

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

ANA CRISTINE VOLPATO

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE PRÓTESES ESPECÍFICAS NAS DEMANDAS
ENERGÉTICAS DA CORRIDA: uma revisão sistemática**

Florianópolis,

2018

Ana Cristine Volpato

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE PRÓTESES ESPECÍFICAS NAS DEMANDAS
ENERGÉTICAS DA CORRIDA:
Uma revisão sistemática**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
Educação Física – Bacharelado do Centro de
Desportos da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito para a obtenção do Título
de Bacharel em Educação Física.
Orientador: Prof. Dra. Gabriela Fischer

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Volpato, Ana Cristine

Influência da utilização de próteses específicas nas
demandas energéticas da corrida : Uma revisão sistemática
/ Ana Cristine Volpato ; orientador, Gabriela Fischer,
2018.

41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Desportos, Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Amputação. 3. Próteses. 4. Corrida.
5. Custo metabólico. I. Fischer, Gabriela . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Educação Física. III. Título.

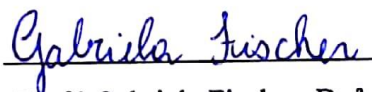
Ana Cristine Volpato

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE PRÓTESES ESPECÍFICAS DE CORRIDA NAS
DEMANDAS ENERGÉTICAS DA CORRIDA: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Educação Física” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, com a nota 9,8

Florianópolis, 27 de novembro de 2018.

Banca Examinadora:



Prof.^a Gabriela Fischer, Dr.^a

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Myla Bittencourt, Me.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Grazieli Maria Biduski, Bel.

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial meus pais, Jaime e Mariléia, que nunca mediram esforços para que eu pudesse e possa realizar os meus sonhos. Aos meus avós, Levino e Iolanda, José (in memorian) e Celi, e também à minha avó do coração, Adília (in memorian), por serem meus maiores exemplos. Ao meu irmão Rodrigo, por estar sempre presente, me apoiando em qualquer situação. E aos demais familiares, em especial aos meus padrinhos, que sempre me deram carinho e demonstraram preocupação.

À minha orientadora Dra. Gabriela Fischer, que me conduziu durante esta importante etapa da minha graduação, ao professor Dr. Rodrigo Sudatti Delevatti, professor da disciplina de TCC II, que deu o suporte necessário para que a realização deste trabalho fosse possível, e ao colega Diego Antunes, revisor do trabalho.

Aos professores e servidores técnico-administrativos do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina. Em especial aos professores Dr. Edison Roberto de Souza e Dr. Luciano Lazzaris Fernandes, com os quais tive a honra e o privilégio de trabalhar. Aos professores Dr. Ricardo Dantas de Lucas e Dra. Rosane Carla Rosendo, aos quais tenho a mais profunda admiração enquanto pessoas e educadores. Aos servidores André Nascimento, que nunca mediu esforços para ajudar a resolver as questões mais conflituosas do curso – sempre com algum assunto para descontrair nos momentos mais caóticos –, Tatiane Pereira e Lucas Siqueira, colegas de trabalho que se tornaram amigos muito especiais.

Aos meus colegas de curso – de todas as turmas pela qual passei – os quais tiveram extrema importância para minha formação. Aos amigos do LAEF, laboratório do qual participei e tanto aprendi. À minha banca examinadora, Grazieli Biduski e Myla Bittencourt que, além de excelentes profissionais, são grandes amigas.

À Western Kentucky University, ao ESLI at WKU e a todos os meus amigos que tive o prazer de dividir o momento mais especial da minha vida.

E, finalmente, aos meus amigos, em especial à Julia Mattos, Jeniffer de Jesus, Karen Tassiro, Tainá Oliveira, Djulia Koch, Catarina Puttkammer, André Martins, Silas Nery, Jaelson Ortiz, Igor Valentim, Kelli Rodrigues, Amabile Faria, Monique Vargas, Laís Peixoto, dentre outros que podem ter passado despercebidos, mas que têm papel fundamental na minha vida.

Obrigada a todos os envolvidos de alguma forma nesta etapa da minha vida. Se não fosse pelo apoio de todos, a realização deste trabalho não teria sido possível.

RESUMO

A evolução dos modelos protéticos, desde o seu surgimento, possibilitou que atletas amputados obtivessem um desempenho esportivo cada vez mais elevado. A classificação de um atleta amputado para as quartas de final dos Jogos Olímpicos de Londres, em 2012, levantou questionamentos acerca de uma possível vantagem da utilização de próteses em relação aos membros intactos na corrida e ganhou grande destaque no âmbito esportivo. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a influência da utilização de próteses específicas de corrida nas demandas energéticas da corrida de pessoas amputadas em comparação a pessoas sem deficiência. As buscas foram realizadas em três bases de dados eletrônicas: *PubMed/MedLine*, *Scopus* e *Web of Science*, utilizando as seguintes palavras-chave: (*amputation OR amputee*) AND (*run OR running OR runner*) AND (*prosthesis OR prosthetics*). As buscas resultaram em 1256 artigos que, após análise e exclusão de cópias duplicadas, totalizaram 1164 estudos. A seleção de artigos foi realizada individualmente por dois revisores e dividida em duas etapas: leitura de títulos e resumos e leitura na íntegra dos artigos. Para inclusão neste estudo, foram determinados quatro critérios de elegibilidade: a) corrida com qualquer tipo de prótese, excluída qualquer outra forma de locomoção; b) participantes com qualquer nível de amputação e/ou treinamento; c) análise das variáveis custo metabólico ou economia de corrida; d) presença de grupo controle. Passada a primeira etapa de busca, 4 artigos foram selecionados para a leitura na íntegra e, atendendo a todos os critérios pré-determinados, foram inclusos nesta revisão. Os artigos selecionados avaliaram sujeitos com amputação bilateral transtibial (n = 2), unilateral transtibial (n = 8) e unilateral transfemoral (n = 3). De acordo com os resultados encontrados, a corrida com próteses específicas de corrida possibilita aos atletas amputados valores de custo metabólico similares aos do grupo controle. As velocidades máximas alcançadas por estes atletas, entretanto, são significativamente menores. Quando considerados os níveis de amputação, ficou claro que quanto mais proximal a excisão, maiores as desvantagens. Sendo assim, é possível afirmar que as próteses específicas de corrida permitem aos atletas amputados um melhor desempenho na corrida quando comparadas às próteses tradicionais, e um desempenho semelhante aos atletas sem deficiência.

Palavras-chave: Amputação. Próteses. Corrida. Custo Metabólico.

ABSTRACT

The evolution of prosthetic models since their first appearance enabled amputee athletes to achieve an increasingly higher performance. The qualification of an amputee athlete to the quarter finals in 2012 Olympic Games, in London, raised the question about possible advantages of running with prosthesis rather than running with intact limbs and attaining as a highline in the sports field. Thus the purpose of the present study was to execute a systematic review of literature about the influence of running specific prosthesis in the energetic demands of amputees running compared to abled body running. The research was made in three electronic databases: PubMed/MedLine, Scopus and Web of Science, using the following key words: (*amputation OR amputee*) AND (*run OR running OR runner*) AND (*prosthesis OR prosthetics*). The research resulted in 1256 articles, which after analysis and duplicates exclusion totalize 1164 studies. The selection of articles was performed individually by two reviewers and divided in two stages: titles and abstracts reading then full text reading. Four eligibility criteria were applied to determine the articles included in this study: a) running with any prosthetic model, excluding any other form of locomotion; b) participants with any amputation and/or training level; c) analysis of outcomes metabolic cost or running economy; d) presence of control group. After the first stage of research 4 articles were selected to full text reading and thus, by attending all criteria previously determined, were included in this review. The articles selected evaluated subjects with bilateral transtibial amputation (n = 2), unilateral transtibial amputation (n = 8) and unilateral transfemoral (n = 3). According to the results found, running specific prosthesis enable amputee athletes to reach similar metabolic cost values when compared to control group. Although amputees achieve significantly lower peak speeds than control group. When considered the amputation levels, it was clear that the more proximal the amputation the more disadvantages. Thus, it is possible to affirm that running specific prosthesis allow amputee athletes better running performance when compared to traditional prosthesis and similar performance when compared to abled body athletes.

