UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA EM ATIVIDADE FÍSICA REALIZADA EM BICICLETA ESTACIONÁRIA

LUIZ PAULO SILVA SANTOS

Belo Horizonte, 07 de Agosto de 2008

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

LUIZ PAULO SILVA SANTOS

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA EM ATIVIDADE FÍSICA REALIZADA EM BICICLETA ESTACIONÁRIA

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.
Área de concentração: Bioengenharia
Orientador: Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchrowski
(Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional)
Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Pinotti Barbosa
(Escola de Engenharia Mecânica)

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2008

Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – 31.270-901 – Belo Horizonte – MG
Tel.: +55 31 3409-5145 - Fax.: +55 31 3443-3783
www.demec.ufmg.br - E-mail: cpgemec@demec.ufmg.br

AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA EM ATIVIDADE FÍSICA REALIZADA EM BICICLETA ESTACIONÁRIA

LUIZ PAULO SILVA SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em 07, de Agosto de 2008, pela banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como um dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia mecânica"**, na área de concentração em " **Bioengenharia**"

_____

Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchrowski – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional – Orientador

_____

Prof. Dr. Marcos Pinotti Barbosa – Escola de Engenharia mecânica - Co-orientador

_____

Prof. Dr. Rudolf Huebner - Escola de Engenharia mecânica - Examinador

_____

Prof. Dr. Nilo Resende Viana Lima - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos professores Marcos Pinotti e Leszek Szmuchrowski pela oportunidade, a qual me proporcionaram, de compartilhar conhecimento, pertinente tanto à ciência do treinamento esportivo, quanto à área da engenharia mecânica; permitindo, dessa forma, o trânsito seguro, proveitoso, e não menos desafiador na fronteira representada, por vezes de forma sutil, pela interseção de ambos os campos de conhecimento.

Ao amigo Derbe, por ter se colocado à disposição quanto à viabilização dos elementos ilustrativos, certamente imprescindíveis ao correto entendimento do presente estudo.

Ao amigo Paulo, sempre solicito no auxílio à formatação mais conveniente, e na adequação e tratamento dos elementos figurativos.

À amiga Viviane pelos cuidados dispensados à tradução de parte importante deste material para a língua inglesa.

Ao colega João Soldati, pelo amparo ao longo de todo o processo e, sobretudo, pela idéia que se tornou a semente, a qual espero, que a partir desse instante, comece a germinar.

À coordenação da "Academia Corpo a Corpo", que ao ceder, gentilmente, informações referentes ao seu funcionamento interno, permitiu o desenvolvimento coerente de parte relevante deste estudo.

Aos amigos e familiares e, àqueles cuja citação é dispensável dada a importância que exercem sobre minha vida.

Aos colegas do Labbio, que me auxiliaram no entendimento mais correto de questões relacionadas à Engenharia Mecânica.

E um agradecimento especial a todos os companheiros anônimos que, indiretamente, custearam minha manutenção nesta universidade. Muitos dos quais não tiveram, e cujos filhos não terão, oportunidade de ultrapassar os limites físicos e teóricos desta instituição. Espero que algum dia, e de forma minimamente satisfatória, possa lhes retribuir o apoio prestado. O suor de vosso trabalho não foi em vão... transformou-se em combustível desta presente conquista.

No percurso que acabo de trilhar, quando a dúvida e o desânimo tentavam de mim se apoderar, pensava, que se Platão guiando meus passos estivesse, de pronto, não tardaria a declamar:

“ καλεπα τα καλα”

(“As coisas belas são difíceis!”)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....I

LISTA DE QUADROS E TABELAS.....II

LISTA DE GRÁFICOS.....III

NOMENCLATURA.....IV

RESUMO.....V

1 INTRODUÇÃO.....12

2 OBJETIVOS.....17

3 REVISÃO DE LITERATURA.....18

4 METODOLOGIA.....42

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....52

6 CONCLUSÕES.....64

ABSTRACT.....65

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....66

APÊNDICE.....70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 Cicloergômetro constituído por sistema mecânico de frenagem.....25

