \quad \text{Equação (21)}$$

A Equação 21 pode ser reescrita na forma da Equação (22):

$$GE = e^{-0,9783} \cdot (e^{0,00001181})^{x_1} \cdot (e^{0,01465})^{x_2} \cdot (e^{0,00002453})^{x_3} \cdot (e^{0,00005135})^{x_4} \cdot (e^{0,000062})^{x_5^2} \cdot (e^{-0,00001022})^{x_3F_1} \cdot (e^{-0,000009019})^{x_4F_1} \cdot e^\varepsilon \cdot e^\pi \quad \text{Equação (22)}$$

Nessa nova forma, os efeitos fixos das variáveis assumem novos valores, conforme expressos na Tabela 11.

Tabela 11: Novos valores dos efeitos fixos das variáveis

Tipo	Estimate	t - value
Intercepto	-0,9783	-10,94
Grau de atividade (x_1)	0,00001181	2,128
Frequência cardíaca (x_2)	0.01465	35,809
Contagem por minuto no pulso (x_3)	0.00002453	13,154
Contagem por minuto no tornozelo (x_4)	0.00005135	15,127
Termo quadrático do peso (x_5^2)	0,00006166	5,955
Contagem por minuto no pulso:Sexo feminino ($x_3 : F_1$)	-0,0000102	-6,312
Contagem por minuto no tornozelo:Sexo feminino ($x_4 : F_1$)	-0,0000090	-3,533

No modelo selecionado com [efeitos aleatórios](#) apenas no [intercepto](#), foram inseridos sucessivos [efeitos aleatórios](#) decorrentes das variáveis independentes. A Tabela 12 mostra a variância explicada por esses [efeitos aleatórios](#) das variáveis quando introduzidas no modelo descrito na Equação (21).

Tabela 12: Variância explicada por variações aleatórias nos efeitos das variáveis

Variável	Nível	Variância total	Variância explicada	Variância explicada (%)
Grau de atividade	Atividade	1,1129	0,000000001135	0,000000001020
Frequência cardíaca	Participante	4,2479	0,000400700000	0,000094329718
Peso	Participante	13,2407	0,002388000000	0,000180353002
Contagem por minuto no pulso	Execução da atividade	1,0969	0,000000008562	0,000000007806
Contagem por minuto no tornozelo	Execução da atividade	1,1641	0,000000042650	0,000000036638

Como mencionado anteriormente, a Tabela 12 indica que o percentual de variância explicada por [efeitos aleatórios](#) das variáveis independentes é muito baixo. Portanto, não seria útil manter um termo aleatório no modelo que explica tão pouco da variância do gasto energético. Assim, o modelo que tem apenas variações aleatórias no [intercepto](#) é mais adequado.

Diante disso, tem-se um modelo de regressão misto hierárquico para estimativa de gasto energético baseado no experimento desenvolvido conforme a Equação (22). O modelo foi capaz de estimar o gasto energético baseado nas variáveis coletadas, apontando prioridades dessas variáveis pela relevância delas no modelo.

9 MODELOS DE REGRESSÃO POR APRENDIZAGEM DE MÁQUINA

9.1 INTRODUÇÃO

A ideia de máquinas com capacidade de autonomia e inteligência não é nova. Silva, Spatti, e Flauzino (2016), afirmam que apesar dos primeiros trabalhos sobre redes neurais artificiais e aprendizagem de máquina terem sido desenvolvidos e publicados há mais de 50 anos, as pesquisas nessa área só ganharam força a partir da década de 1990 diante da evolução e popularização de recursos computacionais.

De acordo com Hagenbuchner et al. (2015), a capacidade de reconhecer padrões complexos e tomar decisões inteligentes baseadas em dados é um dos principais alvos da pesquisa em aprendizado de máquina. Existem várias formas de algoritmos promoverem essa aprendizagem e uma delas é pelo treinamento supervisionado, onde um padrão é apresentado ao modelo e as diferenças entre os resultados são minimizados sistematicamente. Essa foi a forma de aprendizagem adotada nas duas técnicas de aprendizagem de máquinas utilizadas nesse trabalho.

Uma das principais classes de ferramentas de aprendizagem de máquinas são as redes neurais artificiais. Como aponta a literatura, as redes neurais têm sido utilizadas nos cálculos de gasto energético com grande frequência na literatura. Entretanto, outras ferramentas também têm demonstrado eficiência ao serem aplicadas nesse contexto. Nesse trabalho utilizou-se a aplicação de algoritmos de redes neurais artificiais e floresta aleatória para desenvolver um modelo que calcule o gasto energético baseado nos dados coletados.

Há relatos do uso de algoritmo de floresta aleatória para estimativa de gasto energético, como por exemplo os trabalhos de Staudenmayer et al. (2015), replicado por Ellingson et al. (2017), e o de Ellis et al. (2014). A ideia geral dessa técnica de classificação é a utilização de várias árvores de decisão que fornecem resultados que são combinados entre si aumentando as possibilidades de classificação acurada, de acordo com os valores da supervisão. Portanto, uma floresta aleatória é um meta-estimador que se ajusta a vários classificadores de árvore de decisão em várias subamostras do conjunto de dados e usa a média dos resultados das árvores para melhorar a precisão preditiva e controlar o ajuste excessivo.

9.2 METODOLOGIA

Como a literatura aponta para redes neurais como uma das principais ferramentas de aprendizagem de máquinas com bons resultados de cálculo de gasto energético, iniciou-se as modelagens de aprendizagem de máquina por essa técnica. Entretanto, após a constatação de que os resultados obtidos por redes neurais não foram suficientemente satisfatórios, levantou-se a hipótese de que a modelagem por outra técnica de aprendizagem de máquina poderia fornecer melhores resultados. Por isso, experimentou-se a implementação de um algoritmo de floresta aleatória.

Para desenvolver os modelos utilizou-se a plataforma Colaboratory do Google, que é um ambiente online gratuito que permite escrever, executar, salvar e compartilhar códigos utilizando o espaço virtual remoto de nuvem do Google Drive para tal.

Foram inseridas todas as variáveis medidas, considerando que os algoritmos de modelação já ponderariam aquelas com significância para que permanecessem no modelo. Portanto, utilizou-se as seguintes variáveis: idade (anos), sexo, etnia (negro, branco, mestiço, amarelo, outro), gasto energético semanal estimado (em kcal), grau de atividade física (em 3 níveis: sedentário = 1, moderadamente ativo = 2, altamente ativo = 3), índice PSQI de tempo e qualidade do sono, índice AED (ansiedade, estresse e depressão), frequência cardíaca (bps), peso, altura, massa de gordura (kg), massa livre de gordura (kg), área corporal (m²), [contagens](#) por minuto de cada eixo dos 3 actígrafos, [vetor magnitude](#) das [contagens](#) de cada actígrafo. Como alvo de aproximação (*target*) utilizou-se os valores de gasto energético obtidos pelas medições com o [analisador metabólico](#) portátil K4b2.

Os parâmetros de otimização de modelação adotados foram o erro médio e o erro padrão. Ou seja, o objetivo dos algoritmos foi minimizar esses respectivos valores nas estimativas de gasto energético.

A primeira estratégia de modelação da estimativa do gasto energético com algoritmo de aprendizagem de máquina constituiu-se de tentativas de minimização do erro quadrático médio (MSE - *mean square erro*) com um algoritmo de redes neurais artificiais de aproximação para predição, com treinamento supervisionado. Utilizou-se nos neurônios intermediários funções de ativação do tipo ReLU (*Rectified Linear Unit*) e para compilação no nerônio de saída uma função linear. Foi feita validação cruzada (*cross validation*).

A segunda estratégia de modelação do gasto energético com algoritmo de aprendizagem de máquina foi pela utilização de um algoritmo de floresta aleatória. No presente caso, adotou-se o erro absoluto médio (MAE) como parâmetro e o nível de profundidade do modelo igual a 10. Os valores de erros e r² são obtidos pelas médias dos valores dos 10 grupos.

A aplicação da ferramenta seguiu alguns passos: a escolha dos dados, aplicação do algoritmo de regressão por florestas aleatória, a validação cruzada com obtenção dos erros para cada subgrupo, a determinação do erro médio e do erro padrão, o cálculo do r² entre os valores dos subgrupos e respectiva média, e a obtenção dos pesos de importância de cada variável.

9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de rede neural foi a primeira opção das modelagens por aprendizagem de máquina, baseando-se no que apontou a literatura.

Apesar do erro médio e do erro padrão terem sido adotados como parâmetros de referência e comparação entre os modelos de aprendizagem de máquina desse trabalho, para o modelo de redes neurais também calculou-se o erro máximo, o erro mínimo, e o erro quadrático médio (MSE).

A frequência da correção dos pesos sinápticos é dada pelo número de épocas escolhido que, nesse caso foi de 1000 repetições (*epochs* = 1000) para aproximação dos valores estimados com os valores obtidos por [calorimetria indireta](#).

Apesar dos valores do erro quadrático médio ser satisfatório, os valores dos demais erros são relativamente elevados para as proporções dos valores medidos.

O script da aplicação do algoritmo de rede neural está apresentado a seguir.

```

# ESCOLHA E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

from sklearn.preprocessing import StandardScaler
X = medicoes[list(medicoes)].drop(['EEm','ID_PACIENTE','ID_ACAO','marker','hour'], axis=1)
Y = medicoes['EEm']
scaler = StandardScaler()
X = scaler.fit_transform(X)

# CRIAÇÃO DO MODELO

from tensorflow.keras.layers import Dense,Dropout
from tensorflow.keras.models import Sequential
from numpy.random import seed
seed(1)
from tensorflow import set_random_seed
set_random_seed(2)
def modelo():
    modelo = Sequential()
    modelo.add(Dense(21,input_dim=21,kernel_initializer='normal', activation='relu'))
    modelo.add(Dense(10,kernel_initializer='normal', activation='relu'))
    modelo.add(Dense(8, kernel_initializer='normal', activation='relu'))
    modelo.add(Dense(4, kernel_initializer='normal', activation='relu'))
    modelo.add(Dense(1, kernel_initializer='normal', activation='linear'))
    modelo.compile(loss='logcosh', optimizer='adamax')
    return modelo

# APLICAÇÃO DO MODELO E VALIDAÇÃO CRUZADA

from sklearn.model_selection import cross_val_score
from tensorflow.keras.wrappers.scikit_learn import KerasRegressor
modelo = modelo()
modelo.fit(X, Y, epochs=1000, verbose=False, shuffle=False)
prediction = modelo.predict(X)

# CHECAGEM DOS ERROS

import numpy as np
from sklearn.metrics import mean_squared_error, accuracy_score
train_error = np.abs(Y.values - prediction)
mean_error = np.mean(train_error)
min_error = np.min(train_error)
max_error = np.max(train_error)
std_error = np.std(train_error)
mse = mean_squared_error(Y, prediction)

# PLOTAGEM DOS PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO

print(mean_error,min_error,max_error,std_error,mse)

-0.048640366236361      0.000222763409058      3.2788604294082      0.933064431288648
0.872742334946254

```

Script 1: Modelo de regressão por rede neural artificial

Já o script do algoritmo de floresta aleatória está apresentado a seguir:

```
# ESCOLHA DOS DADOS
medicoes = pd.read_csv(url)
medicoes.head()
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
X = medicoes[list(medicoes)].drop(['EEm', 'ID_PACIENTE', 'ID_ACAO', 'marker', 'hour'], axis=1)
Y = medicoes['EEm']

# APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE REGRESSÃO POR RANDOM FOREST
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.model_selection import cross_val_score
import numpy as Np
model = RandomForestRegressor(random_state=0)
model.set_params(n_estimators=100,criterion='mae',max_depth=10)
model.fit(X, Y)
RandomForestRegressor(bootstrap=True, criterion='mae', max_depth=10,
                        max_features='auto', max_leaf_nodes=None,
                        min_impurity_decrease=0.0, min_impurity_split=None,
                        min_samples_leaf=1, min_samples_split=2,
                        min_weight_fraction_leaf=0.0, n_estimators=100, n_jobs=None,
                        oob_score=False, random_state=0, verbose=0, warm_start=False)

# VALIDAÇÃO CRUZADA
scores = cross_val_score(model, X, Y, cv=10, scoring='neg_mean_absolute_error')
print(scores)

[-0.49653381 -0.64679985 -0.46896403 -0.36645586 -0.5741986 -0.47223484
 -0.46766122 -0.32125126 -0.40001184 -0.33924616]

# PLOTAGEM DOS PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO
print(-scores.mean(),scores.std())

0.45533574685283157 0.09773596970243154

# CÁLCULO DO R2
scores = cross_val_score(model, X, Y, cv=10, scoring='r2')
print(scores)

[0.67585327 0.708421 0.76921803 0.90822239 0.72029698 0.82848278
 0.82462921 0.85522876 0.81687826 0.86436297]
print(scores.mean())

0.7971593635731782

# OBTENÇÃO DOS PESOS PARA CADA VARIÁVEL
model.feature_importances_
array([[0.0086176 , 0.0040823 , 0.00250312, 0.00287515, 0.01219777,
        0.00918548, 0.0070629 , 0.10366024, 0.06934685, 0.01311175,
        0.01632786, 0.0612076 , 0.0383028 , 0.04707086, 0.01654583,
        0.01996266, 0.02763513, 0.43003568, 0.05930741, 0.03406402,
        0.01689701])
```

Script 2: Modelo de regressão por floresta aleatória

Após o treinamento e checagem dos erros, a melhor alternativa da estimativa pelo modelo de redes neurais forneceu os seguintes valores apresentados na Tabela 13:

Tabela 13: Valores por tipo de erro da rede neural desenvolvida

Tipo de erro	Valor
Erro médio	-0,04864
Erro mínimo	$2,2276 \times 10^{-4}$
Erro máximo	3,2788
Erro padrão	0,93306
MSE	0,87274

Na expectativa de diminuir esses valores de erros e obter um modelo com melhores resultados, optou-se por experimentar uma modelagem de regressão por algoritmo de floresta aleatória.

Como demonstrado nos resultados gerados pela aplicação do algoritmo, a validação cruzada com os 10 subgrupos devolveu os respectivos resultados da validação e do R^2 , conforme apresenta a Tabela 14:

Tabela 14: Valores de validação cruzada e coeficiente de correlação para 10 subgrupos

Scores	Cross Validation	R^2
cv score 1 =	-0,49653381	0,675853
cv score 2 =	-0,64679985	0,708421
cv score 3 =	-0,46896403	0,769218
cv score 4 =	-0,36645586	0,908222
cv score 5 =	-0,57419860	0,720297
cv score 6 =	-0,47223484	0,828483
cv score 7 =	-0,46766122	0,824629
cv score 8 =	-0,32125126	0,855229
cv score 9 =	-0,40001184	0,816878
cv score 10 =	-0,33924616	0,864363

A Tabela 15 apresenta os valores dos erros dos modelos por redes neurais e por floresta aleatória:

Tabela 15: Valores dos erros por técnica de modelagem de aprendizagem de máquina

Tipo de erro	Rede neural artificial	Floresta aleatória
Erro médio	-0,04864	$3,40956 \times 10^{-4}$
Erro mínimo	$2,2276 \times 10^{-4}$	$3,5634 \times 10^{-7}$
Erro máximo	3,2788	0,9970
Erro padrão	0,93306	0,20118
MSE	0,87274	0,040462

Posteriormente, os valores dos erros e de outros parâmetros serão comparados entre os resultados obtidos pelas técnicas de modelagem e outras formas de estimativa do gasto energético utilizados nessa pesquisa. Entretanto, o valor do R^2 médio = 0,7971593 para o modelo de floresta aleatória juntamente com os valores dos erros encontrados apontam que essa pode ser uma boa técnica de modelagem para os dados dessa pesquisa, e que tem melhores resultados que a rede neural. É possível que os resultados da modelagem por rede neural apresente melhores resultados se for aplicado com redes encadeadas, utilizando-se de redes à montante para identificação da atividade desenvolvida antes da aplicação da técnica para estimativa do gasto energético.

Os valores dos pesos e as respectivas variáveis do modelo por floresta aleatória estão listados na Tabela 16.

Tabela 16: Pesos e respectivas variáveis do modelo

Variável	Peso
Idade	0,0086176
Sexo	0,0040823
Etnia	0,00250312
Grau de atividade física	0,00287515
Gasto estimado semanal	0,01219777
Índice de qualidade de sono - PSQI	0,00918548
Índice de estado emocional - AED	0,0070629
Frequência Cardíaca	0,10366024
Peso	0,06934685
Altura	0,01311175
Massa de gordura	0,01632786
Massa livre de gordura	0,0612076
Eixo 1 - Pulso	0,0383028
Eixo 2 - Pulso	0,04707086
Eixo 3 - Pulso	0,01654583
Eixo 1 - Cintura	0,01996266
Eixo 2 - Cintura	0,02763513
Eixo 3 - Cintura	0,43003568
Eixo 1 - Tornozelo	0,05930741
Eixo 2 - Tornozelo	0,03406402
Eixo 3 - Tornozelo	0,01689701

Se os pesos forem expressos em percentuais, será mais facilmente perceptível a relação das variáveis e pesos no modelo, tal qual se apresenta na Figura 35:

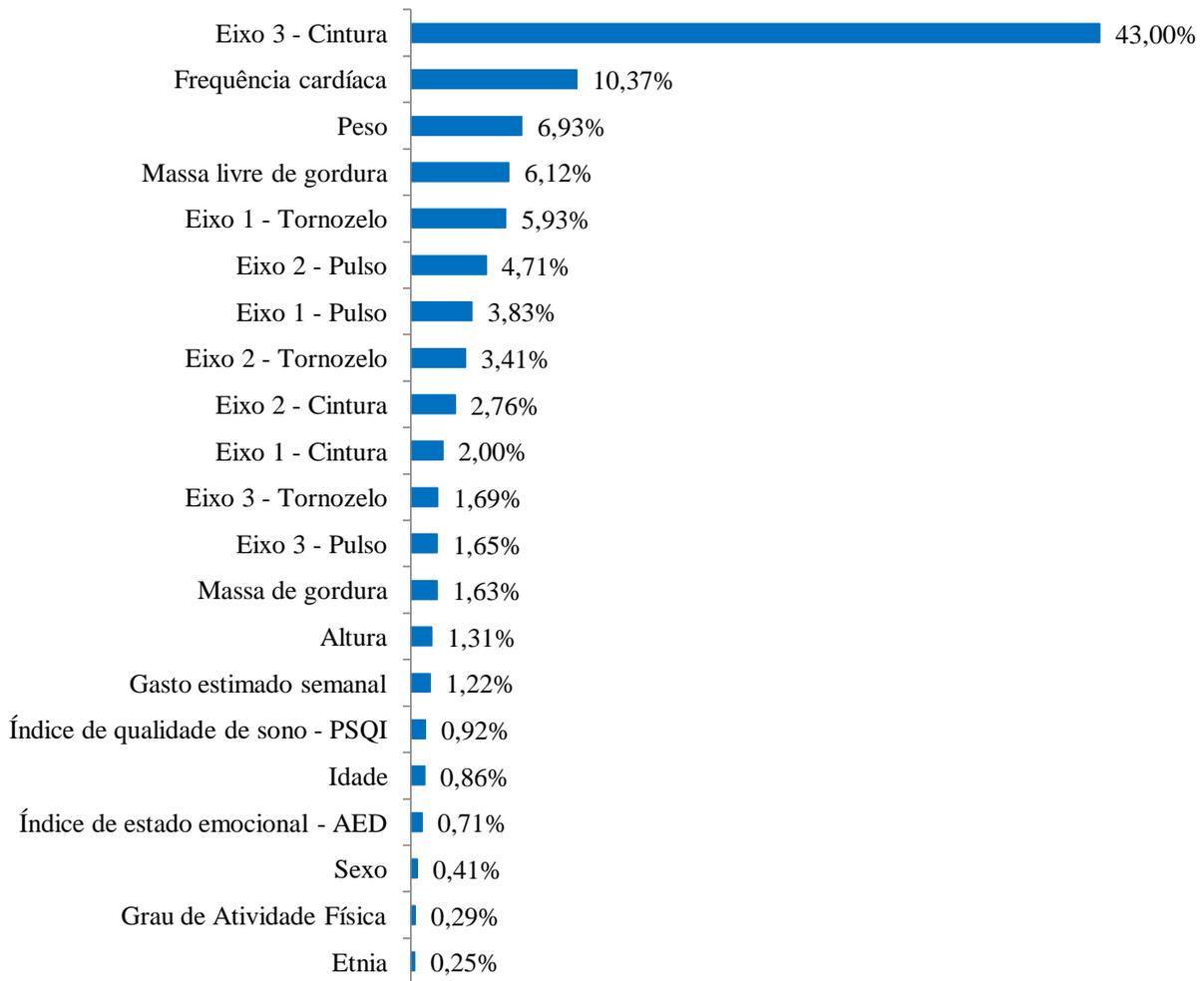


Figura 35: Pesos das variáveis em percentual

Nesse caso específico o eixo vertical do actígrafo da cintura se sobressai como variável relevante, seguido da frequência cardíaca, do peso e massa livre de gordura, conforme representado na Figura 16. Note-se ainda que os valores de erro médio e erro padrão do modelo pelo método da floresta aleatória foram melhores do que os do modelo por redes neurais.

Diante desses resultados, afirma-se que foi possível desenvolver um modelo por um algoritmo de floresta aleatória que estima o gasto energético humano com base nas variáveis consideradas no experimento permitindo hierarquizar as variáveis de acordo com sua influência no resultado do modelo.

No próximo capítulo são apresentadas comparações dos resultados entre alguns dos métodos de cálculo encontrados.

10 ANÁLISES E COMPARAÇÕES A PARTIR DE OUTROS MÉTODOS

10.1 INTRODUÇÃO

Conforme previsto nos objetivos, para fins de análise, elegeu-se alguns outros métodos para calcular o gasto energético e comparar com os resultados dos modelos desenvolvidos. Optou-se por aplicar alguns métodos da Norma ISO 8996:2004 e algumas das equações de regressão que se encontrou na literatura.

Os métodos da Norma são aqueles dos níveis de abordagem 2 e 3 por serem exequíveis e aplicáveis. Os métodos do nível 1 não se aplicam ao protocolo de atividades utilizado; e os métodos de água duplamente marcada e [calorimetria direta](#) não eram exequíveis no contexto de recursos e tempo disponíveis para essa pesquisa.

As equações escolhidas estão dentre as que atenderam os critérios apresentados no capítulo 3 em relação à aplicabilidade em situações ocupacionais quanto à população indicada e abrangência de atividades.

Os valores adotados como parâmetro de comparação foram os valores obtidos por [calorimetria indireta](#) no experimento.

10.2 METODOLOGIA

Da Norma ISO 8996:2004 optou-se por aplicar os seguintes métodos: (a) estimativa de taxa metabólica requerida pela tarefa e, (b) estimativa da taxa metabólica por atividades típicas; ambos métodos de nível 2 de abordagem, considerando as ponderações para o ciclo de trabalho.

Além desses métodos do nível 2, aplicou-se o método de nível 3 de abordagem: (c) estimativa da taxa metabólica pela relação com a frequência cardíaca.

As equações escolhidas dentre as analisadas para aplicação estão entre as que consideram movimentos e, por isso, também se adequam a situações ocupacionais, sendo elas: (d) equação de Swartz et al. (2000) e, (e) equação de Freedson (Sasaki, John, e Freedson, 2011). A equação de Swartz considera [contagens](#) de acelerômetros do pulso e da cintura. Já a equação de Freedson (2011) foi aplicada às [contagens](#) do acelerômetro da cintura.

Intencionou-se utilizar também a equação de Crouter et al. (2006), mas a necessidade de normalizar as [contagens](#) em períodos de 10 segundos para classificação de acordo com o coeficiente de variação da equação seria inviável no caso desse trabalho para comparações por minutos por questões de sincronização dos resultados dos equipamentos.

Também foram aplicados os métodos (f) modelo de regressão misto hierárquico, (g) modelo de regressão por rede neural artificial e (h) modelo por floresta aleatória. Todos os resultados foram comparados em relação ao método (i) de [calorimetria indireta](#) por análise do ar inspirado e expirado. Esses métodos estão listados no Tabela 17:

Tabela 17: Métodos de estimativa do gasto energético utilizados

Método para determinação do Gasto Energético	Fonte
(a) Estimativa de taxa metabólica requerida pela tarefa	Tabelas B1 e B2 do Anexo B da Norma ISO 8996:2004
(b) Estimativa por aproximação de tarefas típicas	Tabela B3 do Anexo B da Norma ISO 8996:2004
(c) Relação do gasto energético com frequência cardíaca	Tabela C1 do Anexo C da Norma ISO 8996:2004,
(d) Equação de Swartz	(Swartz et al., 2000)
(e) Equação de Freedson	(Sasaki, John e Freedson, 2011)
(f) Modelo de regressão misto hierárquico	Modelação – Capítulo 8
(g) Modelo de regressão por rede neural artificial	Modelação – Capítulo 9
(h) Modelo por floresta aleatória	Modelação – Capítulo 9
(i) Calorimetria Indireta	Parâmetro de comparação. Calculado pelo software do dispositivo de análise metabólica de acordo com a Norma ISO 8996:2004, item 7.1.2

Os cálculos da aplicação do método (a) - estimativa de taxa metabólica requerida por tarefa foram feitos de acordo com as Tabelas B1 e B2 da ISO 8996:2004. Para se obter os valores estimados de gasto energético para o protocolo da pesquisa, foi necessário identificar os valores para cada atividade e, ao fim, transformar as unidades de [W/m²] para [kcal/(min × m²)], permitindo a aplicação para a execução das 15 atividades pelos 50 participantes. As medidas de peso e altura de cada participante coletadas no experimento propiciaram o cálculo da área corporal pela fórmula Du Bois, que por sua vez permitiu a obtenção de valores do gasto energético de cada participante por atividade.

A fórmula Du Bois para área da superfície corporal está representada na equação 22, a seguir:

$$A = 0,202 \times W^{0,425} \times H^{0,725} \quad \text{Equação (23)}$$

Onde, A = área da superfície do corpo [m²]

W = peso corporal [kg]

H = altura [m]

Este método pondera a taxa estimada da tarefa de acordo com as partes do corpo envolvidas na execução da atividade, a carga de trabalho daquele segmento corporal, postura da pessoa analisada e velocidade de trabalho. Nesse caso, as atividades de repouso do protocolo não estavam previstas na tabela da norma e foi adotado o valor de 55 W/m² da tabela B.3 da norma referente a posição sentado em repouso.

Os valores da taxa metabólica pelo método (a) para cada atividade do protocolo estão apresentados a seguir na Tabela 18.

Tabela 18: Estimativa de taxa metabólica requerida por tarefa de acordo com as Tabelas B1 e B2 da ISO 8996:2004

	Atividade	Duração (min)	Carga de atividade	Partes corporais envolvidas	Taxa de energia [W/m²]	Postura	Ajuste pela postura [W/m²]	Valor ajustado [W/m²]
1	Deitado	10	Não previsto	Não previsto	55	Deitado	0	55
2	Sentado, trabalhando ao computador	5	Leve	Dois mãos	70	Sentado	0	70
3	De pé, manipulando cartas	5	Leve	Um braço	90	De pé	15	105
4	Levantamento de 2kg	5	Leve	Dois braços	120	De pé	15	135
5	Sentado assistindo video	5	Não previsto	Não previsto	55	Sentado	0	55
6	Varrer	5	Leve	Dois braços	120	De pé	15	135
7	Sentar e levantar 10 vezes	1	Leve	Corpo inteiro	180	Sentado	0	180
8	Sentado assistindo video	5	Não previsto	Não previsto	55	Sentado	0	55
9	Transporte de carga 5kg	5	Moderado	Corpo inteiro	180	De pé	15	195
10	Transporte de carga 10kg	5	Moderado	Corpo inteiro	180	De pé	15	195
11	Sentado assistindo video	5	Não previsto	Não previsto	55	Sentado	0	55
12	Caminhada 1	1	Leve	Corpo inteiro	180	De pé	15	195
13	Escadas	3	Moderado	Corpo inteiro	245	De pé	15	260
14	Caminhada 2	1	Leve	Corpo inteiro	180	De pé	15	195
15	Sentado em repouso	5	Não previsto	Não previsto	55	Sentado	0	55
Taxa Ponderada [W/m²]								108,71
Taxa Ponderada [kcal/(min × m²)]								1,55793

Para o método (b) - estimativa de taxa metabólica por aproximação de tarefas típicas, foram feitas adaptações por atividade de acordo com a Tabela B.3 da ISO 8996:2004. Vale salientar que, segundo a referida norma, a tabela B.3 apresenta valores baseados em medidas de performances executadas no passado em diferentes laboratórios; ou seja, são baseados em dados reais.

Para este caso adotou-se o valor de velocidade para os deslocamentos com transporte de carga de 4km/h e inclinação de 15° para a subida e descida das escadas. Embora esses valores de velocidade e inclinação não tenham sido mensurados, foram assumidos como próximos aos valores reais.

Para obtenção dos valores de gasto energético para cada participante por atividade do protocolo também foram transformados os valores de [W/m²] para [kcal/(min × m²)] e utilizados os dados de peso e altura na fórmula de Du Bois para se calcular a área da superfície do corpo.

Os valores em [W/m²] admitidos para cada atividade do protocolo e consequente ponderação para o protocolo inteiro, pelo método (b) - estimativa da taxa metabólica por tarefas típicas são apresentados a seguir na Tabela 19.

Tabela 19: Estimativa de taxa metabólica por aproximação de tarefas típicas de acordo com a Tabela B.3 da ISO 8996:2004

Atividade	Situação ou postura	Duração (min)	Valor [W/m ²]
1 Deitado	Deitado	10	40
2 Sentado, trabalhando ao computador	Atividade sedentária	5	70
3 De pé, manipulando cartas	De pé, atividade leve	5	90
4 Levantamento de 2kg	De pé, atividade moderada	5	115
5 Sentado assistindo video	Em repouso, sentado	5	55
6 Varrer	De pé, atividade moderada	5	115
7 Sentar e levantar 10 vezes	Sentar e levantar	1	180
8 Sentado assistindo video	Em repouso, sentado	5	55
9 Transporte de carga 5kg	Caminhada plana com carga de 5 kg, a 4km/h	5	175
10 Transporte de carga 10kg	Caminhada plana com carga de 10 kg, a 4km/h	5	185
11 Sentado assistindo video	Em repouso, sentado	5	55
12 Caminhada 1	Caminhada 1 (a 4 km/h, sem carga)	1	165
13 Escadas	Média de (subida a 15°, sem carga, a 3 km/h) e (descida a 15°, sem carga, 4km/h)	3	175
14 Caminhada 2	Caminhada 2 (a 4 km/h, sem carga)	1	165
15 Sentado em repouso	Em repouso, sentado	5	55
Taxa Ponderada [W/m²]			95,22727
Taxa Ponderada [kcal/(min × m²)]			1,364686

Em relação ao método (c) - estimativa do gasto energético pela relação com a frequência cardíaca, utilizou-se a tabela C.1 da norma ISO 8996:2004 para se obter a estimativa de gasto energético por minuto. Nessa tabela da norma os valores da taxa metabólica são dados pelo produto de um coeficiente (α) com o valor da frequência cardíaca (HR), subtraindo-se um valor constante (C), tal qual exemplifica-se na equação x:

$$\alpha \times HR - C \quad \text{Equação (24)}$$

Como os valores de (α) e (C) são tabelados por sexo para valores de idade e peso de múltiplos de dezenas (ou seja, 20, 30, 40, 50 e 60 anos; e 50kg, 60kg, 70kg, 80kg e 90kg), foram feitas as devidas interpolações e extrapolações para encontrar os coeficientes e fatores de subtração específicos para cada participante de acordo com os respectivos sexo, peso e idade.

Diferente dos dois primeiros métodos (a) e (b), para esse, para as duas equações e para os dois modelos desenvolvidos foi possível estimar o gasto energético dos 50 participantes minuto a minuto.

Os valores de taxa metabólica obtidos por todos os métodos foram comparados com os valores obtidos por [calorimetria indireta](#). Esses resultados são apresentados a seguir.

10.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de gasto energético medidos no experimento e estimados por todos os métodos utilizados nesse trabalho estão disponíveis na Tabela 20 apresentada a seguir.