Keywords: Amputation. Prostheses. Running. Metabolic Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Solid Ankle Cushion Heel</i> – “ <i>SACH foot</i> ”.....	20
Figura 2 – Protótipo “ <i>Flex foot</i> ” (Össur, Reykjavik, Iceland).....	20
Figura 3 – Diferente tipos de próteses específicas de corrida: (A) <i>Cheetah</i> (Össur), (B) <i>Flex-sprint</i> (Össur), (C) <i>Flex-run</i> (Össur), (D) <i>Sprinter</i> (Otto Bock) e (E) <i>C-sprint</i> (Otto-Bock)...	21
Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos estudos	27
Tabela 2 - Respostas dos testes máximas	29
Tabela 3 - Custo metabólico.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SACH foot – *Solid ankle cushioned heel* ou prótese tradicional

RSP – próteses específicas de corrida ou *flex foot*

VO₂máx – consumo máximo de oxigênio

TTA – amputação transtibial

TFA – amputação transfemoral

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	HIPÓTESES	17
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
2	DESENVOLVIMENTO	18
2.1	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1.1	Amputação	18
2.1.2	Tipos de Próteses	19
2.1.3	Configuração das próteses	21
2.1.4	Corrida com próteses	22
2.1.5	Bioenergética	22
2.1.6	Impacto da utilização de próteses de carbono na bioenergética da corrida	23
3	MÉTODOS	24
3.1	ESTRATÉGIA DE BUSCA.....	24
3.1.1	Critérios de elegibilidade	24
3.1.1.1	Forma de locomoção	24
3.1.1.2	Participantes	24
3.1.1.3	Variável analisada	24
3.1.1.4	Grupo controle.....	25
4	RESULTADOS	26
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS INCLUSOS.....	26
4.2	RESPOSTAS MÁXIMAS COM RSP	28
4.3	CUSTO METABÓLICO.....	30
4.3.1	Atletas amputados x grupo controle	30

4.3.2	RSP x SACH foot	30
5	DISCUSSÃO	32
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O movimento paralímpico teve início em meados dos anos 40 com objetivo de reabilitação e reinserção dos mutilados de guerra por meio do esporte. Historicamente, observa-se, portanto, uma predominância da deficiência motora nas modalidades esportivas competitivas. Todavia, as amputações foram inseridas no paradesporto apenas em 1976, nos Jogos de Toronto (PARSONS; WINCKLER, 2012).

Embora a maior causa associada às amputações seja relativa a doenças vasculares, o perfil dos atletas amputados difere bastante deste fator etiológico, estando mais comumente ligado a traumas, malformações congênitas ou cânceres. A ausência de membros inferiores tem influência direta sobre a locomoção e, conseqüentemente, a prática esportiva de pessoas com deficiência (MEYER; EDWARDS, 2014).

As primeiras próteses, conhecidas como *SACH foot*, foram desenvolvidas no final dos anos 50, nos Estados Unidos, com material rígido e pouca tecnologia aplicada. Somente a partir de 1988, nos Jogos Paralímpicos de Seul, surgiram as primeiras próteses específicas para corrida, ou *flex foot*, desenvolvidas com carbono, um material leve e flexível que permitiu aos atletas alcançar altas velocidades (NOLAN, 2008). A utilização de próteses é recomendada quando o indivíduo apresenta amputação, pelo menos, a nível transtibial, entretanto elas não promovem em sua totalidade a função biológica oferecida pelos membros. Em casos de amputações em níveis mais proximais (desarticulação de joelho, transfemoral), o indivíduo passa a ter maiores dificuldades no estabelecimento do padrão de marcha ou corrida. Isto se dá devido à ausência da articulação do joelho, que prolonga a fase de balanço da marcha, tendo como consequência um movimento saltado (MEYER; EDWARDS, 2014).

De acordo com Grobler, Ferreira e Terblanche (2015), os avanços tecnológicos aplicados às próteses de corrida foram essenciais para os resultados obtidos por atletas amputados. Nos Jogos Olímpicos de Londres 2012, um atleta com amputação transtibial bilateral (T43) chegou à fase semi-final dos 400m. Tal fato levantou a hipótese de que a utilização de próteses com alta tecnologia aplicada poderia apresentar funções similares ou até mesmo superiores ao membro intacto, devido a um maior retorno elástico da prótese (WEYAND et al., 2009).

O custo metabólico é compreendido como a capacidade de um indivíduo se locomover economicamente. Em outras palavras, representa a quantidade de oxigênio utilizada para percorrer uma dada distância. (DI PRAMPERO et al., 1986). O organismo de indivíduos

amputados sofre alterações quando comparados ao organismo de indivíduos sem deficiência. Isto porque a ausência do membro provoca alterações no retorno venoso, na frequência cardíaca máxima, e na taxa metabólica de repouso, por exemplo (BROWN; MILLARD-STAFFORD; ALLISON, 2009). A avaliação dos componentes fisiológicos de pessoas sem deficiência, portanto, não se aplica à população amputada.

Uma pesquisa realizada por Bruggemann et al. (2009), reitera que a utilização de próteses específicas de corrida possibilita que um atleta com amputação bilateral transtibial alcance o mesmo nível de desempenho quando comparado a atletas sem deficiência, porém, com menor custo metabólico. Estudos apontam que a utilização de próteses específicas de corrida permite a obtenção de valores de custo metabólico iguais aos de atletas sem deficiência. Entretanto, há evidências de que a eficiência energética da corrida nessas condições é prejudicada (NOLAN, 2008).

Ainda existem muitos questionamentos quando se refere à possível vantagem ou desvantagem do uso de próteses na corrida. Todavia, atletas amputados têm apresentado resultados cada vez melhores em competições esportivas, aproximando-se dos números alcançados por atletas sem deficiência.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática sobre da influência do uso das próteses específicas de corrida nas demandas energéticas da corrida de atletas amputados em comparação a atletas sem deficiência.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar o impacto do uso das próteses no desempenho da corrida de pessoas amputadas em comparação ao grupo controle;
- Verificar o impacto do uso das próteses no custo metabólico da corrida de pessoas amputadas em comparação ao grupo controle;
- Verificar a influência do tipo de prótese no custo metabólico da corrida de pessoas amputadas;

- Comparar a influência do nível de amputação sobre o custo metabólico da corrida de amputados.

1.2 HIPÓTESES

- O desempenho na corrida é superior para o grupo controle quando comparado aos atletas amputados;
- As próteses específicas de corrida permitem às pessoas amputadas um custo metabólico similar ao grupo controle;
- As próteses específicas de corrida permitem às pessoas amputadas um custo metabólico menor que as próteses tradicionais;
- As amputações em níveis mais distais permitem melhor desempenho na corrida.

1.3 JUSTIFICATIVA

Desde o desenvolvimento das primeiras próteses que permitiram a participação de pessoas amputadas no âmbito esportivo, os investimentos financeiros e midiáticos aplicado nesta área tomaram proporções consideráveis. O avanço tecnológico atingido, bem como os resultados obtidos por atletas amputados, levantou uma questão que ainda causa divergências na comunidade científica: a utilização de próteses promove vantagens em relação ao membro intacto? Tal questionamento foi evidenciado em 2012, quando um atleta com amputação bilateral transtibial conquistou uma vaga para as quartas de final olímpicas dos 400m. A curiosidade acerca desta resposta e a afinidade determinaram a escolha do tema.