FIGURA 3.2 Funcionamento de um gerador de corrente alternada.....29

FIGURA 3.3 Descrição de um dínamo com suas partes constituintes 31

FIGURA 3.4 Modelos de dínamos utilizados em bicicletas de passeio.....32

FIGURA 3.5 Academias de ginástica caracterizadas por geração de energia elétrica proveniente do exercício físico.....…….39

FIGURA 3.6 Geração de energia elétrica em uma localidade remota.....41

FIGURA 4.1 Forma de fixação do dínamo à bicicleta.....48

FIGURA 5.1 Alternador automotivo considerado como alternativa à conversão da energia mecânica 57

FIGURA 5.2 Representação da relação entre os elementos rotacionais do sistema gerador de energia elétrica.....58

FIGURA 5.3 Proposta de adequação estrutural de um alternador à uma bicicleta estacionária 59

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 3.1 Relação entre níveis de esforço e respectivo parâmetro de registro.....19

QUADRO 4.1 Distribuição relativa à organização da carga de treinamento aplicada no referido mês.....42

QUADRO 4.2 Descrição das variáveis utilizadas nos programas de treinamento.....44

TABELA 1.1 Gasto energético humano relativo a algumas atividades.....14

TABELA 4.1 Relação de parâmetros relacionados aos equipamentos elétricos utilizados e seu respectivo tempo de uso.....51

TABELA 5.1 Correlação entre ritmos de pedalagem e parâmetros referentes à energia elétrica gerada.....52

TABELA 5.2 Mensuração da energia mecânica produzida durante o treinamento simulado, conforme modelos de cálculo distintos.....54

TABELA 5.3 Relação entre produção de energia elétrica e respectivo nível de esforço.....55

TABELA 5.4 Quantidade de energia elétrica produzida em cada semana do mês com respectivo consumo mensal total.....60

TABELA 5.5 Consumo mensal, em kWh, dos equipamentos elétricos utilizados na sala de ciclismo de salão.....60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1 Estágios de desenvolvimento humano e consumo de energia 13

GRÁFICO 5.1 Hierarquia de consumo absoluto entre os equipamentos elétricos predominantemente utilizados em uma academia de ginástica 62

GRÁFICO 5.2 Comparação entre situações caracterizadas por gerenciamento energético distinto.....63

NOMENCLATURA

Letras Latinas

P	Potência mecânica [W]
Pe	Potência elétrica [W]
U	Trabalho mecânico [J]
F	Força [N]
F_{peso}	Força Peso [N]
F_{atrito}	Força de Atrito [N]
V_{linear}	Velocidade Linear [m/s]
VO_2	Volume máximo de oxigênio consumido por kg a cada minuto [ml/kg.min]
g	Aceleração da gravidade [m/s^2]
t	Tempo [s]
m	Massa externa [kg]
d	Distância [m]
r	raio da roda da bicicleta [m]

Letras Gregas

μ	Coeficiente de atrito dinâmico [adimensional]
ω	Velocidade angular [rad/s]
τ_{pedal}	Torque produzido no pedal [Nm]
τ_{roda}	Torque produzido na roda [Nm]

RESUMO

Atualmente, a busca por melhor qualidade de vida está atrelada, invariavelmente, à prática da atividade física, desenvolvida, principalmente, em academias de ginástica. Embora nestes espaços haja considerável dispêndio de energia humana, os mesmos não se caracterizam, no entanto, por modelo de gestão energética que possa repercutir em substancial economia no consumo mensal de energia elétrica. A concepção deste tipo de ambiente poderia se basear na utilização de fontes alternativas de energia, funcionando, sobretudo, como uma maneira de se aproveitar a energia mecânica proveniente do exercício físico. A conversão desta forma de energia em energia elétrica, por meio do acionamento de conversores eletromecânicos, ao ser direcionada à subsistência energética do local onde fora produzida, funcionaria como uma maneira de se opor ao desencadeamento de condutas hostis ao meio ambiente, alimentadas, pela utilização desmedida e equivocada dos recursos energéticos primários (principalmente aqueles de origem fóssil). A viabilidade de se reduzir o consumo mensal de energia elétrica num ambiente voltado à pratica do ciclismo de salão foi verificada por meio da simulação de um modelo mensal de treinamento. A dinâmica da carga, aplicada ao longo de todo um mês, estaria estruturada sobre 3 programas de treinamento: (A) Contínuo estável, (B) Contínuo variável, e (C) Intervalado. Por meio de cálculos correspondentes aos parâmetros potência e trabalho, que seriam produzidos no mês em questão, chegou-se ao montante de energia de 73,58 kWh/mês (admitindo eficiência energética de 90% do gerador utilizado). Esta quantidade, quando confrontada ao consumo de equipamentos elétricos utilizados no mesmo local, mostrar-se-ia superavitária em, aproximadamente, 24,0 kWh. Deste modo, o reaproveitamento da energia humana, por meio do esforço físico, poderia se prestar à consolidação de um ambiente que, em termos energéticos, se caracterize pela auto-sustentabilidade; funcionando, além disso, como maneira de se aliar o bem estar físico, à consciência crítica pautada no ideário ecologicamente correto.