Tabela 20: Valores estimados da taxa metabólica pelos métodos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) e (h), comparado aos valores obtidos por calorimetria indireta (i);

Participante	Métodos								
	Calorimetria indireta (i)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	262,779	230,819	202,188	247,955	289,428	92,0530	261,517	203,435	257,1238
2	212,042	207,569	181,822	179,454	274,162	56,4228	211,307	171,673	208,322
3	184,999	239,232	209,557	213,454	319,861	84,6431	185,100	185,511	188,0863
4	165,992	171,288	150,042	180,150	226,637	56,7722	165,737	178,264	165,2826
5	140,995	205,654	180,144	159,875	268,494	65,0060	141,385	164,221	143,7483
6	163,928	221,194	193,757	277,548	294,186	75,2516	164,607	188,597	169,898
7	155,968	196,455	172,086	231,880	231,465	45,5690	156,204	168,327	158,3276
8	139,536	200,943	176,017	181,869	234,894	42,0125	139,511	170,748	139,5747
9	186,241	202,484	177,367	342,213	318,439	63,7040	187,347	174,075	188,9121
10	185,481	206,263	180,677	165,724	256,958	69,4017	185,308	170,125	183,8395
11	222,408	275,339	241,185	373,794	400,107	106,895	223,272	186,329	227,2092
12	175,234	220,402	193,063	213,691	267,878	61,2969	174,945	173,303	176,5039
13	170,793	188,881	165,452	154,923	215,486	39,8124	170,147	182,392	169,3735
14	123,294	185,723	162,686	172,253	191,812	37,5768	123,393	181,256	127,0308
15	147,798	200,292	175,447	190,703	243,324	42,9104	147,790	173,525	147,5338
16	118,877	177,538	155,515	265,775	195,187	35,8301	120,411	178,030	123,2236
17	253,414	257,034	225,151	355,825	365,422	94,8967	253,455	216,387	250,3751
18	155,998	200,285	175,441	142,895	234,731	46,2894	155,451	169,403	155,0793
19	173,059	192,109	168,28	148,623	222,833	42,7971	172,704	177,574	172,4421
20	185,45	205,034	179,601	180,732	272,945	70,4174	185,401	168,135	184,5963
21	249,81	282,988	247,886	309,004	426,155	110,257	250,360	198,377	243,2527
22	176,996	203,741	178,468	215,306	250,554	57,509	176,663	177,002	176,3394
23	249,219	197,661	173,143	384,167	294,592	93,258	249,536	161,279	247,8755
24	184,269	193,545	169,537	201,343	239,445	61,815	183,649	184,653	184,0077
25	149,0906	199,547	174,795	208,344	228,902	39,722	149,370	178,193	150,3866
26	221,221	224,472	196,628	231,166	325,102	99,9471	220,872	183,549	222,0727
27	164,2051	176,101	154,257	316,674	202,553	41,3495	165,649	173,758	164,9485
28	154,6775	183,242	160,512	104,697	209,837	39,7418	153,591	181,932	152,039
29	214,6116	261,628	229,175	292,387	395,731	138,249	215,125	205,099	214,4655
30	235,0607	239,807	210,061	493,841	342,837	112,668	236,016	190,565	237,9023
31	209,7193	233,510	204,545	78,1950	338,251	91,3695	209,166	169,446	205,2693
32	186,0811	201,141	176,191	161,407	244,058	61,1083	186,022	165,941	183,8627
33	202,6402	205,727	180,208	182,323	285,507	65,8193	202,685	153,376	200,3716
34	226,9398	221,407	193,943	185,839	320,767	94,2060	226,305	186,395	224,9269
35	178,3705	196,826	172,411	146,635	257,050	62,3948	177,803	177,722	176,3042
36	225,9245	252,833	221,470	249,095	356,921	75,1491	225,964	180,384	221,1945
37	226,0838	229,513	201,044	384,968	329,371	84,5608	226,685	174,768	228,0539

<i>Continuação</i>									
Participante	Calorimetria indireta	Métodos							
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
38	170,910	194,8416	170,6731	247,1495	240,8389	60,39249	171,0298	176,1314	173,1302
39	143,500	211,9636	185,6713	251,7485	259,9984	65,59635	144,2537	183,5211	147,8197
40	127,857	157,6184	138,0672	183,2887	151,3706	22,35651	128,5493	183,2868	129,4901
41	169,376	207,6254	181,8712	244,7334	280,5807	73,87398	169,5016	176,7108	171,7897
42	150,64	169,2618	148,2662	151,3962	191,8816	41,15217	150,2643	165,4183	150,1942
43	197,311	223,6372	195,8969	72,40896	331,1007	108,5483	196,451	189,5548	194,6939
44	146,003	186,6118	163,4641	161,5905	248,5373	68,6283	146,0112	172,3648	148,3167
45	211,103	233,9003	204,8869	117,5844	352,2689	88,74021	210,8626	187,2593	209,2345
46	184,723	212,8488	186,4467	227,0903	271,0967	68,996	184,8719	176,4996	184,6258
47	157,455	176,9763	155,0238	145,7598	248,0708	71,09157	157,1838	176,4842	160,4088
48	174,820	201,3926	176,4115	186,6825	260,3821	64,19204	174,2529	179,8378	172,7313
49	158,879	179,6237	157,3428	160,7109	202,9047	40,45521	158,649	173,7014	159,3058
50	193,591	219,964	192,6792	153,0827	287,9328	83,02678	193,0445	172,868	192,622

(a) Taxa metabólica requerida pela tarefa; (b) estimativa por aproximação de tarefas típicas; (c) estimativa pela relação com frequência cardíaca, (d) estimativa pela equação de Swartz (2000), (e) Estimativa pela equação de Freedson ET. AL. (2011), (f) estimativa pelo modelo de regressão mista hierárquica, (g) estimativa pelo modelo de rede neural artificial, (h) estimativa pelo modelo de floresta aleatória

Em relação à média dos erros do gasto total do ciclo para os 50 participantes, considerando todos os métodos utilizados, tem-se os valores apresentados a seguir. Também são apresentados os valores do coeficiente de correlação e do desvio padrão entre cada método e a [calorimetria indireta](#). Todos estes na Tabela 21.

Tabela 21: Média dos erros do gasto total do ciclo entre os métodos aplicados em relação ao gasto energético por calorimetria indireta

Método para determinação do Gasto Energético	Erro médio por método [kcal]	Coefficiente de correlação (r)	Desvio padrão [kcal]
(a) Taxa metabólica requerida por tarefa	0,347356402	Não se aplica	Não se aplica
(b) Aproximação de atividades típicas	0,000287866	Não se aplica	Não se aplica
(c) Relação do gasto energético com frequência cardíaca	0,444539	0,7557	1,3251
(d) Equação de Swartz	1,212157452	0,7590	1,0208
(e) Equação de Freedson	-1,537341068	0,7928	0,9421
(f) Modelo de regressão misto hierárquico	-5,95e ⁻¹⁵	0,9314	0,5487
(h) Modelo por rede neural	0,872742	0,7875	0,9330
(h) Modelo por floresta aleatória	-0,000340956	0,9918	0,2011

É perceptível que os menores valores dos erros foram apresentados pela aplicação do modelo de floresta aleatória e pelo modelo de regressão misto hierárquico. Estes dois métodos também apresentaram valores de correlação mais fortes em relação aos resultados obtidos por [calorimetria indireta](#).

Para os métodos (a) e (b) não é coerente calcular correlação entre os resultados desses métodos e os resultados da calorimetria. Também não se aplica o cálculo do desvio padrão, pois a estimativa é feita por atividade e não por minuto como foi feito para todos os outros métodos.

Os valores obtidos por cada um dos demais métodos foram comparados com os valores obtidos pelo método de calorimetria pela erro médio e pelo desvio padrão. Esses valores estão representados em gráficos de Bland-Altman (Bland e Altman, 1999) para avaliação da concordância entre os valores estimados e os valores mensurados por [calorimetria indireta](#), indicando consequentemente a concordância de cada método com o método de referência indicado na norma.

A seguir, apresenta-se os gráficos de Bland-Altman que ilustram e permitem verificar o nível de concordância entre os dados mensurados e os respectivos métodos apresentados. A Figura 36 apresenta o gráfico correspondente ao modelo por floresta aleatória. Já a Figura 37, corresponde ao modelo misto hierárquico. A Figura 38 mostra a concordância entre os dados mensurados e a estimativa pela rede neural. A Figura 39 ilustra a concordância entre os dados mensurados e os dados obtidos pelo método da relação com a frequência cardíaca, apresentado na norma ISO 8996:2004. A Figura 40 mostra a concordância entre os dados mensurados e a equação de Swartz et al. (2000). Finalmente, a Figura 41 corresponde aos resultados de concordância entre os dados medidos e a equação de Freedson e colegas (Freedson, Melanson, e Sirard, 1998; Sasaki, John, e Freedson, 2011). Apresenta-se os gráficos a seguir:

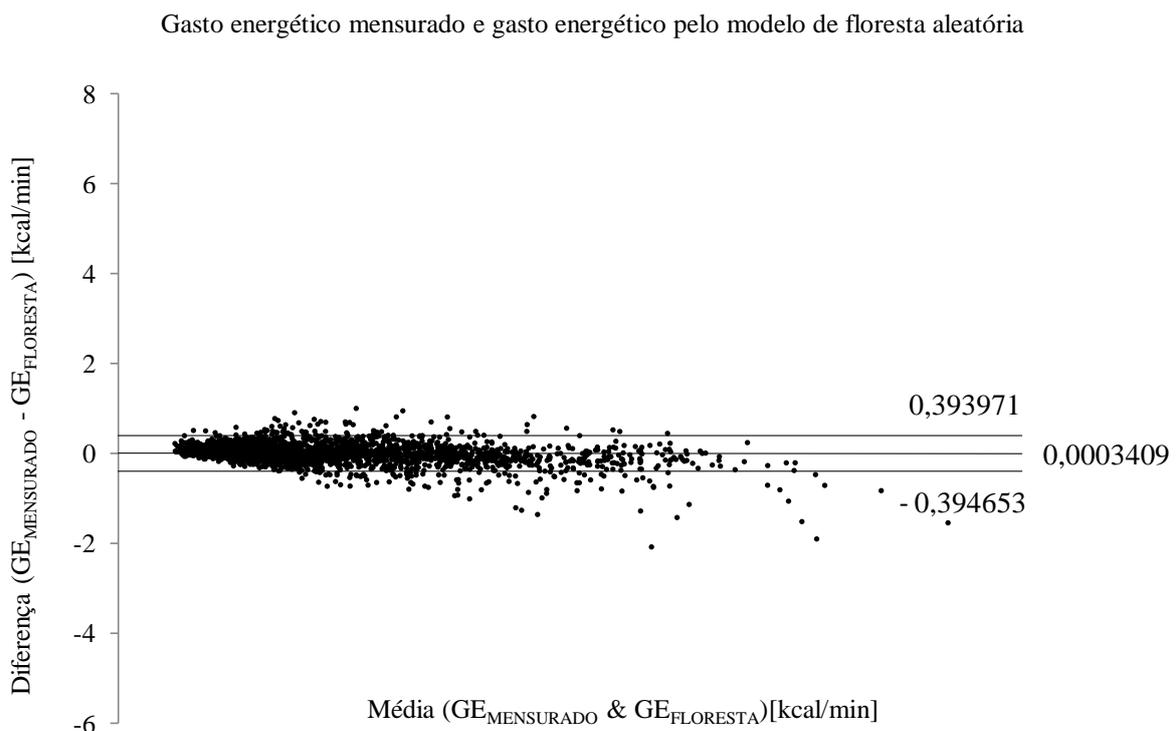


Figura 36: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o modelo por floresta aleatória

Gasto energético mensurado e gasto energético pelo modelo misto hierárquico

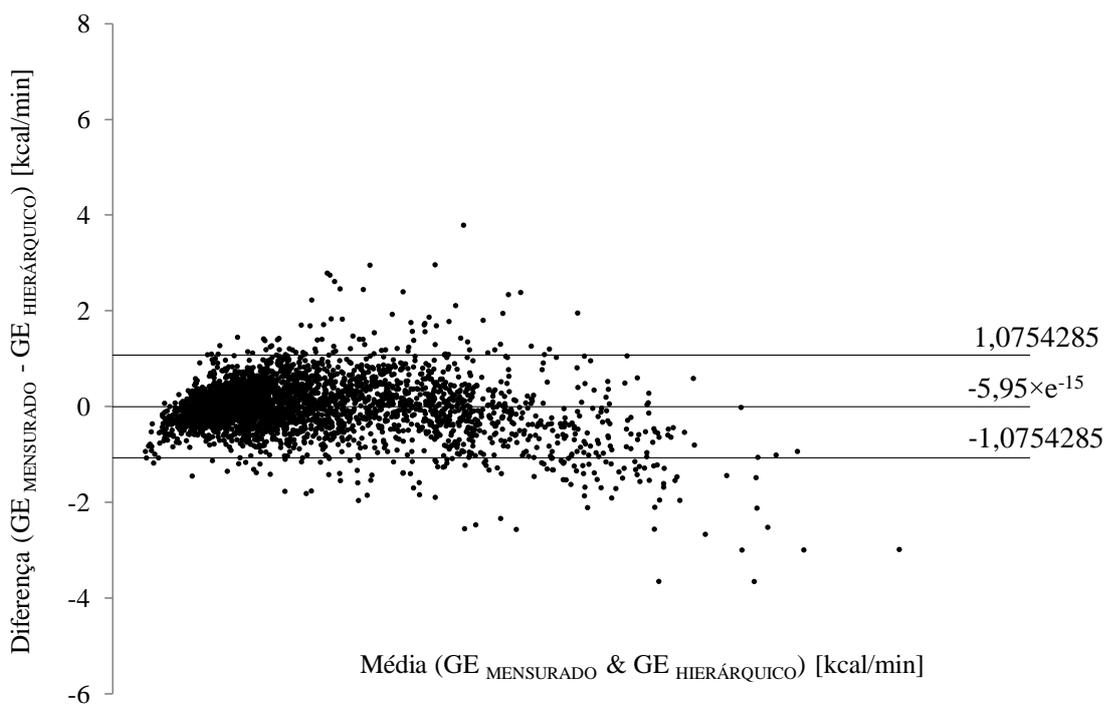


Figura 37: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o modelo misto hierárquico

Gasto energético mensurado e gasto energético pelo modelo de rede neural

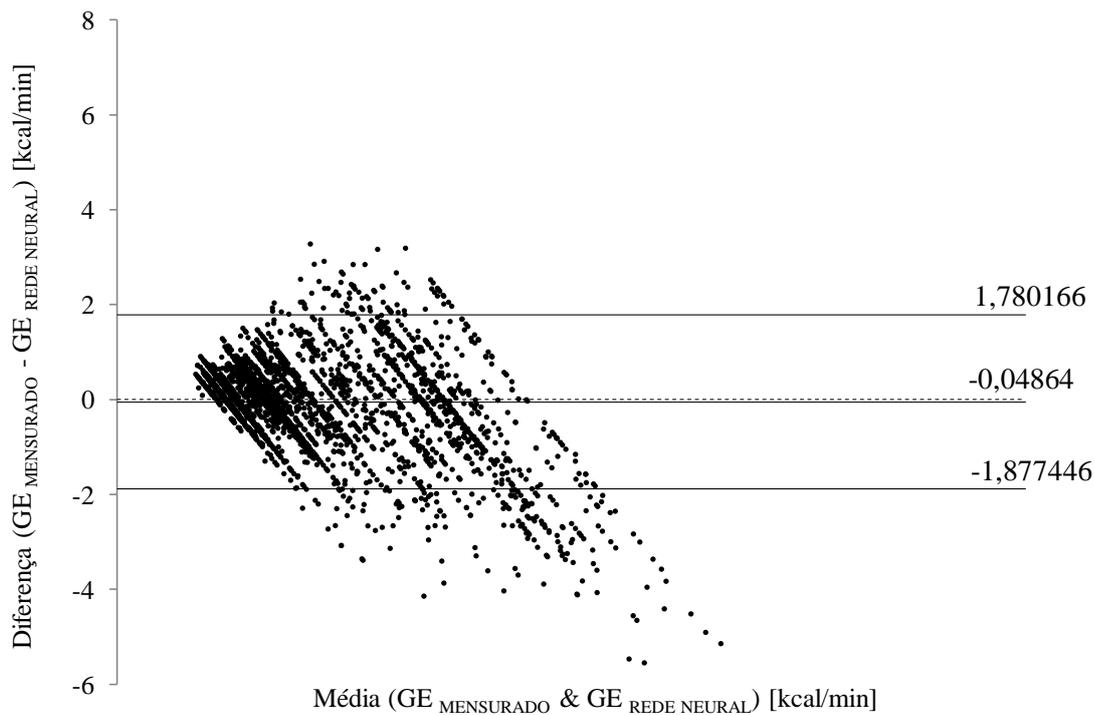


Figura 38: Gráfico de Bland-Altman de concordância entre os dados medidos e o modelo por redes neurais

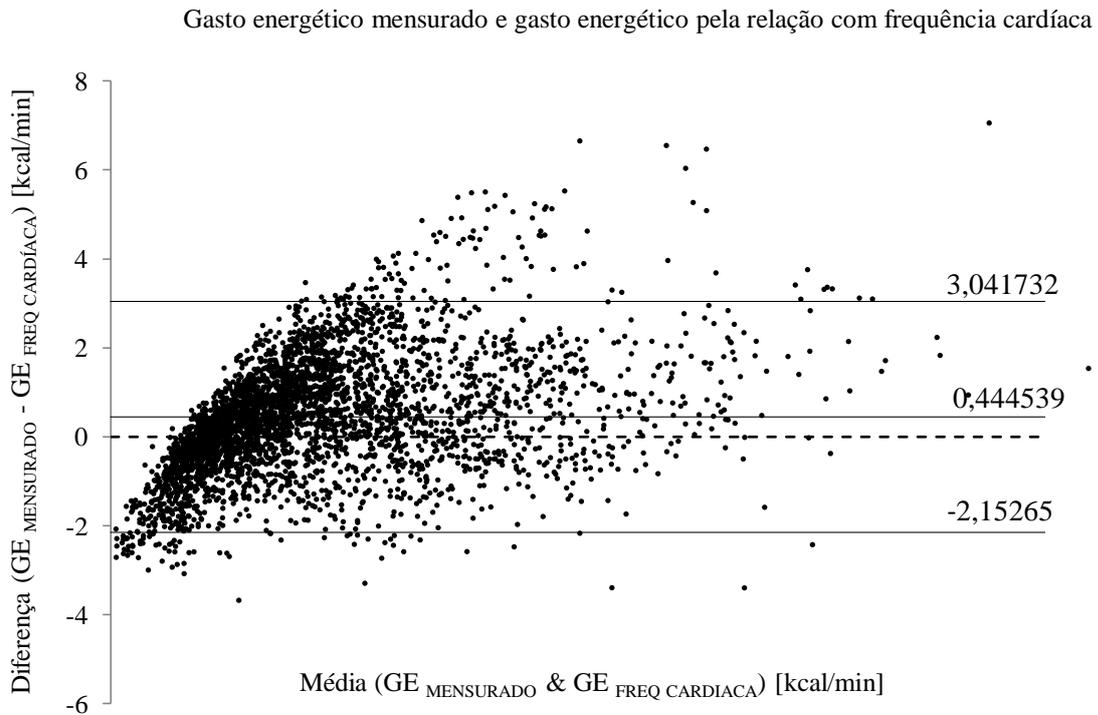


Figura 39: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e o método da relação com a frequência cardíaca

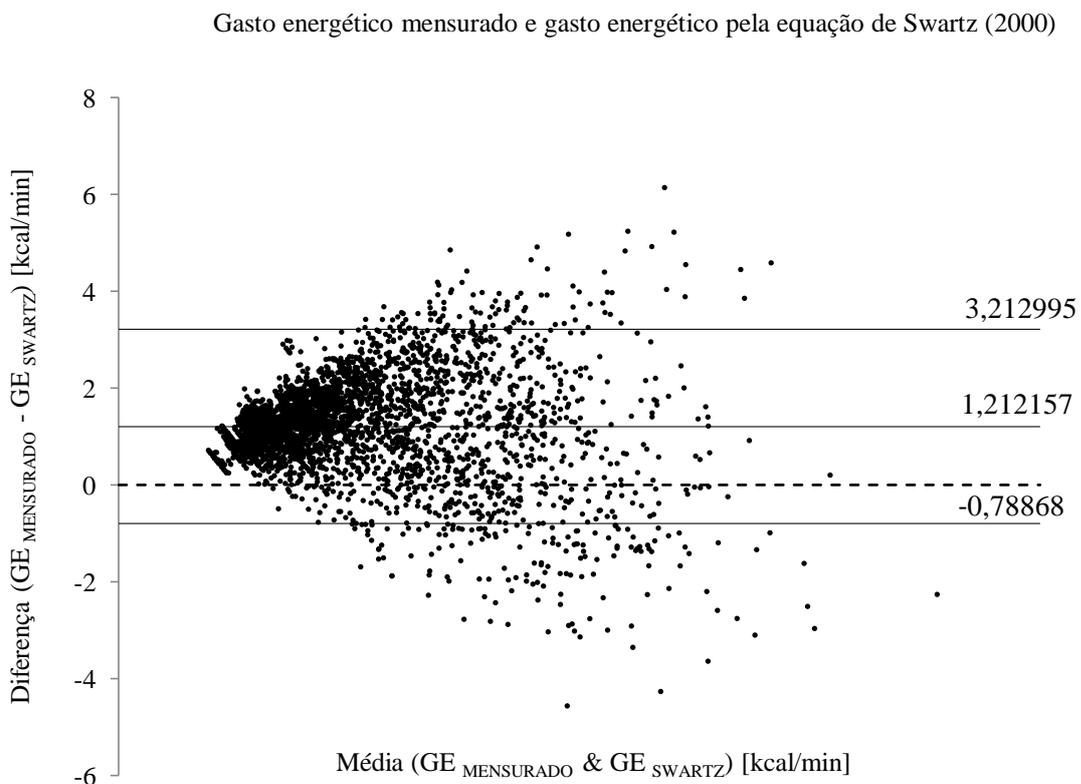


Figura 40: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e equação de Swartz (2000)

Gasto energético mensurado e gasto energético pela equação de Freedson (2011)

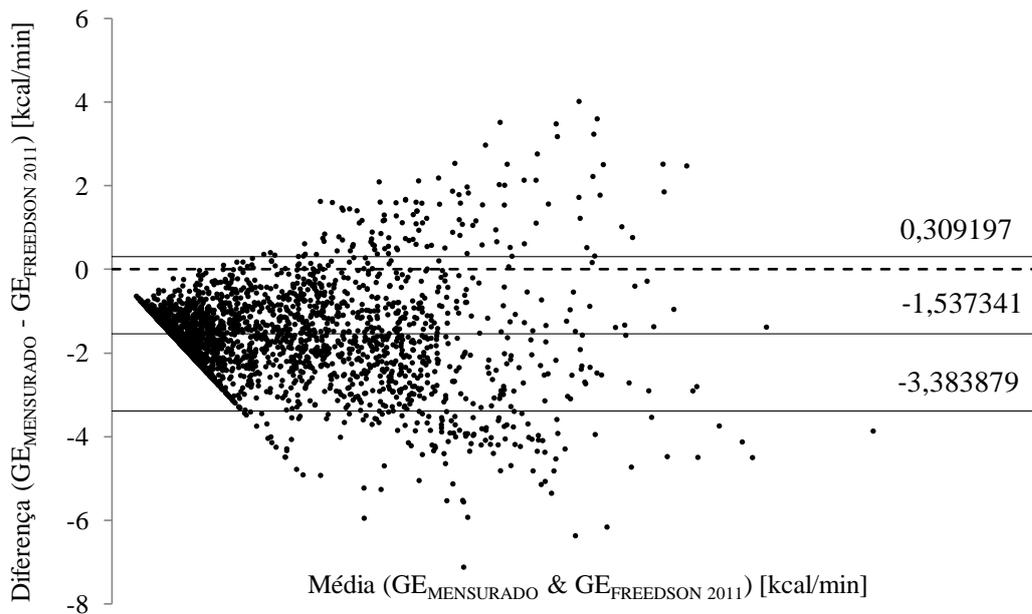


Figura 41: Gráfico de Bland Altman de concordância entre dados medidos e equação de Freedson (2011)

O modelo de floresta aleatória e o modelo misto apresentam boa concordância com os valores de gasto energético mensurados por calorimetria, pois os valores do erro médio estão mais próximos de eixo zero, diferentemente dos valores da estimativa pela rede neural que apresenta uma distância graficamente perceptível, e pelos métodos da relação com a frequência cardíaca e pelas equações de Swartz e Freedson.

As outras estatísticas apontam para a modelação com florestas aleatórias, dentre os métodos testados, como sendo a de melhor resultado de estimativa. Os coeficientes de correlação apresentados na Tabela 21 indicam que os resultados desse método apresentam forte correlação com os valores medidos. Já a concordância entre os valores é representada pela proximidade do erro (bias) do eixo zero. Apesar do valor absoluto do modelo misto hierárquico ser mais próximo de zero em comparação aos demais métodos, a variação do erro dos valores desse modelo é maior que o do modelo por floresta aleatória.

Dentre os métodos da norma a estimativa pela relação do gasto energético com a frequência cardíaca apresentou maior erro médio para o protocolo de atividades adotado, apesar de ser um método com melhor acurácia dentre os 3 métodos da norma que foram considerados para comparação. Já os métodos (d) e (e) que são as estimativas pelas equações apresentaram erros médios maiores dentre todos os métodos.

As estimativas pela equação de Swartz apresentou uma tendência geral de superestimação do gasto energético. Enquanto as estimativas pela equação de Freedson et. al (2011) apresentaram uma tendência de subestimação do gasto energético.

Portanto, considerando todos os métodos utilizados e os valores avaliados de erro, dispersão, correlação e concordância com o método considerado parâmetro, o modelo obtido pela floresta aleatória apresentou-se como o mais adequado para aproximação dos valores do gasto energético nesse estudo.

11 PROPOSTA DE SISTEMA DE DETERMINAÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO PARA SITUAÇÃO OCUPACIONAL

Com base nos resultados obtidos, apresenta-se nesse tópico uma proposta de sistema de determinação de gasto energético para situações ocupacionais. O sistema é um conjunto de elementos, sejam eles tangíveis ou não, que interagem de forma integrada para alcançar o fim a que se propõe. Sendo assim, essa proposta é constituída de instrumentos de coleta e tratamento dos dados necessários para a determinação do gasto energético humano em situações ocupacionais.

O sistema proposto pode ser representado de acordo com o esquema da Figura 42:

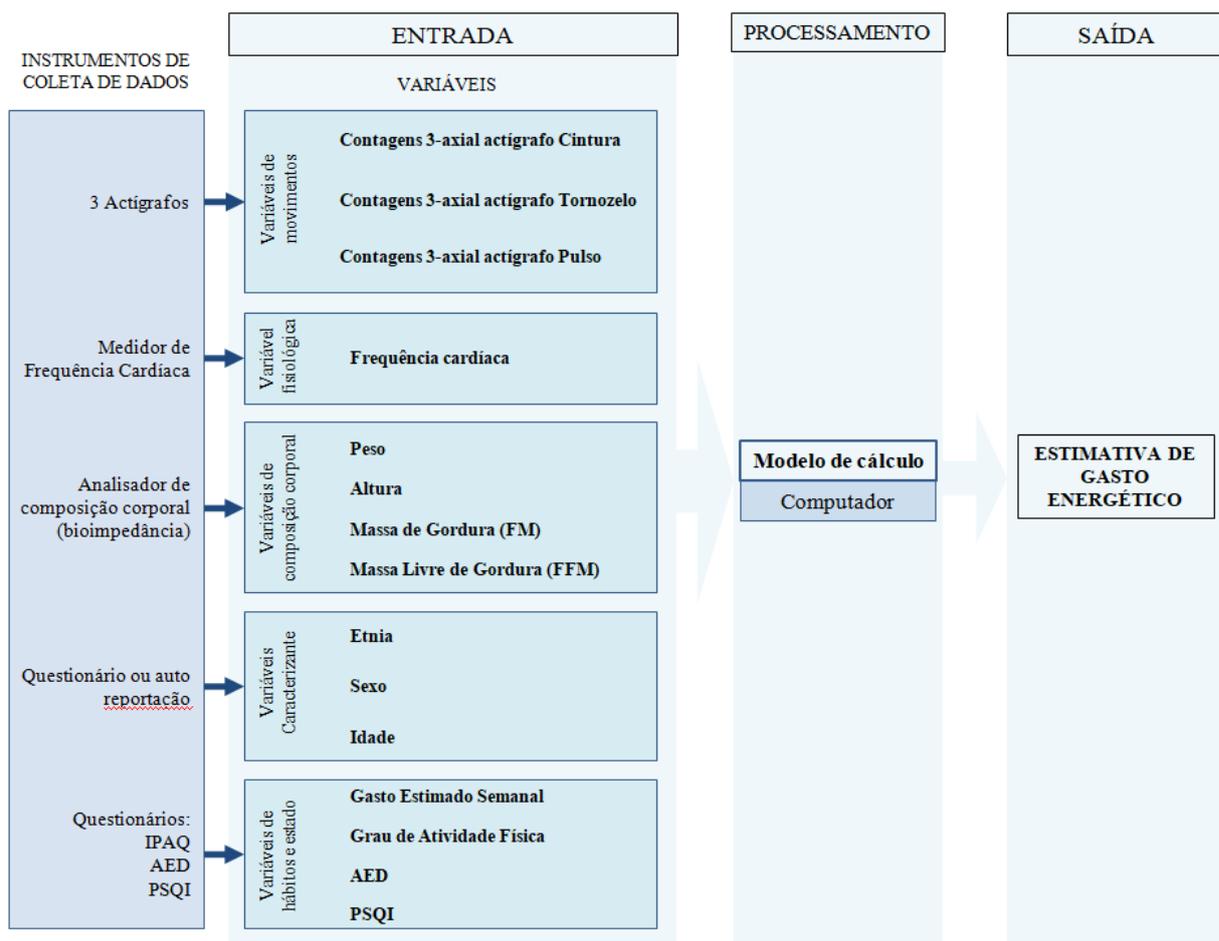


Figura 42: Sistema de determinação de gasto energético por actigrafia em contexto ocupacional

Requisitos do sistema

Assim como todo sistema em fase de elaboração, foram estabelecidos alguns requisitos que este sistema deveria atender. Esses requisitos estão mais relacionados às inconveniências que os métodos indicados em norma apresentam.

Além do uso de actigrafia como requisito básico, ter menor custo do que os métodos *gold standard* recomendados por norma, apresentar resultados próximos a estes métodos, apresentar praticidade e aplicabilidade para situações ocupacionais, considerando menor invasividade e menor desconforto físico pelo uso de equipamentos.

Composição do sistema

Para esse sistema é necessário um conjunto de ferramentas de coleta de dados composto pelos actígrafos, um monitor de frequência cardíaca, um sistema de análise de composição corporal e questionários. Para o processamento dos dados, é necessário um microcomputador com acesso a alguma plataforma capaz de executar o modelo de cálculo desenvolvido pela floresta aleatória, conforme apresentado no Capítulo 9. Essa composição é comentada a seguir.

O sistema de estimativa de gasto energético proposto para situações ocupacionais está baseado na busca e experimentação laboratorial de variáveis e métodos, bem como na base teórica construída nas revisões de literatura.

Em relação aos instrumentos de coleta de dados, os actígrafos são requisito básico da proposta. Além deles propõe-se o uso de um monitor de frequência cardíaca, um sistema de análise de composição corporal e questionários. Quanto à alocação dos actígrafos a literatura não é consensual, como apresentado nos Capítulos 2 e 3. Mas como os modelos apontaram relevância para as três posições experimentadas, optou-se por adotar esse número e distribuição: 1 no pulso, 1 na cintura e 1 no tornozelo, todos no lado dominante.

Em relação às variáveis, elas são relacionadas a características da pessoa analisada e características do movimento executado, conforme indicado na literatura pela análise das equações no capítulo 3 e das redes neurais no Capítulo 4.

As variáveis relacionadas aos movimentos, à frequência cardíaca e as variáveis antropométricas de composição corporal foram confirmadas que para as condições desse estudo são aquelas com maior influência sobre a estimativa do gasto energético. A frequência cardíaca, apesar de ser uma das variáveis de correlação forte com o gasto energético, tem variações que não são facilmente controladas.

Além disso, o modelo linear proposto pela norma ISO 8996:2004 apresentou resultados com erros e dispersão. Portanto, isoladamente, a frequência cardíaca pode trazer resultados viesados. Entretanto, nos modelos desenvolvidos a variável mostrou relevância primordial na estimativa combinada com os dados relativos aos movimentos, como apresentado na literatura (Spierer et al., 2011; Villars et al., 2012).

Foram inseridas no sistema aquelas que apresentaram influência no resultado do gasto energético de acordo com os métodos desenvolvidos. Vale salientar que outros métodos também demonstraram a relevância de algumas variáveis. Entretanto, por apresentarem melhores resultados em relação ao ajuste com os dados obtidos por calorimetria, foram utilizados os resultados para cada variável dos dois modelos desenvolvidos nesse trabalho para justificar a inserção das variáveis no sistema.

A Tabela 22 apresenta as variáveis e os respectivos modelos cujo resultado justifica a inserção da variável:

Tabela 22: Variáveis inseridas no sistema e respectivos modelos que justificam sua inserção

Variável	Fonte da justificativa de inclusão
Contagens dos acelerômetros do pulso	Modelo hierárquico e modelo por floresta
Contagens dos acelerômetros da cintura	Modelo por floresta e modelo por floresta
Contagens dos acelerômetros do tornozelo	Modelo hierárquico e modelo por floresta
Gasto estimado semanal	Modelo por floresta
Grau de atividade física	Modelo por floresta
Frequência Cardíaca	Modelo por floresta, modelo hierárquico
Peso e cargas	Modelo hierárquico e modelo por floresta
Massa de gordura (FM)	Modelo por floresta
Massa livre de gordura (FFM)	Modelo por floresta
Sexo	Modelo hierárquico
Altura	Modelo por floresta
Índice de tempo e qualidade do sono PSQI	Modelo por floresta
Índice de estado emocional AED	Modelo por floresta
Etnia	Modelo por floresta
Idade	Modelo por floresta

É necessário fazer algumas considerações sobre as variáveis. As variáveis de gasto estimado semanal, índice PSQI de tempo e qualidade de sono, índice de AED de estado emocional, e etnia; apesar de apresentarem relação muito baixa em relação ao resultado dos modelos, decidiu-se não desprezá-las e mantê-las no sistema uma vez que são de fácil coleta e serão alvo de trabalhos futuros para estudo da relação entre elas e o gasto energético. As variáveis denominadas gasto estimado semanal e grau de atividade física são correlacionadas, pois o grau de atividade é uma categorização do gasto estimado semanal. Entretanto, é necessário estudar qual delas traduz suficientemente a relação com o gasto energético. Além disso, a variável peso foi considerada como o peso da pessoa analisada somada às cargas transportadas nas atividades em que isso ocorre. Esse fato está incluso nos modelos desenvolvidos. Por isso as variáveis peso, e o somatório da massa de gordura com a massa livre de gordura não são redundantes.

Em relação à variável sexo, além das diferenças naturais de metabolismo que devem ser consideradas, assim como foram em algumas equações analisadas, o modelo misto apontou possibilidades da influência do sexo na estimativa do gasto energético estar relacionada às diferenças na execução das atividades entre homens e mulheres. O modelo também apontou para uma possível relação não linear do peso com o gasto energético. O modelo misto poderia ser uma alternativa ao modelo de regressão por floresta aleatória, pois seus resultados também foram aceitáveis por terem correlação forte e concordância forte com os dados medidos. Mas o desvio padrão dos erros nesse modelo foram maiores que o do modelo por floresta. Por isso a opção pelo modelo de floresta.

De acordo com a performance do modelo de regressão por floresta aleatória, é possível fazer predições de gasto energético com erro comparável ao de métodos da norma. Sendo assim, propõe-se o sistema com a incorporação desse modelo. Vale salientar que apesar do modelo desenvolvido por floresta apresentar os melhores resultados, não permite analisar os percursos do processamento, pois ele se dá de forma aleatória e oculta gerido pelo próprio algoritmo. Assim, apesar das melhorias dos métodos de estimativa terem aumentado com o auxílio das tecnologias atuais, ainda são necessários estudos para explorar as relações denexo causal das variáveis do gasto energético em contexto ocupacional considerando que tais situações são mais complexas que a simples execução de movimentos e que há aspectos intrínsecos do ser humano e sua interação com o trabalho que não transparecem ao ponto de serem mensuradas facilmente.

PARTE 4. CONCLUSÕES DA TESE

Nesse item são apresentados os principais resultados; considerações e reflexões da tese. Também são elencados pontos fortes e limitações, bem como perspectivas de trabalhos futuros.

A hipótese do trabalho é resgatada e os principais resultados sumarizados, demonstrando que a trajetória investigativa percorrida resultou na exploração do uso de actigrafia para determinação de gasto energético; no desenvolvimento de modelos de cálculo baseados em experimento; e culminando na proposição de um sistema de estimativa de gasto energético humano para situações ocupacionais.