Durante as disciplinas do curso de Bacharelado em Educação Física, principalmente a Educação Física Adaptada e, posteriormente, o Esporte Adaptado, tive a oportunidade de conhecer um pouco sobre o universo da educação física para pessoas com deficiência. Esta experiência despertou uma nova área de interesse para minha atuação. Ressalto ainda a paixão pela fisiologia que desde o início da minha graduação esteve presente. Experiências obtidas no LAEF – Laboratório de Esforço Físico – da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como disciplinas de tópicos avançados em fisiologia do exercício cursadas na Western Kentucky University, tiveram extrema importância para a delimitação do tema aqui discutido, bem como para minha formação acadêmica e profissional.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 Amputação

A amputação é definida como a ausência ou retirada, total ou parcial, de um ou mais membros (CARVALHO, 2003). De acordo com o Ministério da Saúde (2012), a Organização Mundial da Saúde estima que 85% de todas as amputações correspondem a membros inferiores, o que, geralmente, resulta em um prejuízo permanente com a redução da mobilidade do indivíduo (MEYER; EDWARDS, 2014).

Quando de origem congênita, a amputação é associada a malformações que resultam em uma deficiência motora. Já na retirada cirúrgica do membro, pode estar associada a traumas, cânceres, doenças vasculares periféricas ou metabólicas. Dados levantados em 2011 pelo Serviço de Informações hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIHSUS), apontam que cerca de 33% das causas de amputação do Sistema Único têm origem traumática, seguida por doenças infecciosas, 17%, e doenças do aparelho circulatório, 16%. Apenas 0,4% das amputações têm origem congênita (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

A amputação de um membro pode ocorrer em vários níveis, que devem ser determinados por diversos fatores relativos à sua etiologia, à idade do paciente e à necessidade (LIANZA, 1995). Primordialmente, uma amputação pode ser uni ou bilateral. Em relação ao membro inferior, pode ser classificada em oito níveis – hemipelvectomy, desarticulação de quadril, transfemoral, desarticulação de joelho, transtibial, desarticulação de tornozelo, e parcial do pé (PEDRINELLI, 2004).

Segundo Mezghani-Masmoudi et al. (2004), as deficiências que afetam os membros inferiores estão relacionadas a maiores prejuízos nas habilidades funcionais e profissionais. Brown, Millard-Stafford e Allison (2009) enfatizam a adoção de um estilo de vida sedentário após a amputação como fator primordial para índices precários de aptidão física e predisposição a doenças crônicas. Além dos efeitos psicológicos causados pela ausência de um ou mais membros – questões relacionadas à imagem corporal, dores fantasmas, depressão –, destacam-se alterações fisiológicas e biomecânicas primordialmente no que se refere à locomoção (SCHOPPEN et al., 2003; MEYER; EDWARDS, 2014).

Embora a amputação por si própria não comprometa as respostas fisiológicas ao exercício, algumas alterações são manifestadas pelo organismo. Há uma tendência a um gasto

energético aumentado devido à ineficiência do movimento, bem como assimetrias e maior propensão a lesões devido a estratégias compensatórias que tendem a sobrecarregar outras áreas (MEYER; EDWARDS, 2014). Brown, Millard-Stafford e Allison (2009) ainda sugerem alterações hemodinâmicas do organismo após a amputação – bem como mudanças na composição corporal e nos níveis de força muscular.

A amputação de membros inferiores provoca alterações primordialmente sobre a marcha (MEYER; EDWARDS, 2014). Um estudo de Waters et al. (1976), evidencia a influência do nível de amputação nas alterações orgânicas do indivíduo. Quanto mais proximal o nível da amputação, maior o prejuízo no padrão motor. Ademais, podem-se apontar alterações na postura, equilíbrio e amplitude articular (PASTRE et al., 2005).

Após a amputação de um ou mais membros, entretanto, os pacientes são preparados para receber uma prótese, possibilitando assim a devolução da autonomia à pessoa amputada. Para isto, os pacientes são encaminhados a duas fases que compõem a reabilitação: a fase pré-protética e a fase protética. Nesse período, o sujeito recebe orientações e treinamentos a respeito de sua nova condição física e cuidados necessários com o coto. Já na fase protética, o paciente é preparado para fazer a utilização correta da prótese (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

2.1.2 Tipos de Próteses

Próteses existem há milhares de anos, entretanto, nem mesmo as mais tecnológicas, são capazes de fornecer as mesmas funções biológicas que o membro intacto (WEYAND et al., 2009). Atualmente é possível encontrar diversos modelos de próteses no mercado, e a escolha da prótese correta permite à pessoa com deficiência um melhor desempenho em atividades da vida diária e/ou esportivas (DE LUIGI; COOPER, 2014).

O protótipo “*Solid Ankle Cushioned Heel*” ou “*SACH foot*” foi desenvolvido no final dos anos 50, nos Estados Unidos, e não sofreu modificações significativas em sua estrutura desde então (NOLAN, 2008). Conforme a figura 1, é composto de uma quilha rígida confeccionada em madeira e envolta por polímeros de diferentes densidades que fornecem a função de amortecimento do impacto do tornozelo protético para com o solo – o que garante maior estabilidade, mantendo a rigidez da articulação (PARADISI et al., 2015). O *SACH foot*, ou prótese tradicional, não permite o alcance de velocidades de corrida devido à sua tensão, entretanto, é acessível, leve e funcional para caminhada (BROWN, MILLARD-STAFFORD, ALLISON, 2009; MENGHELKOCH, KAHLE, HIGHSMITH, 2014).

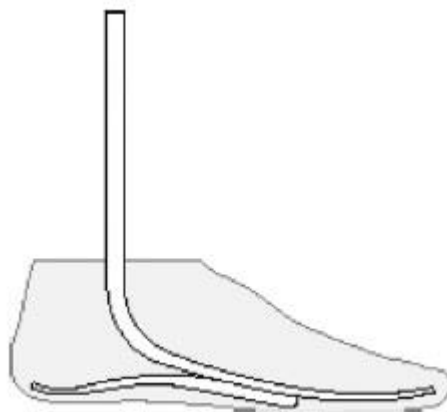
Figura 1 – *Solid Ankle Cushion Heel* – “SACH foot”.



Fonte: Mengelkoch, Kahle e Highsmith (2014).

Já as próteses específicas de corrida (RSP), ou “*flex foot*”, surgiram no esporte competitivo em 1988, nas Paralimpíadas de Seul, ainda com a utilização do calcanhar protético conforme a figura 1 – que seria retirado por alguns atletas nos Jogos seguintes, dando origem às primeiras próteses que permitiram *sprints* na corrida de atletas amputados (PAILLER et al., 2004), conforme a figura 2. Estas próteses, também conhecidas como “*J-shaped*” ou “*blades*”, foram desenvolvidas nos anos 80, na Islândia. São confeccionadas em fibra de carbono – um material resistente, leve e flexível – e projetadas especificamente para corrida, visto que permitem o armazenamento de energia na fase de apoio e sua subsequente liberação, na fase de propulsão. (NOLAN, 2008; BROWN, MILLARD-STAFFORD, ALLISON, 2009).

Figura 2 – Protótipo “*Flex foot*” (Össur, Reykjavik, Iceland).

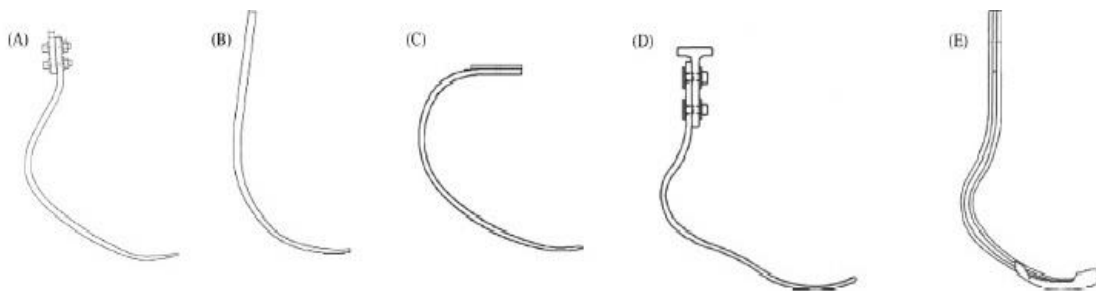


Fonte: Nolan (2008).