Palavras-chave: (*exercício físico, conversor eletromecânico, auto-sustentabilidade*)

1 INTRODUÇÃO

A civilização ocidental, estruturada, atualmente, sobre sólida base industrial, vem exibindo, ao longo de toda sua história, substancial crescimento no que se refere à expectativa de vida, à demanda por alimentos, ao desenvolvimento de serviços de comunicação e, principalmente, ou, talvez, como conseqüência, ao consumo de energia.

Goldemberg (1998), como forma de demonstrar as necessidades energéticas do ser humano ao longo do tempo, correlaciona diferentes momentos de desenvolvimento da humanidade com o consumo de energia correspondente, conforme mostra o GRA. (1.1). Os seguintes tópicos fornecem noção aproximada da energia *per capita* diária, relacionada a seis estágios do desenvolvimento humano:

- O homem primitivo (residente na África, há aproximadamente 1.000.000 anos atrás) possui apenas a energia associada à sua própria subsistência energética alimentar, por volta de 2.000 kcal/dia.
- O homem caçador (Europa, em torno de 100.000 anos atrás) incrementa o modo de preparo de seus alimentos por meio do calor gerado pela queima da madeira.
- O homem agrícola (Mesopotâmia em 5.000 a.C.) utiliza a energia animal para semear e colher.
- O homem agrícola avançado (Noroeste da Europa, em 1.400 d.C.) explora os combustíveis fósseis, utilizando o carvão para aquecimento e, além disso, a força da água e o transporte animal.
- O homem industrial (Inglaterra, em 1875) faz uso da máquina a vapor.
- O homem tecnológico (EUA, em 1970) utiliza meios de transporte movidos, principalmente, por combustíveis derivados do petróleo, além de equipamentos e dispositivos eletro-eletrônicos; elevando seu consumo diário para, aproximadamente, 230.000 kcal/dia.