Algumas considerações são colocadas em relação a desafios dos estudos relacionados ao tema no que tange a métodos de cálculo, considerações sobre variáveis e dispositivos. Também são apresentadas algumas reflexões sobre possibilidades de utilização do sistema para a engenharia do trabalho considerando aspectos de concepção, projeto, implementação, melhoria e controle de sistemas produtivos.

Pontos fortes e limitações do trabalho também foram destacados e apresentados. Entretanto, as limitações já se constituem em oportunidades de desdobramentos ou trabalhos futuros que, somados a outras possibilidades são apresentados em seguida.

A. PRINCIPAIS RESULTADOS

O trabalho humano ocupa grande parte do tempo das pessoas, desde tempos remotos, apresentando relevância pela relação com a saúde e segurança ocupacionais, mas também com a performance de sistemas produtivos que compõem as sociedades e tem sido a base da economia e de relações sociais nos últimos séculos.

Apesar de um conjunto de normas internacionais mencionarem a taxa metabólica e a norma ISO 8996:2004 apresentar métodos para sua determinação, a utilização de tais métodos recomendados apresenta algumas inconveniências de tempo, custo, qualidade de resultados e exequibilidade; principalmente para estudos de campo. Diante dessa lacuna, nesse trabalho buscou-se verificar a seguinte hipótese:

Um sistema que use actigrafia e outros parâmetros pode determinar o gasto energético de pessoas em situações ocupacionais com erro comparável ao previsto em norma.

Pela identificação da evolução do conceito sobre energia humana através da história, bem como dos estudos, métodos e equipamentos desenvolvidos ao longo dos anos para estudar essa energia, foi possível perceber a contribuição de diferentes áreas do conhecimento sobre o tema, acompanhando as abordagens e os aspectos tecnológicos de cada momento no recorte histórico adotado.

Também se evidenciou que a relação da energia humana com o trabalho e o interesse em otimizá-la nesse contexto tem uma relação com abordagens e práticas herdadas desde o período da revolução industrial. Portanto, apesar da contribuição de estudos de diversas áreas, a fundamentação histórica sobre a evolução do trabalho e das abordagens sobre energia humana possibilitou a identificação de contribuições de engenharia ao longo da história sobre o gasto energético em contexto ocupacional, contextualizando a tese com seu tema principal.

As 21 normas internacionais encontradas no sistema ISO, com menção à taxa metabólica, apontam para a relevância da determinação do gasto energético em contexto ocupacional. Mas os métodos indicados pela norma ISO 8996:2004 podem ser incrementados ou substituídos por outros que superem as inconveniências apresentadas por tais métodos como custos elevados, falta de praticidade e invasividade ao trabalhador, além dos erros inerentes aos métodos apresentados nos níveis de abordagem mais básicos.

Pela revisão de literatura foi possível delinear um panorama sobre o uso de actigrafia para determinação de gasto energético. As produções científicas específicas sobre determinação de gasto energético por actigrafia são recentes e mais frequentes na última década, indicando pleno desenvolvimento do tema apesar dos estudos com acelerômetros usados por humanos terem iniciado desde a década de 1980. Os estudos atuais tem tratado de desenvolvimento e testes de dispositivos e métodos de cálculo. Foram encontrados poucos artigos com o uso de actigrafia para determinação de gasto energético, especificamente em trabalhadores, o que indica uma oportunidade de desenvolvimento de trabalhos futuros.

Para compreensão da aquisição e tratamento de dados por actigrafia para estimativa de gasto energético foram identificados os principais dispositivos mencionados na literatura. Os dispositivos Actigraph, Actical, Actiheart, RT3, Sensewear Armband, Tritrac, ActivPal, foram mencionados com maior frequência nos trabalhos analisados. Mas também há no mercado uma gama de monitores pessoais de atividade que tem sido testados e avaliados no âmbito acadêmico. Além desses, há alguns trabalhos que apresentam estudos com acelerômetros avulsos programáveis, dispensando, por exemplo, a dependência de *software* dos dispositivos próprios de actigrafia e permitindo flexibilidade de programação. Os dispositivos mais recentes são de pequenas dimensões e oferecem capacidade de armazenamento para vários dias de monitoramento, além de outros sensores agrupados tais como: giroscópio, [magnetômetro](#), sensor de luz ambiente, sensor de galvanicidade e temperatura da pele, entre outros.

A maioria dos artigos sobre actigrafia para estimativa de gasto energético faz comparações e validações utilizando sistemas portáteis de análise metabólica para calcular o gasto energético por [calorimetria indireta](#) e adotá-lo como parâmetro. Os sistemas citados com maior frequência são o K4b2 da Cosmed e o Oxycon Mobile da Vyaire.

Os principais métodos de cálculo utilizados como alternativa aos da norma utilizam como principais variáveis o peso, altura, índice de massa corpórea (IMC), idade, sexo, etnia, massa de gordura, massa livre de gordura, [contagens](#) dos actígrafos, frequência cardíaca, quantidade de passos, temperatura interna, [vetor magnitude](#) das [contagens](#), média dos dados brutos de aceleração, variância dos dados brutos de aceleração, e algumas outras características do sinal de aceleração. Entretanto, as variáveis citadas com maior frequência são as [contagens](#) dos actígrafos, peso, altura, idade, sexo, índice de massa corpórea e frequência cardíaca.

Em relação aos métodos de cálculo, apesar das redes neurais serem um dos grupos de técnicas mais comumente encontrado na modelagem de gasto energético, há vários outros métodos apresentados na literatura desde a regressão linear, a regressão linear logarítmica, camadas ocultas de Markov, análise discriminante quadrática, máquinas de vetores de suporte e modelos híbridos.

Com base na fundamentação histórico-tecnológica e normativa, bem como do panorama do uso de actigrafia para determinação do gasto energético foi desenvolvido o experimento que possibilitou replicar alguns dos métodos identificados na literatura, além de possibilitar a coleta de dados para o desenvolvimento dos modelos de estimativa, culminando na proposição do sistema de determinação de gasto energético para situações ocupacionais.

Da norma ISO 8996:2004, aplicou-se os métodos de estimativa da taxa metabólica requerida por tarefa, estimativa por aproximação de tarefas típicas, estimativa pela relação com a frequência cardíaca, e estimativa por [calorimetria indireta](#), onde os resultados deste último foram tomados como parâmetros de comparação para os resultados de todos os demais métodos. Os dois primeiros métodos forneceram valores por atividade. Foram ainda aplicadas duas das equações encontradas na literatura e aplicados os dois modelos de estimativa desenvolvidos por regressão mista hierárquica e por árvore aleatória.

Concordando com a literatura, a aplicação das equações de Swartz et al. (2000) e Sasaki, John, e Freedson (2011), resultou em superestimação e subestimação dos resultados de gasto energético, respectivamente. Mesmo essas equações sendo aplicáveis a situações ocupacionais, de acordo com os critérios de seleção de equações adotados no capítulo 3, características das amostras e das atividades

utilizadas no seu desenvolvimento apontam ter influência nessas diferenças de resultados, sendo essa uma das limitações das equações de gasto energético.

O modelo misto hierárquico apresentou quase 30% da variação do gasto como relacionado a fatores dos participantes, outros 33% à execução da atividade, e 37% como aspectos não explorados no estudo. A capacidade de explicação de efeitos de 63% (30% + 33%) pode ser considerada boa, mas os outros 37% de aspectos não explorados são uma oportunidade de novos estudos.

No modelo hierárquico a componente do actígrafo alocado no tornozelo apresentou maior efeito sobre o gasto energético dentre os actígrafos, seguido da componente do actígrafo do pulso. Diferentemente do modelo obtido pelo algoritmo de floresta aleatória, onde uma componente do actígrafo da cintura apresentou maior relevância no modelo de forma discrepante das demais variáveis. Por essa razão não há indícios com base nesses resultados, assim como também não há consenso na literatura, sobre uma alocação ótima de dispositivos para se obter os melhores resultados.

A diferença do efeito dos movimentos corporais sobre o gasto energético apresentado pelo modelo hierárquico entre indivíduos aponta como sendo um fator relevante. A hipótese de diferença de movimentos por sexo, inclusive na manipulação de cargas, pode ter relações antropométricas, sociais, antropológicas e de hábitos comportamentais como apresenta Gilman (2014), constituindo-se numa oportunidade de trabalho de investigação futuro. Já no modelo por floresta a variável sexo apresentou um efeito pequeno. É possível que essas diferenças sejam discretas e exijam métodos específicos para analisá-las.

Outro resultado importante, diz respeito aos efeitos do peso corporal identificados como não lineares por uma componente quadrática no modelo hierárquico. Isso apontando para uma relação onde esse efeito depende do valor observado da variável. Ou seja, para o caso desse modelo, o gasto energético tende a aumentar com o aumento do peso, sendo esse aumento mais expressivo para indivíduos com pesos maiores. Essa relação merece ser estudada com maior profundidade.

A variável *nível de atividade* apresentou relação com o gasto energético nos 2 modelos. De forma contextualizada, dependendo de quão ativo o indivíduo for possivelmente influenciará o gasto energético e, conseqüentemente o seu desempenho físico no trabalho em relação à execução de movimentos.

Finalmente, os 2 modelos desenvolvidos apontam para a possibilidade da estimativa do gasto energético de pessoas em situações ocupacionais, tornando viável o desenvolvimento do sistema com base em actigrafia para tal fim, com erro comparável em relação aos métodos apresentados na norma.

Portanto, a fundamentação embasou o panorama sobre gasto energético por actigrafia que, por sua vez, permitiu o aprofundamento na busca de informações sobre variáveis e métodos de cálculo. Diante do panorama que se encontrou na literatura foi planejado, concebido e executado o experimento. A partir dos dados coletados no experimento, com base no que a literatura aponta, foi possível desenvolver os dois modelos de estimativa de gasto energético, aplicando-os e comparando os seus resultados com os resultados de outros métodos identificados anteriormente. Por fim, analisando-se os resultados e os requisitos estabelecidos, foi possível propor um sistema de estimativa de gasto energético humano por actigrafia para situações ocupacionais com resultados comparáveis aos dos métodos apresentados na norma, considerando a possibilidade de contornar algumas inconveniências apresentadas por eles, tais como qualidade dos resultados, praticidade de uso em situações de campo, e invasividade ao usuário.

B. CONSIDERAÇÕES E REFLEXÕES

Esse tópico apresenta algumas considerações sobre o trabalho e sobre desafios para estudos na área de estudo de determinação de gasto energético por actigrafia que foram identificados. Além disso, são apresentadas algumas reflexões e possibilidades sobre a ferramenta desenvolvida no âmbito da engenharia do trabalho.

A determinação de gasto energético enquanto área de estudo apresenta vários desafios. Diante do rápido desenvolvimento das tecnologias relacionadas à computação e tratamento de dados, um desafio para a área de gasto energético é o aperfeiçoamento de dispositivos e métodos de modelação de modo que acompanhem as novas demandas, e as novas técnicas disponíveis, seja pelo aperfeiçoamento dos dispositivos e métodos que já existem, tornando-os mais flexíveis, como pela combinação com novos sensores. Isso também é fato para os softwares dos actígrafos.

Em relação às técnicas de modelação há uma variedade de métodos de aprendizagem de máquina que podem ser melhor explorados e avaliados em relação a sua eficácia para essa aplicação. Pelo que a literatura aponta, é possível que técnicas de aproximação implementadas por meio computacional sejam eficazes para análises de atividades em vida livre, onde a variabilidade é aleatória e depende de um conjunto de fatores muitas vezes desconhecidos. Entretanto, a minimização de erros mediante a aleatoriedade de atividades livres e a variabilidade das características das pessoas continua sendo um desafio para estudos na área.

Outro desafio identificado nesse trabalho é a verificação da relação de variáveis não exploradas adequadamente no trabalho como aspectos do sono, estado emocional, etnia, diferenças de movimentos relacionados ao sexo e à idade. Além dessas variáveis o transporte e levantamento de cargas também são uma oportunidade de trabalhos futuros, explorando-os com abordagens mais adequadas.

Uma consideração a ser feita sobre as modelagens nesse trabalho é sobre a escolha de utilizar as [contagens](#) dos acelerômetros ao invés de utilizar as características da aceleração. Essa escolha se deu com a intenção de simplificar o processamento dos dados, seguindo a ideia de que as [contagens](#) podem ser um bom indicador da quantidade de movimentos, sendo suficiente para estimativas coerentes e com erro comparável ao de métodos da norma.

Em relação ao número e posição ótima de actígrafos não há consenso sobre isso na literatura. Experimentalmente também não obteve-se nenhuma indício de resposta a essa questão. Mas há de se convir, pelo bom senso, de que a alocação vai depender do tipo de atividade a ser executada. Para atividades variadas, como no caso aqui apresentado, é interessante que se monitore minimamente membros inferiores, membros superiores e tronco. Consequentemente, os métodos e modelos de avaliação devem contemplar tal disposição de actígrafos.

Partindo para uma perspectiva mais reflexiva, a ferramenta proposta neste trabalho pode ter utilidade em contexto ocupacional e organizacional. Considerando uma abordagem baseada na engenharia do trabalho, há uma componente histórica que deixou heranças de uma visão restrita sobre o trabalho como sinônimo de execução de movimentos e tarefas. Essa herança exerce influência na engenharia do trabalho desde a revolução industrial, tendo o capitalismo como plano de fundo e embutida nos contributos de ícones, tais como Adam Smith, Frederick W. Taylor, Henry Ford, Henri Fayol, Frank e

Lillian Gilbreth, da filosofia Toyota, entre outros proponenestes de pensamentos e práticas que tornaram-se paradigmas básicos da engenharia do trabalho.

Essa herança do trabalho relativamente desumanizado ainda se manifesta implícita ou explicitamente em práticas como as que apresentam Guérin et al., (2001). Eles colocam que, em geral, na maioria das situações de adaptação, transformação ou concepção de sistemas de produção a predominância dos aspectos financeiros, técnicos ou organizacionais não favorece a reflexão sobre o lugar incontornável do homem no sistema de produção. Segundo os autores, na maioria dos casos prioriza-se orçamentos, objetivos quantitativos e qualitativos de produção, as escolhas tecnológicas, opções de aquisição de máquinas, equipamentos e matéria-prima, fluxos de produção, distribuição de espaços e instalação de máquinas, níveis hierárquicos e organização do tempo de trabalho. Só depois se pensa no trabalho humano e nas tarefas dos assalariados, considerando quantidade de pessoas, formação, idade, estado de saúde, entre outros aspectos. Essa ordem que prioriza os recursos financeiros no projeto e na avaliação do trabalho anteriormente e com maior primazia sobre os aspectos humanos está presente em vários manuais de administração da produção utilizados, inclusive, nas escolas de engenharia.

Equilibrar a concepção de processos produtivos que favoreçam a saúde integral do trabalhador, que lhes permitam exercer suas competências com possibilidades de valorização; ao mesmo tempo em que contribua para que o sistema produtivo alcance seus objetivos é um desafio aos envolvidos na engenharia do trabalho. Acredita-se que o método aqui proposto de determinação de gasto energético para situações ocupacionais possibilite considerar a variável do gasto energético no planejamento e projeto do trabalho, bem como na avaliação do trabalho e na futura identificação de atividades.

No planejamento e projeto do trabalho a ferramenta pode ser útil para melhorar a mensuração de equipes, a alocação de pessoas e no estabelecimento mais adequado de metas. Também permite identificar a quantidade de energia humana disponível no sistema produtivo possibilitando balancear a produção considerando tal variável, como apresenta em outro formato Battini et al., (2015). A ferramenta proposta também permitirá considerar avaliar valores máximos e, conseqüentemente, monitorar valores aceitáveis de gasto energético para diferentes configurações pessoais e atividades distintas.

Em relação a avaliação do trabalho, a ferramenta pode ser agregada a outros métodos de avaliação já consolidados, tais como Avaliação Ergonômica do Trabalho – AET, Rula, Reba, Ocrá, de acordo com a conveniência e devida adaptação. Também pode ser útil, a partir da complementação do algoritmo para identificação de atividades, avaliar as respectivas quantidades de energia gastas por unidade de tempo, auxiliando ou substituindo estudos de amostragem, registro e análise de execução de processo produtivo; e, ser integrada complementarmente a outros estudos, tais como estudos denexo causal, erro e confiabilidade humana, produtividade, fadiga e carga de trabalho.

Além disso, pode auxiliar na gestão de gasto energético de equipes de trabalho ou desporto, auxiliar na adequação alimentar de trabalhadores, e na análise de atividades de difícil registro como na agricultura, atividades informais e trabalhos sob projetos únicos. Ainda pode ser complementar às normas trabalhistas, uma vez que preveem, majoritariamente, limites aceitáveis para biotipos medianos, e pode ser utilizada em contextos de saúde/bem-estar, desportos, atividades militares, ou outras que demandem movimentos corporais.

C. PONTOS FORTES E LIMITAÇÕES DA TESE

Mesmo tendo caráter prático e experimental, esse trabalho tem aspecto também exploratório, uma vez que o tema do gasto energético no contexto ocupacional não é trivial. O aspecto exploratório provocou a busca das contribuições de diversas áreas de conhecimento até a interseção com a engenharia do trabalho. A compilação desse material pode ser considerada uma contribuição à engenharia do trabalho enquanto área de conhecimento.

A possibilidade de desenvolver a componente prática com os recursos disponíveis foi importante para garantir a qualidade dos dados e, conseqüentemente, dos modelos desenvolvidos.

Uma restrição do trabalho foi a impossibilidade de executar o experimento com todos os participantes no período do início da manhã. Essa condição permitiria avaliar todos os indivíduos no início do dia e com o fornecimento de refeição oferecida e quantificada pela equipe de pesquisa.

Outra limitação foi o tempo dedicado a cada atividade do protocolo, uma vez que 5 minutos é um tempo restrito para boas medições sem comprometimento dos dados, mesmo estando acima da recomendação mínima de 3 minutos. Entretanto, se o tempo de cada atividade fosse maior, a quantidade e variedade das atividades seriam reduzidas.

Apesar de ser o modelo com melhores resultados, uma desvantagem do modelo desenvolvido pelo algoritmo de floresta aleatória é a restrição de avaliação do processo de cálculo, uma vez que o algoritmo o desenvolve de forma oculta, autônoma e aleatória.

Algumas características da amostra não permitiram analisar variáveis como etnia que é apontada como fator de relação com o gasto energético pela literatura como afirma, por exemplo, Brazeau et al. (2014). Apesar de a amostra contar com pessoas de 7 nacionalidades diferentes, não houve variação suficiente para identificar tal relação. O mesmo ocorre com a idade que é apresentada na literatura e nos métodos analisados como fator de relação com o gasto energético, mas nos modelos desenvolvidos não apresentou efeito com grande relação. Possivelmente a composição da amostra pode ter impedido uma análise dessa variável.

Apesar de o sistema proposto ter sido desenvolvido com base em dados reais coletados exclusivamente para este fim e ter sido submetido a validação cruzada dos dados, uma das principais limitações do trabalho foi a impossibilidade de testar o sistema proposto em situação real.

Entretanto, o principal ponto forte da pesquisa é o fato da proposta do sistema de determinação de gasto energético para situações ocupacionais apresentar resultados próximos ao dos melhores métodos da norma.

D. PERSPETIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

Uma pretensão de trabalho futuro é desenvolver modelos considerando variações de temperatura ambiente, uma vez que esse estudo foi desenvolvido sob temperatura constante de 25° C e umidade relativa de 50%, sem mudanças de velocidade do ar. Também é relevante estudar o efeito das roupas na estimativa do gasto energético, inclusive pela consideração desse aspecto em norma.

Sabe-se também que a temperatura interna do corpo varia no decorrer da execução de atividades. Estudar essa variação e considerá-la numa modelação é um potencial relevante para trabalhos futuros.

Uma limitação e oportunidade de trabalho futuro é a mensuração das variáveis do sistema proposto em situação real. Apesar do algoritmo fazer validação cruzada com os dados utilizados, outras variações não estão previstas nesses dados, por exemplo a variação de temperatura, umidade do ar e vento. Também seria possível experimentar o modelo com outras atividades ocupacionais. Além disso, a avaliação do trabalho real com um sistema como o proposto pode ser útil na melhor compreensão da dinâmica do trabalho ao se considerar o que acontece entre o trabalho prescrito e o real.

Como alguns autores apontam que modelos baseados apenas em contexto laboratorial tendem a gerar erros quando aplicados em situação de vida livre, pretende-se desenvolver modelação também nesse contexto.

Outra possibilidade de trabalho futuro é o teste de outras ferramentas de aprendizagem de máquina que permitem realizar regressão para a modelação da estimativa do gasto energético.

Uma intenção de continuidade desse trabalho é desenvolver o sistema com acelerômetros programáveis genéricos. Isso possibilitará um barateamento do sistema e a desvinculação dos custos ainda elevados para uso de qualquer dispositivo ou software.

A classificação de atividade por modelos de inteligência artificial está mais consolidada que os modelos de gasto energético, além de apontar como sendo um facilitador no cálculo de gasto energético e ter outras utilidades se incorporada ao sistema. Por isso, também se pretende incorporar um modelo de identificação de atividades ao sistema. No contexto ocupacional, essa identificação pode servir ainda para amostragem do trabalho, identificação de riscos ergonômicos relacionados a posturas e movimentos repetitivos, possibilidade de fadiga, análise de tempos e de movimentos, bem como situações de desconforto por atividades estáticas, monótonas, adequação de comportamento corporal, dentre outros.

Também pretende-se trabalhar com os dados brutos de aceleração e com as características dos domínios de frequência e tempo, uma vez que a literatura apresenta tais características como variáveis utilizadas nos modelos de redes neurais.

Poucos trabalhos de medição de gasto energético em trabalhadores tem sido encontrados na literatura, constituindo-se também em oportunidades de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- Actigraph. 2019. “ActiGraph Support Center.” 2019. <https://actigraphcorp.force.com/support/s/>.
- Altini, Marco, Julien Penders, Ruud Vullers, and Oliver Amft. 2015. “Estimating Energy Expenditure Using Body-Worn Accelerometers: A Comparison of Methods, Sensors Number and Positioning.” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 19 (1): 219–26.
- Barnes, Ralph Mosser. 1977. *Estudos de Movimentos e Tempos*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Battini, Daria, Xavier Delorme, Alexandre Dolgui, Alessandro Persona, and Fabio Sgarbossa. 2015. “Ergonomics in Assembly Line Balancing Based on Energy Expenditure: A Multi-Objective Model.” *International Journal of Production Research* 54 (3). <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1074299>.
- Bell, Richard Q. 1968. “Adaptation of Small Wrist Watches for Mechanical Recording of Activity in Infants and Children.” *Journal of Experimental Child Psychology* 6 (2): 302–5.
- Benito, P. J., C. Neiva, P. S. González-Quijano, R. Cupeiro, E. Morencos, and A. B. Peinado. 2012. “Validation of the SenseWear Armband in Circuit Resistance Training with Different Loads.” *European Journal of Applied Physiology* 112 (8): 3155–59. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2269-5>.
- Bland, J Martin, and Douglas G Altman. 1999. “Measuring Agreement in Method Comparison Studies.” *Statistical Methods in Medical Research* 8 (99): 135–60.
- Bonafini, Fernanda Cesar. 2012. *Estatística*. 1st ed. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil.
- Bonn, Stephanie E, Eric B Rimm, Charles E Matthews, Richard P Troiano, Heather R Bowles, Jennifer Rood, Junaidah B Barnett, Walter C Willett, and Andrea K Chomistek. 2018. “Associations of Sedentary Time with Energy Expenditure and Anthropometric Measures.” *Medicine & Science in Sports & Exercise* 10: 2575–83. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001729>.
- Bradfield, RB, J Paulos, and L Grossman. 1971. “Energy Expenditure and Heart Rate of Obese High School Girls.” *The American Journal of Clinical Nutrition* 24 (March): 1482–88. <http://ajcn.nutrition.org/content/24/12/1482.short>.
- Brazeau, A.S., C. Suppere, I. Strychar, V. Belisle, S.P. Demers, and R. Rabasa-Lhoret. 2014. “Accuracy of Energy Expenditure Estimation by Activity Monitors Differs with Ethnicity.” *International Journal of Sports Medicine* 35: 847–50. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0034-1371837>.
- Breidahl, Tomas, Jørgen Riis Jepsen, and Øyvind Omland. 2015. “The Influence of Vessel Movements on the Energy Expenditure of Fishermen in Relation to Activities and Occupational Tasks on Board The Influence of Vessel Movements on the Energy Expenditure of Fishermen in Relation to Activities and Occupational Tasks On.” *International Maritime Health*, no. December. <https://doi.org/10.5603/IMH.2015.0039>.
- Broderick, J. M., J. Ryan, D. M. O’Donnell, and J. Hussey. 2014. “A Guide to Assessing Physical Activity Using Accelerometry in Cancer Patients.” *Supportive Care in Cancer* 22 (4): 1121–30. <https://doi.org/10.1007/s00520-013-2102-2>.
- Buyse, Daniel J., Charles F. Reynolds III, Timothy H. Monk, David J. Kupfer, and Susan R.

- Berman. 1989. "The Pittsburgh Sleep Quality Index: A New Instrument for Psychiatric Practice and Research." *Psychiatry Research* 28 (2): 193–213.
- Caljouw, Simone R, Rutger De Vries, and Rob Withagen. 2017. "RAAAF 's Office Landscape The End of Sitting : Energy Expenditure and Temporary Comfort When Working in Non-Sitting Postures," 1–10.
- Campaniço, Helena Maria Pereira Gonçalves. 2016. "Validade Simultânea Do Questionário Internacional de Actividade Física Através Da Medição Objectiva Da Actividade Física Por Actigrafia Proporcional." Universidade de Lisboa - Faculdade de Motricidade Humana.
- Can, Sema, Nevin Gündüz, Erşan Arslan, Elzbieta Biernat, Gülfem Ersöz, and Bülent Kilit. 2016. "Multi-Instrument Assessment of Physical Activity." *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 29 (6, August). <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.00710>.
- Cao, Chunmei, Yu Liu, Weimo Zhu, and Jiangjun Ma. 2016. "Effect of Active Workstation on Energy Expenditure and Job Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Physical Activity and Health* 13 (5): 562–71.
- Carpenter, Kenneth J. 2003. "History of Nutrition A Short History of Nutritional Science : Part 1 (1785 – 1885)." *The Journal of Nutrition* 133 (3): 638–45.
- Celikagi, Cemil, Abdurrahman Genc, Ahmet Bal, Kagan Uçok, Ozan Turamanlar, Z Taner Ozkececi, Hatice Yalcinkaya, Necip F Coban, and Sueda Yorulmaz. 2014. "Evaluation of Daily Energy Expenditure and Health-Related Physical Fitness Parameters in Patients with Cholelithiasis." *European Journal of Gastroenterology & Hepatology* 26 (10): 1133–38. <https://doi.org/10.1097/MEG.0000000000000159>.
- Chappel, Stephanie E., Brad Aisbett, Grace E. Vincent, and Nicola D. Ridgers. 2016. "Firefighters' Physical Activity across Multiple Shifts of Planned Burn Work." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13 (10). <https://doi.org/10.3390/ijerph13100973>.
- Chen, Jingtao, Peter Mitrouchev, Sabine Coquillart, and Franck Quaine. 2016. "Disassembly Task Evaluation by Muscle Fatigue Estimation in a Virtual Reality Environment." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8827-6>.
- Clark, Cain C T, Claire M Barnes, Gareth Stratton, Melitta A Mcnarry, Kelly A Mackintosh, and Huw D Summers. 2017. "A Review of Emerging Analytical Techniques for Objective Physical Activity Measurement in Humans." *Sports Medicine* 47 (3): 439–47. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0585-y>.
- Colburn, T. R., B. M. Smith, J. J. Guarini, and N. N. Simmons. 1976. "An Ambulatory Activity Monitor with Solid State Memory." *Instrument Society of America (ISA) Transactions* 15: 149–54.
- Corrar, Luiz J., Edilson Paulo, and José Maria Dias Filho. 2007. *Análise Multivariada Para Os Cursos de Admiistração, Ciências Contábeis e Economia*. 1st ed. São Paulo: Editora Atlas.
- Crawford, Adair. 1779. *Experiments and Observations on Animal Heat, and the Inflammation of Combustible Bodies*. Edited by J. Murray and J. Sewell. 1st ed. London: J. Murray.
- Crouter, Scott E., Erin Kuffel, Jere D. Haas, Edward A. Frongillo, and David R. Bassett Jr. 2010. "Refined Two-Regression Model for the ActiGraph Accelerometer." *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1029–37. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c37458>.

- Crouter, Scott E, Kurt G Clowers, David R Bassett, E Scott, Kurt G Clowers, David R Bassett, and A Jr. 2006. "A Novel Method for Using Accelerometer Data to Predict Energy Expenditure," 1324–31. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00818.2005>.
- Cuddy, John S., Steven E. Gaskill, Brian J. Sharkey, Stephanie G. Harger, and Brent C. Ruby. 2007. "Supplemental Feedings Increase Self-Selected Work Output during Wildfire Suppression." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (6): 1004–12. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318040b2fb>.
- Dobrosielski, Devon A, Phillip Phan, Patrick Miller, Joseph Bohlen, Tamara Douglas, and Burton Nicolas. 2016. "Associations between Vasodilatory Capacity, Physical Activity and Sleep among Younger and Older Adults." *European Journal of Applied Physiology* 116 (3): 495–502. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3300-z>.
- Dubeau, Denise, Ahmet Kolus, Daniel Imbeau, and Philippe-antoine Dub. 2015. "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems with k -Fold Cross-Validation for Energy Expenditure Predictions Based on Heart Rate" 50: 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.03.001>.
- Ellingson, Laura D., Paul R. Hibbing, Youngwon Kim, Laura A. Frey-Law, Pedro F. Saint-Maurice, and Gregory J. Welk. 2017. "Lab-Based Validation of Different Data Processing Methods for Wrist-Worn ActiGraph Accelerometers in Young Adults." *Physiological Measurement* 38 (6): 1045–60. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa6d00>.
- Ellingson, Laura D., Isaac J. Schwabacher, Youngwon Kim, Gregory J. Welk, and Dane B. Cook. 2016. "Validity of an Integrative Method for Processing Physical Activity Data." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (8): 1629–38. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000915>.
- Ellis, Katherine, Jacqueline Kerr, Suneeta Godbole, Gert Lanckriet, David Wing, and Simon Marshall. 2014. "A Random Forest Classifier for the Prediction of Energy Expenditure and Type of Physical Activity from Wrist and Hip Accelerometers." *Physiology Measure* 35 (11): 2191–2203. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/11/2191.A>.
- Ermes, Miikka, and P Juha. 2008. "Detection of Daily Activities and Sports With Wearable Sensors in Controlled and Uncontrolled Conditions" 12 (1): 20–26.
- Fávero, Luiz Paulo Lopes, Patrícia Prado Belfiore, Fabiana Lopes da Silva, and Betty Lilian Chan. 2009. *Análise de Dados: Modelagem Multivariada Para Tomada de Decisões*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Feito, Yuri, David R Bassett, Brian Tyo, and Dixie L Thompson. 2011. "Effects of Body Mass Index and Tilt Angle on Output of Two Wearable Activity Monitors." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43 (5): 861–66. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181fef40>.
- Freedson, P. S., K. Lyden, S. Kozey-Keadle, and J. Staudenmayer. 2011. "Evaluation of Artificial Neural Network Algorithms for Predicting METs and Activity Type from Accelerometer Data: Validation on an Independent Sample." *Journal of Applied Physiology* 111 (6): 1804–12. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00309.2011>.
- Freedson, Patty S., Edward; Melanson, and John Sirard. 1998. "Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. Accelerometer." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30 (5): 777–81.
- Garland, T., H. Schutz, M. A. Chappell, B. K. Keeney, T. H. Meek, L. E. Copes, W. Acosta, et al. 2011. "The Biological Control of Voluntary Exercise, Spontaneous Physical Activity and Daily Energy Expenditure in Relation to Obesity: Human and Rodent Perspectives."