Segundo De Luigi e Cooper (2014), o componente mais individualizado da prótese é o encaixe, pois este deve ser feito sob medida para se adaptar perfeitamente ao indivíduo, permitindo assim o contato direto com o coto, aumentando a funcionalidade e diminuindo o

risco de complicações. Os autores ainda ressaltam a importância da angulação da quilha, conforme a figura 3 – ou do “*J-shape*” – para a geração da força propulsiva. Quilhas mais lineares têm maior capacidade de armazenamento e, conseqüentemente, liberação de energia quando comparadas às mais curvilíneas.

Figura 3 – Diferente tipos de próteses específicas de corrida: (A) *Cheetah* (Össur), (B) *Flex-sprint* (Össur), (C) *Flex-run* (Össur), (D) *Sprinter* (Otto Bock) e (E) *C-sprint* (Otto-Bock).



Fonte: adaptado de Nolan (2008).

2.1.3 Configuração das próteses

Como abordado no tópico anterior, existem diversos modelos de próteses específicas de corrida. Entretanto, é importante destacar não somente a forma, mas também a configuração da prótese e sua influência sobre o desempenho esportivo. A escolha do modelo a ser utilizado é complexa, sendo realizada pelo atleta juntamente a especialistas. Estes, portanto, recomendam a rigidez e altura da prótese com base nas recomendações diretas do fabricante, bem como em sua experiência (BECK; TABOGA; GRABOWSKI, 2017).

A rigidez da prótese é prescrita em relação, principalmente, à massa do atleta – ou seja, ao seu peso corporal –, assumindo assim uma relação diretamente proporcional. Isto é, quanto mais pesado for o atleta, mais rígida deverá ser a sua prótese (BECK; TABOGA; GRABOWSKI, 2017). Além disso, a rigidez é um importante parâmetro para determinar a mecânica do centro de massa do indivíduo – sendo, portanto, associada ao alinhamento e às assimetrias (MCGOWAN et al., 2012).

A altura da prótese, todavia, tem como referência o comprimento do membro. Desta forma, a altura da prótese deve ser prescrita de modo que o membro afetado seja de 2 a 5 centímetros maior que o membro intacto (BECK; TABOGA; GRABOWSKI, 2017). Weyand et al. (2010, apud BECK; TABOGA; GRABOWSKI, 2017, p. 6), sugere que a altura da prótese pode ter efeito sobre o tempo de contato do membro protético com o solo – ou seja, quanto

maior a prótese, maior o tempo de contato. Esta suposição permite assumir que próteses maiores permitem maior produção de força e de forma mais econômica, o que resultaria em um menor custo metabólico.

2.1.4 Corrida com próteses

O impacto da amputação sobre o padrão motor tem relação com seu nível (WATERS et al., 1976). Na corrida não é diferente. Meyer e Edwards (2014) destacam a diferença no padrão da corrida em indivíduos com amputações mais proximais, com ausência da articulação do joelho – isto porque a fase de propulsão da corrida é, neste caso, prolongada – proporcionando um movimento mais saltado no membro protético.

Segundo Grabowski et al. (2009), as forças de reação do solo sobre o membro afetado são diminuídas em relação a pessoas sem deficiência. Tal fato limita o alcance de mais altas velocidades de corrida por parte dos atletas amputados, visto que a velocidade é diretamente proporcional à aplicação de força no solo.

Em pessoas com amputação unilateral, há uma tendência maior a assimetrias devido à impossibilidade de se replicar a função do membro intacto com a utilização da prótese (BECK; TABOGA; GRABOWSKI, 2016). Outro fator determinante para a assimetria apresentada é a dificuldade de se obterem as medidas corretas para a fabricação da prótese (MEYER; EDWARDS, 2014).

2.1.5 Bioenergética

A bioenergética é definida como o processo de transformação de macronutrientes ingeridos na alimentação (carboidratos, gorduras e proteínas) em uma forma de energia que permite ao organismo sua utilização (ATP). Existem diversos índices que permitem um panorama sobre as demandas energéticas do exercício, ou seja, sobre a produção de energia e sua utilização pelo organismo (POWERS; HOWLEY, 2011).

O consumo de oxigênio ($VO_2\text{máx}$) é o índice que melhor representa, durante o exercício, a capacidade funcional do sistema cardiorrespiratório (POWERS; HOWLEY, 2011). É definido, portanto, como a mais alta capacidade de captação, transporte e utilização de oxigênio nos processos aeróbios de produção energética, respirando ar atmosférico ao nível do mar e pode ser expresso em $L. \text{min}^{-1}$ ou $mL. \text{kg}^{-1}. \text{min}^{-1}$ (DENADAI, 1999).

O custo metabólico representa o consumo de oxigênio dispendido para percorrer uma determinada distância em uma intensidade submáxima, ou seja, o produto da energia consumida por unidade de distância, podendo ser expresso em $J.m^{-1}$, $J.kg^{-1}.m^{-1}$ ou $mLO_2.m^{-1}$ (DI PRAMPERO et al., 1986).

Já a eficiência mecânica, refere-se à quantidade de energia metabólica convertida em trabalho mecânico útil para gerar propulsão (CAPELLI et al., 2008).

2.1.6 Impacto da utilização de próteses de carbono na bioenergética da corrida

Após os resultados alcançados por um atleta com amputação bilateral transtibial nos Jogos Olímpicos de Londres, em 2012, os questionamentos sobre a utilização de próteses de carbono específicas para corrida tomaram destaque. A partir de então, passou-se a investigar se a tecnologia de ponta aplicada às próteses supriria às mesmas funções relativas ao membro intacto. Ou seja, se o uso das próteses esportivas traria aos atletas amputados vantagens não somente em relação ao *SACH foot*, mas também em relação aos atletas sem deficiência (WEYAND et al., 2009).

Segundo Brown, Millard-Stafford e Alisson (2009), a utilização de próteses específicas de corrida, proporcionam menor custo metabólico, quando comparadas ao *SACH foot*, em velocidades de corrida submáximas. Os autores ainda destacam o impacto do *flex foot* sobre o pico de velocidade – visto que as próteses tradicionais não permitem ao atleta atingir altas velocidades.

Menghelkoch, Kahle e Highsmith (2014), ressaltam que as próteses de carbono, além de gerarem menor custo metabólico, permitem maior eficiência mecânica, e velocidades mais altas, quando comparadas ao *SACH foot* – mesmo para caminhada.

Beck, Taboga e Grabowski (2017), evidenciam a influência do modelo da prótese – forma das quilhas – sobre o custo metabólico da corrida de atletas com amputação bilateral transtibial. Os autores afirmam que a rigidez e a altura da prótese não alteram essa variável, mas sim a angulação do modelo protético.

Já os valores de frequência cardíaca máxima atingidos por atletas amputados são superiores quando contrastado com os atletas sem deficiência (NOLAN, 2008), embora sejam atenuados com a utilização do *flex foot* em relação ao *SACH foot* (BROWN; MILLARD-STAFFORD; ALLISON, 2009).

3 MÉTODOS

O presente estudo é uma revisão sistemática, que se caracteriza pela investigação acerca do tema, apresentando as evidências relacionadas a uma intervenção específica mediante a aplicação de métodos de pesquisa sistematizados (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2007).