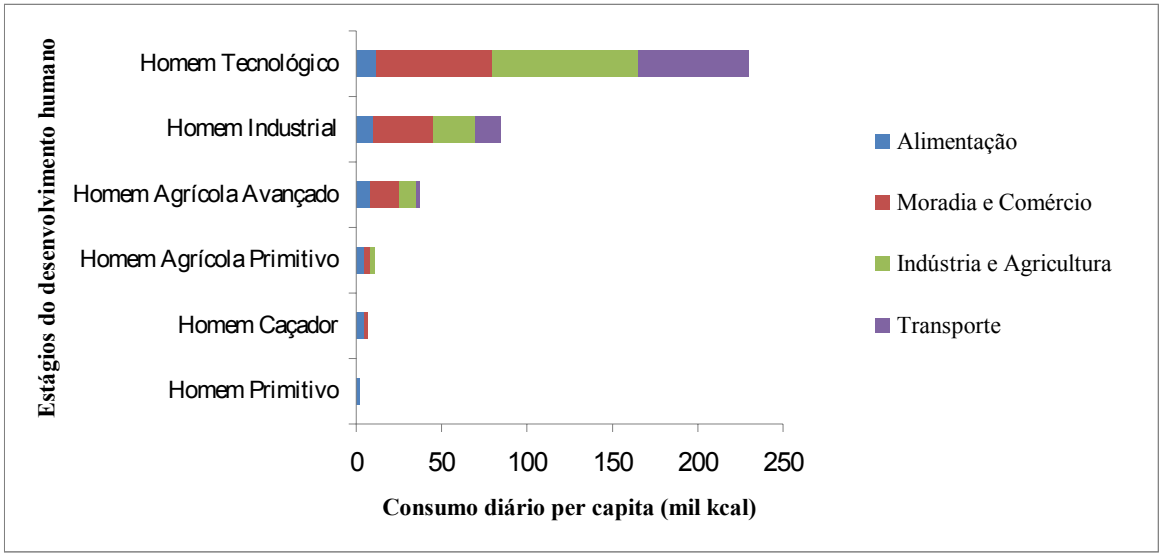


GRÁFICO 1.1 – Estágios de desenvolvimento humano e consumo de energia.
FONTE - GOLDEMBERG, 1998, p. 30.

O atual quadro energético mundial é caracterizado, em muitas oportunidades, por sérios desajustes causados pela utilização contumaz das fontes primárias de energia (principalmente as de origem fóssil), associado à insuficiente capacidade de se suportar os subprodutos e rejeitos tóxicos provenientes de sua transformação industrial. Tal situação tem obrigado órgãos públicos e instituições não-governamentais a adotarem estratégias que concorram na minimização dos impactos ambientais associados a esta realidade.

Esta postura direciona olhar perscrutador ao campo das fontes renováveis de energia, cujo emprego maciço, acredita-se, resultaria em significativa diminuição dos problemas sócio-econômicos; proporcionando, além disso, oportunidade de alavancagem econômica para países possuidores de abundante matéria–prima não convencional. Todavia, em termos práticos o custo associado aos processos de obtenção de energia oriunda de fontes renováveis ainda é alto, impossibilitando sua utilização em larga escala, principalmente, em países ainda incipientes na maturidade sócio-econômica.

Cálculos baseados em estudos de aferição, acerca do impacto causado pelo ciclo de vida útil de diversos dispositivos eletrônicos, demonstraram que a energia de consumo dos mesmos é responsável por 50 à 85% de sua ação danosa ao meio ambiente (JANSEN E STEVELS, 2006; KAZAZIAN E JANSEN, 2004). Dessa forma, nos últimos anos, vem se firmando de maneira contundente a preocupação em torno do desenvolvimento de produtos caracterizados por baixo consumo de energia. Fato em parte justificável, dada a proliferação de produtos portáteis (como *notebooks*, PDAs e *palm top*).

Dentro dessa realidade, Sáez (2004) encara a conversão de energia solar em energia elétrica como alternativa viável no atendimento à demanda energética imposta por dispositivos portáteis. Atualmente, diversos produtos como calculadoras, rádios, aparelhos de fone de ouvido, *laptops*, telefones celulares, lanternas, e carregadores de baterias, obtêm energia para seu funcionamento através da conversão da luz solar. A eficiência desse processo de conversão depende, irremediavelmente, de condições climáticas favoráveis, e de efetivo arranjo espacial dos dispositivos (placas) captadores de luz solar. Ao longo dos últimos anos, inovações tecnológicas têm repercutido tanto em redução do custo das células fotovoltáicas, quanto em modificações em sua estrutura física, fazendo com que as mesmas se tornem mais leves e flexíveis, viabilizando, assim, sua utilização tanto em superfícies de equipamentos eletrônicos portáteis, como no revestimento de prédios e veículos.

Para Starner e Paradiso (2004), O desenvolvimento de dispositivos que apresentem técnica de gerenciamento energético inteligente, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, está repercutindo em diminuição da energia necessária ao cumprimento das mais variadas funções nos equipamentos eletrônicos; despertando, dessa forma, um crescente interesse no aproveitamento da energia humana voltado ao acionamento de sistemas portáteis.

Para que se possa realizar correlação aproximada entre o potencial energético humano e a demanda por energia elétrica dos vários dispositivos existentes e, dessa forma, estabelecer estratégias variadas de conversão e armazenamento da energia elétrica gerada, deve-se em primeiro lugar determinar a energia (em watts) de saída, própria de atividades do dia-a-dia, incluindo-se, neste caso, o exercício físico. Dessa forma, conforme afirma Pandian (2004), seria permitida a constatação dos tipos de sistemas de conversão de energia, baseados na ação humana, que se revelariam compatíveis, em termos energéticos, com dispositivos portáteis eletrônicos que fossem caracterizados, sobretudo, por baixa potência de consumo.