- Journal of Experimental Biology* 214 (2): 206–29. <https://doi.org/10.1242/jeb.048397>.
- Gilman, Sander L. 2014. “‘Stand Up Straight’: Notes Toward a History of Posture.” *Journal of Medical Humanities* 35 (1): 57–83. <https://doi.org/10.1007/s10912-013-9266-0>.
- Gjoreski, Hristijan, Bostjan Kaluzaa, Matjaz Gamsa, Radoje Milic, and Mitja Lustrek. 2015. “Context-Based Ensemble Method for Human Energy Expenditure Estimation.” *Applied Soft Computing* 37: 960–70. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.05.001>.
- Guérin, François, Antoine Laville, François Daniellou, Jacques Duraffourg, and Alain Kerguelen. 2001. *Compreender o Trabalho Para Transformá-Lo*. 1st ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- Guyton, Arthur C., and John Edward. Hall. 2011. *Tratado de Fisiologia Médica*. 12th ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Gyllensten, Illapha Cuba. 2011. “Identifying Types of Physical Activity With a Single Accelerometer: Evaluating Laboratory-Trained Algorithms in Daily Life.” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 58 (9): 2656–63.
- Hagenbuchner, Markus, Dylan P Cliff, Stewart G Trost, Nguyen Van Tuc, and Gregory E Peoples. 2015. “Prediction of Activity Type in Preschool Children Using Machine Learning Techniques.” *Journal of Science and Medicine in Sport* 18 (4): 426–31. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.06.003>.
- Hansen, Jakob Honborg, Ingunn Holmen Geving, and Randi Eidsmo Reinertsen. 2010. “Offshore Fleet Workers and the Circadian Adaptation of Core Body Temperature, Blood Pressure and Heart Rate to 12-h Shifts: A Field Study.” *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 16 (4): 487–95. <https://doi.org/10.1080/10803548.2010.11076864>.
- Harris, J. A., and F.G Benedict. 1919. *A Biometric Study of Basal Metabolism in Man*. Washington D.C.: Carnegie Institute of Washington.
- Hay, Dean Charles, Akinobu Wakayama, Ken Sakamura, and Senshi Fukashiro. 2008. “Improved Estimation of Energy Expenditure by Artificial Neural Network Modeling.” *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 33 (January 2016): 1213–22. <https://doi.org/10.1139/h08-117>.
- Heymsfield, S. B., B. Bourgeois, and D. M. Thomas. 2017. “Assessment of Human Energy Exchange: Historical Overview.” *European Journal of Clinical Nutrition* 71 (3): 294–300. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.221>.
- Hibbing, Paul R, Samuel R Lamunion, Andrew S Kaplan, and Scott E Crouter. 2018. “Estimating Energy Expenditure with ActiGraph GT9X Inertial Measurement Unit.” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1093–1102. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001532>.
- Hobsbawm, Eric J. 1996. *A Era Das Revoluções. 9.Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996*. São Paulo: Paz e Terra.
- Horner, Fleur, James L Bilzon, Mark Rayson, Sam Blacker, James Carter, Anthony Wright, Alan Nevill, et al. 2013. “Development of an Accelerometer-Based Multivariate Model to Predict Free-Living Energy Expenditure in a Large Military Cohort.” *Journal of Sports Sciences* 0414 (September 2016). <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.734632>.
- Hoye, Karen Van, Filip Boen, and Johan Lefevre. 2015. “Validation of the SenseWear Armband

- in Different Ambient Temperatures.” *Journal of Sports Sciences* 33 (10): 1007–18. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.981846>.
- Iida, Itiro, and Lia Buarque de Macedo Guimarães. 2016. *Ergonomia: Projeto e Produção*. 3^a. São Paulo: Blucher.
- Imrhan, Sheik N. 2014. “Human Performance Engineering.” In *Medical Devices and Human Engineering*, 1st ed., 891. Boca Raton: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- ISO. 2004. “Ergonomics of the Thermal Environment — Determination of Metabolic Rate.” *ISO 8996:2004*. Switzerland: ISO.
- . 2018. “International Organization for Standardization.” 2018. <https://www.iso.org>.
- . 2019. “What Are the Benefits of ISO International Standards?” 2019. <https://www.iso.org/standards.html>.
- Jonee, Lilian de, and George A. Bray. 1997. “The Thermic Effect of Food and Obesity: A Critical Review.” *Obesity Research* 5 (6): 622–31. <https://doi.org/10.1002/j.1550-8528.1997.tb00584.x>.
- Kenney, W. Larry, Jack H. Wilmore, and David L. Costill. 2013. *Fisiologia Do Esporte e Do Exercício*. 5th ed. Barueri-SP: Manole.
- Kenny, Glen P, Sean R Notley, and Daniel Gagnon. 2017. “Direct Calorimetry: A Brief Historical Review of Its Use in the Study of Human Metabolism and Thermoregulation.” *European Journal of Applied Physiology* 117 (9): 1765–85. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3670-5>.
- Kim, Youngwon, Scott E Crouter, Jung-Min Lee, Phillip M Dixon, Glenn A Gaesser, and Gregory J Welk. 2016. “Comparisons of Prediction Equations for Estimating Energy Expenditure in Youth.” *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia* 19 (1): 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.10.002>.
- Kowaltowski, Alicia. 2015. *O Que é Metabolismo? Como Nossos Corpos Transformam o Que Comemos No Que Somos*. São Paulo: Oficina de textos.
- Krajewski, Lee J., Manoj K. Malhotra, and Lary P. Ritzman. 2017. *Administração de Produção e Operações*. 11^a. São Paulo: Pearson Education.
- Kripke, D., D. Mullaney, S. Messin, and J. Wyborney. 1978. “Wrist Actigraphic Measures of Sleep and Rhythms.” *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 44: 674–76.
- Kroemer, Karl H. E., Hiltrud J. Kroemer, and Katrin E. Kroemer-Elbert. 2010. *Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/Ergonomics*. 4^a. Springer.
- Kumahara, Hideaki, Munehiro Shindo, and Hiroaki Tanaka. 2004. “The Difference between the Basal Metabolic Rate and the Sleeping Metabolic Rate in Japanese.” *J Nutr Sci Vitaminol* 50 (15): 441–45.
- Lam, Yan Y., and Eric Ravussin. 2016. “Analysis of Energy Metabolism in Humans: A Review of Methodologies.” *Molecular Metabolism* 5 (11): 1057–71. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.09.005>.
- Lantz, Brett. 2015. *Machine Learning with R*. 2^a. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Lee, Paul, and C Y Tse. 2019. “Calibration of Wrist-Worn ActiWatch 2 and ActiGraph WGT3X for Assessment of Physical Activity in Young Adults.” *Gait & Posture* 68 (May 2018): 141–49. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.11.023>.

- Leenders, Nicole Y, William Michael Sherman, and Haikady N Nagaraja. 2006. "Energy Expenditure Estimated by Accelerometry and Doubly Labeled Water: Do They Agree?," no. 11: 2165–72. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000235883.94357.95>.
- Lifson, Nathan, George B. Gordon, and Ruth McClintock. 1955. "Measurement of Total Carbon Dioxide Production by Means of D₂O¹⁸." *Journal Applied Physiology* 7 (6): 704–10.
- Lin, Che-wei, Ya-ting C Yang, Jeen-shing Wang, and Yi-ching Yang. 2012. "A Wearable Sensor Module With a Neural-Network- Based Activity Classification Algorithm for Daily Energy Expenditure Estimation" 16 (5): 991–98.
- Littner, Michael, Clete A Kushida, W Mcdowell Anderson, Dennis Bailey Dds, Richard B Berry, David G Davila, Max Hirshkowitz, et al. 2003. "Practice Parameters for the Role of Actigraphy in the Study of Sleep and Circadian Rhythms : An Update for 2002." *Sleep* 26 (3): 337–41.
- Liu, Shaopeng, Robert Gao, and Patty Freedson. 2013. "Computational Methods for Estimating Energy Expenditure in Human Physical Activities." *Medical Science Sport Exercise* 44 (11): 2138–46. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31825e825a.Computational>.
- Liu, Shaopeng, Robert X Gao, Dinesh John, John W Staudenmayer, and Patty S Freedson. 2012. "Multisensor Data Fusion for Physical Activity Assessment." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 59 (3): 687–96.
- Lovibond, P. F., and S. H. Lovibond. 1995. "The Structure of Negative Emotional States: Comparison of the Depression Scales (DASS) with the Beck Depression and Anxiety Inventories." *Behavior Research and Therapy* 33 (3): 335–43.
- Lubina, Paula, and Marcin Rudzki. 2015. "Artificial Neural Networks in Accelerometer-Based Human Activity Recognition." *Proceedings of the 22nd International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems."*
- Lucena, A D, J C Guedes, M A P Vaz, and L B Silva. 2018. "Physiological Variables in Energy Expenditure Actigraphy: A Systematic Review Protocol Estimation By." *International Journal of Occupational and Environmental Safety* 2 (1): 59–66. <https://doi.org/10.24840/2184-0954>.
- Lyden, Kate, Sarah Kozey Keadle, John Staudenmayer, and Patty S. Freedson. 2015. "A Method to Estimate Free-Living Active and Sedentary Behavior from an Accelerometer." *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46 (2): 386–97. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a42a2d.A>.
- Lyden, Kate, Sarah L. Kozey, John W. Staudenmeyer, and Patty S. Freedson. 2011. "A Comprehensive Evaluation of Commonly Used Accelerometer Energy Expenditure and MET Prediction Equations." *European Journal of Applied Physiology* 111 (2): 187–201. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1639-8>.
- Mac, Valerie Vi Thien, Jose Antonio Tovar-Aguilar, Joan Flocks, Eugenia Economos, Vicki S. Hertzberg, and Linda A. McCauley. 2017. "Heat Exposure in Central Florida Fernery Workers: Results of a Feasibility Study." *Journal of Agromedicine* 22 (2): 89–99. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1059924X.2017.1282906>.
- Macfarlane, Duncan J. 2017. "Open-Circuit Respirometry : A Historical Review of Portable Gas Analysis Systems." *European Journal of Applied Physiology* 117 (12): 2369–86. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3716-8>.
- Madden, A M, H M Mulrooney, and S Shah. 2016. "Estimation of Energy Expenditure Using

- Prediction Equations in Overweight and Obese Adults : A Systematic Review.” *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, no. 9: 458–76. <https://doi.org/10.1111/jhn.12355>.
- Mantzari, Eleni, Catherine Galloway, Katrien Wijndaele, Soren Brage, Simon J Griffin, and Theresa M Marteau. 2019. “Impact of Sit-Stand Desks at Work on Energy Expenditure , Sitting Time and Cardio-Metabolic Risk Factors : Multiphase Feasibility Study with Randomised Controlled Component.” *Preventive Medicine Reports* 13 (June 2018): 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2018.11.012>.
- Marôco, João. 2014. *Análise Estatística Com o SPSS Statistics*. 6th ed. Pero Pinheiro: ReportNumber.
- Másculo, Francisco Soares. 2011. “Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente.” In *Ergonomia: Trabalho Adequado e Eficiente*, 1st ed., 648. Rio de Janeiro: Elsevier / Abepro.
- Mifflin, M D, S T St Jeor, L A Hill, B J Scott, S A Daugherty, and Young O Koh. 1990. “A New Predictive Equation for Resting Energy Expenditure in Healthy Individuals.” *The American Journal of Clinical Nutrition* 51: 241–47.
- Montoye, Alexander H. K., Benjamin; Nelson, M., M.; Bock, Joshua, T.; Imboden, Mary, A.; Kaminsky, Leonard, A.; Mackintosh, Kelly, A.; McNarry, Melitta, and A. Pfeiffer, Karin. 2018. “Raw and Count Data Comparability of Hip-Worn ActiGraph GT3X+ and Link Accelerometers.” *Medicine & Science in Sports & Exercise* 50 (5): 1103–12. https://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/2018/05000/Raw_and_Count_Data_Comparability_of_Hip_Worn.25.aspx.
- Montoye, Henry J., Richard Washburn, Stephen Servais, Andrew Ertl, John G. Webster, and Francis J. Nagle. 1983. “Estimation of Energy Expenditure by a Portable.” *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (5): 403–7.
- Moura, Bruno, João Carlos Bouzas Marins, Sylvia do Carmo Castro Franceschini, Janice Sepúlveda Reis, and Paulo Roberto dos Santos Amorim. 2014. “Aerobic Exercise Did Not Have Compensatory Effects on Physical Activity Levels in Type 2 Diabetes Patients.” *Journal of Sports Sciences*, no. September 2014. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.951875>.
- Mtaweh, Haifa, Lori Tuira, Alejandro A Floh, and Christopher S Parshuram. 2018. “Indirect Calorimetry : History , Technology , and Application.” *Frontiers in Pediatrics* 6 (September): 1–8. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00257>.
- Nelson, M. Benjamin, Leonard A. Kaminsky, D. Clark Dickin, and Alexander H.K. Montoye. 2016. “Validity of Consumer-Based Physical Activity Monitors for Specific Activity Types.” *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (8): 1619–28.
- Ohno, Taiichi. 1997. *Sistema Toyota de Produção: Além Da Produção Em Larga Escala*.
- Owen, O E, J L Holup, D A D’Alessio, E S Craig, M Polansky, K J Smalley, E C Kavle, M C Bushman, L R Owen, and M A Mozzoli. 1987. “A Reappraisal of the Caloric Requirements of Men.” *The American Journal of Clinical Nutrition* 46 (6): 875–85.
- Owen, O E, E Kavle, R S Owen, M Polansky, S Caprio, M A Mozzoli, Z V Kendrick, M C Bushman, and G Boden. 1986. “A Reappraisal of Caloric Requirements in Healthy Women.” *The American Journal of Clinical Nutrition* 44 (1): 1–19.
- Pandolf, K. B., B. Givoni, and R. F. Goldman. 1976. “Predicting Energy Expenditure with Loads While Standing or Walking Very Slowly.” *Journal of Applied Physiology* 43 (4).

- Parsons, Ken. 2002. *Human Thermal Environments*. 3^a. Boca Raton: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Pinder, Andrew, Najat Mokhtar, and Nuala M. Byrne. 2014. “Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure : An Overview of Objective Measures.” *Frontiers in Nutrition* 1 (June): 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00005>.
- Poncet, Sébastien, Laurie Dahlberg, Sébastien Poncet, Laurie Dahlberg, and Victor Regnault. 2012. “The Legacy of Henri Victor Regnault in the Arts and Sciences.” *International Journal of Arts and Sciences* 4 (13): 377–400.
- Powers, Scott K., and Edward T. Howley. 2014. *Fisiologia Do Exercício: Teoria e Aplicação Ao Condicionamento e Ao Desempenho*. 8th ed. Barueri: Manole.
- Rawson, Eric S, and Talia M Walsh. 2009. “Estimation of Resistance Exercise Energy Expenditure Using Accelerometry.” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 622–28. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b64ef3>.
- Reeve, Michael D, Kate L Pumpa, and Nick Ball. 2014. “Accuracy of the SenseWear Armband Mini and the BodyMedia FIT in Resistance Training.” *Journal of Science and Medicine in Sport* 17 (6): 630–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.08.007>.
- Robillard, R, T J R Lambert, N L Rogers, T J R Lambert, and N L Rogers Measuring. 2016. “Measuring Sleep – Wake Patterns with Physical Activity and Energy Expenditure Monitors.” *Biological Rhythm Research* 1016 (September). <https://doi.org/10.1080/09291016.2011.614794>.
- Roveda, Eliana, Jacopo A Vitale, Eleonora Bruno, Angela Montaruli, Patrizia Pasanisi, Anna Villarini, Giuliana Gargano, et al. 2016. “Protective Effect of Aerobic Physical Activity on Sleep Behavior in Breast Cancer Survivors.” *Integrative Cancer Therapies*. <https://doi.org/10.1177/1534735416651719>.
- Santos-lozano, Alejandro, R Bailón, C Bergmeir, J R Ruiz, A Lucia, and N Garatachea. 2013. “Actigraph GT3X : Validation and Determination of Physical Activity Intensity Cut Points.” *International Journal of Sports Medicine*, no. May. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1337945>.
- Sasaki, Jeffer E, Dinesh John, and Patty S Freedson. 2011. “Validation and Comparison of ActiGraph Activity Monitors.” *Journal of Science and Medicine in Sport* 14 (5): 411–16. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.04.003>.
- Schmid, Maurizio, Francesco Riganti-fulginei, Ivan Bernabucci, Antonino Laudani, Daniele Bibbo, Rossana Muscillo, Alessandro Salvini, and Silvia Conforto. 2013. “SVM versus MAP on Accelerometer Data to Distinguish among Locomotor Activities Executed at Different Speeds” 2013 (2).
- Schneller, Mikkel B, Mogens T Pedersen, Nidhi Gupta, Mette Aadahl, and Andreas Holtermann. 2015. “Validation of Five Minimally Obstructive Methods to Estimate Physical Activity Energy Expenditure in Young Adults in Semi-Standardized Settings.” *Sensors* 4: 6133–51. <https://doi.org/10.3390/s150306133>.
- Schoeller, D. A., and E. van Santen. 1982. “Measurement of Energy Expenditure in Humans by Doubly Labeled Water Method.” *Journal Applied Physiology* 53 (4): 955–59.
- Schulman, J. L., and J. M. Reisman. 1959. “An Objective Measure of Hyperactivity.” *American Journal of Mental Deviance* 64: 455–56.
- Seeley, Rod R., Trent D. Stephens, and Philip Tate. 2003. *Anatomia e Fisiologia*. Edited by

- Martin J. Lange. 6th ed. Loures: Lusociência.
- Servais, S.B., and J.G. Webster. 1984. "Estimating Human Energy Expenditure Using an Accelerometer Device." *Journal of Clinical Engineering* 9 (2): 159–70.
- Servais, Stephen B., John G. Webster, and Henry J. Montoye. 1982. "Estimating Human Energy Expenditure Using an Accelerometer Device." *IEEE/Engineering in Medicine and Biology Society Annual Conference*, 309–12.
- Shephard, Roy J. 2016. "The Objective Monitoring of Physical Activity: Contributions of Accelerometry to Epidemiology, Exercise Science and Rehabilitation." In *The Objective Monitoring of Physical Activity: Contributions of Accelerometry to Epidemiology, Exercise Science and Rehabilitation*, 383. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29577-0>.
- Shephard, Roy J, and Yukitoshi Aoyagi. 2012. "Measurement of Human Energy Expenditure , with Particular Reference to Field Studies : An Historical Perspective." *European Journal of Applied Physiology*, 2785–2815. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2268-6>.
- Silva, Ivan Nunes, Danilo Hernane Spatti, and Rogério Andrade Flauzino. 2016. *Redes Neurais Artificiais Para Engenharia e Ciências Aplicadas*. 2^a. São Paulo: Artliber Editora Ltda.
- Singh, Arashdeep, Adel Pezeshki, Rizaldy C Zapata, Nicholas J Yee, Cameron G Knight, Ursula I Tuor, and Prasanth K Chelikani. 2016. "Diets Enriched in Whey or Case in Improve Energy Balance and Prevent Morbidity and Renal Damage in Salt-Loaded and High-Fat-Fed Spontaneously Hypertensive Stroke-Prone Rats." *The Journal of Nutritional Biochemistry* 37: 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.07.011>.
- Spierer, David K., Marshall Hagins, Andrew Rundle, and Evangelos Pappas. 2011. "A Comparison of Energy Expenditure Estimates from the Actiheart and Actical Physical Activity Monitors during Low Intensity Activities, Walking, and Jogging." *European Journal of Applied Physiology* 111 (4): 659–67. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1672-7>.
- Sprod, Judy A, Timothy S Olds, Nicola W Burton, Wendy J Brown, Jannique G Van Uffelen, Katia E Ferrar, and Carol A Maher. 2016. "Patterns and Correlates of Time Use and Energy Expenditure in Older Australian Workers : A Descriptive Study." *Maturitas* 90: 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2016.05.009>.
- Staudenmayer, John, Shai He, Amanda Hickey, Jeffer Sasaki, and Patty Freedson. 2015. "Methods to Estimate Aspects of Physical Activity and Sedentary Behavior from High-Frequency Wrist Accelerometer Measurements." *Journal of Applied Physiology* 119 (4): 396–403. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00026.2015>.
- Staudenmayer, John, David Pober, Scott Crouter, David Bassett, and Patty Freedson. 2009. "An Artificial Neural Network to Estimate Physical Activity Energy Expenditure and Identify Physical Activity Type from an Accelerometer." *Journal of Applied Physiology*, no. 17: 1300–1307. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00465.2009>.
- Strath, Scott J, Rohit J Kate, Kevin G Keenan, Whitney A Welch, and Ann M Swartz. 2015. "Ngram Time Series Model to Predict Activity Type and Energy Cost from Wrist , Hip and Ankle Accelerometers : Implications of Age." *Physiological Measurement* 36: 2335–51. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/11/2335>.
- Swartz, A N N M, Scott J Strath, David R Bassett, William L O Brien, George A King, and Barbara E Ainsworth. 2000. "Estimation of Energy Expenditure Using CSA Accelerometers at Hip and Wrist Sites." *Medicine & Science in Sports & Exercise*, no. 3: 450–56.

- Taylor, Frederick Winslow. 1966. *Princípios Da Administração Científica*. Atlas.
- Tryon, Warren W. 2008. “Methods of Measuring Human Activity.” *Journal of Behavior Analysis in Health, Sports, Fitness and Medicine* 1 (1).
- Villars, C, A Bergouignan, J Dugas, E Antoun, D A Schoeller, H Roth, A C Maingon, E Lefai, S Blanc, and C Simon. 2012. “Validity of Combining Heart Rate and Uniaxial Acceleration to Measure Free-Living Physical Activity Energy Expenditure in Young Men.” *Journal of Applied Physiology* 113: 1763–71. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01413.2011>.
- Warolin, Joshua, Amanda R Carrico, Lauren E Whitaker, L I Wang, Kong Y Chen, Sari Acra, and Maciej S Buchowski. 2012. “Effect of BMI on Prediction of Accelerometry-Based Energy Expenditure in Youth.” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2428–35. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318267b8f1>.
- Weyer, C, S Snitker, R Rising, C Bogardus, and E Ravussin. 1999. “Determinants of Energy Expenditure and Fuel Utilization in Man: Effects of Body Composition, Age, Sex, Ethnicity and Glucose Tolerance in 916 Subjects.” *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders* 23: 715–22. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0800910>.
- Wong, T.C., J.G. Webster, H.J. Montoye, and R. Washburn. 1981. “Portable Accelerometer Device for Measuring Human Energy Expenditure.” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 28 (6): 467–71.
- Yasuda, Nobuo, and Brent C. Ruby. 2017. “Assessment of Urinary Protein Composition in Response to Consecutive Days of Wildland Firefighting.” *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 0 (0): 1–35. <https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1407524>.

GLOSSÁRIO

A

Ácido pirúvico Composto orgânico obtido do processo de glicólise, ou seja, do processo de fracionamento de glicose para liberação de adenosina trifosfato. Quando a glicólise ocorre na ausência de oxigênio, o ácido pirúvico é transformado em ácido láctico. É um dos elementos importantes na interação do ciclo de Krebs para transformação de energia no corpo humano (Kenney, Wilmore, and Costill 2013).

Analisador metabólico Dispositivo que permite realizar análises de características relacionadas ao metabolismo, geralmente baseado na análise amostral do ar expirado e inspirado.

C

Calorimetria direta Método de estimativa da taxa metabólica dada pela medição direta do calor produzido por uma pessoa em um calorímetro de corpo inteiro utilizando-se a diferença entre taxa à qual o calor é perdido a partir do corpo para o ambiente e os valores calóricos adquiridos através da alimentação (Parsons 2002).

Calorimetria indireta Estimativa da taxa metabólica pela medição de parâmetros da quantidade de oxigênio utilizado e de outros parâmetros do ar inspirado e expirado na execução de determinada atividade (Parsons 2002).

Catabolismo Etapa do processo de degradação de moléculas complexas em moléculas menores (Powers and Howley 2014).

Contagens dos actígrafos Trata-se de um artifício de quantificação dos movimentos por simplificação dos dados de aceleração dos actígrafos para evitar a integração do sinal de aceleração. Considerando que os actígrafos utilizam filtros de sinal para mitigar os ruídos no sinal dos movimentos, não seria possível obter valores de velocidade e/ou analogamente valores de deslocamento diretamente pela integração matemática da aceleração no tempo. Assim, toda atividade que faz com que o sinal de aceleração ultrapasse o limite considerado ruído é “contada” como atividade. Qualquer sinal abaixo desse limite é desprezado como ruído (ACTIGRAPH, 2019).

E

Efeito aleatório Em um modelo matemático, é uma parte do efeito sobre a variável dependente ou variável de desempenho que não é possível ser explicado por nenhuma das variáveis do estudo, sendo considerado um efeito aleatório (Fávero et al. 2009).

Efeito significativo É um efeito que apresenta nível de significância dentro do intervalo admitido como sendo de referência.

F

Flogisto Suposto material que compunha os materiais combustíveis, segundo a teoria de Georg Ernst Stahl, e que era liberado ao ar durante os processos de combustão (Heymsfield, Bourgeois, and Thomas 2017).

H

Heterocedasticidade Ocorre quando o pressuposto de igualdade de variâncias entre as variáveis não é igual, sendo oposto à homoscedasticidade.

Homoscedasticidade Significa igualdade de variâncias entre as variáveis, supondo que as variáveis dependentes exibem níveis iguais de variância ao longo do domínio das variáveis independentes (Corrar, Paulo, and Dias Filho 2007).

I

Intercepto Parcela de uma equação que representa o valor obtido quando todas as variáveis forem iguais a zero. Também representa um valor médio da equação.

M

Magnetômetros Dispositivos que indicam intensidade, direção e sentido de campos magnéticos.

N

Normalidade Condição de distribuição de dados onde há simetria e a média, mediana e moda são iguais (Bonafini 2012).

P

Pedômetro Dispositivo que indica a quantidade de passos dados por uma pessoa.

T

Transdutor piezoelétrico Dispositivo que capta tensões mecânicas ou vibrações e indica a intensidade desse estímulo pela geração de carga elétrica de um cristal ou outro material piezoelétrico em seu interior.

V

Vetor magnitude É um vetor que representa a combinação dos vetores nos 3 eixos (x, y, z; em casos triaxiais), cujo módulo é obtido pela raiz da soma dos quadrados dos valores de suas componentes.

APÊNDICE A: Artigos incluídos na revisão sistemática 1: Panorama do uso da actigrafia na determinação do gasto energético.

Tabela 23: Artigos incluídos na Revisão Sistemática 1 - Panorama do uso da actigrafia na determinação do gasto energético.

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free-living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Spieler, D.K., Hagins, M., Rundle, A., Pappas, E.	A comparison of energy expenditure estimates from the Actiheart and Actical physical activity monitors during low intensity activities, walking, and jogging	European Journal of Applied Physiology	2011	USA	Comparação entre dispositivos	Actiheart and Actical	k4b ²	n = 27; Idade = 26,37 (7,32)	L	Idade, Sexo, contagens, frequência cardíaca
Lyden, K., Kozey, S.L., Staudenmeyer, J.W., Freedson, P.S.	A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations	European Journal of Applied Physiology	2011	USA	Comparação entre dispositivos e métodos de cálculo	ActiGraph, RT3, Actical,	Oxycon Mobile	n = 274; Idade = 38,3 (12,4)	F, C	Peso, contagens
Duncan, G.E., Lester, J., Migotsky, S., (...), Higgins, L., Borriello, G.	Accuracy of a novel multi-sensor board for measuring physical activity and energy expenditure	European Journal of Applied Physiology	2011	USA	Proposição de dispositivos	Actical Miniminter, heart rate monitor (model T34, Polar Electro Oy, Kempele, Finland)	Laboratório: metabolic cart (ParvoMedics TrueMax 2400, Sandy, UT, USA) Campo: K4b ²	n = 57 (32 mulheres + 25 homens); Idade = 39,2 (13,5)	L, F	Peso, Frequência cardíaca, característica de sinal não especificada
Brazeau, A.-S., Suppere, C., Strychar, I., (...), Demers, S.-P., Rabasa-	Accuracy of energy expenditure estimation by activity monitors differs with ethnicity	International journal of sports medicine	2014	Canadá	Comparação entre dispositivos	SenseWear Armband & Actical	Metabolic cart: Ergocard	n = 38 (18 caucasianos + 20 negros); Idade = 26,8 (5,2)	L, F	Contagens, pico de VO ₂ consumido,

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Lhoret, R.										
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	2013	Austrália	Avaliação de dispositivos	SenseWear Armband Mini and BodyMedia FIT	k4b2	n = 18 (11 homens + 7 mulheres); Idade = 22,7 (4,5)	L	
Santos-Lozano, A., Santín-Medeiros, F., Cardon, G., (...), Lucia, A., Garatachea, N.	Actigraph GT3X: Validation and determination of physical activity intensity cut points	International Journal of Sports Medicine	2013	Spain	Avaliação de dispositivos	ActiGraph GT3X	(Metabolic cart Oxycon Pro, Jaeger-Viasys Healthcare, Hoechberg, Germany)	(i) n = 31 (19 meninos, 12 meninas); Idade = 14,7 (1,0); (ii) n = 31 adultos (16 homens + 15 mulheres); Idade = 47,1 (3,5); (iii) n = 35 idosos (13 homens + 22 mulheres); Idade = 71.9 (5.4)	L	
Staudenmayer, J., Pober, D., Crouter, S., Bassett, D., Freedson, P.	An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer	Journal of Applied Physiology	2009	USA	Métodos de cálculo	Actigraph Model 7164	k4b2	n = 48; Idade = 45 (24)	L	
Yasuda, Nobuo.; Ruby, Brent C.	Assessment of urinary protein composition in response to consecutive days of wildland firefighting	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	2017	USA	Uso com trabalhadores	Actical	DLW	n = 18 homens; Idade = 22,2 (3,9)	CP	Peso, contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Bonn, Stephanie E.; Rimm, Eric B.; Matthews, Charles E.; Troiano, Richard P.; Bowles, Heather R.; Rood, Jennifer.; Barnett, Junaidah B.; Willett, Walter C.; Chomistek, Andrea K.	Associations of Sedentary Time with Energy Expenditure and Anthropometric Measures.	Medicine & Science in Sports & Exercise	2018	USA	Comparação de dispositivo com outros métodos	ActiGraph GT3X	DLW		L	Peso, altura, idade, sexo, IMC, contagens
Lee, Paul.; Tse, C. Y.	Calibration of wrist-worn ActiWatch 2 and ActiGraph wGT3X for assessment of physical activity in young adults.	Gait & Posture	2019	China	Validação de dispositivo	ActiWatch 2, ActiGraph wGT3X	k4b2	n = 27; Idade = 22(4)	L	Contagens
Wickham, James B.; Mullen, Nicholas J.; Whyte, Douglas G.; Cannon, Jack.	Comparison of energy expenditure and heart rate responses between three commercial group fitness classes	Journal of Science and Medicine in Sport	2015	Austrália	Uso	Actiheart monitor (CamNtech Ltd., Cambridge, UK)		n = 10 (5 homens + 5 mulheres); Idade = 29,3 (8)	CP	Peso, altura, idade, sexo, IMC, contagens, Frequência cardíaca
Donaire- Gonzalez, David.; Nazelle, Audrey de.; Seto, Edmund.;	Comparison of physical activity measures using mobile phone-based calfit and actigraph	JOURNAL OF MEDICAL INTERNET RESEARCH	2013	Spain , UK, USA	Comparação de dispositivo com outros métodos	CalFit and Actigraph GT3X		n = 36 (13 homens+ 23 mulheres); Idade = 31 (8)	f	Contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Mendez, Michelle.; Nieuwenhuijse n, Mark J.; Jerrett, Michael.										
Rousset, S.; Fardet, A.; Lacomme, P., Sylvie.; Montaurier, Christophe.; Boirie, Yves.; Morio, Béatrice.;	Comparison of total energy expenditure assessed by two devices in controlled and free-living conditions	European Journal of Sport Science	2015	França	Comparação entre dispositivos	Armband e Actheart	calorimetric chamber	Câmara: n = 49 (23 homens + 26 mulheres); Free-living: n = 41 (21 homens + 20 mulheres)	F, C	
Liu, Shaopeng.; Gao, Robert.; Freedson, Patty	Computational methods for estimating energy expenditure in human physical activities	Medical Science Sport Exercise	2013	USA	Métodos de cálculo	Apresenta vários. Não usa. Menciona IDEEA e ActiGraph			Revisão	
Fleur Horner , James L. Bilzon , Mark Rayson , Sam Blacker , Victoria Richmond , James Carter , Anthony Wright & Alan Nevill	Development of an accelerometer- based multivariate model to predict free-living energy expenditure in a large military cohort	Journal of Sports Sciences	2013	UK	Métodos de cálculo	The triaxial 3DNXmodel v3 (BioTel Ltd, Bristol, UK)	DWL	n = 155 (111 + 44); Idade = 20,3 (3,9)	F	Peso, altura, contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Rabuffetti, M.; Meriggi, P.; Pagliari, C.; Bartolomeo, P.; Ferrarin, M.	Differential actigraphy for monitoring asymmetry in upper limb motor activities	Physiological Measurement	2016	Italia, França	Uso	two triaxial accelerometers (programmable eZ430-Chronos, Texas Instruments)	0	n = 31 (9 homens + 22 mulheres); Idade = 49,5 (29,5)	F	
Joshua Warolin, Amanda R. Carrico, Lauren E. Whitaker, Li Wang, Kong Y. Chen, Sari Acra, and Maciej S. Buchowski	Effect of BMI on prediction of accelerometry-based energy expenditure in youth	Medicine and Science in Sports and Exercise	2012	EUA	Métodos de cálculo	ActiGraph GT1M, Actical, RT3	whole-room indirect calorimeter	n = 131 (69 mulheres + 62 homens); Etnia = Afroamericano (64); Branco (64); Hispanico (3)	C	Peso, altura, idade, sexo, IMC, Massa de gordura, massa livre de gordura, contagens, etnia
Yuri Feito, David r. Bassett, Brian Tyo, Dixie L. Thompson	Effects of body mass index and tilt angle on output of two wearable activity monitors	Medicine and Science in Sports and Exercise	2011	EUA	Métodos de cálculo	Actical, ActiGraph GT1M	ParvoMedics TrueOne 2400 Metabolic Measurement System (ParvoMedics, Sandy, UT)	População de peso normal: n = 28; Idade = 27,8 (8,0); Sobrepeso: n = 24; Idade = 34,6 (14,2); Obesos: n = ; Idade = 31,5 (11,1)	L	Peso, altura, IMC, contagens
Nicole Y. Leenders, William Michael Sherman, Haikady N.	Energy Expenditure Estimated by Accelerometry and Doubly Labeled Water: Do They Agree?	MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE	2006	EUA	Comparação de dispositivo com outros métodos	Tritrac-R3D, Actigraph	DLW	n = 13 mulheres; Idade = 25,8 (1,6)	F	

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Nagaraja										
Altini, Marco.; Penders, Julien.; Vullers, Ruud.; Amft, Oliver	Estimating energy expenditure using body-worn accelerometers: A comparison of methods, sensors number and positioning	IEEE JOURNAL OF BIOMEDICAL AND HEALTH INFORMATICS	2015	Holanda	Métodos de cálculo	acelerômetros ADXL330	k4b2	n = 15 (11 homens = 4 mulheres); Idade = 25,8 (1,6)	L	Peso, altura, idade, sexo, contagens
Hibbing, Paul R; Lamunion, Samuel R; Kaplan, Andrew S; Crouter, Scott E.	Estimating Energy Expenditure with ActiGraph GT9X Inertial Measurement Unit.	Medicine & Science in Sports & Exercise	2017	USA	Avaliação de dispositivos	ActiGraph GT9X	k4b2	n = 30; Idade = 23,0 (2,3)	L	Gravitometria e acelerometria
Rawson, Eric S.; Walsh, Talia M	Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry	Medicine & Science in Sports & Exercise	2009	USA	Uso	ActiGraph GT1M	k4b2	n = 30 homens e mulheres; Idade = 21,6 (?)	L	
Chappel, Stephanie E.; Aisbett, Brad.; Vincent, Grace E.; Ridgers, Nicola D.	Firefighters' Physical Activity across Multiple Shifts of Planned Burn Work	International Journal of Environmental Research and Public Health	2016	Austrália	Uso com trabalhadores	Actical		n = 38 (29 homens + 9 mulheres)	campo	Peso, altura, IMC, contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Mac, Valerie Vi Thien.; Tovar-Aguilar, Jose Antonio.; Flocks, Joan.; Economos, Eugenia.; Hertzberg, Vicki S.; McCauley, Linda A.	Heat Exposure in Central Florida Fernery Workers: Results of a Feasibility Study	Journal of Agromedicine	2017	USA	Uso com trabalhadores	ActiGraph GTX3+		n = 20 (8 homens + 12 mulheres)	Campo	Contagens, etnia, temperatura interna
Laura D Ellingson; Paul R Hibbing; Youngwon Kim; Laura A Frey-Law; Pedro F Saint- Maurice; Gregory J Welk	Lab-based validation of different data processing methods for wrist- worn ActiGraph accelerometers in young adults.	Physiological Measurement	2017	EUA / Portu- gal	Métodos de cálculo	ActiGraph	OM; Oxycon mobile	n = 51 (29 homens + 22 mulheres); Idade = 23,5 (4,6)	L	
Staudenmayer, John.; He, Shai.; Hickey, Amanda.; Sasaki, Jeffer.; Freedson, Patty	Methods to estimate aspects of physical activity and sedentary behavior from high-frequency wrist accelerometer measurements	Journal of Applied Physiology	2015	USA	Métodos de cálculo	Actigraph GT3X+	Oxycon mobile indirect calorimetry system (Carefusion, Yorba Linda, CA)	n = 20 (10 homens + 10 mulheres); Idade = 24,1 (4,5)	L	Peso, altura, idade, sexo, contagens, vetor magnitude
Can, Sema.; Gündüz, Nevin.; Arslan, Erşan.; Biernat, Elżbieta.;	Multi-instrument assessment of physical activity in female office workers	International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health	2016	Turq uia, Polon ia	Uso com trabalhadores	Sensewear Armband (BodyMedia, USA)		n = 50 mulheres; Idade = 37 (13)	Campo	Peso, altura, idade