3.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A pesquisa foi realizada nas bases de dados eletrônicas *MedLine/PubMed*, *Scopus* e *Web of Science* sem limitação de data de publicação. A última pesquisa foi realizada em 09 de janeiro de 2018 usando as seguintes palavras-chaves: (*amputation OR amputee*) AND (*run OR running OR runner*) AND (*prosthesis OR prosthetics*). A busca resultou em 1256 artigos. Foram aplicados, então, critérios de elegibilidade na leitura dos títulos e resumos, bem como na leitura do artigo completo. Cada etapa da seleção foi realizada em acordo por dois revisores (AV e DA) sem divergências.

3.1.1 Critérios de elegibilidade

3.1.1.1 Forma de locomoção

Os artigos elegíveis para esta revisão incluíram corrida com qualquer modelo de próteses. Qualquer outra forma de locomoção foi considerada inelegível.

3.1.1.2 Participantes

Os artigos elegíveis incluíram participantes com qualquer nível de amputação e/ou treinamento – atletas e não atletas.

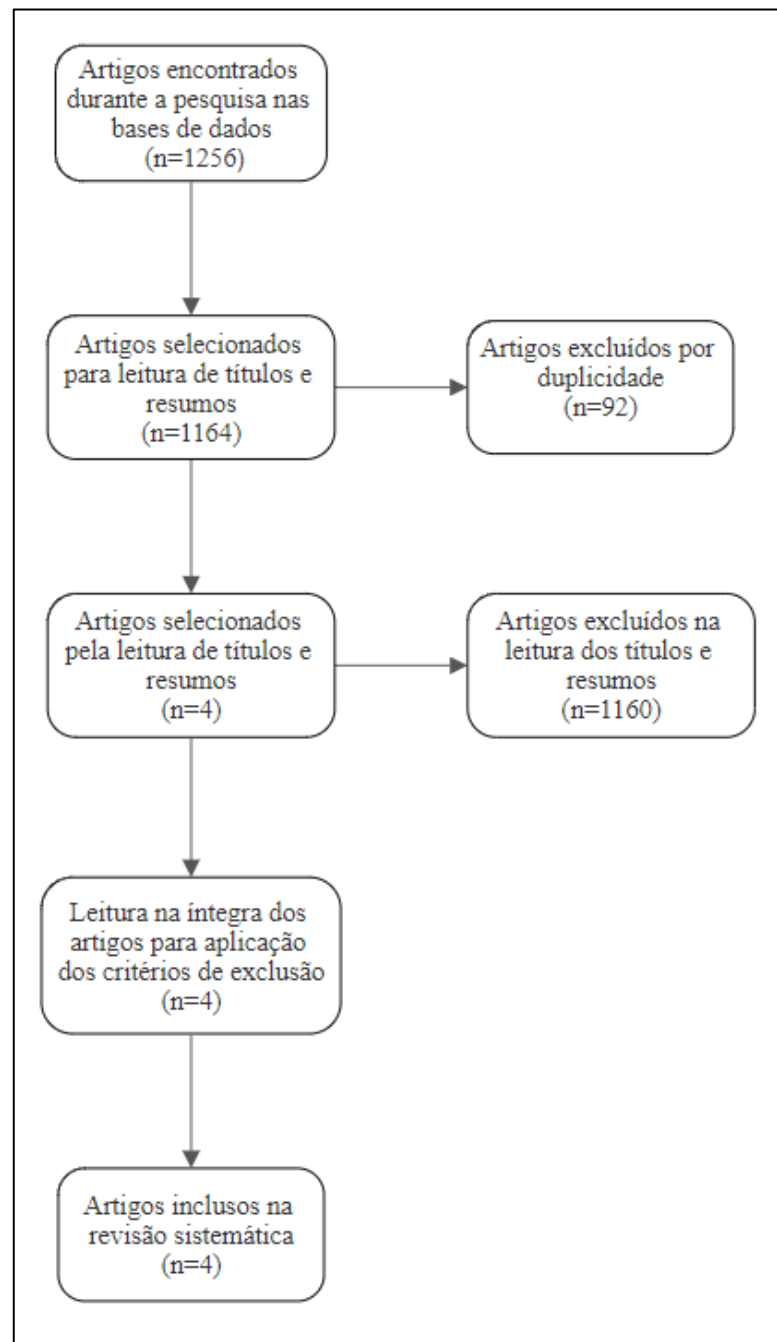
3.1.1.3 Variável analisada

Os artigos elegíveis analisaram as variáveis custo metabólico ou economia de corrida.

3.1.1.4 Grupo controle

Os artigos elegíveis incluíram grupo controle para comparação dos sujeitos amputados e não amputados.

Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção dos artigos



Fonte: próprio autor.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS INCLUSOS

A Tabela 1 apresenta os autores dos artigos, ano de publicação, participantes e modelos protéticos utilizados. Os estudos selecionados para este estudo eram, em sua totalidade, de natureza transversal.

Considerando os quatro artigos selecionados, o tamanho da amostra foi de 13 sujeitos amputados (TTA bilateral = 2; TTA unilateral = 10; TFA unilateral = 3). A fim de comparar o desempenho na corrida, 16 atletas sem deficiência foram selecionados de acordo com idade e massa corporal a seus correspondentes amputados.

Todos os sujeitos avaliados utilizaram próteses específicas de corrida para realizar os testes. Apenas dois dos estudos apresentaram comparações entre RSP e próteses tradicionais durante a corrida em intensidade submáxima. A experiência e o volume de treinamento eram bastante similares entre os grupos amputados.

Tabela 1 – Características dos estudos

Estudo	Amostra Amputados/Controle	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Estatura (cm)	Experiência / Treinamento	Nível de Amputação	Etiologia da Amputação	Modelo de prótese
Weyand et al. 2009	1/4	23	77.5/ 75.3±3.8	186	4-5 anos profissional	TTA bilateral	congênita, n = 1	Ossur Cheetah, categoria 5 (J-shape)
Brown et al. 2009	6/6	28.8± 7.3/ 29.5±6.9	70.4±18.1/ 70.8±15.0	176.8±9.0/ 175.7 ±5.6	1 ano, treinamento competitivo ≥ 4 h/s	TTA unilateral (n = 5) TTA bilateral (n = 1)	trauma, n = 4; congênita, n = 1; câncer no osso, n = 1	2 modelos prostéticos: J-shaped carbon keel, característico de próteses específicas de corrida; e SACH foot, modelo tradicional não específico
Mengelkoch et al. 2014	3/3	35.3± 10/ 35.3±9.0	68.6 ± 9.9/ 79.4 ± 8.2	174.6±10/ 175.5±10.2	1 ano, treinamento competitivo ≥ 4 h/s	TTA unilateral	trauma, n = 1; câncer no osso, n = 1; congênita n = 1	2 modelos prostéticos: ESAR, prótese com sistema de armazenamento e retorno de energia para finalidades gerais; Renegade foot, modelo não específico; e ESAR Nitro foot, prótese específica de corrida
Mengelkoch et al. 2017	3/3	27.7±8.1/ 27.0±7.8	65.6 ± 9.6/ 65.4 ± 7.3	174.1±2.6/ 173.8 ± 2.5	1 ano, treinamento competitivo ≥ 4 h/s	TFA unilateral	trauma, n = 2; câncer no osso, n = 1	2 modelos prostéticos: ESAR, prótese com sistema de armazenamento e retorno de energia para finalidades gerais; Renegade foot, modelo não específico; e ESAR Nitro foot, prótese específica de corrida

4.2 RESPOSTAS MÁXIMAS COM RSP

Todos os artigos inclusos apresentaram respostas máximas para testes incrementais. Entretanto, os protocolos utilizados diferiam em alguns aspectos conforme a Tabela 2. Três estudos utilizaram protocolos contínuos, com testes incrementais máximos de esteira com aumento de velocidade; já o quarto, utilizou um protocolo descontínuo e progressivo, com teste de degrau na esteira. Ademais, dentre os protocolos contínuos, dois deles incluíam um aumento no grau de inclinação da esteira a partir do momento em que a velocidade de 4.02 m/s fosse alcançada.