Starner (1996), baseando-se em dados colhidos a partir de estudos realizados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), faz menção acerca da energia despendida, em watts, em várias atividades, as quais são relacionadas na TAB.(1.1).

TABELA 1.1 – Gasto energético humano relativo a algumas atividades.

Atividade	Consumo em watts
Dormir	81 W
Tocar violino ou piano	163 W
Nadar	582 W
Correr longa distância	1048 W
Correr curta distância	1630 W

FONTE - STARNER, 1996, p. 620.

Dessa forma, de acordo com Jansen e Stevels (2006), a verificação da quantidade de energia disponibilizada pela ação humana, relacionada à quantidade perdida durante processos de conversão e armazenamento poderia criar parâmetros, que contribuiriam na predição das possibilidades teóricas acerca do contínuo aproveitamento da energia humana em dispositivos eletrônicos.

Algumas das prováveis vantagens, em se utilizar o manancial energético humano, verificado sob a análise dos aspectos econômico, ambiental e tecnológico, são citados a seguir:

- Aplicabilidade em áreas remotas, e em países em desenvolvimento;
- Uso em computadores portáteis, cujo desenvolvimento das baterias, têm se mostrado inferior ao avanço dos processadores;
- Uso em dispositivos cujo funcionamento prescinda de fios e onde a ausência de baterias impeça seu uso contínuo;
- Utilização em momentos em que haja falta de fornecimento de energia baseada em fontes tradicionais e, naquelas de alto custo associadas às energias eólica e solar;
- Utilização em situações de emergência;
- Conservação de energia, para minimização da energia necessária ao acionamento de dispositivos de assistência, utilizados por idosos e deficientes;
- Consciência ambiental (em relação ao tratamento dispensado aos dispositivos voltados ao acúmulo de energia não biodegradáveis, como as baterias);
- Avanços na concepção de atuadores, materiais e técnicas de armazenamento de energia.

Percebe-se, diante dos aspectos listados anteriormente, que o aproveitamento da fonte energética humana ofereceria, segundo análise mais imediata, utilização espaço-temporal quase que ilimitada, atuando, dessa forma, enquanto aspecto motivador à concepção de produtos, cuja energia de funcionamento proviesse, fundamentalmente, da ação humana (JANSEN E STEVELS, 2006).

Segundo Pandian (2004), diversos produtos podem apresentar sua concepção baseada neste tipo de energia, recuperada e direcionada ao funcionamento de lâmpadas, carregadores de telefone celular, relógios de punho, entre outros. Starner e Paradiso (2004), consideram o corpo humano enquanto um notável reservatório de energia, admitindo o montante contido nos substratos energéticos. Se parte considerável de toda essa energia armazenada pudesse ser aproveitada, dispositivos portáteis poderiam contar com uma significativa, renovável, e constante fonte de energia elétrica.

Via de regra, segundo Flipsen (2004), a eficiência concernente ao direcionamento da energia química, contida nas moléculas de ATP, aos processos envolvidos na contração muscular gira em torno de 5 – 10% em movimentos caracterizados pela ação de puxar e empurrar, e de 20 a 25% em atividades de pedalagem. Enquanto que, a eficiência relativa à conversão energia muscular - energia elétrica dependeria da tecnologia utilizada. Se realizada através de conversores eletromagnéticos, algo em torno de 40 – 60%, e para conversores piezoelétricos[1], 5 – 10%. A máxima energia gerada depende, segundo Flipsen (2004), da interação de variáveis relacionadas ao indivíduo, ao equipamento utilizado, e ao meio ambiente. Deste modo, relata que a energia associada ao trabalho mecânico realizado em cicloergômetro[2] seria maior para ciclistas treinados quando comparado a pessoas comuns.

A possibilidade de se quantificar a energia mecânica humana, por meio deste tipo de equipamento, permitiria indicar com maior segurança os dispositivos elétricos passíveis de acionamento mediante o exercício físico. A esse respeito, Kyle e Caiozzo (1986), testaram vários tipos de ergômetros, através dos quais se tencionou verificar a máxima potência de saída associada a esforço físico realizado em cada um dos mesmos, de modo que os dados coletados servissem de parâmetro à concepção de veículos cuja energia de acionamento proviesse da ação humana.