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Ersöz, Gülfem.; Kilit, Bülent										
Hansen, Jakob Honborg.; Geving, Ingunn Holmen.; Reinertsen, Randi Eidsmo	Offshore Fleet Workers and the Circadian Adaptation of Core Body Temperature, Blood Pressure and Heart Rate to 12-h Shifts: A Field Study	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	2010	Noruega	Uso com trabalhadores	ActiGraph		n = 7 (6 homens + 1 mulher); Noturnos: Idade = 35 (11); Diurnos: 34(12)	F	
Chomistek, Andrea K.; Yuan, Changzheng.; Matthews, Charles E.; Troiano, Richard P.; Bowles, Heather R.; Rood, Jennifer.; Barnett, Junaidah B.; Willett, Walter C.; Rimm, Eric B.; Bassett, David R.	Physical Activity Assessment with the ActiGraph GT3X and Doubly Labeled Water	Medicine and Science in Sports and Exercise	2017	USA	Comparação de dispositivo com outros métodos	ActiGraph	DLW	n = 1295 (684 mulheres + 611 homens)	Campo	Contagens, vetor magnitude

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Montoye A. H. K; Nelson M.B.; Bock J.M.; Imboden M.T.; Kaminsky L.A.; Mackintosh K. A.; McNarry M. A.; Pfeiffer K.A.	Raw and Count Data Comparability of Hip-Worn ActiGraph GT3X+ and Link Accelerometers.	Medicine and Science in Sports and Exercise	2018	USA	Métodos de cálculo	Actigraph GT3X+, GT9X Link		n = 26 (11 homens + 15 mulheres); Idade = 49,1 (20)	L	Contagens, vetor magnitude, média dos dados brutos, variância dos dados brutos
Scott E. Crouter, Erin Kuffel, Jere D. Haas, Edward A. Frongillo, David R. Bassett Jr.	Refined two-regression model for the actigraph accelerometer	Medicine and Science in Sports and Exercise	2010	USA	Métodos de cálculo	ActiGraph (model 7164)	Cosmed K4b2	n = 48 (24 homens+ 24 mulheres); Idade = 35,5 (11,5)	L	
Cuddy, John S.; Gaskill, Steven E.; Sharkey, Brian J.; Harger, Stephanie G.; Ruby, Brent C.	Supplemental Feedings increase self-selected work output during wildfire suppression	Medicine and Science in Sports and Exercise	2007	USA	Uso com trabalhadores	CSA and MiniMitter		n = 76; Idade = 27 (5)	Campo	contagens
Breidahl, Tomas.; Jepsen, Jørgen Riis.; Omland, Øyvind	The influence of vessel movements on the energy expenditure of fishermen in relation to activities and occupational tasks on board	International maritime health	2015	Dinamarca	Uso com trabalhadores	Sensewear Armband		n = 4 homens	CP	Peso, altura, idade, contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Ferguson, Ty.; Rowlands, Alex V.; Olds, Tim.; Maher, Carol	The validity of consumer-level activity monitors in healthy adults worn in free-living conditions: A cross-sectional study	International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity	2015	Austrália	Comparação entre dispositivos	Dispositivos de referência: BodyMedia SenseWear, ActiGraph GT3X. Outros 7 comparados a eles		n = 21 (10 homens + 11 mulheres); Idade = 32,8 (10,2)	F	
Mikkel B. Schneller, Mogens T. Pedersen, Nidhi Gupta, Mette Aadahl, Andreas Holtermann	Validation of Five Minimally Obstructive Methods to Estimate Physical Activity Energy Expenditure in Young Adults in Semi-Standardized Settings.	Sensors	2015	Dinamarca	Métodos de cálculo	ActivPAL3, ActiGraph GT3X+'s, an Actiheart	Cosmed K4b2 (Rome, Italy)	n = 14; Idade = 27,7 (3,3)	L	
Megan P. Rothney, Robert J. Brychta, Natalie N. Meade, Kong Y. Chen, Maciej S. Buchowski	Validation of the ActiGraph Two-Regression Model for Predicting Energy Expenditure.	Medicine and Science in Sports and Exercise	2010	EUA	Métodos de cálculo	GT1M	DWL e Calorimeter room	Câmara: n = 34; Idade = 40 (12,1). DLW: n = 22; Idade = 41,8 (13,9)	F	
Benito, P. J.; Neiva, C.; González-Quijano, P. S.; Cupeiro, R.;	Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads	European Journal of Applied Physiology	2012	Espanha, Brasil	Validação de dispositivo	Sensewear Armband	Oxycon Mobile (OM) portable metabolic system	n = 29 (17 mulheres + 12 homens)	L	

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Morencos, E.; Peinado, A. B.										
Van Hoye, Karen.; Boen, Filip.; Lefevre, Johan	Validation of the SenseWear Armband in different ambient temperatures	Journal of Sports Sciences	2015	Bélgica	Validação de dispositivo	Sensewear Armband		n = 39 (21 homens + 18 mulheres); Idade = 21,1 (1,4)	L	
Sushames, Ashleigh.; Edwards, Andrew.; Thompson, Fintan.; Mcdermott, Robyn.	Validity and Reliability of Fitbit Flex for Step Count, Moderate to Vigorous Physical Activity and Activity Energy Expenditure.	Plos One	2016	Austrália, Inglaterra	Validação de dispositivo	Fitbit Flex (avaliado), Actigraph GT3X+ (referência)		n = 25 (12 mulheres + 13 homens); Idade = 23,7 (5,8)	L, F	contagens
Welk, Gregory J.; Kim, Youngwon; Stanfill, Bryan; Osthus, David A.; Calabro, Andres M.; Nusser, Sarah M.; Carriquiry, Alicia	Validity of 24-h physical activity recall: Physical activity measurement survey	Medicine & Science in Sports & Exercise	2015	USA	Métodos de cálculo	SenseWear Armband Mini (SWA)		n = 1347 (786 mulheres + 561 homens); Idade de 20 a 71	F	
Laura D. Ellingson, Isaac J. Schwabacher, Youngwon Kim, Gregory	Validity of an Integrative Method for Processing Physical Activity Data	Medicine and Science in Sports and Exercise	2016	EUA, UK	Métodos de cálculo	ActiGraph (AG) on the hip, activPAL on the thigh	Oxycon mobile [OM]	n = 49 (31 mulheres + 18 homens); Idade 23,9 (5,3)	L	

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
J. Welk, Dane B. Cook										
C. Villars, A. Bergouignan, J. Dugas, E. Antoun, D. A. Schoeller, H. Roth, A. C. Maingon, E. Lefai, S. Blanc, C. Simon	Validity of combining heart rate and uniaxial acceleration to measure free-living physical activity energy expenditure in young men	Journal of Applied Physiology	2012	Franc e, EUA	Métodos de cálculo	Actiheart, RT3	DLW	n = 35; Idade = 27,6 (6,5)	F	
Nelson, M. Benjamin.; Kaminsky, Leonard A.; Dickin, D. Clark.; Montoye, Alexander H.K.	Validity of Consumer-Based Physical Activity Monitors for Specific Activity Types	Medicine and Science in Sports and Exercise	2016	USA	Validação de dispositivo	Fitbit One, Fitbit Sip, Fitbit Flex, Jawbone UP24, Omron HJ- 720IT (pedometro),	COSMED K4b2	n = 30 (3 x 10); Idades = 48,9 (19,4), em 3 grupos: i) 18- 39; ii) 40-59; iii) 60-80	L	
Kuffel, Erin E.; Crouter, Scott E.; Haas, Jere D.; Frongillo, Edward A.; Jr, David R Bassett.	Validity of estimating minute-by-minute energy expenditure of continuous walking bouts by accelerometry	International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity	2011	USA	Métodos de cálculo	ActiGraph GT1M	COSMED K4b2	n = 30	L	peso, altura, contagens
Han, Ke- Tsung.; Wang, Po-Ching	Validity of research-grade actigraphy unit for measuring exercise intensity	International Journal of Environmental Research and Public Health	2017	Chin a	Validação de dispositivo	MicroMini Motionlogger		n = 116 (52 homens + 64 mulheres)	L	Peso, altura, sexo, IMC, contagens, quantidade de passos

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
JOHNSON, Marquell.; MELTZ, Kristin.; HART, Kayla.; SCHMUDLAC H, Molly.; CLARKSON, Lauren.; BORMAN, Kate.	Validity of the Actical activity monitor for assessing steps and energy expenditure during walking	Journal of Sports Sciences	2014	USA	Validação de dispositivo	Actical	MEDGRAPHICS Cardiorespiratory Diagnostics System CardiO2 (Medical Graphics Corporation, St. Paul, MN)	n = 43 (20 homens + 23 mulheres); Idade 19-23	L	
HANSEN, Bjorge Herman.; BØRTNES, Ingvild.; HILDEBRAND, D, Maria.; HOLME, Ingar.; KOLLE, Elin.; ANDERSSSEN, Sigmund Alfred.	Validity of the ActiGraph GT1M during walking and cycling	Journal of Sports Sciences	2014	Noruega	Validação de dispositivo	ActiGraph GT1M	Metabolic cart (Jaeger Oxycon Pro; Wursburg, Germany)	n = 20; Idade 23-29	L	Peso, altura, idade, IMC, contagens

Autor	Título	Fonte	Ano	País	Tema geral	Actígrafo / acelerômetro	Dispositivo de calorimetria	Amostra	Free- living (F), lab.(L), amb cont (C), Campo (CP)	Variáveis
Kendall, Bradley.; Bellovary, Bryanne.; Gothe, Neha P	Validity of wearable activity monitors for tracking steps and estimating energy expenditure during a graded maximal treadmill test.	Journal of Sports Sciences	2019	USA	Validação de dispositivo	Basis watch, Fitbit Flex, Polar FT7, Jawbone, Omron pedometer, and Actigraph	metabolic cart (TrueOne 2400 Metabolic Measurement System 4.3.4, Parvo Medics, Murray, UT)		L	Peso, altura, idade, sexo, IMC, contagens, Frequência cardíaca

APÊNDICE B: Artigos incluídos na segunda revisão sistemática com menção ou apresentação de equações de gasto energético

Tabela 24: Artigos incluídos na segunda revisão sistemática com menção ou apresentação de equações de gasto energético

Autores	Artigo	Periódico	Equações citadas ou apresentadas
Erin K. Kross, Matthew Sena, Karyn Schmidt, Renee D. Stapleton	A comparison of predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill patients	Journal of Critical Care. 2012.	1, 2, 3, 4, 5
Lyden, Kate; Kozey, Sarah L.; Staudenmeyer, John W.; Freedson, Patty S.	A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations	European Journal of Applied Physiology. 2011	6, 7, 8, 9, 10
Ikeda, Kaori.; Fujimoto, Shimpei.; Goto, Masashi.; Yamada, Chizumi.; Hamasaki, Akihiro.; Ida, Megumi.; Nagashima, Kazuaki.; Shide, Kenichiro.; Kawamura, Takashi.; Inagaki, Nobuya.	A new equation to estimate basal energy expenditure of patients with diabetes	Clinical Nutrition. 2013	1, 11, 12, 13, 14, 15
Muffin, D.; Jeor, Tst.; Daugherty, A.; Hill, A.; Scott, J	A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals	The American Journal of Clinical Nutrition. 1990	3
Miguel Ángel López E., Pamela Elizabeth Valenzuela M.	A new predictive equation to improve the estimation of basal energy expenditure in adults individuals from Chillán [Nueva fórmula para mejorar la estimación del gasto energético basal en adultos de Chillán]	Revista Chilena de Nutrición. 2007	16
Lara R. Dugas; Lize van der Merwe; Hendrick Odendaal; Timothy D. Noakes; Estelle V. Lambert	A novel energy expenditure prediction equation for intermittent physical activity	Medicine and Science in Sports and Exercise. 2005	17
Raurich, Joan Maria; Llompарт-Pou, Juan Antonio; Ferreruella, Mireia; Riera, Maria ; Homar, Javier; Marse, Pere; Colomar, Asuncion; Ayestaran, Ignacio.	A novel energy expenditure prediction equation for intermittent physical activity	Nutricion Hospitalaria. 2015	18

Hill, Rebecca J.; Lewindon, Peter J.; Withers, Geoffrey D.; Connor, Frances L.; Ee, Looi C.; Cleghorn, Geoffrey J.; Davies, Peter S W.	Ability of commonly used prediction equations to predict resting energy expenditure in children with inflammatory bowel disease	Inflammatory Bowel Diseases. 2011	13, 19, 20
Mikael Karlsson , Erika Olsson,Wulf Becker, Brita Karlström, Tommy Cederholm, Per Sjögren	Ability to predict resting energy expenditure with six equations compared to indirect calorimetry in octogenarian men	Experimental Gerontology. 2017	1, 20, 21, 22b, 23b
Nilesh M. Mehta; Craig D. Smallwooda; Koen F.M. Joosten; Jessie M. Hulst; Robert C. Tasker ; Christopher P. Duggan	Accuracy of a simplified equation for energy expenditure based on bedside volumetric carbon dioxide elimination measurement – A two-center study	Clinical Nutrition. 2015.	19, 24
S Ullah, R Arsalani- Zadeh, J MacFie	Accuracy of prediction equations for calculating resting energy expenditure in morbidly obese patients	Annals of the Royal College of Surgeons of England. 2012	1, 19
Marra, Maurizio; Montagnese, Concetta; Sammarco, Rosa; Amato, Valeria; Della Valle, Elisabetta; Franzese, Adriana; Contaldo, Franco; Pasanisi, Fabrizio	Accuracy of Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure in Obese Adolescents	Journal of Pediatrics. 2015	19, 20, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30
Kim, Myung Hee.; Kim, Jae Hee.; Kim, Eun Kyung	Accuracy of predictive equations for resting energy expenditure (REE) in non-obese and obese Korean children and adolescents	Nutrition Research and Practice. 2012	1, 2, 3, 14, 19, 20, 22b, 25, 30, 31, 32, 33
Siervo, M.; Bertoli, S.; Battezzati, A.; Wells, J. C.; Lara, J.; Ferraris, C.; Tagliabue, A.	Accuracy of predictive equations for the measurement of resting energy expenditure in older subjects	Clinical Nutrition. 2014	1, 2, 3, 19, 20, 21, 22b, 23c, 26, 34, 35, 36, 37, 38, 39,40, 41
Oliveira, F. C. E.; Alves, R. D. M.; Zuconi, C. P.; Ribeiro, A. Q.; Bressan, J.	Agreement between Different Methods and Predictive Equations for Resting Energy Expenditure in Overweight and Obese Brazilian Men	Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2012	3, 4, 20, 42, 43
Rodrigues, J. C. D.; Lamarca, F.; Oliveira, C. L.; Cuppari, L.; Lourenço, R. A.; Avesani, C. M.	Agreement between prediction equations and indirect calorimetry to estimate resting energy expenditure in elderly patients on hemodialysis	ESPEN Journal. 2014	1, 19, 20

Lee, Seoung Woo.; Kim, Hyo Jung.; Kwon, Hei Kyung.; Son, Sook Mee.; Song, Joon Ho.; Kim, Moon-jae.	Agreements between indirect calorimetry and prediction equations of resting energy expenditure in end-stage renal disease patients on continuous ambulatory peritoneal dialysis	Yonsei Medical Journal. 2008	1, 3, 19, 20, 23b
Casilda Oliveira Fuster; Gabriel Oliveira Fuster; Antonio Dorado Galindo; Alicia Padilla Galo; Julio Merino Verdugo; Francisco Miralles Lozano.	Analysis of Energy Expenditure in Adults With Cystic Fibrosis: Comparison of Indirect Calorimetry and Prediction Equations	Archivos de Bronconeumologia. 2007	1, 20
del Re, Mariana Pantaleão.; Melo, Camila Maria de.; Santos, Marcus Vinicius dos.; Tufik, Sergio.; Mello, Marco Túlio de.	Applicability of predictive equations for resting energy expenditure in obese patients with obstructive sleep apnea.	Archives of Endocrinology and Metabolism. 2016	1, 23b, 45
Kamimura, Maria.; Avesani, Carla M.; Bazanelli, Ana P.; Baria, Flavia.; Draibe, Sergio.; Cuppari, Lilian.	Are prediction equations reliable for estimating resting energy expenditure in chronic kidney disease patients?	Nephrology, dialysis, transplantation. 2010	1, 19, 24, 46
Yang, Xiaojiao.; Li, Ming.; Mao, Deqian.; Zeng, Guo.; Zhuo, Qin.; Hu, Wen.; Piao, Jianhua.; Yang, Xiaoguang.; Huang, Chengyu.	Basal energy expenditure in southern Chinese healthy adults: Measurement and development of a new equation	The British journal of nutrition. 2010	88, 22b
Brage, Søren.; Brage, Niels.; Franks, Paul W.; Ekelund, Ulf.; Wong, Man-yu.; Andersen, Lars Bo.; Froberg, Karsten.; Wareham, Nicholas J.	Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure	Journal of Applied Physiology. 2004	1
Calleja Fernández, A.; Vidal Casariego, A.; Ballesteros Pomar, M. D.	Comparative study of total energy expenditure estimated by Sense Wear Armband and Harris-Benedict equation in healthy ambulatory population; utility in clinical practice [Estudio comparativo del cálculo del gasto energético total mediante sense wear armband y la ecuación de harris-benedict en población sana ambulatoria; utilidad en la práctica clínica]	Nutricion Hospitalaria. 2012	1

Williams, Ruth.; Olivi, Stacie.; Mackert, Paul.; Fletcher, Lucille.; Tian, Guo Liang.; Wang, Winfred	Comparison of Energy Prediction Equations with Measured Resting Energy Expenditure in Children with Sickle Cell Anemia	Journal of the American Dietetic Association. 2002	1, 20, 47
Nilsson, A.; Brage, S.; Riddoch, C.; Anderssen, S. A.; Sardinha, L. B.; Wedderkopp, N.; Andersen, L. B.; Ekelund, U.	Comparison of equations for predicting energy expenditure from accelerometer counts in children	Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 2008	48, 49, 50a
Rao, Zhi-yong.; Wu, Xiao-ting.; Liang, Bin-miao.; Wang, Mao-yun.; Hu, Wen	Comparison of five equations for estimating resting energy expenditure in Chinese young, normal weight healthy adults	European Journal of Medical Research. 2012	1, 2, 3, 14, 20
MacDonald, Angela.; Hildebrandt, Leslie	Comparison of formulaic equations to determine energy expenditure in the critically ill patient	Nutrition. 2003	1, 4, 51, 52, 53
Amirkalali, Bahareh.; Hosseini, Saeed.; Heshmat, Ramin.; Larijani, Bagher	Comparison of Harris Benedict and Mifflin-ST Jeor equations with indirect calorimetry in evaluating resting energy expenditure	Indian Journal of Medical Sciences. 2008	1, 3
Henes, Sarah T.; Cummings, Doyle M.; Hickner, Robert C.; Houmard, Joseph A.; Kolasa, Kathryn M.; Lazorick, Suzanne; Collier, David N.	Comparison of predictive equations and measured resting energy expenditure among obese youth attending a pediatric healthy weight clinic: One size does not fit all	Nutrition in Clinical Practice. 2013	1, 3, 19, 20, 25, 30, 31
Fernandes, Rafael Mistura.; Takito, Monica Yuri	Comparison of predictive equations for energy expenditure in pregnant women at rest and during exercise [Comparação entre equações preditivas do gasto calórico de gestantes em repouso e exercício]	Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance. 2015	54, 55
Sugawara, N.; Yasui-Furukori, N.; Tomita, T.; Furukori, H.; Kubo, K.; Nakagami, T.; Kaneko, S	Comparison of predictive equations for resting energy expenditure among patients with schizophrenia in Japan	Neuropsychiatric Disease and Treatment. 2014	1, 3, 19, 20
De Oliveira, Erick Prado.; Orsatti, Fábio Lera.; Teixeira, Okesley.; Maestá, Nailza.; Burini, Roberto Carlos	Comparison of predictive equations for resting energy expenditure in overweight and obese adults	Journal of Obesity. 2011	1, 2, 3, 20
Lizzer, S.; Agosti, F.; De Col, A.; Mornati, D.; Sartorio, A.	Comparison of predictive equations for resting energy expenditure in severely obese Caucasian children and adolescents	Journal of Endocrinological Investigation. 2007	1, 19, 20, 27, 28, 30, 56

Bott, L.; Béghin, L.; Marichez, C.; Gottrand, F.	Comparison of resting energy expenditure in bronchopulmonary dysplasia to predicted equation	European journal of clinical nutrition. 2006	1, 19, 20
Bowers, Jennifer Muir.; Scott, Robert W.; Ampel, Neil M	Comparison of resting energy expenditure measured by indirect calorimetry and the harris-benedict equation in HIV-infected men of normal body weight	Respiratory Care. 1997	1, 24
Kim, Eun Kyung.; Yeon, Seo Eun.; Lee, Sun Hee.; Choe, Jeong Sook.	Comparison of total energy expenditure between the farming season and off farming season and accuracy assessment of estimated energy requirement prediction equation of korean farmers	Nutrition Research and Practice. 2015.	20, 57
Youngwon Kima; Scott E. Crouter; Jung-Min Leec; Phillip M. Dixond; Glenn A. Gaessere; Gregory J. Welk.	Comparisons of prediction equations for estimating energy expenditure in youth	Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia. 2016.	6, 8 49, 50b, 122
Nagano, Ayano.; Yamada, Yoshitaka.; Miyake, Hiroji.; Domen, Kazuhisa.; Koyama, Tetsuo.	Comparisons of Predictive Equations for Resting Energy Expenditure in Patients with Cerebral Infarct during Acute Care	Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases. 2015.	88, 2, 3, 23c, 58, 59
Morris, Cody E.; Owens, Scott G.; Waddell, Dwight E.; Bass, Martha A.; Bentley, John P.; Loftin, Mark	Cross-Validation of a Recently Published Equation Predicting Energy Expenditure to Run or Walk a Mile	Measurement in Physical Education and Exercise Science. 2014.	60
Finan, Katherine.; Larson, D. Enette.; Goran, Michael I.	Cross-Validation of Prediction Equations for Resting Energy Expenditure in Young, Healthy Children	Journal of the American Dietetic Association. 1997.	1, 20, 33, 61
Vander Weg, M W.; Watson, J M.; Klesges, R C.; Eck Clemens, L H.; Slawson, D L.; McClanahan, B S.	Development and cross-validation of a prediction equation for estimating resting energy expenditure in healthy African-American and European-American women	European journal of clinical nutrition. 2004.	1, 2, 3, 19, 62
Lazzer, Stefano.; Agosti, Fiorenza.; De Col, Alessandra.; Sartorio, Alessandro.	Development and cross-validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in severely obese Caucasian children and adolescents	The British journal of nutrition. 2006.	30
Cunha, Felipe A.; Catalão, Robert P G.; Midgley, Adrian W.; Gurgel, Jonas.; Porto, Flavia.; Farinatti, Paulo T. V.	Do the speeds defined by the American College of Sports Medicine metabolic equation for running produce target energy expenditures during isocaloric exercise bouts?	European Journal of Applied Physiology. 2012.	70

Becerril-Sanchez, Marlu Estephanie.; Flores-Reyes, Margarita.; Ramos-Ibáñez, Norma.; Ortiz-Hernández, Luis.	Ecuaciones de predicción del gasto de energía en reposo en escolares de la Ciudad de México.	Acta Pediátrica Mexicana. 2015.	1, 19, 20, 27
Rosado, Eliane Lopes.; de Brito, Roberta Santiago.; Bressan, Josefina.; Martinez Hernandez, Jose Alfredo.	Effectiveness of prediction equations in estimating energy expenditure sample of Brazilian and Spanish women with excess body weight [Eficacia de las ecuaciones de predicción para la estimación del gasto energético en una muestra de mujeres brasileñas y españolas con exceso de peso corporal]	Nutricion Hospitalaria. 2014.	1, 2, 3, 13, 19, 20, 22a
White, Melinda S.; Shepherd, Ross W.; Mceniery, Julie A.	Energy expenditure in 100 ventilated, critically ill children: Improving the accuracy of predictive equations	Critical Care Medicine. 2000.	1, 19, 20, 63, 64
López-Herce Cid, J.; Sánchez Sánchez, C.; Mencía Bartolomé, S.; Santiago Lozano, M.J.; Carrillo Álvarez, A.; Bellón Cano, J.M. ^a	Energy expenditure in critically ill children: Correlation with clinical characteristics, caloric intake, and predictive equations [Consumo calórico en el niño crítico: Relación con las características clínicas, el aporte calórico y las fórmulas teóricas de cálculo de las necesidades energéticas]	Anales de Pediatría. 2007.	1, 20, 33, 42, 65, 66, 67
Segadilha, Nara L A L.; Rocha, Eduardo E M.; Tanaka, Lilian M S.; Gomes, Karla L P.; Espinoza, Rodolfo E A.; Peres, Wilza A F.	Energy Expenditure in Critically Ill Elderly Patients: Indirect Calorimetry vs Predictive Equations.	JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition. 2016.	1, 3, 4, 21, 35, 68
Rousing, Mark Lillelund.; Hahn-Pedersen, Mie Hviid.; Andreassen, Steen.; Pielmeier, Ulrike.; Preiser, Jean-Charles	Energy expenditure in critically ill patients estimated by population-based equations, indirect calorimetry and CO2-based indirect calorimetry	Annals of intensive care. 2016.	1, 3, 5, 24, 53
Maria Auxiliadora Martins; , Mayra Gonçalves Meneguetti; Edson Antônio Nicolini; Michele Ferreira Picolo; Alessandra Fabiane Lago; Olindo Assis Martins Filho; Anibal Basile Filho.	Energy expenditure in critically ill surgical patients. Comparative analysis of predictive equation and indirect calorimetry	Acta Cirúrgica Brasileira. 2011.	1
Santos, Laura Jurema Dos.; Balbinotti, Laíse.; Marques, Anne Y Castro.; Alscher, Sônia.; Vieira, Sílvia Regina Rios.	Energy expenditure in mechanical ventilation: is there an agreement between the Ireton-Jones equation and indirect calorimetry?	Revista Brasileira de Terapia Intensiva. 2009.	4

Benedetti, Franceliane Jobim.; Bosa, Vera Lúcia.; Mocelin, Helena Teresinha.; Paludo, Juliana.; Mello, Elza Daniel de.; Fischer, Gilberto Bueno.	Energy expenditure in overweight, asthmatic adolescents: Indirect calorimetry and prediction equations [Gasto energético em adolescentes asmáticos com excesso de peso: Calorimetria indireta e equações de predição]	Revista de Nutrição. 2011.	1, 19, 20, 31, 69
Sousa, Taciana Maia de.; Maioli, Tatiani Uceli.; Santos, Ana Luiza Soares dos.; Santos, Luana Caroline dos.	Energy Expenditure in the Immediate Postpartum Period: Indirect Calorimetry Versus Predictive Equations	Nutrition. 2017.	1, 2, 3, 19, 20, 22a, 31
Hall, Cameron.; Figueroa, Arturo.; Fernhall, Bo.; Kanaley, Jill.	Energy Expenditure in the Immediate Postpartum Period: Indirect Calorimetry Versus Predictive Equations	Medicine & Science in Sports & Exercise. 2004.	44, 70, 71, 72, 73
Núñez-Villaveirán, María Teresa.; Sánchez, Manuel.; Millán, Pablo.; Martínez-Méndez, José Ramón.; Iglesias, Carmen.; Casado-Pérez, César.; García-de-Lorenzo, Abelardo.	Energy expenditure prediction equations in burn patients; bibliographic review [Estimación del gasto energético en el paciente quemado mediante la utilización de ecuaciones predictivas; revisión bibliográfica]	Nutricion Hospitalaria. 2014.	1, 4, 19, 20, 23a, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82
Maciej S Buchowski, Kong Y Chen, Daniel Byrne, and Winfred C Wang	Equation to estimate resting energy expenditure in adolescents with sickle cell anemia	American Journal of Clinical Nutrition. 2002.	1, 19, 20, 83
Suen, J.; Thomas, J.M.; Delaney, C.L.; Spark, J.I.; Miller, M.D.	Estimating energy expenditure in vascular surgery patients: Are predictive equations accurate enough?	Clinical Nutrition ESPEN. 2016.	1, 19, 35, 39, 84
Madden, A M.; Mulrooney, H M.; Shah, S.	Estimation of energy expenditure using prediction equations in overweight and obese adults: a systematic review	Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2016.	1, 2, 3, 4, 15, 19, 20, 22b, 26, 30, 34, 36, 38, 66, 85, 86, 87, 88, 89, 90a
Rana, Binaya S. J. B.; Pun, Matiram	Estimation of physiological cost index as an energy expenditure index using macgregor's equation	Journal of the Nepal Medical Association. 2015.	91
A. Calleja Fernández, A. Vidal Casariego y M." D. Ballesteros Pomar	Estudio comparativo del cálculo del gasto energético total mediante Sense Wear Armband y la ecuación de Harris-Benedict en población sana ambulatoria; utilidad en la práctica clínica.	Nutricion Hospitalaria. 2012.	1

Spears, Karen E.; Kim, Hyunsook.; Behall, Kay M.; Conway, Joan M.	Hand-Held Indirect Calorimeter Offers Advantages Compared with Prediction Equations, in a Group of Overweight Women, to Determine Resting Energy Expenditures and Estimated Total Energy Expenditures during Research Screening	Journal of the American Dietetic Association. 2009.	1, 3, 20, 45
Picolo, Michele Ferreira.; Lago, Alessandra Fabiane.; Nicolini, Edson Antonio.; Basile-Filho, Anibal.; Martins-filho, Olindo Assis.; Auxiliadora-martins, Maria.	Harris-Benedict equation and resting energy expenditure estimates in critically ill ventilator patients	American Journal of Critical Care. 2016.	1
Gaba, Ann.; Zhang, Kuan.; Moskowitz, Carol B.; Boozer, Carol N.; Marder, Karen.	Harris-Benedict equation estimations of energy needs as compared to measured 24-h energy expenditure by indirect calorimetry in people with early to mid-stage Huntington's disease	Nutritional neuroscience. 2008.	1
Stucky, Chee-Chee H.; Moncure, Michael.; Hise, Mary.; Gossage, Clint M.; Northrop, David.	How accurate are resting energy expenditure prediction equations in obese trauma and burn patients?	JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition. 2008.	1, 23c, 92
Ireton-Jones, Carol.; Jones, James D	Improved equations for predicting energy expenditure in patients: the Ireton-Jones Equations.	Nutrition in Clinical Practice. 2002.	4
Fernando Carrasco N, Eliana Reyes S, Cherie Núñez B, Karen Riedemann S,	Measured and predicted resting energy expenditure in obese and non-obese Chilean subjects. A proposal of predictive equations for the Chilean population [Gasto energético de reposo medido en obesos y no obesos: Comparación con la estimación por fórmulas y ecuaciones propuestas para población chilena]	Revista Médica de Chile. 2002.	1, 20
Hronek, Miloslav.; Zadak, Zdenek.; Hrnciarikova, Dana.; Hyspler, Radomir.; Ticha, Alena.	New equation for the prediction of resting energy expenditure during pregnancy	Nutrition. 2009.	1 (adaptada), 19
Duro, Debora.; Rising, Russell.; Cole, Conrad.; Valois, Sandra.; Cedillo, Maribel.; Lifshitz, Fima.	New equations for calculating the components of energy expenditure in infants	Journal of Pediatrics. 2002.	93
Metsios, G. S.; Stavropoulos- Kalinoglou, A.; Panoulas, V. F.; Koutedakis, Y.; Nevill, A. M.; Douglas, K. M J; Kita, M.; Kitas, G. D.;	New resting energy expenditure prediction equations for patients with rheumatoid arthritis	Rheumatology. 2008.	1, 2, 3, 5, 20, 23, 94, 95, 96, 97, 98

Horie, Lilian M.; Gonzalez, M Cristina.; Torrinhas, Raquel S.; Ceconello, Ivan.; Waitzberg, Dan L.	New specific equation to estimate resting energy expenditure in severely obese patients	Obesity. 2011.	1, 2, 3, 4, 43
Reid, Clare L.	Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients	Clinical Nutrition. 2007.	1, 4, 5, 19
Wilms, Britta.; Schmid, Sebastian M.; Ernst, Barbara.; Thurnheer, Martin.; Mueller, Manfred J.; Schultes, Bernd	Poor prediction of resting energy expenditure in obese women by established equations	Metabolism: Clinical and Experimental. 2020.	1, 2, 3, 20, 26, 30, 34, 85, 88
Subramaniam, Ashwin.; Ashwin, McPhee, Michelle.; Nagappan, Ramesh.	Predicting energy expenditure in sepsis: Harris-Benedict and Schofield equations versus the weir derivation	Critical Care and Resuscitation. 2012.	1, 19, 20, 24
Taylor, Stephen J.	Predicting resting energy expenditure (REE): Misapplying equations can lead to clinically significant errors	E-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism. 2010.	1, 19
De Luis, D. A.; Aller, R.; Izaola, O.; Romero, E.	Prediction equation of resting energy expenditure in an adult spanish population of obese adult population	Annals of Nutrition and Metabolism. 2006.	1, 2, 4, 19, 20, 34, 85
Jennifer R McDuffie; Diane C Adler-Wailles; Jane Elberg; Emily N Steinberg; Erica M Fallon; Andrew M Tershakovec; Silva A Arslanian; James P Delany; George A Bray; Jack A Yanovski	Prediction equations for resting energy expenditure in overweight and normal-weight black and white children	American Journal of Clinical Nutrition. 2004.	19, 20, 25, 27, 33, 56,
Sun, Bo.; Liu, Yu.; Li, Jing Xian.; Li, Haipeng.; Chen, Peijie.	Prediction Equations of Energy Expenditure in Chinese Youth Based on Step Frequency During Walking and Running	Research quarterly for exercise and sport. 2013.	99
Hollander, Francis M.; Kok, Annemieke.; Roos, Nicole M. de.; Meerkerk, Gerdien Belle-van.; Graaf, Ed A. van de.	Prediction Equations Underestimate Resting Energy Expenditure in Patients with End-Stage Cystic Fibrosis	Nutrition in Clinical Practice. 2016.	1, 19, 20,
Kien, C Lawrence.; Ugrasbul, Figen	Prediction of daily energy expenditure during a feeding trial using measurements of resting energy expenditure, fat-free mass, or Harris-Benedict equations	Biophysical Chemistry. 2004.	1, 97