Apesar das diferenças entre os protocolos utilizados, os dados de consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) foram bastante similares entre os atletas amputados e seus respectivos correspondentes do grupo controle. Para os atletas com deficiência, os valores encontrados variaram entre 51,6 mL/kg/min e 56,3 mL/kg/min.

Diferenças mais significativas foram encontradas na velocidade máxima alcançada. Para os atletas com amputação transtibial, as velocidades máximas atingidas foram entre 9.45% e 15.55% menores que seus correspondentes do grupo controle. Já para amputados transfemorais, os valores foram até 32,67% menores.

Tabela 2 – Respostas dos testes máximos

Estudo	Protocolo	VO ₂ máx Amputado mL/kg/min	VO ₂ máx Controle mL/kg/min	VO ₂ máx Diferença %	Velocidade máxima Amputado m/s	Velocidade máxima Controle m/s	Velocidade máxima Diferença %
Weyand et al. 2009	Progressivo, descontínuo, teste horizontal de esteira Velocidades: de 2.5m/s a 4.5m/s Tempo de corrida: 5 a 7min Intervalo de recuperação: 3 a 5 min	52.7 (com próteses)	56.1 ± 7.3 ml	8.19% menor para amputado	–	–	–
Brown et al. 2009	Contínuo, teste incremental máximo de esteira Velocidade inicial: 2.23m/s Incrementos de velocidade: 0.22m/s a cada 2 min Inclinação: 0%	56.3 ± 7.6 (com próteses)	57.02	0.355% maior para amputado	4.24 ± 32	4.64 ± 32.2	9.45% menor para amputado
Mengelkoch et al. 2014	Contínuo, teste incremental máximo de esteira Velocidade inicial: 0.67m/s Incrementos de velocidade: 0.233m/s a cada 2 min Inclinação: 0% Após 4.02m/s, 0% inclinação aumentou 2%	51.6 ± 7.8 (sem próteses)	50.7 ± 9.3	1.74% maior para amputado	3.35 ± 13.4	3.87 + 15.5	15.55% menor para amputado
Mengelkoch et al. 2017	Contínuo, teste incremental máximo de esteira Velocidade inicial: 0.67m/s Incrementos de velocidade: 0.233m/s a cada 2 min Inclinação: 0% Após 4.02m/s, 0% inclinação aumentou 2%	55.4 ± 6.0 (sem próteses)	55.2 ± 3.0	0.361% maior para amputado	3.03 ± 0.47	4.02 ± 0.0	32.67% menor para amputado

4.3 CUSTO METABÓLICO

4.3.1 Atletas amputados x grupo controle

A Tabela 3 apresenta os testes submáximos realizados. Em dois dos estudos, os protocolos utilizados eram progressivos, descontínuos, com teste de degrau na esteira. Já nos demais, foi realizada uma corrida em velocidade auto-selecionada, testada durante o protocolo de familiarização, que posteriormente foi integrada ao teste incremental.

A análise realizada revela que o custo metabólico é maior para atletas amputados (8,3% a 31%) quando comparados ao grupo controle – com exceção do atleta com amputação bilateral que apresentou valores 20% menores. Dentre os atletas amputados, aqueles em nível transfemoral apresentam um custo maior e, conseqüentemente, uma menor economia de corrida.

4.3.2 RSP x SACH foot

Três estudos apresentaram comparação entre RSP e *SACH foot* durante o protocolo submáximo – conforme Tabela 3. Três velocidades foram testadas e, em todas elas, a corrida com RSP resultou em menores custos metabólicos ($-13 \pm 1.5\%$). Vale ressaltar que, para os atletas com amputação transfemoral, a velocidade submáxima utilizada foi de 1,86 m/s, enquanto, para amputação transtibial, foram de 2,23 m/s e 2,37 m/s.

5 DISCUSSÃO

Dentre todos os artigos encontrados através da pesquisa realizada nas três bases de dados, somente quatro deles atenderam a todos os critérios para inclusão neste estudo. Este baixo número, por si só, indica uma lacuna na literatura acerca das respostas fisiológicas do uso de próteses. Foi possível, durante o estudo, perceber que há uma maior atenção sobre o ponto de vista biomecânico do uso das próteses do que sobre os impactos fisiológicos propriamente ditos. Este cenário era, entretanto, previsível, tendo em vista que a prótese é um implemento mecânico que provoca alterações importantes ao centro de gravidade e aos padrões de movimento do indivíduo.

É importante destacar que alguns artigos foram descartados deste estudo por não atenderem um critério de inclusão fundamental: a presença de grupo controle. Isto porque a literatura apresenta alguns estudos sobre demandas fisiológicas da corrida de pessoas amputadas. Entretanto, quando comparados entre si, há, de certa forma, uma diminuição do impacto do uso prótese na corrida. Tendo em vista que todos os componentes da amostra tenham membros afetados – embora em diferentes graus – e façam uso de próteses, as diferenças serão definidas basicamente pelo grau de comprometimento e pelo tipo de prótese utilizada.

Quando se trata da comparação entre pessoas com e sem deficiência, é possível confrontar alterações orgânicas em relação a um corpo intacto, e não somente à performance do indivíduo amputado. Estes dados poderiam, portanto, explicar as vantagens ou desvantagens da competição de atletas com e sem deficiência em uma mesma prova.

O estudo de Weyand et al. (2009), traz somente um indivíduo amputado em comparação a quatro sujeitos sem deficiência, enquanto os demais estudos trouxeram um número correspondente no grupo amputado em relação ao controle. Brown et al. (2009) apresenta a maior amostra, sendo seis indivíduos amputados e seus correspondentes do grupo controle. Os demais estudos, de Mengelkoch et al. (2014, 2017), apresentaram três indivíduos amputados e seus correspondentes do grupo controle. O tamanho da amostra pode, em parte, ser explicado pela dificuldade em se recrutar indivíduos amputados que utilizem as próteses específicas de corrida. Isto porque as próteses tradicionais não permitem o alcance de velocidades de corrida.

Outro fator importante a ser discutido é a etiologia da amputação, bem como o grau em que ela se deu. As causas encontradas nos artigos investigados são, em sua totalidade, não vasculares, sendo associadas principalmente a traumas ($n = 7$), seguido pelas causas congênitas

e referentes a tumores ósseos ($n = 3$ para ambos). Estes dados reforçam a ideia de que a etiologia da amputação está relacionada à prática de exercícios físicos tanto anteriores quanto posteriores à lesão (BROWN; MILLARD-STAFFORD; ALLISON, 2009). Embora a maior parte das amputações ocorra por doenças vasculares, é difícil encontrar estas pessoas praticando algum exercício. Os hábitos do indivíduo antecedentes à amputação são determinantes para uma prática posterior à cirurgia (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013; BROWN, MILLARD-STAFFORD, ALLISON, 2009; MEYER, EDWARDS, 2014)

Já o grau da amputação tem relação direta com as alterações fisiológicas e biomecânicas às quais o indivíduo é submetido. As amputações bilaterais, quando em mesmo nível de amputação, geram menos assimetrias quando comparadas às amputações unilaterais. As amputações mais distais, tais quais amputações transtibiais, resultam em mínimas alterações no padrão de movimento. Amputações em níveis mais proximais, a partir da desarticulação de joelho, modificam completamente o padrão motor devido à ausência desta articulação.

Embora as variáveis biomecânicas e fisiológicas da marcha tenham sido amplamente exploradas pela literatura (BROWN, MILLARD-STAFFORD, ALLISON, 2009; MENGELKOCH, KAHLE, HIGHSMITH, 2014; 2017), pouco se sabe sobre as alterações provocadas pela corrida. Um fator determinante para tal é o tipo de prótese utilizada. As próteses tradicionais – ou *SACH foot* – não permitem o alcance de velocidades de corrida devido à presença de um calcanhar rígido. Embora a utilização das próteses de corrida no âmbito esportivo já venha acontecendo há cerca de 30 anos, muitas dessas questões seguem sem resposta. Weyand et al. (2009) e Mengelkoch, Kahle e Highsmith (2017) ressaltam ainda o predomínio de estudos com amputações unilaterais em nível transtibial.