Neste sentido, a atividade física, principalmente, quando realizada em local apropriado (academias de ginástica) poderia se apresentar enquanto fonte permanente de energia elétrica, convertida, por meio de geradores, a partir da energia mecânica produzida em bicicletas estacionárias.

Diante das considerações supracitadas, o presente estudo tentou lançar luz acerca do aproveitamento de fontes alternativas de energia, especificamente aquelas originadas por meio do exercício físico, cujo planejamento, em determinados períodos de tempo, seriam pautados pela interação entre as variáveis referentes à carga de treinamento aplicada.

---

[1] Materiais piezoelétricos são estruturas que geram corrente elétrica ao sofrerem deformação mecânica.

[2] Dispositivo envolvido na mensuração da energia mecânica produzida por meio de movimentos cíclicos, de membros superiores e inferiores.

2 OBJETIVOS

Assim sendo, estão entre os objetivos do presente estudo:

- Demonstrar a quantidade de energia elétrica, correspondente à energia mecânica, que poderia ser gerada a partir de um modelo simulado de treinamento, com duração de um mês, constituído por exercício realizado em bicicleta estacionária.

- Verificar a magnitude de redução no consumo mensal de energia elétrica, em um ambiente caracterizado por gerenciamento energético planejado, considerando que a energia produzida via exercício físico fosse direcionada ao acionamento dos equipamentos elétricos que subsistiriam funcionalmente o mesmo local.

- Apresentar possíveis discrepâncias relacionadas à mensuração das variáveis mecânicas potência e trabalho, por meio da confrontação de modelos de cálculo caracterizados por abordagem diversa, no que se refere ao entendimento acerca das variáveis implicadas na determinação da força de frenagem que se opõe à pedalagem.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Qualquer que seja a estratégia de conversão eletromecânica baseada na ação voluntária humana, a produção da energia associada à ação muscular depende da ocorrência de reações químicas altamente controladas. Nestes processos, a fibra muscular direciona a energia contida nas moléculas dos carboidratos, das gorduras e das proteínas, outrora sintetizados pelos vegetais por meio da energia luminosa, para locais específicos nas unidades contráteis, onde estruturas moleculares transformam a energia química em energia do movimento.

Num espectro de alterações metabólico-neuromusculares decorrentes da correta alternância de parâmetros associados à carga de treinamento, podemos localizar em extremos opostos, as adaptações aeróbias e anaeróbias, provenientes de periódica agressão ao equilíbrio interno, a qual ocorre, respectivamente, por meio de esforços contínuos aplicados em nível submáximo[1], e atividades intermitentes em alta intensidade, caracterizadas por eficaz diálogo entre os períodos de esforço e de recuperação (situações que se situam entre esses dois extremos se caracterizariam por aporte energético misto).

Eventos relacionados ao ciclismo caracterizam a escala energética mencionada anteriormente, em decorrência da gama de intervalos de esforço, que vão desde períodos de, aproximadamente, 10 a 12 segundos (como ocorre em subidas de rampas, nas chegadas em provas, ou em quaisquer momentos caracterizados por acelerações) até eventos, com duração de 23 dias, correspondendo neste caso específico à distância aproximada de 5000 km, como verificado na Volta da França (GARRET E KIRKENDALL, 2003).

Lúcia et al (2003), como forma de se examinar a diversidade de atuação das vias energéticas durante esforço físico, ao qual se submetem ciclistas em eventos de longa duração, propõem a associação de diferentes intensidades à fases distintas da prova, adotando como referência medidas da freqüência cardíaca obtidas durante teste de esforço máximo, realizados em laboratório. Dessa forma, subdividem nas zonas 1, 2 e 3, esforços representados, respectivamente, por baixa intensidade (70% do $VO_{2máx}$[2].), intensidade moderada (entre 70% e 90% do $VO_{2máx.}$), e alta intensidade (acima de 90% do $VO_{2máx.}$).

---

[1] Eventos submáximos são caracterizados por predominância das vias energéticas aeróbias, localizando-se, portanto, em nível inferior ao limite entre os metabolismos aeróbio e anaeróbio.