Tseng, Chung Kang.; Hsu, Hua Shui.; Ho, Chih Te.; Huang, Hui Ying.; Liu, Chiu Shong.; Lin, Cheng Chieh.; Lin, Wen Yuan.	Predictive equation of resting energy expenditure in obese adult Taiwanese	Obesity Research and Clinical Practice. 2011.	1,2,3, 14, 19, 23c, 34, 59, 100,
Carpenter, Andrea.; Ng, Vicky Lee.; Chapman, Karen.; Ling, Simon C.; Mouzaki, Marialena.	Predictive Equations Are Inaccurate in the Estimation of the Resting Energy Expenditure of Children With End-Stage Liver Disease.	Journal of Parenteral and Enteral Nutrition. 2015.	19, 20, 24
MEGHAN E. QUIRK; BRIAN J. SCHMOTZER, MS; RANI H. SINGH	Predictive Equations Underestimate Resting Energy Expenditure in Female Adolescents with Phenylketonuria	Journal of the American Dietetic Association. 2010.	1, 19, 20, 25
Janssen, Xanne.; Cliff, Dylan P.; Reilly, John J.; Hinkley, Trina; Jones, Rachel A.; Batterham, Marijka.; Ekelund, Ulf; Brage, Søren.; Okely, Anthony D.	Predictive validity and classification accuracy of actigraph energy expenditure equations and cut-points in young children	PLoS ONE. 2013.	49, 101, 102, 103, 104, 105
Stewart G. TROST; Rebecca WAY; and Anthony D. OKELY	Predictive validity of three ActiGraph energy expenditure equations for children	Medicine & Science in Sports & Exercise. 2005.	5, 6, 50b
Hiremath, Shivayogi V.; Ding, Dan	Regression equations for RT3 activity monitors to estimate energy expenditure in manual wheelchair users	The Journal of Spinal Cord Medicine. 2011.	105
O'Riordan, C. F.; Metcalf, B. S.; Perkins, J. M.; Wilkin, T. J.	Reliability of energy expenditure prediction equations in the weight management clinic	Journal of Human Nutrition and Dietetics. 2010.	1, 19, 20, 24, 106
D. Noè, E. Bergamaschi, P. Lanzi, R. Spiti, M. Poli	Reliability of predictive equations for resting energy expenditure in morbid obesity [Attendibilità delle equazioni predittive del dispendio energetico a riposo nella grande obesità]	Giornale Italiano di Diabetologia e Metabolismo. 2006.	1, 2, 319, 42,
Sentongo, T A.; Tershakovec, A M.; Mascarenhas, M R.; Watson, M H.; Stallings, V A.	Resting energy expenditure and prediction equations in young children with failure to thrive	The Journal of Pediatrics. 2000.	19, 20

Ghoch, Marwan El.; Alberti, Marta.; Capelli, Carlo.; Calugi, Simona.; Battistini, Nino Carlo.; Pellegrini, Massimo.; Subašić, Sandra.; Lanza, Massimo.; Dalle Grave, Riccardo	Resting energy expenditure assessment in anorexia nervosa: comparison of indirect calorimetry, a multisensor monitor and the Muller equation	International journal of food sciences and nutrition. 2012.	24,26
Miniati, M.; Mariani, M Giorgi	Resting energy expenditure in a cohort of female patients with bipolar disorder: Indirect calorimetry vs Harris-Benedict, Mifflin-St. Jeor, LARN Equations	Journal of Psychopathology. 2015.	1, 107
Rodriguez, G.; Moreno, L A.; Sarria, A.; Fleta, J.; Bueno, M.	Resting energy expenditure in children and adolescents: agreement between calorimetry and prediction equations	Clinical Nutrition. 2002.	1, 19, 20, 33,
Kaplan, Aaron S.; Zemel, Babette S.; Neiswender, Kristin M.; Stallings, Virginia A.	Resting energy expenditure in clinical pediatrics: Measured versus prediction equations	The Journal of Pediatrics. 1995.	1, 19, 20
NEELEMAAT, Floor.; SCHUEREN, Marian. A. E. van Bokhorst - de van der.; THIJS, Abel.; SEIDELL, Jaap C. ;WEIJS, Peter J. M.	Resting energy expenditure in malnourished older patients at hospital admission and three months after discharge: Predictive equations versus measurements	Clinical Nutrition. 2012.	1, 2, 3, 13, 19, 21, 22b, 26, 30, 34, 35, 36, 38, 39, 88
McEvoy, Claire T.; Cran, Gordon W.; Cooke, Stephen R.; Young, Ian S.	Resting energy expenditure in non-ventilated, non-sedated patients recovering from serious traumatic brain injury: Comparison of prediction equations with indirect calorimetry values	Clinical Nutrition. 2009.	1, 20, 24,
Fernando Carrasco N, Eliana Reyes S, Cherie Núñez B., Karen Riedemann S, Olga Rimler S, Gabriela Sánchez G, Gabriela Sarrat G.	Gasto energético de reposo medido en obesos y no obesos: comparación con la estimación por fórmulas y ecuaciones propuestas para población chilena	Revista Médica de Chile. 2002.	1, 20
Suman, Oscar E.; Mlcak, Ronald P.; Chinkes, David L.; Herndon, David N.	Resting energy expenditure in severely burned children: Analysis of agreement between indirect calorimetry and prediction equations using the Bland–Altman method	Burns. 2006.	1, 19, 20
Michelle D. Miller; Lynne A. Daniels; Elaine Bannerman; Maria Crotty	Resting energy expenditure measured longitudinally following hip fracture compared to predictive equations: Is an injury adjustment required?	British Journal of Nutrition. 2005.	1, 19
Twan ten Haaf; Peter J. M. Weijs	Resting Energy Expenditure Prediction in Recreational Athletes of 18–35 Years: Confirmation of Cunningham Equation and an Improved Weight-Based Alternative	PLoS ONE. 2014.	1, 2, 3, 19, 20, 23b, 39, 109

Case, K.O.; Brahler, C.J.; Heiss, C.	Resting Energy Expenditures in Asian Women Measured by Indirect Calorimetry are Lower than Expenditures Calculated from Prediction Equations	Journal of the American Dietetic Association. 1997.	1, 14, 20
Murphy, Marla D.; Ireton-Jones, Carol S.; C.Hilman, Berttina.; Gorman, Mary anne.; Liepa, George U.	Resting Energy Expenditures Measured by Indirect Calorimetry are Higher In Preadolescent Children with Cystic Fibrosis than Expenditures Calculated from Prediction Equations	Journal of the American Dietetic Association. 1995.	1, 110
Silver, H.J.; Wall, R.; Hollingsworth, E.; Pruitt, A.; Shotwell, M.; Simmons, S.	Simple kcal/kg formula is comparable to prediction equations for estimating resting energy expenditure in older cognitively impaired long term care residents	Journal Nutrition Health Aging. 2016.	1, 2, 3, 20,
Sherman, Michael S.; Pillai, Ajay.; Jackson, Ann.; Heiman-Patterson, Terry.	Standard equations are not accurate in assessing resting energy expenditure in patients with amyotrophic lateral sclerosis	JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition. 2004.	1
Cuerda Compés, Ma C.; Ruiz Sancho, A.; Moreno Rengel, C.; Iriondo Martínez, Ma T.; Velasco Gimeno, C.; Bretón Lesmes, I.; Camblor Álvarez, M.; García Peris, P.	Study of energy expenditure in anorexia nervosa: Agreement between indirect calorimetry and several equations [Estudio del gasto energético en la anorexia nervosa: Concordancia entre calorimetría indirecta y diferentes ecuaciones]	Nutricion Hospitalaria. 2005.	1, 19, 20, 42, 111
Allison Howell; Alison Pruziner; Anne Andrews	Use of Predictive Energy Expenditure Equations in Individuals with Lower Limb Loss at Seated Rest	Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2015.	1, 2, 3, 5, 90b
Gabriela Quiroz-Olguín; , Aurora E. Serralde-Zúñiga1, Maria Vianey Saldaña-Morales1 , Alfonso Gulias-Herrero; Martha Guevara-Cruz	Validating an energy expenditure prediction equation in overweight and obese Mexican patients	Nutrición hospitalaria. 2014.	1, 2, 3, 4, 20, 66, 112, 113
Chan, D F.; Li, A M.; Chan, M H.; So, H K.; Chan, I H.; Yin, J A.; Lam, C W.; Fok, T F.; Nelson, E A.	Validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in obese Chinese children	Asia Pac.J Clin Nutr. 2009.	1, 14, 19, 20, 25,27, 28, 33, 114, 115, 116
Song, Tammy.; Venkataraman, Kavita.; Gluckman, Peter.; Seng, Chong Yap.; Meng, Khoo Chin.; Khoo, Eric Yin Hao.; Leow, Melvin Khee Shing.; Seng, Lee Yung.; Shyong, Tai E.	Validation of prediction equations for resting energy expenditure in Singaporean Chinese men	Obesity research & clinical practice. 2014.	1, 2, 3, 20

Weijjs, P. J. M.; Kruizenga, Hinke M.; van Dijk, Aimee E.; van der Meij, Barbara S.; Langius, J. A. E.; Knol, Dirk L.; Strack van Schijndel, R. J. M.; van Bokhorst-de van der Schueren, M. A. E.	Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients	Clinical Nutrition. 2007.	1, 2, 3, 13, 19, 20, 26, 34, 85, 87
Arai, Katsuhiko.; Funayama, Rie.; Takahashi, Mieko.; Sakai, Rie.; Shimizu, Hirotaka.; Obayashi, Naho.; Matsui, Akira.	Validation of predictive equations for resting energy expenditure in Japanese pediatric Crohn's disease patients: Preliminary study	Pediatrics international : official journal of the Japan Pediatric Society. 2015.	19, 20, 23c, 117
Geesje H Hofsteenge.; Chinapaw, Mai JM.; Waal, Henriette A Delemarre-van de.; Weijjs, Peter J. M.	Validation of predictive equations for resting energy expenditure in obese adolescents	The American Journal of Clinical Nutrition. 2010.	19, 20, 22, 25, 26, 27, 28,29, 30
Jésus, Pierre.; Achamrah, Najate.; Grigioni, Sébastien.; Charles, Jocelyne.; Rimbert, Agnès.; Folope, Vanessa.; Petit, André.; Déchelotte, Pierre.; Coëffier, Moïse	Validity of predictive equations for resting energy expenditure according to the body mass index in a population of 1726 patients followed in a Nutrition Unit	Clinical Nutrition. 2015.	1, 2, 3, 19, 20, 22b, 26, 30, 34, 36, 38, 39, 86, 118, 119
Shaneshin, Mahboubeh.; Rezazadeh, Arezoo.; Jessri, Mahsa.; Neyestani, Tirang.; Rashidkhani, Bahram	Validity of predictive equations for resting energy expenditure among Iranian women	Asia Pac. J. Clin. Nutr. 2011.	1, 2, 3, 19, 23b
Peter J.M. Weijjs.; Greet A.A.M. Vansant.	Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women	Clinical Nutrition. 2010.	90a
Peter JM Weijjs	Validity of predictive equations for resting energy expenditure in US and Dutch overweight and obese class I and II adults aged 18-65 y	Am J Clin Nutr. 2008.	1, 2, 3, 19, 20, 22b, 26, 30, 34, 36, 38, 39, 86, 87, 119
Ruiz, Jonatan R.; Ortega, Francisco B.; Rodríguez, Gerardo.; Alkorta, Pilar.; Labayen, Idoia.	Validity of resting energy expenditure predictive equations before and after an energy-restricted diet intervention in obese women	PLoS ONE. 2011.	1, 2, 3, 20, 34, 90a
Siervo, Mario.; Labanca, F.; Colantuoni, A.	Validity of some prediction equations to assess resting energy expenditure (REE) in 29 elderly obese subjects (>60 years)	Eating and Weight Disorders. 2008.	1, 2, 3, 20, 35, 36

Ali M. Almajwal; Peter G. Williams; Marijka J. Batterham.	Validity of the BodyGem calorimeter and prediction equations for the assessment of resting energy expenditure in overweight and obese Saudi males	Saudi Medical Journal. 2011.	1, 2, 3, 4, 19, 20, 22a, 24, 31, 34
R. D. S. Santos, V. M. M. Suen, J. S. Marchini; O. Iannetta	What is the best equation to estimate the basal energy expenditure of climacteric women?	Climacteric : the journal of the International Menopause Society. 2011.	1, 19, 20, 22a, 31
Ellis, Amy C.; Rosenfeld, Jeffrey	Which Equation Best Predicts Energy Expenditure in Amyotrophic Lateral Sclerosis?	Journal of the American Dietetic Association. 2011.	1, 3, 4
VASSIMON, Helena Siqueira.; MONTEIRO, Jacqueline Pontes.; MACHADO, Alcyone Artioli.; PAULA, Francisco José Albuquerque de.; KUTSCHENKO, Andressa.; JORDÃO, Alceu Afonso.	Which equation should be used to measure energy expenditure in hiv-infected patients?	Rev. Nutr., Campinas. 2013.	1, 19, 23c, 120
Müller, Manfred J.; Bosy-Westphal, Anja.; Klaus, Susanne.; Kreyman, Georg.; Lührmann, Petra M.; Neuhäuser-Berthold, Monika.; Noack, Rudolf.; Pirke, Karl M.; Platte, Petra.; Selberg, Oliver.; Steiniger, Jochen	World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure.	The American Journal of Clinical Nutrition. 2004.	26
Zakeri I., Adolph A. L., Puyau M. R., Vohra F. A. and Butte N. F.	Application of cross-sectional time series modeling for the prediction of energy expenditure from heart rate and accelerometry	Journal of Applied Physiology. 2008.	121

APÊNDICE C: Equações identificadas e classificadas

Tabela 25: Equações identificadas e classificadas na revisão sistemática

Nº	Denominação da equação	Referência fonte da equação	Classificação
1	Harris-Benedict	Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Basal Metabolism in Man. Washington DC: Carnegie Institute of Washington; 1919.	Inserida / Basal
2	Owen	Owen OE, Kavle E, Owen RS, Polansky M, Caprio S, Mozzoli MA, et al. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. Am. J. Clin. Nutr. 1986; 44(1): 1-19 Owen OE, Kavle E, Owen RS, Polansky M, Caprio S, Mozzoli MA, et al. A reappraisal of caloric requirements of men. Am. J. Clin. Nutr. 1987; 46(6): 875-885	Inserida / Basal
3	Mifflin	Mifflin M.D., St Jeor S.T., Hill L.A., Scott B.J., Daugherty S.A., Koh Y.O. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. Am J Clin Nutr 1990, 51:241–247.	Inserida / Basal
4	Ireton-Jones	Carol Ireton-Jones, PhD, RD, LD, CNSD and James D. Jones, MS - Improved Equations for Predicting Energy Expenditure in Patients: The Ireton-Jones Equations -	População doente
5	ACCP (American College of Chest Physicians)	Cerra, F.B.; Benitez MR, Blackburn GL, Irwin RS, Jeejeebhoy K, Katz DP, Pingleton SK, Pomposelli J, Rombeau JL, Shronts E, Wolfe RR, Zaloga GP. Applied nutrition in ICU patients. A consensus statement of the American College of Chest Physicians. Chest. 1997 Mar;111(3):769-78.	População doente
6	Freedson et al.	FREEDSON, Patty S.; MELANSON, Edward; SIRARD, John. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. acceleromometer. Medicine & Science in Sports & Exercise: May 1998 - Volume 30 - Issue 5 - p 777-781 SASAKI, Jeffer E.; JOHN, Dinesh; FREEDSON, Patty S. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. Journal of Science and Medicine in Sport. 14 (2011) 411–416	Inserida / Movimento
7	Swartz et al.	Swartz A. M., Strath S. J., Basset D. R. Jr., O'Brien W. L., King G. A., Ainsworth B.E. (2000) Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. Med Sci Sports Exerc	Inserida / Movimento
8	Crouter et al.	Crouter SE, Clowers KG, Bassett DR Jr (2006a). A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. J Appl Physiol 100:1324–1331	Inserida / Movimento
9	Klippel and Heil	Klippel NJ, Heil DP (2003) Validation of energy expenditure prediction algorithms in adults using the Actical electronic activity monitor. Med Sci Sports Exerc 35:S284	Indisponível

10	Heil	Heil DP (2006) Predicting activity energy expenditure using the Actical activity monitor. Res Q Exerc Sport 77:64–80	Usa pontos de corte do dispositivo
11	Elwyn (Basal EE para Calorimetria Indireta)	Bursztein S, Elwyn DH, Askanazi J, Kinney JM. Energy metabolism, indirect calorimetry, and nutrition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 1989.	Indisponível
12	Ikeda et. Al.	IKEDA, Kaori.; FUJIMOTO, Shimpei.; GOTO, Masashi.; YAMADA, Chizumi.; HAMASAKI, Akihiro.; IDA, Megumi.; NAGASHIMA, Kazuaki.; SHIDE, Kenichiro.; KAWAMURA, Takashi.; INAGAKI, Nobuya. A new equation to estimate basal energy expenditure of patients with diabetes. Clinical Nutrition; 2013.	População doente
13	Oxford (2005) Basal EE	Cole T. J., Henry C. J. K. The Oxford Brookes basal metabolic rate database: a reanalysis. Public Health Nutr 2005;8:1202e12.	Adultos e crianças
14	Liu	Liu H. Y., Lu Y. F., Chen W. J. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validation study. J Am Diet Assoc 1995;95:1403-8.	Inserida / Basal
15	Ganpule (Basal EE)	Miyake R, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Hikihara Y, Taguri E, et al. Validity of predictive equations for basal metabolic rate in Japanese adults. J Nutr Sci Vitaminol; 2011; 57:224e32.	Inserida / Basal
16	Lopez-Valenzuela	LOPEZ E., Miguel Ángel y VALENZUELA M, Pamela Elizabeth. A new predictive equation to improve the estimation of basal energy expenditure in adults individuals from Chillán [Nueva fórmula para mejorar la estimación del gasto energético basal en adultos de Chillán] Revista Chilena de Nutrición [online]. 2007, vol.34	Crianças / adolescentes
17	Dugas et. Al.	Lara R. DUGAS; Lize Van Der MERWE; Hendrick ODENDAAL; Timothy D. NOAKES; Estelle V. LAMBERT. A novel energy expenditure prediction equation for intermittent physical activity.	Multitarefa / Excluída (necessita de HR prévia)
18	Raurich et. Al.	Raurich, Joan Maria; Llompарт-Pou, Juan Antonio; Ferreruela, Mireia; Riera, Maria; Homar, Javier; Marse, Pere ; Colomar, Asuncion ; Ayestaran, Ignacio. A simplified equation for total energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients.	População doente

19	Schofield et al.	Schofield W. N. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. Human Nutrition Clinical Nutrition 39(Suppl 1); 1985; 5–41.	Basal / Excluída (incorporada nas eq. da FAO)
20	FAO / WHO / UNU	FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WorldHealth Organization Technical Report Series, vol. 724, pp. 1–206, 1985.	Inserida / Basal
21	Luhrmann et. Al.	Lührmann PM, Herbert BM, Krems C, Neuhäuser-Berthold M. A new equation especially developed for predicting resting metabolic rate in the elderly for easy use in practice. Eur J Nutr. 2002;41(3):108-113	Idosos
22a	Henry	Henry CJK, Rees DG. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples. Eur J Clin Nutr 1991; 45 (4): 177-85.	Inserida / Basal
22b	Henry	Henry CJ. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. Public Health Nutr 2005; 8:1133-52.	Inserida / Basal
23a	Cunningham	Cunningham JJ, Hegarty MT, Meara PA, Burke JF. Measured and predicted calorie requirements of adults during recovery from severe burn trauma. Am J Clin Nutr Mar 1989; 49 (3): 404-8.	População doente
23b	Cunningham	Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. Am J Clin Nutr. 1980;33(11):2372-4.	Inserida / Basal
23c	Cunningham	Cunningham JJ. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. Am J Clin Nutr 1991;54: 963-969.	Inserida / Basal
24	Weir	Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. Nutrition 1949;6(3):213e21. 1990 MayeJun [PubMed PMID: 2136000. Epub 1990/05/01. eng]	Basal / Excluída (oximetria)
25	Molnar	Molnar D, Jeges S, Erhardt E, Schultz Y. Measured and predicted resting metabolic rate in obese and nonobese adolescents. J Pediatr 1995;127: 571-7.	Crianças / adolescentes

26	Muller et Al.	Muller MJ, Bosy-Westphal A, Klaus S, Kreyman G, Luhrmann PM, Neuhauser-Berthold M, et al. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in person from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of German database of resting energy expenditure. Am J Clin Nutr 2004;80:1379-90.	Inserida / Basal
27	Tverskaya	Tverskaya R, Rising R, Brown D, Lifshitz F. Comparison of several equations and derivation of a new equation for calculating basal metabolic rate in obese children. J Am Coll Nutr 1998;17:333-6.	Crianças / adolescentes
28	Derumeaux-Burel	Derumeaux-Burel H, Meyer M, Morin L, Boirie Y. Prediction of resting energy expenditure in a large population of obese children. Am J Clin Nutr. 2004;80:1544-50.	Crianças / adolescentes
29	Schmelzle	Schmelzle H, Schroder C, Armbrust S, Unverzagt S, Fusch C. Resting energy expenditure in obese children aged 4 to 15 years: measured versus predicted data. Acta Paediatr 2004;93:739-46.	Crianças / adolescentes
30	Lazzer	Lazzer S, Agosti F, Silvestri P, Derumeaux-Burel H, Sartorio A. Prediction of resting energy expenditure in severely obese Italian women. J Endocrinol Invest 2007;30:20-7.	Obesos
31	IOM	Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington D.C.: The National Academies Press; 2002. p.107-264.	Recomendação nutricional
32	Kim	Lawrence JC, Lee HM, Kim JH, Kim EK. Variability in results from predicted resting energy needs as compared to measured resting energy expenditure in Korean children. Nutr Res 2009;29: 777-83.	Crianças / adolescentes
33	Maffei	Maffei C, Schutz Y, Micciolo R, Zocante L, Pinelli L. Resting metabolic rate in six- to ten-year-old obese and nonobese children. J Pediatr 1993;122:556-62.	Crianças / adolescentes
34	Bernstein	Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, Wang J, Redmond AM, Pierson Jr RN, et al. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. Am J Clin Nutr 1983;37(4):595e602 [Epub 1983/04/01].	População doente
35	Fredrix	Fredrix EW, Soeters PB, Deerenberg IM, Kester AD, von Meyenfeldt MF, Saris WH. Resting and sleeping energy expenditure in the elderly. Eur J Clin Nutr 1990;44(10):741e7 [Epub 1990/10/01]	Gasto energético durante o sono

36	Livingston	Livingston EH, Kohlstadt I. Simplified resting metabolic rate-predicting formulas for normal-sized and obese individuals. <i>Obes Res</i> 2005;13(7):1255e62 [Epub 2005/08/04].	Inserida / Basal
37	EU	EU. Commission of the European Communities. Nutrient and Energy intakes for the European Community. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1993.	Recomendação nutricional
38	Korth et.al.	Korth O, Bosy-Westphal A, Zschoche P, Gluer CC, Heller M, Muller MJ. Influence of methods used in body composition analysis on the prediction of resting energy expenditure. <i>Eur J Clin Nutr</i> 2006;61(5):582e9.	Inserida / Basal
39	De Lorenzo	De Lorenzo A, Tagliabue A, Andreoli A, Testolin G, Comelli M, Deurenberg P. Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18e59 y. <i>Eur J Clin Nutr</i> 2001;55(3):208e14 [Epub 2001/04/ 18].	Inserida / Basal
40	Basal Metabolic Rate (BMR) Tool	Sabounchi NS, Rahmandad H, Ammerman A. Best-fitting prediction equations for basal metabolic rate: informing obesity interventions in diverse populations. <i>Int J Obes</i> 15 January 2013. http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2012.218 . The tool is available in: www.sdl.ise.vt.edu/tutorials.html	Excluída / Basal – identificação de obesidade
41	Wells et. Al.	Wells JC, Williams JE, Haroun D, Fewtrell MS, Colantuoni A, Siervo M. Aggregate predictions improve accuracy when calculating metabolic variables used to guide treatment. <i>Am J Clin Nutr</i> 2009;89(2):491e9 [Epub 2009/01/15].	Crianças / adolescentes
42	Fleisch	Fleisch A. Basal metabolism standard and its determination with the “metabocalculator”. <i>Helv Med Acta.</i> 1951;18(1):23-44.	Indisponível
43	Horie-Waitzberg and Gonzalez	Horie LM, Gonzalez MC, Torrinhas RS, Cecconello I, Waitzberg DL. New specific equation to estimate resting energy expenditure in severely obese patients. <i>Obesity (Silver Spring).</i> 2011;19(5):1090-1094	Obesos

44	Van der WALT & C. H. WYNDHAM	Van der Walt, W., and C. Wyndham. An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. J. Appl. Physiol. 34:559-563, 1973.	Indisponível
45	DRI	Institute of Medicine FaNB. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). National Academies Press, Washington, DC, 2005.	Recomendação nutricional
46	Yang et. Al.	Yang, Xiaojiao.; Li, Ming.; Mao, Deqian.; Zeng, Guo.; Zhuo, Qin.; Hu, Wen.; Piao, Jianhua.; Yang, Xiaoguang.; Huang, Chengyu. Basal energy expenditure in southern Chinese healthy adults: Measurement and development of a new equation. The British Journal of Nutrition. 2010.	Inserida / Basal
47	Williams et. al. (modified Who & Harris-Benedict)	Williams, Ruth.; Olivi, Stacie.; Mackert, Paul.; Fletcher, Lucille.; Tian, Guo Liang.; Wang, Winfred. Comparison of Energy Prediction Equations with Measured Resting Energy Expenditure in Children with Sickle Cell Anemia. Journal of the American Dietetic Association. 2002.	Crianças / adolescentes
48	Ekelund et. Al.	Ekelund U, Sardinha L, Anderssen S, Harro M, Franks PW, Brage S, Cooper AR, Andersen LB, Riddoch C, Froberg K. Associations between objectively assessed physical activity and indicators of body fatness in 9- to 10-y-old European children: a population-based study from 4 distinct regions in Europe (the European Youth Heart Study). Am J Clin Nutr 2004; 80: 584–590.	Crianças / adolescentes
49	Puyau et. Al.	Puyau M, Adolph A, Firoz V, Butte N. Validation and calibration of physical activity monitors in children. Obes Res 2002; 10: 150–157.	Crianças / adolescentes
50a	Trost et. Al.	Trost, S.; Pate, R.; Sallis, J.; Freedson, P.; Taylor, W.; Dowda, M.; Sirard, J. Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. Med Sci Sports Exerc 2002; 34: 350–355.	Crianças / adolescentes
50b	Trost et. Al.	Trost, S. G., D. S. Ward, S. M. Moorehead, P. D. Watson, W. Riner, and J. R. Burke. Validity of the computer science and applications (CSA) activity monitor in children. Med. Sci. Sports Exerc. 30:629–633, 1998.	Crianças / adolescentes
51	Frankenfeld	Frankenfield D, Omert L, Badellino M, et al. Correlation between measured energy expenditure and clinically obtained variables in trauma and sepsis patients. JPEN 1994;18:398	População doente
52	Swinamer	Swinamer D, Grace M, Hamilton S, et al. Predictive equation for assessing energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. Crit Care Med 1990;18:657	População doente

53	Penn State	Frankenfield D. Energy dynamics . In: Matarese L, Gottschlich M, eds. Contemporary nutrition support practice, 1st ed. Philadelphia: WB Saunders, 1998:84	População doente
54	Hronek et. Al.	Hronek M, Zadak Z, Hrnciarikova D, Hyspler R, Ticha A. New equation for the prediction of resting energy expenditure during pregnancy . Nutr 2009; 25 (9):947-53.	Grávidas
55	Pivarnik et. Al.	Pivarnik J. M, Stein AD, Rivera J. M. Effect of pregnancy on heart rate/oxygen consumption .	Grávidas
56	McDuffie	McDuffie J. R, Adler-Wailes D. C., Elberg J., et al. Prediction equations for resting energy expenditure in overweight and normal-weight black and white children . Am J Clin Nutr 2004, 80: 365-73	Crianças / adolescentes
57	Dietary reference intakes for Koreans (KDRI 2010)	The Korean Nutrition Society. Dietary Reference Intakes for Koreans. Seoul: The Korean Nutrition Society; 2010 . Asia Pac J Clin Nutr. 2008;17 Suppl 2:416-9. Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs). Paik HY1.	Recomendação nutricional
58	Japanese simplified equation	Ohtani Y. A device of calculating board for simple calculation of individual energy allowance [in Japanese]. Jpn J Nutr 1982;40:275-279	Recomendação nutricional
59	Wang	Wang Z, Heshka S, Gallagher D, et al. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling . Am J Physiol Endocrinol Metab 2000;279:E539-545	Inserida / Basal
60	Loftin et. Al.	Loftin, M., Waddell, D., Robinson, J., & Owens, S. (2010). Comparison of energy expenditure to walk or run a mile in adult normal weight and overweight men and women . Journal of Strength and Conditioning Research, 24, 2794–2798	Movimento / Excluída (aplicável para caminhadas ou corridas de 1 milha)
61	Altman and Dittmer	Altman P., Dittmer D.; eds. Metabolism . Bethesda, Md: Federation of American Societies for Experimental Biology; 1968.	Indisponível
62	Vander et. Al.	Vander Weg, M W.; Watson, J M.; Klesges, R C.; Eck Clemens, L H.; Slawson, D L.; McClanahan, B S. Development and cross-validation of a prediction equation for estimating resting energy expenditure in healthy African-American and European-American women . European journal of clinical nutrition. 2004.	Basal / Excluída (só mulheres e fator de etnia não generalizável)
63	Talbot	Talbot, F.B. Basal metabolism standards for children . Am J Dis Child 1938; 55:455–459	Crianças / adolescentes

64	White, Shepherd & McEniery	White, Melinda S.; Shepherd, Ross W.; Mceniery, Julie A. Energy expenditure in 100 ventilated, critically ill children: Improving the accuracy of predictive equations. Critical Care Medicine. 2000.	Crianças / adolescentes
65	Caldwell-Kennedy	Caldwell MD, Kennedy-Caldwell C. Normal nutritional requirements. Surg Clin North Am. 1981;61:489-506	Indisponível
66	Kleiber	Kleiber M. Body size and metabolic rate. Physiology Review 1947;27:511.	Animais
67	Hunter	Hunter, D.C.; Jaksic, T.; Lewis, D.; Benotti, P.N.; Blackburn, G.L.; Bristian, B.R. Resting energy expenditure in the critically ill: Estimation versus measurement. Br J Surg. 1988;75:875-8	População doente
68	ESPEN, European Society for Clinical Nutrition and Metabolism	Kreymann KG, Berger MM, Deutz NE, et al; DGEM (German Society for Nutritional Medicine), Ebner C, Hartl W, Heymann C, Spies C; ESPEN (European Society for Parenteral and Enteral Nutrition). ESPEN guide-lines on enteral nutrition: intensive care. Clin Nutr. 2006;25(2):210-223.	População doente
69	RDA (Recommended Dietary Allowance)	National Research Council. Recommended dietary allowances. Washington (DC): National Academy Press; USA, 1989.	Recomendação nutricional
70	ACSM (American College of Sports Medicine)	American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription , 6th Edition. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 2000, pp.163-176	Inserida / Movimento
71	Pandolf	Pandolf, K., B. Givoni, and R. Goldman. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. J. Appl. Physiol. 43:577-581, 1978.	Inserida / Movimento
72	Léger	Lejeune, T., P. Willems, and N. Heglund. Mechanics and energetics of human locomotion on sand. J. Exp. Bio. 201:2071-2080, 1998.	Indisponível
73	Epstein	Epstein, Y., L. A. Stroschein, and K. B. Pandolf. Predicting metabolic cost of running with and without backpack loads. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 56:495-500, 1987.	Não aplicável
74	Curreri	Curreri PW, Richmond D, Marvin J, Baxter CR. Dietary requirements of patients with major burns. J Am Diet Assoc Oct 1974; 65 (4): 415-7	População doente
75	Long	Long C. Energy expenditure of major burns. The Journal of trauma- ma Nov 1979; 19 (Supl. 11): 904-6.	População doente
76	Fórmula de Toronto	Allard JP, Jeejeebhoy KN, Whitwell J, Pashutinski L, Peters WJ. Factors influencing energy expenditure in patients with burns. The Journal of trauma Feb 1988; 28 (2): 199-202.	População doente

77	Ecuación Milner	de	Milner EA, Cioffi WG, Mason AD, McManus WF, Pruitt BA, Jr. A longitudinal study of resting energy expenditure in thermally injured patients. The Journal of trauma Aug 1994; 37 (2): 167-70.	População doente
78	Ecuación Carlson	de	Carlson DE, Cioffi WG Jr, Mason AD Jr, McManus WF, Pruitt BA Jr. Resting energy expenditure in patients with thermal injuries. Surg Gynecol Obstet Apr 1992; 174 (4): 270-6.	População doente
79	Ecuación Xie	de	Xie WG, Li A, Wang SL. Estimation of the calorie requirements of burned Chinese adults. Burns: journal of the International Society for Burn Injuries Apr 1993; 19 (2): 146-9.	População doente
80	Ecuación Zavacki	de	Zawacki BE, Spitzer KW, Mason AD Jr, Johns LA. Does increased evaporative water loss cause hypermetabolism in burned patients? Annals of surgery Feb 1970; 171 (2): 236-40.	População doente
81	Mayes		Mayes T, Gottschlich MM, Khoury J, Warden GD. Evaluation of predicted and measured energy requirements in burned children. J Am Diet Assoc Jan 1996; 96 (1): 24-9.	Crianças / adolescentes
82	Galveston		Hildreth MA, Herndon DN, Desai MH, Broemeling LD. Current treatment reduces calories required to maintain weight in pediatric patients with burns. J Burn Care Rehabil Sep-Oct 1990; 11 (5): 405-9	Crianças / adolescentes
83	Buchowski et. Al.		Maciej S Buchowski, Kong Y Chen, Daniel Byrne, and Winfred C Wang. Equation to estimate resting energy expenditure in adolescents with sickle cell anemia. American Journal of Clinical Nutrition. 2002.	Crianças / adolescentes
84	Miller et. Al.		Suen, J.; Thomas, J.M.; Delaney, C.L.; Spark, J.I.; Miller, M.D. Estimating energy expenditure in vascular surgery patients: Are predictive equations accurate enough? Clinical Nutrition ESPEN. 2016.	População doente
85	De Luis et. Al.		De Luis DA, Aller R, Izaola O et al. (2006) Prediction equation of resting energy expenditure in an adult Spanish population of obese adult population. Ann Nutr Metab 50, 193–196.	Obesos
86	Huang et. Al.		Huang KC, Kormas N, Steinbeck K et al. (2004) Resting metabolic rate in severely obese diabetic and nondiabetic subjects. Obes Res 12, 840–845.	Obesos
87	Roza et. Al.		Roza A.M. & Shizgal H.M. (1984). The Harris Benedict equation re-evaluated: resting energy requirements and the body cell mass. Am J Clin Nutr 40, 168–182.	Inserida / Basal
88	Siervo et. Al.		Siervo M, Boschi V. & Falconi C. (2003). Which REE prediction equation should we use in normal-weight, overweight and obese women? Clin Nutr 22, 193–204	Obesos
89	Tabata et. Al.		Tabata I, Ebine N, Kawashima Y et al. (2013) Dietary reference intakes for Japanese 2010 – energy. J Nutr Sci Vitaminol 59, S26–S35.	Multitarefa