Outros fatores que influenciam no desempenho da corrida são o modelo protético utilizado – bem como suas configurações. De Luigi e Cooper (2014) corroboram com esta ideia ao salientarem que próteses mais altas e com lâminas mais lineares são capazes de armazenar mais energia durante sua compressão e, como consequência, proporcionam uma maior força propulsora. A dificuldade de se estabelecer uma configuração ideal para a utilização das próteses é um dos pontos mais questionados quando se aborda a competição de atletas amputados em provas para pessoas sem deficiência.

Beck, Taboga e Grabowski (2017a) afirmam que não só o modelo protético, mas também a rigidez da prótese, têm influência sobre o custo metabólico da corrida de atletas com amputação bilateral transtibial. Sendo assim, as próteses que foram configuradas com uma rigidez menor que a indicada pelo fabricante propiciaram valores mais baixos. Isto pode ser

explicado pela diminuição da frenagem das forças de reação do solo, bem como a frequência de passada e a rigidez da perna. Entretanto, não foram encontradas diferenças nos valores encontrados para próteses testadas com diferentes alturas. Ao avaliarem atletas com amputação unilateral transtibial, porém, Beck, Taboga e Grabowski (2017b) concluíram que apenas o modelo protético interferiu sobre a variável em questão. Em ambos os estudos, as próteses com formatos mais retilíneos apresentaram melhor desempenho em comparação às aquelas de formatos mais curvilíneos devido à menor dissipação de energia e aumento da estabilidade.

Em relação aos protocolos utilizados para determinação do consumo máximo de oxigênio e da velocidade máxima alcançada, os estudos apresentados por Brown e colaboradores e Mengelkoch e colaboradores utilizaram testes incrementais máximos, contínuos realizados na esteira. Já Weyand, aplicou um teste progressivo de degrau. Na maioria dos estudos os valores encontrados para VO_{2max} foram similares para ambos os grupos amputados (1) e controle (2) – com leve tendência de aumento para o grupo 1. As velocidades máximas alcançadas, porém, foram significativamente menores para este mesmo grupo. Isto significa que, para uma mesma velocidade, a intensidade do exercício se torna maior para o grupo 1.

O atleta avaliado por Weyand, entretanto, apresentou um valor de consumo 8% menor que o grupo controle. O sujeito em questão foi Oscar Pistorius, classificado em 2012 para os Jogos Olímpicos, chegando às quartas de final dos 400m rasos. Seu recorde pessoal na prova, estabelecido em 2011, era menos que 2 segundos maior que o recorde em prova para pessoas sem deficiência. Contudo, o autor ressalta que houveram limitações no estudo que dificultaram a conclusão acerca das influências relativas à prótese ou a aspectos fisiológicos em si.

Para análise do custo metabólico, Weyand e colaboradores e Brown e colaboradores utilizaram protocolos de testes progressivos na esteira e descontínuos. Já os estudos realizados por Mengelkoch e colaboradores utilizaram corrida em velocidade auto selecionada integrada ao teste incremental. De modo geral, os valores de custo metabólico encontrados foram maiores para o grupo 1 em relação ao grupo 2.

Para o estudo de Weyand, os valores de custo metabólico para o grupo controle foram, em sua totalidade, superiores ao valor relativo ao sujeito amputado. Novamente, pode-se destacar a influência das limitações do estudo. Outro fator que explica tal fato, seria o nível de amputação. Oscar, analisado no estudo supracitado, é amputado bilateral transtibial. O fato de se tratar de uma lesão em ambos os membros diminui a influência das assimetrias – a qual tende a aumentar o custo (MEYER; EDWARDS, 2014). Ademais, a amputação transtibial preserva

maior massa muscular, bem como a articulação do joelho. Sendo assim, o atleta tem menor prejuízo na execução da corrida em si.

Os estudos de Brown e colaboradores e Mengelkoch e colaboradores (2014) reforçam a afirmação anterior. No primeiro, apenas um dos seis sujeitos analisados era amputado em nível transfemoral. Já no segundo, os três sujeitos avaliados eram amputados transtibiais. Quando comparados ao estudo de Mengelkoch (2017), os valores de custo metabólico encontrados nos dois primeiros artigos foram menores. Desta forma, salienta-se que as amputações mais distais permitem melhor desempenho na corrida.

Um estudo realizado por Bruggemann et al. (2009) que avaliou a cinética e a cinemática da corrida com prótese de um atleta com amputação bilateral transtibial presumia que o custo metabólico da corrida com próteses específicas de corrida seria menor quando comparado ao grupo controle. Isto porque a corrida com próteses geraria menor trabalho mecânico a cada contato com o solo e haveria menor perda de energia. Este fato, entretanto, não pode ser comprovado, tendo em vista que os valores encontrados para os grupos amputados foram, em sua grande maioria, maiores em comparação ao controle.

Em relação aos tipos de próteses, todos os valores obtidos com a utilização de RSP foram superiores ao *SACH foot*. Isto se deve essencialmente ao formato da prótese. O calcanhar rígido da prótese tradicional não permite o alcance de altas velocidades, dificultando impossibilitando a corrida. Já na comparação entre os grupos RSP e controle, os valores encontrados foram próximos.

É importante, no entanto, reforçar a necessidade de mais estudos para sustentarem as afirmações aqui tomadas. Além da comparação com o grupo controle, seria interessante a subdivisão dos sujeitos amputados para confronto entre si. Desta forma, seria possível analisar melhor a influência do nível de amputação, bem como das assimetrias.

6 CONCLUSÃO

Conforme os dados encontrados nos artigos revisados para a construção deste trabalho, é possível afirmar que o desempenho na corrida com próteses específicas é inferior quando comparado ao grupo controle, confirmando assim a primeira hipótese. Isto porque, embora alcancem as mesmas respostas fisiológicas, a velocidade alcançada para atletas amputados é consideravelmente menor.

Em relação ao custo metabólico, uso das próteses específicas de corrida permite um menor custo quando comparadas às próteses tradicionais. Já em comparação ao grupo controle, os valores encontrados para os atletas amputados tiveram uma tendência de aumento, porém, com uma magnitude relativamente pequena – o que ratifica a segunda e terceira hipóteses aqui levantadas.

As diferenças encontradas nas avaliações realizadas em indivíduos com diferentes níveis de amputação sustentam, também, a quarta hipótese deste estudo. Amputações bilaterais permitem melhor desempenho na corrida quando comparadas às amputações unilaterais. Ademais, quanto mais distal, menor o impacto da amputação sobre a performance. Sugere-se, contudo, que estudos posteriores investiguem melhor a magnitude destes resultados. Há uma necessidade de se abranger sujeitos mais heterogêneos em relação a esta variável e, também, de agrupar os sujeitos de acordo com seu nível de amputações para comparações entre si – e não somente em relação ao controle.

Não foi possível, através desta revisão, obter evidências suficientes sobre a influência da utilização das próteses específicas de corrida no desempenho esportivo. Entretanto, pode-se afirmar que a tendência dos resultados encontrados vai de encontro àquilo que era esperado: uma possível vantagem no uso das próteses em comparação ao membro intacto – devido ao sistema de armazenamento de energia elástica. Ou seja, atletas amputados tem uma tendência a desvantagens na corrida em comparação a atletas sem deficiência – exceto para o estudo de Weyand e colaboradores, realizado com Pistorius. De qualquer forma, há muito pouco sobre o tema na literatura, portanto este é um tópico de estudo ainda em aberto.