90a	Weijis Vansant &	Weijis PJM & Vansant GAAM (2010) Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women. Clin Nutr 29, 347–351.	Obesos
90b	Weijis et al.	Weijis P, Kruizenga H, van Dijk A, et al. Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients. Clin Nutr. 2008;27(1):150-157.	População doente
91	Macgregor	MacGregor J. The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment. Physiotherapy. 1981;67:30-3.	Indisponível
92	Stucky et al. (Diabetic Equation)	Stucky, Chee-Chee H.; Moncure, Michael.; Hise, Mary.; Gossage, Clint M.; Northrop, David. How accurate are resting energy expenditure prediction equations in obese trauma and burn patients? JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition. 2008.	Obesos
93	Duro et. Al.	Duro, Debora.; Rising, Russell.; Cole, Conrad.; Valois, Sandra.; Cedillo, Maribel.; Lifshitz, Fima. New equations for calculating the components of energy expenditure in infants. Journal of Pediatrics. 2002.	Crianças / adolescentes
94	Metsios et. Al.	Metsios, G. S.; Stavropoulos-Kalinoglou, A.; Panoulas, V. F.; Koutedakis, Y.; Nevill, A. M.; Douglas, K. M J; Kita, M.; Kitas, G. D.; New resting energy expenditure prediction equations for patients with rheumatoid arthritis. Rheumatology. 2008.	População doente
95	Luke Schoeller &	Luke A, Schoeller DA. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. Metabolism 1992;41:450–6.	Crianças / adolescentes
96	McNeill et al.	McNeill G, Rivers JP, Payne PR, de Britto JJ, Abel R. Basal metabolic rate of Indian men: no evidence of metabolic adaptation to a low plane of nutrition. Hum Nutr Clin Nutr 1987;41:473–83.	Recomendação nutricional
97	Heymsfield et al.	Heymsfield SB, Hoff RD, Gray TF, Galloway J, Casper K. Heart diseases. In: Kinney JM, Jeejeebhoy KN, Hill GL, Owen OE, eds. Nutrition and metabolism in patient care. Philadelphia: WB Saunders, 1988;477–530.	População doente
98	Kashiwazachi et al.	Kashiwazaki H, Suzuki T, Inaoka T. Postprandial resting metabolic rate and body composition in the moderately obese and normal-weight adult subjects at sitting posture. J Nutr Sci Vitaminol 1988;34:399–411.	Obesos
99	Sun, Liu, Li & Chen.	Sun, Bo.; Liu, Yu.; Li, Jing Xian.; Li, Haipeng.; Chen, Peijie. Prediction Equations of Energy Expenditure in Chinese Youth Based on Step Frequency During Walking and Running. Research quarterly for exercise and sport. 2013	Crianças / adolescentes
100	Tseng et. Al.	Tseng, Chung Kang.; Hsu, Hua Shui.; Ho, Chih Te.; Huang, Hui Ying.; Liu, Chiu Shong.; Lin, Cheng Chieh.; Lin, Wen Yuan. Predictive equation of resting energy expenditure in	Obesos

		obese adult Taiwanese. Obesity Research and Clinical Practice. 2011.	
101	Evenson et. Al.	Evenson KR, Catellier DJ, Gill K, Ondrak KS, McMurray RG (2008). Calibration of two objective measures of physical activity for children. J Sports Sci 26: 1557–1565.	Crianças / adolescentes
102	Sirard et. Al.	Sirard JR, Trost SG, Pfeiffer KA, Dowda M, Pate RR (2005) Calibration and evaluation of an objective measure of physical activity in preschool children. J Phys Act Health 2: 345–357.	Crianças / adolescentes
103	v. Cauwenberghe et. Al.	Van Cauwenberghe E, Trost SG, De Bourdeaudhuij I, Cardon G (2011) Calibration and comparison of accelerometer cut points in preschool children. Int J Pediatr Obes 6: e582–e589	Crianças / adolescentes
104	Pate et. Al.	Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M (2006) Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. Obesity 14: 2000– 2006.	Crianças / adolescentes
105	Reilly et. Al.	Reilly JJ, Penpraze V, Hislop J, Davies G, Grant S, et al. (2008) Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: review with new data. Arch Dis Child 93: 614–619	Crianças / adolescentes
106	James and Lean	Lean, M.E. & James, W.P. (1986) Prescription of diabetic diets in the 1980s. Lancet 1, 723–725.	População doente
107	LARN (Livelli di Assunzione Giornalieri Raccomandati di Energia e Nutrienti per la Popolazione Italiana)	Società Italiana di Nutrizione Umana. LARN: Livelli di Assunzione Giornalieri Raccomandati di Energia e Nutrienti per la Popolazione Italiana - Revised. Roma: Istituto Nazionale della Nutrizione e Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste 1987.	Recomendação nutricional
109	Haaf & Weijjs	Twan ten Haaf; Peter J. M. Weijjs. Resting Energy Expenditure Prediction in Recreational Athletes of 18–35 Years: Confirmation of Cunningham Equation and an Improved Weight-Based Alternative. PLoS One, 9 (10); 2014.	Inserida / Basal
110	Cystic Fibrosis Consensus Comitee equations (CFCCEs)	Ramsey B.W., Farrell P. M. Pencharz P. The C.F. Consensus Commitee. Nutritional assessment and management in Cystic fibrosis: a consensus report. Americ. Journal Clinical Nutr. 1992; 55:108-116.	População doente
111	Schebendach	Schebendach J, Golden N.H., Jacobson M.S. y cols.: Indirect calorimetry in the nutritional management of eating disorders. The International Journal of Eating Disorders 1995; 17:59-66.	População doente
112	Quiroz el. Al.	Gabriela Quiroz-Olguín; , Aurora E. Serralde-Zúñiga1, Maria Vianey Saldaña-Morales, Alfonso Gulias-Herrero; Martha Guevara-Cruz. Validating an energy expenditure prediction equation in overweight and obese Mexican patients. Nutrición hospitalaria. 2014.	População doente

113	Carrasco	Carrasco F, Rojas P, Ruz M, Rebolledo A, Mizón C, Codoceo J, Inostroza J, Papapietro K, Csendes A. Agreement between measured and calculated by predictive formulas resting energy expenditure in severe and morbid obese women. Nutr Hosp 2007;22 (4):410-6.	Obesos
114	Chan et. Al.	Chan, D F.; Li, A M.; Chan, M H.; So, H K.; Chan, I H.; Yin, J A.; Lam, C W.; Fok, T F.; Nelson, E A. Validation of prediction equations for estimating resting energy expenditure in obese Chinese children. Asia Pac.J Clin Nutr. 2009.	Crianças / adolescentes
115	Jia et. Al.	Jia H, Meng Q, Shan C. Study on energy expenditure in healthy adults. Chin J Clin Nutr. 1999;7:70-3	Indisponível
116	Leung et. Al.	Leung SS, Lau JT, Tse LY, Oppenheimer SJ. Weight-for- age and weight-for-height references for Hong Kong children from birth to 18 years. J Paediatr Child Health. 1996;32: 103-9.	Crianças / adolescentes
117	Japanese Dietary Reference Intakes	Ministry of Health, Labor and Welfare of Japan. Dietary Reference Intake for Japanese, 2010. Daiichi Shuppan, Tokyo, 2009.	Recomendação nutricional
118	Black et. Al.	Não identificado	Indisponível
119	Johnstone et al.	Johnstone A.M., Rance K.A., Murison S.D., Duncan J.S., Speakman J.R. Additional anthropometric measures may improve the predictability of basal metabolic rate in adult subjects. Eur J Clin Nutr 2006; 60:1437-44.	Obesos
120	Melchior Al.	Melchior JC, Salmon D, Rigaud D, Leport C, Bouvet E, Detruchis P, et al. Resting energy expenditure is increased in stable, malnourished HIV-infected patients. Am J Clin Nutr. 1991; 53(2):437-41	População doente
121	Zakeri et. Al.	Zakeri I., Adolph A. L., Puyau M. R., Vohra F. A. and Butte N. F. (2008). Application of cross-sectional time series modeling for the prediction of energy expenditure from heart rate and accelerometry. J. Appl. Physiol. 104 1665-73	Crianças / adolescentes
122	Treuth et. Al.	Treuth MS, Schmitz K, Catellier DJ et al. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. Med Sci Sports Exerc 2004; 36(7):1259-1266.	Crianças / adolescentes

APÊNDICE D: Artigos incluídos na revisão sistemática sobre redes neurais e actigrafia

Tabela 26: Artigos incluídos na revisão sistemática sobre redes neurais e actigrafia

Autores	Título	Periódico	Ano	Objetivo	Amostra	Contexto / atividade de análise	Dispositivo	Aspectos de ANN	Variáveis
Lyden, Kate.; Keadle, Sarah Kozey.; Staudenmayer, John.; Freedson, Patty S.	A Method to Estimate Free-Living Active and Sedentary Behavior from an Accelerometer	Medicine And Science In Sports and Exercise V: 46 (2) 386-397	2014	Identificar AF e estimar GE	13 (5 homens e 8 mulheres) 18 - 60 anos de idade.	Atividades de vida livre	ActiGraph GT3X: quadril direito	Proposição de um algoritmo híbrido de aprendizagem de máquina chamado <i>Sojourn</i>	10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração; autocorrelação das contagens numa época
Clark, Cain C. T.; Barnes, Claire M.; Stratton, Gareth; et al.	A Review of Emerging Analytical Techniques for Objective Physical Activity Measurement in Humans	Sports Medicine v. 47 (3) 439-447	2017	Revisão	11 artigos	N.A	N.A	N.A	N.A
Lin, C.-W., Yang, Y.-T.C., Wang, J.-S., Yang, Y.-C.	A wearable sensor module with a neural-network-based activity classification algorithm for daily energy expenditure estimation	IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine	2012	Identificar AF e estimar GE	20 homens (23,55 ± 1,12 anos); 6 mulheres (26,67 ± 2,13 anos);	Laboratório / Deitado, sentado, de pé, andando, correndo, pedalando, subindo escadas, varrendo	Microchip PIC24FJ64GA002; Freescale MMA7455L triaxial digital accelerometer. Dispositivos na cintura, pulso e tornozelo.	Usou Sequential Forward Search (SFS), Sequential Backward Search (SBS); fez Radial Basis Function Network (RBFN), e Generalized Regression Neural Network (GRNN). As EEE são	Aceleração, Frequência cardíaca e sinal de ECG

									calculadas com processo de janelamento.
Kolus, A., Imbeau, D., Dubé, P.-A., Dubeau, D.	Adaptive neuro-fuzzy inference systems with k-fold cross-validation for energy expenditure predictions based on heart rate	Applied Ergonomics	2015	Estimar VO2	50 = 28 em laboratório e 22 trabalhadores florestais	Desmatadores de florestas: 22 em laboratório e 28 no campo.	HR com Polar Electro e VO2 com COSMED Fitmate™ PRO	Neuro-fuzzy e k-fold	Peso, altura, sexo, idade, bmi, HR
Romero-Ugalde, Hector M.; Garnotel, M.; Doron, M.; et al.	An original piecewise model for computing energy expenditure from accelerometer and heart rate signals	Physiological Measurement. V. 38 (8), 1599-1615	2017	Identificar AF e estimar GE	53 (28 homens e 25 mulheres); 37 ± 10 anos	Laboratório / 25 atividades diárias	SERVOPRO 4100, Servomex (para calorimetria indireta), actígrafo GT3X+, da ActiGraph; e Actiheart, da CamNtech para Frequência cardíaca e acelerometria	Modelação por partes	Frequência cardíaca para AF moderadas e vigorosas, e combinação linear de frequência cardíaca e contagem por minuto para computar EE em atividades físicas leves a moderadas.
Rothney MP, Neumann M, Béziat A, Chen KY.	An artificial neural network model of energy expenditure using nonintegrated acceleration signals.	Journal of Applied Physiology.103(4): 1419-27	2007	Estimar GE	102 adultos	Laboratório e externo / Manhã: caminhada, corrida; em câmara e esteira. Tarde: atividades sedentárias, bicicleta estacionária	Câmara calorimétrica da Vanderbilt University, ActiGraph uniaxial no quadril; e um monitor de atividade customizado, que é uma derivada do monitor IDEEA (MiniSun, Fresno CA)	ANN com 1 camada oculta: 12 x 20 x 1 nós. Treinamento e validação por leave-one-subject out	Parâmetros de cada canal de dado bruto: mediana, integral, pico de intensidade, intervalo interquartil, inclinação, curtose, pico do coeficiente de variabilidade de cada grupo de dados de 10s, os valores mínimos dos mesmos intervalos, erro médio absoluto (MAE), somatório da potência do sinal acima e abaixo de 0,7 Hz

Staudenmayer J, Pober D, Crouter S, Bassett D, Freedson P.	An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer.	J Appl Physiol 107(4):1300-7	2009	Identificar AF e estimar GE	48 (24 homens, 24 mulheres); média = 35 anos.	Laboratório / Deitado, de pé, trabalho em computador, subir e descer escadas, bicicleta estacionária, caminhada externa, jogar basquete, aspirar, varrer, espanar, lavar janelas, cortar relva.	ActiGraph 7164. Uniaxial, fixado à altura da cintura sobre a linha axilar anterior. Cosmed K4b2	ANN	Valores médios de METs para cada atividade e cada pessoa, e classificação de atividade segundo a segundo
Montoye, Alexander H. K.; Pivarnik, James M.; Mudd, Lanay M.; et al.	Comparison of Activity Type Classification Accuracy from Accelerometers Worn on the Hip, Wrists, and Thigh in Young, Apparently Healthy Adults	Measurement In Physical Education And Exercise Science. 20 (3)	2016	Comparar modelos de identificação de AF	44 (22 homens, 22 mulheres) idade 18-44	Laboratório / Atividades sentado, lendo, trabalho em computador, de pé, caminhada lenta, caminhada rápida, corrida, bicicleta estacionária, exercícios de ginásio	Oxycon Mobile; 4 acelerómetros: 2 GENEActiv (Activinsights Ltd, Kimbolton, Cambridgeshire, UK) 2 ActiGraph GT3X+ (ActiGraph LLC, Pensacola, FL, USA)	ANN	4 tipos de resdes com entradas diferentes a terem resultados comparados: 1) Média, variância, covariância, mínimo, máximo, média da orientação do eixo, variância da orientação do eixo, 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração. 2) Média e variância do sinal de aceleração 3) Média, variância, mínimo e máximo do sinal de aceleração 4) 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração

Montoye, A.H.K., Begum, M., Henning, Z., Pfeiffer, K.A.	Comparison of linear and non-linear models for predicting energy expenditure from raw accelerometer data	Physiological Measurement	2017	Comparar modelos	40 pessoas	Laboratório / Deitado, lendo, trabalho em computador, de pé, lavar roupa, varrer confetes no chão, caminhada lenta, caminhada rápida, corrida, subir e descer escadas, bicicleta, bíceps e agachamento com peso.	2 acelerômetros ActiGraph GT3X +, um no quadril direito (linha axilar anterior) e o outro na coxa direita (linha média anterior, 1/3 da distância entre a rótula e o vinco inguinal). 2 acelerômetros GENEActiv, um no lado dorsal de cada pulso; 1 analisador metabólico portátil Oxycon Mobile.	ANN Backpropagation	Média, desvio padrão, mínimo, máximo, covariância de janelas de dados adjacentes, 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração de cada eixo
Liu, Shaopeng; Gao, Robert X.; Freedson, Patty S.	Computational Methods for Estimating Energy Expenditure in Human Physical Activities	Medicine And Science In Sports And Exercise, 44 (11)	2012	Revisão	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Gjoreski, H., Kaluža, B., Gams, M., Milić, R., Luštrek, M.	Context-based ensemble method for human energy expenditure estimation	Applied Soft Computing Journal	2015	Identificar AF e estimar GE	10 participantes; idade = 27,2 anos (SD=3,1)	Laboratório / Atividades sedentárias, atividades domésticas leves, atividades domésticas moderadas e vigorosas, caminhada, corrida, bicicleta estacionária leve, bicicleta estacionária em ritmo vigoroso	1 analisador de composição corporal InBody-720; 2 acelerômetros triaxiais Shimmer (no peito e na coxa), 1 sensor Zephyr (frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura da pele), e 1 sensor BodyMedia (resposta galvânica da pele, temperatura da pele do braço, temperatura ambiente)	Usou 5 metodos: Multiple linear regression (MLR), support vector machine for regression (SVR), Gaussian Processes for Regression (GPR), model trees (M5P), multilayer perceptron feedforward artificial neural network (MLP-	Frequência cardíaca, Frequência respiratória, contagens de aceleração, temperatura da pele do peito, resposta galvânica da pele, temperatura da pele do braço, e temperatura ambiente próxima ao corpo

								ANN)	
Ermes, Miikka; Parkka, Juha; Mantyarvi, Jani; et al.	Detection of daily activities and sports with wearable sensors in controlled and uncontrolled conditions	IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 12 (1), 20-26	2008	Identificar AF	12 participantes; idade = 27.1±9,2 anos	Laboratório e externo / Condições controladas e não-controladas: deitado, sentado, caminhando, correndo, bicicleta, jogar futebol, caminhadas nórdicas e ciclismo	Acelerômetros - ADXL202 no quadril e pulso e GPS Garmin eTrexVenture	Usou-se 4 abordagens: 1) árvore de decisão personalizada; 2) árvore de decisão gerada automaticamente; 3) ANN e 4) modelo híbrido.	Do domínio tempo no processamento de sinal: média, variância, mediana, distorção, curtose, percentil 25% e percentil 75%. Os recursos de domínio de frequência incluíram a estimativa da potência do pico de frequência e da potência do sinal em diferentes faixas de frequência. A velocidade foi calculada a partir dos dados de localização do GPS. A entropia espectral SN dos sinais de aceleração para a faixa de frequência de 0-10 Hz foi calculada
Montoye, A.H.K., Mud, L.M., Biswas, S., Pfeiffer, K.A.	Energy expenditure prediction using raw accelerometer data in simulated free living	Medicine and Science in Sports and Exercise	2015	Estimar GE	44 (22 homens e 22 mulheres)	Laboratório / 14 diferentes atividades sedentárias, atividades de vida livre e exercícios físicos por períodos de 3 a 10 minutos	ActiGraph GT3X+, GENEActiv, e analisador metabólico portátil Oxycon Mobile.	ANN	Média, variância, covariância, mínimo, máximo, orientação média, variância da orientação, 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração de cada eixo, peso, altura, sexo.

Gyllensten, Illapha Cuba; Bonomi, Alberto G.	Identifying Types of Physical Activity With a Single Accelerometer: Evaluating Laboratory-trained Algorithms in Daily Life.	IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Sep2011, V. 58 (9), 2656-2663	2011	Identificar AF	20 (10 homens, 10 mulheres); idade 30±9 anos (22–51)	Laboratório e externo / Deitado, sentado, trabalho em computador, de pé, lavar pratos, varrer, caminhada interna e externa, subir e descer escadas, bicicleta estacionária e bicicleta externamente, corrida em esteria e externa.	Acelerômetro triaxial Tracmor (Philips Research) no quadril; e IDEEA (Minisun, Fresno, CA) na coxa	Usou-se Support Vector Machine (SVM), feed-forward neural network, e uma árvore de decisão	Média, desvio padrão, curtose, inclinação, limiaries, correlação cruzada dos eixos, ângulo de aceleração, energia espectral em sub-bandas, entropia espectral, picos de Frequência, densidade espectral cruzada em sub-bandas.
Hay, D.C., Wakayama, A., Sakamura, K., Fukushima, S.	Improved estimation of energy expenditure by artificial neural network modeling	Applied Physiology, Nutrition and Metabolism. 33(6), pp. 1213-1222	2008	Estimar GE	19 participantes (6 mulheres, 13 homens); idade 19-68 anos	Deitado, série de posturas estáticas, série de compulsões musculares estáticas e dinâmicas, de pé e sentar-se	Oximetria com o Aeromonitor AE300S (Minato Medical, Japan); 1 eletrocardiograma wireless (ECG) Life Scope 6 (Nihon Koden, Japan); 1 Actiheart sensor (Mini Mitter); 2 acelerômetros separados WZ130 (Seiko S-Yard, Japan; and FB-720, Tanita, Japan)	3 modelos foram desenvolvidos: 1º só Acc; 2º só HR; 3º acc + HR.	Dados antropométricos, contagens, Frequência cardíaca, média e pico de normalização submax, média e pico de normalização maximal
Staudenmayer, John; He, Shai; Hickey, Amanda; et al.	Methods to estimate aspects of physical activity and sedentary behavior from high-frequency wrist accelerometer measurements	Journal of Applied Physiology. v. 119 (4)	2015	Identificar AF e estimar GE	20 (10 mulheres, 10 homens); idade média = 24,1	Laboratório e externo / Esteira (diferentes velocidades), subir e descer escadas, jogar tênis, basquete, caminhada (diferentes	1 ActiGraph GT3X no pulso dominante e 1 no quadril. Oxycon mobile para calorimetria indireta	Implementou-se 3 modelos de machine-learning (Artificial Neural Networks, Support Vector Machines, and	Média do vetor magnitude, desvio padrão do vetor magnitude, percentagem da potência do vetor magnitude, Frequência dominante do vetor magnitude, fração da potência no vetor magnitude da Frequência dominante, ângulo médio de aceleração

						velocidades), aspirar, jardinagem, lavar roupas, espanar, conduzir, trabalho de escritório	Random Forests)	relativa à vertical do dispositivo, desvio padrão do ângulo de aceleração relativa à vertical no dispositivo	
Liu, Shaopeng; Gao, Robert X.; John, Dinesh.; Staudenmayer, John W.; Freedson, Patty S	Multisensor Data Fusion for Physical Activity Assessment	IEEE Transactions on Biomedical Engineering v.59(3), 687-696	2012	Identificar AF e estimar GE	50 (19 homens, 31 mulheres);	Laboratório e externo / Trabalho em computador, manuseio de papéis, aspirar, mover caixas, caminhada, ciclismo e esteira em diferentes velocidades e inclinações, jogar baquete e tenis.	2 acelerômetros triaxiais MMA7260QT (Freescale) na cintura e pulso, e 1 sensor de ventilação 1325 Piezo Crystal Sensor (Ambu Sleepmate) no abdomen. Oxycom Mobile.	Support Vector Machine (SVM)	Características do domínio do tempo: média, desvio padrão, mediana, 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração de cada eixo, correlações entre o vetor magnitude dos acelerômetros da cintura e do pulso. Características do domínio da Frequência: sinal de respiração, Frequência respiratória, energia espectral, entropia
Strath, Scott J.; Kate, Rohit J.; Keenan, Kevin G.; et al.	Ngram time series model to predict activity type and energy cost from wrist, hip and ankle accelerometers: implications of age	Physiological Measurement V. 36(11), 2335-2351	2015	Identificar AF e estimar GE	99: Grupo1) 18-39 anos, (17 homens, 16 mulheres); Grupo2) 40-64 anos (16 homens, 17 mulheres); Grupo3) >65 anos (15 homens,	Laboratório / Esteira em velocidades diferentes, trabalho em computador, aspirar, espanar, varrer, carregar caixas de pesos diferentes, caminhar, subir e descer escadas em velocidades diferentes	Composição corporal por absorptiometria dupla de energia de raio-x com DEXA scan, estadiometro Detecto, DXA para composição corporal (GE Lunar Prodigy, Madison, WI). 1 Cosmed K4b2 para oximetria, 3 ActiGraph GT3X (ActiGraph LLC, Fort Walton Beach, FL)	Abordagem de aprendizagem de máquina Ngram.	Sexo, idade, gordura corporal, acelerações

						18 mulheres)			
Schmid, Maurizio; Riganti-Fulginei, Francesco; Bernabucci, Ivan; et al.	SVM versus MAP on Accelerometer Data to Distinguish among Locomotor Activities Executed at Different Speeds	Computational and Mathematical Methods in Medicine.	2013	Identificar AF	10 (6 homens, 4 mulheres); idade = 25–35	Laboratório e externo / 800m de caminhada compostos por atividades de caminhada subidas e descidas em níveis diferentes e ordem aleatória.	Acelerômetro triaxial (ADXL345, Analog Devices, Inc.), giroscópio triaxial (ITG-3200, Invensense, Inc.), microcontrolador (Atmega328, Atmel Corporation), transmissor bluetooth (WT12, Bluegiga Technologies Ltd.).	Classificação de Bayes Maximum a Posteriori (MAP), e Support Vector Machine (SVM)	Domínio do tempo: o valor máximo, o valor mínimo, a distância temporal entre o valor máximo e o valor mínimo, o número de cruzamentos de zero, a distância entre dois picos consecutivos e a distância entre dois vales consecutivos, o valor máximo da derivada de tempo da época e seu valor mínimo, o valor máximo de sua integral (calculado ao longo de uma janela de 100ms) e seu valor mínimo. Domínio da frequência: variação temporal da frequência média de cada atividade, e seus valores mínimos e máximos, ambos em escala linear e logarítmica.
Montoye, A.H., Dong, B., Biswas, S., Pfeiffer, K.A.	Use of a wireless network of accelerometers for improved measurement of human energy expenditure	Electronics	2014	Estimar GE	23 (7 homens, 16 mulheres); idade média = 20,8 (1,4) anos	Laboratório / Atividades sedentárias, de vida livre, exercícios físicos, deitado, sentado reclinado, sentado reto, caminhada e corrida em	ActiGraph. Oxycon Mobile	ANN	Média e desvio padrão de cada eixo, peso e altura.

						velocidades diferentes, de pé, varrer, subir e descer escadas, ciclismo, squatting			
Montoye, Alexander H. K.; Pivarnik, James M.; Mudd, Lanay M.; et al.	Validation and Comparison of Accelerometers Worn on the Hip, Thigh, and Wrists for Measuring Physical Activity and Sedentary Behavior	Aims Public Health v. 3(2), 298-312	2016	Identificar AF	40 (21 mulheres, 19 homens); idade = 22,0 ± 4,2 anos	Laboratório / Deitado, leitura, uso do computador, em pé, lavanderia, varredura, bíceps caminhada lenta, caminhada rápida, bicicleta, subir e descer escadas, agachamentos	2 ActiGraph GT3X+, 2 GENEActiv, 1 analisador metabólico portátil Oxycon Mobile	Uma ANN para cada categoria de atividade física.	10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração de cada eixo
Montoye, A.H.K., Dong, B., Biswas, S., Pfeiffer, K.A.	Validation of a wireless accelerometer network for energy expenditure measurement	Journal of Sports Sciences	2016	Estimar GE	34 participantes; idade 18–30 anos	Laboratório / Deitado, Sentado, caminhada lenta, caminhada rápida, corrida leve, varrer, ciclismo, subir e descer escadas, atividades físicas	ActiGraph GT3X+, biaxial MICA2DOT, e Oxycon Mobile	ANN com 1 camada oculta com 13 elementos ocultos	Média e desvio padrão de cada eixo, peso e altura.
Montoye, A.H.K., Conger, S.A., Connolly, C.P., (...), Bock, J.M., Kaminsky, L.A.	Validation of Accelerometer-Based Energy Expenditure Prediction Models in Structured and Simulated Free-Living Settings	Measurement in Physical Education and Exercise Science	2017	Estimar GE	24 (12 homens, 12 mulheres); idade média = 45,8 anos	Laboratório / Deitado, uso de computador, assistir TV, escrever, jogar cartas, ler, de pé, espanar, arrumar cama, dobrar roupas, varrer, aspirar, cortar	4 ActiGraph GT9X Link (cintura à direita, tornozelo, ambos os pulsos), Cosmed K4b2	ANN feed-forward, com 1 camada oculta, 5 nós ocultos.	10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração de cada eixo; covariância entre janelas de dados adjacentes

						relva, coletar objetos no chão, caminhada lenta, esteira lenta, ciclismo estacionário lento, subir e descer escadas, corrida leve no chão e em esteira.			
Youngdeok Kim, Vaughn W. Barry & Minsoo Kang	Validation of the ActiGraph GT3X and activPAL Accelerometers for the Assessment of Sedentary Behavior	Measurement in Physical Education and Exercise Science	2015	Identificar AF	11 (8 homens, 3 mulheres); idade média = 30,67 (7,24) anos	Vida livre	ActiGraph GT3X, ActivPAL e câmera Autographer	Algoritmo híbrido de aprendizagem de máquina chamado Sojourn	10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentis do sinal de aceleração; autocorrelação das contagens numa época
Montoye, A.H.K., Pivarnik, J.M., Mudd, L.M., Biswas, S., Pfeiffer, K.A.	Wrist-independent energy expenditure prediction models from raw accelerometer data	Physiological Measurement. 37(10), pp. 1770-1784	2016	Identificar AF e estimar GE	44 participantes	Laboratório / atividades sedentárias, atividades de vida livre, exercícios físicos	Actígrafos GENEActiv e 1 analisador metabólico portátil Oxicom Mobile	ANN	12 combinações de grupos de características, dentre as quais estão média e variância dos dados de aceleração brutos, vetor magnitude, valores absolutos dos dados

APÊNDICE E: Termo de consentimento informado, livre e esclarecido

RUA DR. ROBERTO FRIAS, S/N 4200-465 PORTO – PORTUGAL –

Termo de Consentimento Informado, Livre e Esclarecido

Prezado(a) senhor(a) _____

Este Termo de Consentimento Informado é direcionado a pessoas que se voluntariem a fazer parte da amostra do estudo sobre determinação de gasto energético por actigrafia e variáveis fisiológicas. O grupo de participantes da amostra é composto por pessoas de ambos os sexos, entre 18 e 40 anos de idade, sem condições de saúde que comprometam a normalidade das funções metabólicas, sejam temporárias, crônicas ou permanentes. Portanto, temos o privilégio de lhe convidar para participar como parte da amostra da pesquisa intitulada “Determinação de gasto energético por actigrafia e variáveis fisiológicas”.

Pesquisadores / Researchers: André Duarte Lucena, Alberto Pezzi Sposito, Joana Guedes, Mário Augusto Pires Vaz, Luiz Bueno da Silva.

Instituição: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP

Laboratório: PROA – Prevenção de Riscos Ocupacionais e Acidentes

Título do estudo: Determinação de Gasto Energético por Actigrafia e Variáveis Fisiológicas

Este Termo de Consentimento informado tem duas partes:

- **Parte I: Informações sobre o estudo (a ser compartilhado com o participante)**
- **Parte II: Certificado de Consentimento (a ser assinado caso o participante esteja de acordo)**

Uma cópia completa desse Termo de Consentimento Informado, Livre e Esclarecido será fornecida ao participante.

Parte I: Informações sobre o estudo

Introdução

Estamos desenvolvendo uma pesquisa no âmbito do Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP. A pesquisa tem como tema o gasto energético das pessoas em atividades cotidianas, inclusive laborais. Portanto, queremos lhe dar informações e convidá-lo para fazer parte desta pesquisa. Não precisa decidir agora se vai ou não participar da pesquisa. Antes de decidir, pode conversar com alguém com quem se sinta à vontade sobre a pesquisa. Caso tenha alguma dúvida ou encontre alguma palavra que não conheça o significado, por favor, peça-nos para esclarecer a questão. Se tiver dúvidas depois, também pode perguntar a qualquer pesquisador da equipe.

Objetivos da pesquisa

Determinar quanto uma pessoa gasta de energia por atividade com precisão aceitável tem sido desafiador, pois os métodos apontados como sendo mais precisos são caros, às vezes demorados e inapropriados para situações externas ou não laboratoriais. Pode-se apontar várias razões da relevância da determinação do gasto energético de pessoas, tais como tratar melhor pessoas com doenças ou necessidades específicas, mensurar adequadamente o trabalho humano, fornecer alimentação com potencial energético adequado, compreender limites do corpo humano, dentre outras razões. O objetivo dessa pesquisa é melhorar formas de determinar o gasto energético por cálculos que consideram informações provenientes do monitoramento de variáveis do corpo humano, com especial ênfase à quantidade de movimentos e outras variáveis que se mostrem relevantes para tornar essa determinação mais barata, prática e com precisão aceitável.

Tipo de intervenção

Esta pesquisa envolverá sua participação em responder questionários, permitir medições de parâmetros antropométricos como peso e altura, executar atividades variadas que vão desde o repouso até a corrida, simulando atividades de trabalho estático e situações de manuseio de material. A execução de atividades servirá para monitoramento de indicadores, tais como quantidade e características de movimentos, velocidades e acelerações de partes do corpo, análise do ar inspirado e expirado durante a execução de atividades, frequência respiratória e frequência cardíaca. A coleta de dados levará o período da prova física acrescido do tempo para instrumentar o participante e aplicar o questionário, o que significa aproximadamente 2 (duas) horas e meia.

Seleção de Participantes

Estamos a convidá-lo para participar dessa pesquisa por atender aos critérios preliminares mínimos necessários da amostragem, considerando seu potencial de contribuição. É necessário ter entre 18 e 40 anos de idade, não ser fumante, não consumir com frequência suplementos nem complementos alimentares; não ter histórico clínico ou qualquer outra condição de saúde que aponte riscos ou comprometa as funções metabólicas, nem cardiorrespiratórias, nem ter limitações físicas nem outras restrições de movimentos.

Participação Voluntária

Sua participação nessa pesquisa é inteiramente voluntária. A escolha de participar ou não participar é sua e não haverá qualquer constrangimento quanto à sua escolha. Também lhe é possível mudar de ideia mais tarde e parar de participar a qualquer momento, mesmo que tenha concordado antes. Nesse caso, pode solicitar que as informações fornecidas não sejam usadas no estudo.