Além do pequeno número de artigos encontrados, é importante ressaltar o tamanho das amostras utilizadas nos estudos selecionados. Sugere-se, a partir deste, uma maior investigação acerca da influência do uso das próteses na corrida de pessoas amputadas, tanto em relação à avaliação de um maior número de pessoas, quanto à análise de outras variáveis fisiológicas.

Embora a participação de pessoas amputadas em competições esportivas seja relativamente recente, é necessário que haja um olhar sobre esta área de estudo. Tais respostas

poderiam esclarecer se é ou não possível a competição entre pessoas amputadas e pessoas sem deficiência em uma mesma categoria. A corrida com próteses é disputada em provas olímpicas do atletismo – classes T61-64 – e do paratriatlo – classes PT2-4. Vale ressaltar, também, a importância de se viabilizar a utilização e/ou desenvolvimento de métodos que avaliem o desempenho da pessoa amputada, seja no âmbito esportivo ou relativo à saúde.

REFERÊNCIAS

- BECK, Owen N.; TABOGA, Paolo; GRABOWSKI, Alena M. Characterizing the mechanical properties of running-specific prostheses. **Plos One**. [s.l.], p. 1-16. Dez, 2016.
- BECK, Owen N.; TABOGA, Paolo; GRABOWSKI, Alena M.. Reduced prosthetic stiffness lowers the metabolic cost of running for athletes with bilateral transtibial amputations. **Journal Of Applied Physiology**. [s.l.], p. 976-984. Jan. 2017a.
- BECK, Owen N.; TABOGA, Paolo; GRABOWSKI, Alena M.. Prosthetic model, but not stiffness or height, affects the metabolic cost of running for athletes with unilateral transtibial amputations. **Journal Of Applied Physiology**. [s.l.], p. 38-48. Mar. 2017 b.
- BROWN, Mary Beth; MILLARD-STAFFORD, Mindy L.; ALLISON, Andrew R.. Running-Specific Prostheses Permit Energy Cost Similar to Nonamputees. **Medicine & Science In Sports & Exercise**. [s.l.], v. 41, n. 5, p. 1080-1087. Mai, 2009.
- BRÜGGEMANN, Gert-peter et al. Biomechanics of double transtibial amputee sprinting using dedicated sprinting prostheses. **Sports Technology**. [s.l.], v. 1, n. 4-5, p.220-227. Jan, 2009.
- CAPELLI, Carlo et al. Energy cost and mechanical efficiency of riding a human-powered recumbent bicycle. **Ergonomics**. [s.l.], p. 1565-1575. Out, 2008.
- CARVALHO, José A. **Amputações de membros inferiores: em busca da plena reabilitação**. 2. ed. Barueri: Manole, 2003.
- CERQUEIRA, Lucenildo S. et al. Resposta da cinética do consumo de oxigênio e da eficiência mecânica delta de homens e mulheres em diferentes intensidades de esforço. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. [s.l.], v. 17, n. 4, p.274-278. Jul/ago, 2011
- DE LUIGI, Arthur J.; COOPER, Rory A. Adaptive sports technology and biomechanics: prosthetics. **PM&R: Paralympic Sports Medicine and Science**. [s.l.], p. 40-57. Ago, 2014.
- DENEDAI, Benedito S. **Índices Fisiológicos de Avaliação Aeróbia: conceitos e aplicações**. Ribeirão Preto: BSD, 1999.
- DI PRAMPERO, Pietro E. et al. The energetics of endurance running. **European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology**. [s.l.], p. 259-266. Fev, 1986.
- GROBLER, Lara; FERREIRA, Suzanne; TERBLANCHE, Elmarie. Paralympic sprint performance between 1992 and 2012. **International Journal Of Physiology And Performance**. [s.l.], p. 1011-1012. Nov, 2015.
- GRABOWSKI, Alena M.; MCGOWAN, Craig P.; MCDERMOTT, William J.; BEALE, Matthew T.; KRAM, Rodger; HERR, Hugh M. Running-specific prostheses limit ground-force during sprint. **Biology Letters**. [s.l.], p. 1-4. Out. 2009. Disponível em: <<http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/roybiolett/early/2009/11/02/rsbl.2009.0729.full.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2017.

LIANZA, Sérgio. **Medicina de Reabilitação**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2007.

MCGOWAN, Craig P.; GRABOWSKI, Alena M.; MCDERMOTT, William J.; HERR, Hugh M.; KRAM, Rodger. Leg stiffness of sprinters using running-specific prostheses. **Journal of the Royal Society Interface**. [s.l.], p. 1975-1982. Fev, 2012.

MENGHELKOCH, Larry J.; KAHLE, Jason T.; HIGHSMITH, Michael J. Energy costs & performance of transtibial amputees & non-amputees during walking & running. **International Journal Of Sports Medicine**. [s.l.], p. 1223-1228. Ago, 2014.

MENGELKOCH, Larry J.; KAHLE, Jason T.; HIGHSMITH, Michael J. Energy costs and performance of transfemoral amputees and non-amputees during walking and running: A pilot study. **Prosthetics and Orthotics International**. [s.l.], p. 484-491. Out, 2017.

MEYER, Nanna L.; EDWARDS, Stephanie. Amputees. In: BROAD, Elizabeth. **Sports nutrition for paralympic athletes**. [s.l.]: CRC Press, 2014, p. 107-126.

MEZGHANI-MASMOUDI, Monia et al. Facteurs liés à l'avenir fonctionnel et professionnel des amputés des membres inférieurs appareillés. **Annales de Réadaptation Et de Médecine Physique**. [s.l.], p. 114-118. Abr, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada**. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em:
http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf /Acesso em 02 Out, 2017.

NOLAN, Lee. Carbon fibre prostheses and running in amputees: A review. **Foot And Ankle Surgery**. [s.l.], v. 14, n. 3, p. 125-129. Jan, 2008.

PARADISI, Francesco et al. The conventional non-articulated SACH or a multiaxial prosthetic foot for hypomobile transtibial amputees?: A clinical comparison on mobility, balance and quality of life. **The Scientific World Journal**. [s.l.], p. 1-10. Abr, 2015.

PAILLER, Dominique et al. Évolution des prothèses des sprinters amputés de membre inférieur. **Annales de Réadaptation Et de Médecine Physique**. [s.l.], p. 374-381. Ago, 2004.

PARSONS, Andrew; WINCKLER, Ciro. Esporte e a Pessoa com Deficiência. In: MELLO, Marco Túlio de; OLIVEIRA FILHO, Ciro Winckler (orgs). **Esporte Paralímpico**. São Paulo: Editora Atheneu, 2012. p. 3-14.

PASTRE, Carlos M. et. al. Fisioterapia e amputação transtibial. **Arquivos de Ciências da Saúde**. São Paulo, v.12, n. 2, p. 120-24. Abr/jun, 2005.

PEDRINELLI, André. **Tratamento do paciente com amputação**. 1. ed. São Paulo: Roca, 2004.

POWERS, Scott K.; HOWLEY, Edward T.. **Exercise Physiology: Theory and application to fitness and performance**. 8. ed. New York: Mcgraw-hill Education, 2011.

SCHOPPEN, Tanneke et al. Physical, mental, and social predictors of functional outcome in unilateral lower-limb amputees. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. [s.l.], p. 803-811. Jun, 2003.

THOMAS, J.R; NELSON, J.K; SILVERMAN, S.J. **Métodos de Pesquisa em Atividade Física**. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

WATERS, Robert L. et al. Energy cost of walking of amputees: the influence of level of amputation. **The Journal Of Bone And Joint Surgery**. Needham, p. 42-46. Jan, 1976.

WEYAND, Peter G. et al. The fastest runner on artificial legs: different limbs, similar function?. **Journal Of Applied Physiology**. [s.l.], v. 107, n. 3, p. 903-911. Jun, 2009. American Physiological Society.