Procedimentos e Protocolo

O gasto energético está diretamente relacionado com o processamento dos alimentos no corpo humano, atividade física, e com o nível de consumo de oxigênio. Por estas razões, para termos bons resultados e, mediante seu voluntariado, solicitamos que:

- Caso desloque-se até a o laboratório onde acontece a pesquisa na FEUP, utilizando transporte público, bicicleta, faça caminhada ou utilize qualquer outro meio que exija esforço físico, por favor

comunique-nos qual foi o meio e qual a distância média percorrida exercendo esforço físico. Tente fazer o percurso de forma que canse o mínimo possível.

- Para o experimento, utilize roupas adequadas para desporto e que lhe dê liberdade de movimentos, tais como calção ou calça, *t-shirt* e sapatilhas. Se quiser, pode levá-las para trocar no laboratório, pois há local apropriado para tal.

Os procedimentos podem ser divididos em 2 (duas) partes; os procedimentos que antecedem o experimento e as atividades do próprio experimento. Esta última segue o protocolo descrito a seguir com atividades a serem executadas dentro da câmara térmica e atividades a serem executadas fora dela.

Procedimentos que antecedem o experimento

Algumas etapas necessárias ocorrerão antes de iniciarmos a execução das atividades do experimento, de acordo com a seguinte ordem:

- 1) Chegada e recepção;
- 2) Questionamentos sobre o cumprimento das instruções e condições informadas previamente: qual o meio de transporte ou forma utilizada para se deslocar até o laboratório;
- 3) Troca de roupas, caso necessário;
- 4) Aplicação de questionários: o primeiro será respondido com acompanhamento de um pesquisador e o segundo é autorreportado;
- 5) Medição de altura na balança mecânica com estadiômetro;
- 6) Medição de peso e percentuais de massa gorda e massa magra na balança de bioimpedância;
- 7) Escolha do colete e máscara mais adequados para o participante;
- 8) Colocação dos dispositivos na seguinte ordem: medidor de frequência cardíaca, colete + monitor de parâmetros fisiológicos, actígrafos e oxímetro;
- 9) Calibração do oxímetro com o participante;
- 10) Revisão das instruções do experimento;

Protocolo de atividades do experimento:

1ª Parte: Atividades a serem executadas dentro da câmara térmica

A câmara térmica será utilizada com o objetivo de padronizar as condições de temperatura a 25 °C e umidade do ambiente a 50%.

- a) Deitado no colchão, permanecer em repouso com o mínimo de movimentos possível por 10 minutos. As luzes da Câmara serão apagadas. Caso sinta sono não resista, pode dormir.
- b) Sentado, responder os testes no computador por 5 minutos. Os testes serão usados apenas para simular atividade de trabalho em computador.
- c) Em pé, em frente à mesa, manipular as cartas por 5 minutos em ritmo normal. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
- d) Em pé, em frente à mesa, levantar pesos de 2,0 kg até a altura dos ombros e retornar à mesa seguindo o ritmo de um metrônomo (40 bits por minutos) por 5 minutos. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
- e) Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do repouso.
- f) Varrer área específica da câmara por 5 minutos. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
- g) Sentar e levantar 10 vezes
- h) Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do

- repouso.
- i) Transporte de caixas plásticas com carga de 5 kg de uma extremidade da câmara à outra por 5 minutos. Inclui agachamento. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
 - j) Transporte de caixas plásticas com carga de 10 kg de uma extremidade da câmara à outra por 5 minutos. Inclui agachamento. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
 - k) Sentar e assistir vídeo para descansar por 5 minutos ou até recuperar a frequência cardíaca do repouso.

2ª Parte: Atividades a serem executadas fora da câmara térmica

- l) Caminhada até a escada
- m) Descer as escadas do 4º pavimento ao térreo e subir retornando ao ponto de início. Ao término será utilizada a escala de Borg de percepção de esforço.
- n) Caminhada de volta ao laboratório
- o) Sentar e descansar até recuperar a frequência cardíaca do repouso (esse período de descanso ainda será monitorado).

Procedimentos posteriores ao experimento

- 11) Retirar os equipamentos
- 12) Questionar se há dúvidas e esclarecê-las

Instrumentos e equipamentos: finalidade do uso, possíveis riscos e desconfortos

Questionários: Ser-lhe-á pedido para que responda 2 (dois) questionário com tipos de questões diferentes. O primeiro pode ser respondido com o acompanhamento de um pesquisador da equipe. O segundo pode ser autorreportado, mas se sentir necessidade, um pesquisador da equipe poderá ajudá-lo. A maioria das questões é de múltipla escolha (tais como as questões 1.3, 1.4, 1.9, do item 1 - Informações pessoais; questões do item 2 - Hábitos alimentares e outros consumos, e questões do item 3 - Histórico clínico), algumas são de preenchimento de espaços com valores de tempos ou informações complementares (questões do item 4 - Nível de atividade física), e outras de escolha de um valor mais representativo em uma escala (questionário de autorreportação). As questões são relacionadas a informações pessoais, hábitos alimentares e outros consumos, histórico clínico, nível de atividade física, tempo e qualidade de sono, e sobre como você tem se sentido emocionalmente. Como lhe pediremos para compartilhar conosco algumas informações pessoais que serão tratadas com confidencialidade, caso sinta desconforto com algum tópico, não precisa responder, nem justificar suas razões para não compartilhá-las.

Escala de Borg de percepção de esforço: Essa escala é utilizada para registrar a autopercepção de esforço exercido. Ela será utilizada com valores variando de 1 a 10, onde 1 representa o mínimo de esforço exercido e 10 representa o esforço máximo. Ela será utilizada para identificar a autopercepção do participante em relação ao seu esforço e posterior comparação com os resultados de gasto energético.

Câmara climática: A câmara térmica manterá a temperatura em 25° C e a umidade do ar em 50% para fins de padronização das condições de execução das atividades do experimento. Esta condição, além de ser considerada como confortável para execução de trabalho, não oferece riscos à saúde no que tange a estresse térmico.

Balança mecânica com estadiômetro: Será utilizada para mensurar a estatura dos participantes.

Sistema de avaliação da composição corporal InBody 230: De forma geral, tais sistemas possibilitam avaliar a densidade corporal do participante por meio da emissão de uma corrente elétrica de baixa amplitude, imperceptível para a grande maioria da população, e frequência variando de 20kHz a 100 kHz aplicada ao corpo. Dessa forma, além do cálculo do peso do indivíduo, essa balança informa

porcentagem de gordura, de hidratação, de osso e de músculo, dentre outros possíveis parâmetros. Por isso, não se deve utilizar este sistema com pessoas com sensibilidade a pequenas correntes, nem utilizar o sistema em combinação com marca-passo, qualquer dispositivo eletrônico ou eletromagnético de manutenção de vida, ou dispositivos médicos eletrônicos ou eletromagnéticos portáteis, tal como um eletrocardiograma. Também lhe será pedido que não use brincos, anéis, pulseiras, relógios, colares, tornozeleiras, qualquer outra joia ou bijuteria que possa interferir no experimento ou oferecer qualquer risco à sua saúde.

Oxímetro Cosmed K4b2: Tal sistema é acoplado ao corpo do usuário com um colete onde prende-se uma bateria, e a unidade portátil (PU), estando esta última, ligada à máscara. A máscara e/ou o aparato de fixação dela na cabeça podem incomodar pela necessidade de estar bem vedada e fixa, respectivamente, e ser utilizada por todo o tempo do experimento. Além disso, a PU gera ruído constante que pode ser incômodo ao usuário.

Monitor de atividades Equivital: Esse dispositivo será utilizado para monitoramento de frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura da pele e movimentos por acelerometria. O aparelho é posto num bolso do colete que é vestido pelo usuário e, por uma abertura interna do colete, faz contato com a pele do utilizador na lateral esquerda do tórax numa altura imediatamente abaixo do peito. Os parâmetros monitorados serão coletados pelos sensores em contato com a pele e os dados serão armazenados no dispositivo. Não há relatos de riscos para o uso do dispositivo nessas condições.

Actígrafos ActiGraph wGT3X-BT: Esses dispositivos servirão para monitorar a quantidade de movimentos do usuário baseando-se em sensores dos quais os mais importantes são os acelerômetros triaxiais. Os dados dos movimentos são armazenados no dispositivo e posteriormente processados em computador. Os sensores medem 3.3 cm x 4.6 cm x 1.5 cm e serão fixados ao corpo no pulso do braço dominante, na cintura e no tornozelo dominante. Em termos de frequência, radiação e transmissão não há riscos à saúde para as atividades dessa pesquisa.

Monitor de frequência cardíaca Polar H7 Heart Rate: Esse dispositivo é ficado ao troco por uma cinta elástica de forma que os eletrodos façam contato com a pele do usuário na altura inferior do esterno. Ele permite monitorar dados da frequência cardíaca e sincronizar com o Equivital e com o K4b2 simultaneamente.

Crítérios de Exclusão de Voluntários

Por questões de segurança, serão excluídos os participantes que apresentarem:

- Doenças ou condições de limitações metabólicas;
- Doenças ou condições de limitação cardiovascular;
- Doenças renais
- Diabetes;
- Hipertensão arterial
- Neoplasias;
- Gestação ou suspeita de gravidez;
- Asma por esforço;
- Alergias a qualquer elemento ou atividade presente no experimento;
- Condição ou alteração de membros que interfira nos movimentos corporais;
- Obesidade acima do nível I;
- Depressão;
- Alcoolismo ou sofrimento por uso de outras substâncias

Como já mencionado, caso se sinta desconfortável sobre algum tópico questionado, não precisa responder, nem justificar suas razões de não querer compartilhá-las. Entretanto, pedimos que responda, sob compromisso de honra, principalmente as questões relacionadas à segurança dos participantes usadas para inclusão / exclusão de pessoas na amostra da pesquisa.

Benefícios

Não há benefícios diretos para os participantes mediante a participação nessa pesquisa. Entretanto, os benefícios para a sociedade estão relacionados à sua contribuição para nossa busca por melhorias nos cálculos de gasto energético baseados na quantidade de movimentos do corpo humano.

Reembolsos

Sua participação na pesquisa é completamente voluntária e não nos responsabilizaremos por eventuais gastos seus relacionados à sua participação. Portanto, não haverá qualquer pagamento ou reembolso caso venha a participar da pesquisa.

Confidencialidade

As informações pessoais coletadas para a pesquisa não serão compartilhadas com ninguém que não seja da equipe de investigação. As informações serão mantidas de posse da equipe. Nenhuma informação será divulgada de forma que permita a identificação dos participantes pela comunidade. Os dados serão tratados matematicamente e estatisticamente sem que permitam identificação do participante pela comunidade nem mesmo por outro participante. Os questionários e outros documentos gerados com a coleta de dados serão codificados e só o pesquisador principal da equipe de investigação terá acesso a esse código de identificação dos participantes. Independente dessa codificação, todas as informações serão tratadas com a equipe de forma sigilosa e confidencial.

Compartilhamento de resultados

Nada do que for dito pelos participantes será compartilhado com pessoas que não sejam pesquisadoras desta equipe. Nenhuma informação será atribuída nominalmente à sua pessoa. Os resultados da pesquisa deverão ser divulgados em teses, artigos acadêmicos em periódicos indexados, anais de eventos e outros meios de divulgação científica de forma anônima.

Direito de recusa ou desistência

Reafirmamos que sua participação é completamente voluntária e livre. É-lhe dado o direito de recusar-se a participar ou desistir a qualquer momento. Em caso de desistência, os dados coletados podem-lhe ser devolvidos, destruídos ou deletados dos nossos registros, conforme sua vontade e solicitação.

Contatos

Outras informações sobre esta pesquisa podem ser fornecidas por André Duarte Lucena, pelo número (351) 965509302, ou pelo endereço: up201500020@fe.up.pt

Part II: Certificado de Consentimento

Declaração do participante

Mediante o convite feito a mim para participar da pesquisa sobre determinação de gasto energético por actigrafia e variáveis fisiológicas, declaro que as informações deste Termo de Consentimento Informado, Livre e Esclarecido foram lidas por mim ou para mim. Declaro ainda que tive oportunidade de questionar e refletir sobre a pesquisa e sobre minha participação. Todas as questões me foram esclarecidas satisfatoriamente.

De forma livre e voluntária, eu consinto minha participação nesse estudo.

Especificamente, eu não consinto ou não quero:

(Preencha apenas se você deseja participar com alguma restrição. Neste caso, marque a(s) restrição(ões))

- Uso do sistema de avaliação da composição corporal InBody 230
- Uso do monitor de atividades Equivital
- Uso do monitor de frequência cardíaca Polar H7
- Uso do oxímetro Cosmed K4b2

Assinatura do Participante

Data: _____ de _____ de 2018.

Declaração do pesquisador

Eu, André Duarte Lucena, li atentamente as informações desse Termo de Consentimento para o potencial participante e me certifiquei de que tenha entendido de forma clara o que será feito:

1. Responder os questionários sobre informações pessoais, hábitos alimentares e outros consumos, histórico clínico, nível de atividade física, tempo e qualidade de sono, e estado emocional;
2. Uso dos equipamentos;
3. Execução de atividades na câmara climática e fora dela;

Confirmo que foi dado ao participante a oportunidade de questionar sobre o estudo e todas as questões foram esclarecidas de forma satisfatória. Também declaro que não houve qualquer coerção para que o participante desse seu consentimento, tendo sido feito de forma livre e voluntária.

Uma cópia desse termo será fornecida ao participante.

ANDRÉ DUARTE LUCENA

Assinatura _____

Data: _____ de _____ de 2018.

APÊNDICE F: Questionário 1 - Informações pessoais

QUESTIONÁRIO 1 - DIRECIONADO AOS PARTICIPANTES DO ESTUDO SOBRE MEDIÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO POR ACTIGRAFIA E OUTRAS VARIÁVEIS

O objetivo desse estudo é propor melhorias em alguns métodos de determinação de gasto energético. Suas respostas ajudarão a melhorar a compreensão da influência de alguns aspectos do corpo humano na determinação do gasto energético. As questões aqui apresentadas estão divididas em quatro grupos e são relacionadas a informações pessoais, hábitos alimentares e outros consumos, histórico clínico, e nível de atividade física. Agradecemos sua colaboração.

1. Informações pessoais

1.1 Nome: _____

1.2 Data de nascimento: ____/____/____ 1.3 Sexo: Masculino Feminino

1.4 E-mail: _____ 1.5 Telefone: _____

1.6 Mão Dominante: Direita Esquerda

1.7 Profissão / ocupação principal: _____ 1.8 Horário de trabalho: _____

1.9 Nacionalidade: _____ 1.10 Naturalidade: _____

1.11 Grupo étnico/cor (Nos interessa aspectos relacionados ao biótipo):

- Negro (africanos ou descendentes)
- Branco (europeus / descendentes de ocidentais)
- Mestiço (descendentes de indivíduos de cor / etnias diferentes – miscigenação / mestiçagem)
- Amarelo (Asiáticos ou descendentes / orientais)
- Outro _____

Observação que considere relevante sobre origem étnica (p.e.: filho de pais de nacionalidades diferentes, avós imigrantes, entre outros): _____

2. Hábitos alimentares e outros consumos

2.1 Descreva sua última refeição do dia de hoje: _____

2.2 Quantas refeições faz regularmente por dia? 2 3 4 5 6 Mais (quantas?) _____

2.3 Quais os horários das refeições? _____

2.4 Consome bebidas alcoólicas regularmente? Sim Não Se sim, qual a quantidade média? _____

Qual periodicidade (diariamente, às refeições, almoços ou jantares; semanalmente, etc.) _____

2.5 Consumiu álcool nas últimas 24hrs? Sim Não Se sim, quanto? _____

2.6 Faz uso de complementos ou suplementos alimentares (Ex.: Complexos vitamínicos, albumina, creatinina, proteína, suplementos proteicos, ácidos gordos, entre outros)? Sim Não Se sim, qual? _____

2.7 Consome água ou chá sem açúcar regularmente? Sim Não Quantos copos diários? _____

2.8 Consome outras bebidas com açúcar com frequência diária?
Sim Não Se sim, quantas chávenas por dia? _____

2.9 Faz uso de tabaco ou outros fumáveis? Sim Não Se sim, qual? _____ Frequência? _____

3. Histórico clínico

3.1 Tem histórico / diagnóstico de doenças crônicas? Sim Não Se sim, qual? _____

3.2 Tem histórico / diagnóstico de doenças respiratórias?

Asma Pneumonia Rinite Sinusite Tuberculose Efisema Pulmonar Outra: _____

3.3 Tem histórico de internação? Sim Não Se sim, por qual motivo? _____

3.4 Tem histórico de cirurgia? Sim Não Se sim, de quê? _____ Quando? _____

3.5 Tem histórico de alergias? Sim Não Se sim, especifique. _____

3.6 Antecedentes Familiares:

<u>Pai</u>	<u>Mãe</u>	<u>Irmãos</u>
<input type="checkbox"/> Diabetes	<input type="checkbox"/> Diabetes	<input type="checkbox"/> Diabetes
<input type="checkbox"/> Doença Cerebrovasculares (AVC)	<input type="checkbox"/> Doença Cerebrovasculares (AVC)	<input type="checkbox"/> Doença Cerebrovasculares (AVC)
<input type="checkbox"/> Hipertensão arterial	<input type="checkbox"/> Hipertensão arterial	<input type="checkbox"/> Hipertensão arterial
<input type="checkbox"/> Doenças cardiovasculares	<input type="checkbox"/> Doenças cardiovasculares	<input type="checkbox"/> Doenças cardiovasculares
<input type="checkbox"/> Neoplasias	<input type="checkbox"/> Neoplasias	<input type="checkbox"/> Neoplasias
<input type="checkbox"/> Outra: _____	<input type="checkbox"/> Outra: _____	<input type="checkbox"/> Outra: _____

Observação:

3.7 Faz uso de medicação habitual? Sim Não Se sim, qual? _____

3.8 Sente, no momento alguma alteração ou incômodo de saúde ou bem estar? Sim Não Se sim, especifique? _____

4. Nível de atividade física

Seção 4.1 - Nas últimas 24h realizou alguma atividade que exigiu maior esforço físico?

Sim Não Se sim, qual? _____

As próximas questões estão divididas em 5 Seções sobre atividade física na sua rotina de uma semana habitual: Atividade física no trabalho; Atividade física como meio de deslocamento / transportes; Trabalho doméstico, manutenção geral e cuidar da família; Atividades físicas e desportivas de recreação e tempos livres; e, Tempo sentado.

Ao respondê-las considere o seguinte:

Atividade física moderada: refere-se a atividades que requerem esforço físico moderado e torna a respiração um pouco mais intensa do que o normal.

Atividade física vigorosa: refere-se a atividades que requerem muito esforço físico e tornam a respiração muito mais intensa que o normal.

Seção 4.2 - Atividade física no trabalho ou ocupação

Esse domínio refere-se ao seu trabalho / atividade principal. Inclui trabalhos remunerados, trabalho agrícola, trabalho voluntário e outros trabalhos não remunerados que faça fora de casa. Não inclua trabalhos não remunerados que possa fazer em sua casa, como limpezas da casa, cuidar do jardim, manutenção geral ou cuidar da família. Sobre estas tarefas irá encontrar outras questões na Seção 4.4.

4.2a Tem, presentemente, emprego, ocupação ou algum trabalho não remunerado (ex.: estudos) fora de casa?

Sim Não (Se não, passe para as questões do **Seção 4.3**)

As seguintes questões referem-se a toda a atividade física que faz durante uma semana habitual como parte do seu trabalho remunerado ou não remunerado. Não inclui viagem de ida e volta para o emprego. Pense apenas nas atividades físicas que faz **no mínimo por 10 minutos seguidos**.

[Atividade Vigorosa no trabalho]

4.2b Habitualmente, por semana, quantos dias faz atividade física **vigorosa**, como levantar e/ou transportar objetos pesados, cavar ou subir escadas, como parte do seu trabalho?

____ dias por semana Nenhum (Passe para a questão **4.2d**)

4.2c Habitualmente, quanto tempo depende num desses dias a fazer atividade física vigorosa no seu emprego?

____ horas ____ minutos

[Atividade Moderada no trabalho]

4.2d Normalmente, por semana, quantos dias faz atividade física **moderada**, como levantar e/ou transportar cargas leves, no seu emprego?

____ dias por semana Nenhum (Passe para a questão **4.2f**)

4.2e Quanto tempo depende num desses dias a fazer atividade física moderada no seu emprego?

____ horas ____ minutos

[Caminhada no trabalho]

4.2f Habitualmente, por semana, quantos dias **caminha** pelo menos 10 minutos seguidos no seu trabalho? Por favor, **não** considere as viagens de ida e volta para o emprego.

____ dias por semana Nenhum (Passe para a **Seção 4.3: Deslocamento / transporte**)

4.2g Normalmente quanto tempo despende num desses dias a caminhar no seu emprego?

____ horas ____ minutos

4.2h Quando caminha no seu emprego, qual o passo normalmente utilizado? Caminha com:

Passo **vigoroso** Passo **moderado** Passo **lento**

Seção 4.3: Atividade física como meio de deslocamento / transportes

Estas questões referem-se ao modo como usualmente se desloca de um lugar para outro, incluindo emprego, lugares de lazer, locais de compras, entre outros.

[Viagem em veículo motorizado]

4.3a Normalmente, por semana, quantos dias **viaja num veículo a motor** como comboio / trem, autocarro / ônibus, carro ou elétrico?

____ dias por semana Nenhum (Passe para a questão **4.3c**)

4.3b Quanto tempo despende num desses dias **a viajar** de carro, autocarro / ônibus, comboio / trem ou outro tipo de **transporte motorizado**?

____ horas ____ minutos

Agora considere **apenas** os deslocamentos de bicicleta ou a pé que poderia fazer para se deslocar para o trabalho e para casa, para fazer compras, ou para se deslocar de um lugar para outro.

[Deslocamento de Bicicleta]

4.3c Normalmente, por semana, quantos dias anda pelo menos 10 minutos, **de bicicleta** para se deslocar?

____ dias por semana Nenhum (Passe para a questão **4.3f**)

4.3d Quanto tempo despende por dia a deslocar-se **de bicicleta** de um lugar para o outro?

____ horas ____ minutos

4.3e Quando anda de bicicleta, a que velocidade normalmente se desloca?

Velocidade **rápida** Velocidade **moderada** Velocidade **lenta**

[Caminhada como deslocamento]

4.3f Normalmente, por semana, quantos dias **caminha**, durante pelo menos 10 minutos, para se deslocar de um lugar para outro?

____ dias por semana Nenhum (Passe para a **Secção 4.4: Trabalho Doméstico**)

4.3g Quanto tempo despende por dia **a caminhar** de um lugar para outro?

___ horas ___ minutos

4.3h Quando se desloca a pé de um lugar para outro qual o passo normalmente utilizado?

Passo **vigoroso**

Passo **moderado**

Passo **lento**

Seção 4.4: Trabalho doméstico, Manutenção Geral e Cuidar da Família

Esta seção refere-se a algumas das atividades físicas que pode fazer numa semana em casa, por exemplo, as limpezas, jardinagem, trabalhos gerais de manutenção ou cuidar da família. Mais uma vez, considere apenas as atividades físicas que faça **pelo menos durante 10 minutos seguidos**.

[Atividade Vigorosa em trabalhos domésticos]

4.4a Normalmente, por semana, quantos dias faz atividade física **vigorosa**, como levantar e/ou transportar objetos pesados, cortar madeira, limpar neve ou cavar no jardim/quintal.

___ dias por semana

Nenhum (passe para a questão **4.4c**)

4.4b Quanto tempo despende por dia a fazer atividade física **vigorosa** no jardim/quintal?

___ horas ___ minutos

[Atividade Moderada em trabalhos domésticos]

4.4c Normalmente, por semana, quantos dias faz atividade física **moderada**, como levantar e/ou transportar objetos leves, limpar/lavar janelas, varrer, esfregar/limpar o chão, ou podar o jardim e/ou quintal?

___ dias por semana

Nenhum (passe para a questão **4.4e**) (passe para a **Secção 4.5: Atividades Físicas de Recreação, Desporto e Tempos Livres**).

4.4d Normalmente, quanto tempo despende por dia a fazer atividade física **moderada** no seu jardim/quintal?

___ horas ___ minutos

Seção 4.5: Atividades Físicas e Desportivas de Recreação e Tempos Livres

Esta secção refere-se a toda a atividade física e desportiva que efetua no seu tempo livre para recreação numa semana. Mais uma vez, considere apenas a atividade que faz durante **pelo menos 10 minutos seguidos**. Por favor, **NÃO** inclua qualquer atividade que já tenha mencionado.

[Desporto ou atividade física VIGOROSA]

4.5a Normalmente, por semana, quantos dias nos seus tempos livres faz atividade física **vigorosa** como ginástica aeróbica, corrida, bicicleta, natação?

___ dias por semana

Nenhum (passe para a questão **4.5c**)

4.5b Normalmente, nos seus tempos livres, quanto tempo despende a fazer atividade física **vigorosa**?

____ horas ____ minutos

[Desporto ou atividade física MODERADA]

4.5c Normalmente, por semana, quantos dias nos seus tempos livres faz atividade física **moderada** como andar de bicicleta a uma velocidade moderada, nadar e jogar ténis?

____ dias por semana Nenhum

4.5d Quanto tempo costuma despende por dia a fazer atividade física moderada nos seus tempos livres/lazer?

____ horas ____ minutos

[Caminhada recreativa ou como desporto]

4.5e Não considerando qualquer tipo de caminhada que já tenha referido, normalmente, por semana, quantos dias anda durante pelo menos 10 minutos seguidos no seu tempo livre/lazer?

____ dias por semana Nenhum

4.5f Quanto tempo despende normalmente por dia a andar no seu tempo livre/ lazer?

____ horas ____ minutos

4.5g Quando anda nos seus tempos livres, a que intensidade normalmente o faz?

Passo **vigoroso** Passo **moderado** Passo **lento**

Agradecemos seu precioso tempo e informações!

APÊNDICE G: Questionário 2 - Sono e estado emocional

QUESTIONÁRIO 2 - DIRECIONADO AOS PARTICIPANTES DO ESTUDO SOBRE MEDIÇÃO DE GASTO ENERGÉTICO POR ACTIGRAFIA E OUTRAS VARIÁVEIS

O objetivo desse estudo é propor melhorias em alguns métodos de determinação de gasto energético. Suas respostas ajudarão a melhorar a compreensão da influência de alguns aspectos do corpo humano na determinação do gasto energético. As questões aqui apresentadas estão divididas em três grupos e são relacionadas ao ciclo menstrual (quando se aplicar), seu tempo e qualidade do sono, e a como tem se sentido na última semana. Agradecemos sua colaboração.

PARTE I: Ciclo menstrual

- a) Está gestante ou há possibilidade de estar? Sim Não
- b) Está em algum desses períodos do ciclo? Menstruação Período pré-menstrual Nenhum
- c) Usa métodos contraceptivos de princípio hormonal? Sim Não Se sim, qual? _____

PARTE II: Tempo e qualidade do sono

1. Quantas horas costuma dormir à noite de forma ininterrupta? _____ horas
2. Costuma fazer pausas de descanso durante o dia? Sim Não
3. Costuma dormir nessas pausas? Sim Não

Qualidade do Sono

As questões seguintes referem-se aos seus hábitos de sono durante a última semana. Suas respostas devem demonstrar, de forma mais precisa possível, o que aconteceu na maioria dos dias e noites apenas na última semana. Por favor, responda a todas as questões.

Durante a última semana:

4. A que horas você costumava deitar-se para dormir? _____
5. Quanto tempo (em minutos) habitualmente você levou para adormecer à cada noite? _____
6. A que horas você costumava levantar da cama? _____
7. Quantas horas de sono realmente você teve à noite? (esta resposta pode ser diferente do número de horas que você permaneceu na cama) _____

Para cada uma das questões a seguir, marque a melhor resposta. Por favor, responda a todas as questões.

8. Durante a semana passado, com que frequência você teve problemas de sono em virtude de
- | | | | |
|-------------|-------|---------|-----------------|
| Nenhuma vez | 1 vez | 2 vezes | 3 ou mais vezes |
|-------------|-------|---------|-----------------|

a) Não conseguir dormir dentro de 30 minutos

b) Despertar no meio da noite ou de madrugada

c) Ter que levantar à noite para ir à casa de banho / banheiro

d) Não conseguir respirar confortavelmente

e) Tossir ou roncar onfortavelmente

f) Sentir muito frio

g) Sentir muito calor

h) Ter pesadelos

i) Sentir dor

j) Outras razões, por favor descreva a Frequência

9. Durante a última semana, com que Frequência você ingeriu medicamentos (prescritos ou não) para auxiliá-lo(a) a dormir?

10. Durante a última semana, com que Frequência você teve problemas para permanecer acordado(a) enquanto dirigia o automóvel, fazia refeições ou participava de atividade social?

11. Durante a última semana, quão problemático foi manter o entusiasmo para completar suas tarefas?

Muito bom Bom Ruim Muito ruim

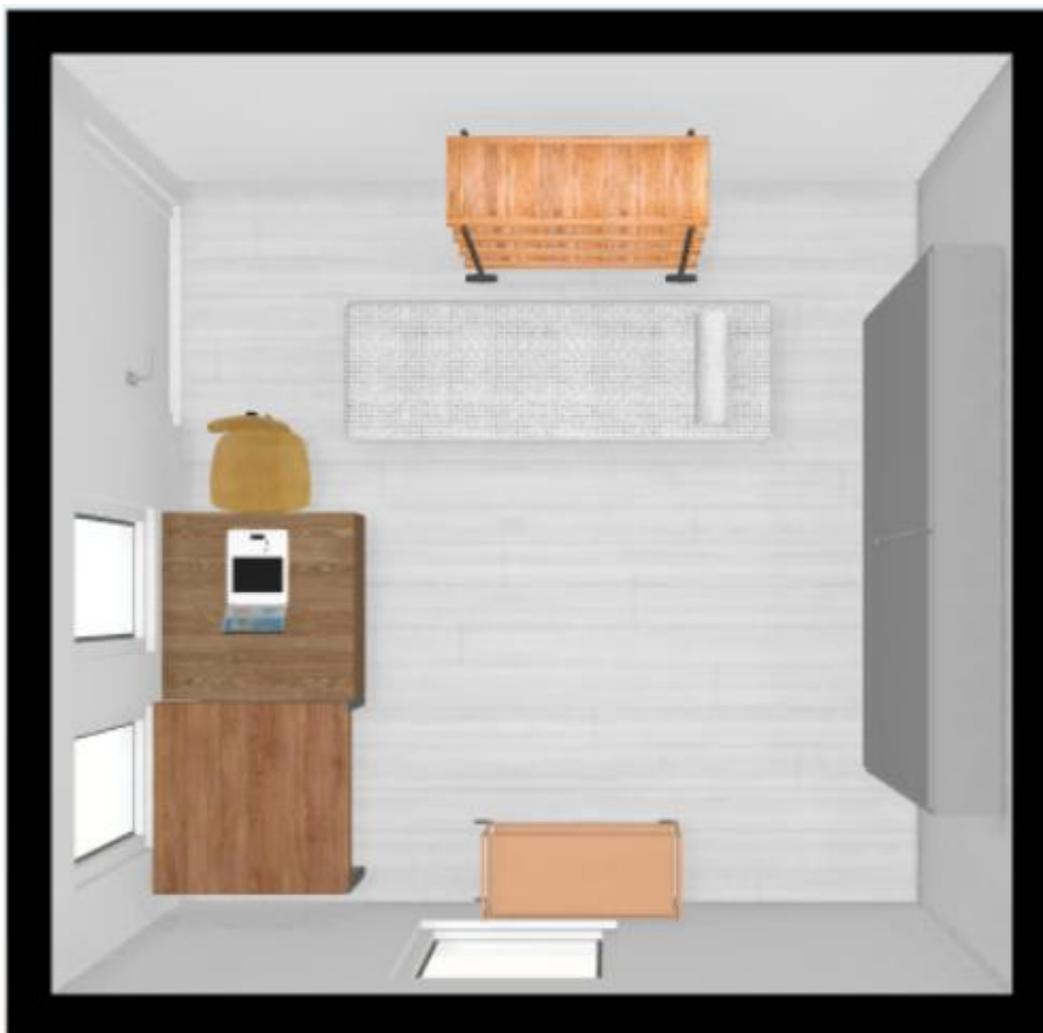
12. Durante a última semana, em geral, como você classificaria a qualidade do seu sono?

PARTE III: Como você tem se sentido nos últimos dias?

Por favor, leia cada afirmação e assinale dentre as 4 primeiras colunas aquela que melhor indica quanto cada afirmação se aplicou a si durante a semana passada. Caso qualquer dessas afirmações aplique-se a você para este exato momento, assinale na última coluna, independente das anteriores. Não há respostas certas ou erradas. Não leve muito tempo a indicar as suas respostas em cada afirmação.

	Aplicou-se a mim				Agora mesmo
	Nada	Algumas vezes	Muitas vezes	A maioria das vezes	
1. Tive dificuldades em me acalmar					<input type="checkbox"/>
2. Senti a minha boca seca					<input type="checkbox"/>
3. Não consegui sentir nenhum sentimento positivo					<input type="checkbox"/>
4. Senti dificuldades em respirar					<input type="checkbox"/>
5. Tive dificuldade em tomar iniciativa para fazer coisas					<input type="checkbox"/>
6. Tive tendência a reagir em demasia em determinadas situações					<input type="checkbox"/>
7. Senti tremores (por exemplo, nas mãos)					<input type="checkbox"/>
8. Senti que estava a utilizar muita energia nervosa					<input type="checkbox"/>
9. Preocupei-me com situações em que podia entrar em pânico e fazer figura ridícula					<input type="checkbox"/>
10. Senti que não tinha nada a esperar do futuro					<input type="checkbox"/>
11. Dei por mim a ficar agitado					<input type="checkbox"/>
12. Senti dificuldade em me relaxar					<input type="checkbox"/>
13. Senti-me desanimado e melancólico					<input type="checkbox"/>
14. Estive intolerante em relação a qualquer coisa que me impedisse de terminar aquilo que estava a fazer					<input type="checkbox"/>
15. Senti-me quase a entrar em pânico					<input type="checkbox"/>
16. Não fui capaz de ter entusiasmo por nada					<input type="checkbox"/>
17. Senti que não tinha muito valor como pessoa					<input type="checkbox"/>
18. Senti que por vezes estava sensível					<input type="checkbox"/>
19. Senti alterações no meu coração sem fazer exercício físico					<input type="checkbox"/>
20. Senti-me assustado sem ter tido uma boa razão para isso					<input type="checkbox"/>
21. Senti que a vida não tinha sentido					<input type="checkbox"/>

APÊNDICE H: Arranjo físico da câmara climática utilizada na pesquisa



Elaborado com floorplanner.com

Disponível em: <<https://floorplanner.com>>