[2] Relaciona-se ao consumo máximo de oxigênio, o qual é comumente mensurado em ml/kg.min.

Kang et al. (2005), relatam que a variação da intensidade empregada no ciclismo de salão é, usualmente, representada por alterações na força de frenagem que se opõe ao movimento do pedal, promovida pela adição de massas externas de diferentes magnitudes. Dias et al. (2007), ampliam esta abordagem ao encararem a alteração da cadência de pedalagem como estratégia por meio da qual ciclistas, competidores ou recreacionais, provocariam alterações no esforço físico executado durante uma sessão de treinamento.

O controle da intensidade da carga de treinamento, aplicada ao ciclismo de salão, pode ocorrer por meio de alguns critérios fisiológicos. Dentre os mesmos, destaca-se, conforme relatado por Szmuchrowski et al (2005), por meio do QUADRO (3.1), a freqüência cardíaca, a qual, dada a sua fácil aplicabilidade, surge enquanto maneira de demonstrar o grau de solicitação dos diversos mecanismos energéticos envolvidos no ciclismo estacionário, empreendido em diversas intensidades.

QUADRO 3.1 – Relação entre níveis de esforço e respectivo parâmetro de registro.

Nível	Via energética	Finalidade	% FC máx.
6	Anaeróbio	Potência máxima	-
5		Consumo máx. de oxigênio	> 90
4	Anaeróbio + Aeróbio	Limiar do esforço	89 – 90
3	Aeróbio	Potência Aeróbia	82 - 89
2		Resistência aeróbia	75 – 84
1		Preparação, volta à calma	< 75

FONTE: Adaptado de Szmuchrowski et al (2005).

A solicitação dos mecanismos energéticos depende da estratégia de manipulação dos períodos de trabalho e de recuperação, condição à qual Szmuchrowski et al (2005) associa o termo “métodos de treinamento”.

Num primeiro instante, os métodos de treinamento podem ser divididos, de acordo com a solicitação dos mecanismos energéticos, como contínuos e fracionados. Enquanto aqueles se caracterizam pela execução sucessiva de um evento motor, nos métodos fracionados, períodos de trabalho são intercalados por pausas regulares de recuperação.

Os métodos contínuos se distinguem dos demais pelo objetivo direcionado ao aprimoramento e à manutenção da capacidade aeróbia de gerar energia para a ação muscular.

Dependendo do grau de intervenção nesta zona de energia, a aplicação do esforço pode se organizar de forma estável ou variável.

O método contínuo estável contará, invariavelmente, com a participação majoritária do metabolismo aeróbio. Por outro lado, a intensidade oscilante do método contínuo variável ao permitir que a zona de limiar anaeróbio[3] seja ultrapassada – requisitando, para tanto, as vias anaeróbias de fornecimento de energia – exigirá que o insuficiente aporte de oxigênio seja compensado durante os momentos em que o trabalho muscular solicite, predominantemente, os mecanismos aeróbios.

Os métodos fracionados, por sua vez, caracterizam-se pela solicitação das vias anaeróbias, podendo ser divididos, conforme as adaptações de caráter neuromuscular e metabólica, em repetitivos e intervalados.

Ao método repetitivo cabe o aperfeiçoamento de determinado padrão motor, por meio de aplicação de esforço físico empreendido em máxima intensidade. Nesta situação, embora haja solicitação majoritária das fontes energéticas anaeróbias, seu aprimoramento é negligenciado, em virtude da recuperação completa promovida pelos intervalos de recuperação.

Quando os componentes da carga de treinamento se voltam, essencialmente, ao desenvolvimento dos mecanismos energéticos, os intervalos de esforço se tornam menos intensos (comparando-o ao método repetitivo), sendo aplicados num período de tempo relativamente mais longo, intercalados com intervalos de recuperação incompleta. Deste modo, o método intervalado, dependendo da magnitude de solicitação das vias anaeróbias, pode ser dividido em intensivo e extensivo. Tanto no método intervalado intensivo quanto no extensivo, a aplicação de repetidos intervalos de esforço, em intensidade submáxima, requer períodos incompletos de recuperação. Comparativamente, o método intensivo (como o próprio nome indica), revela trabalho mais intenso, por isso aplicado em intervalos de tempo mais breves.

Embora a maioria dos métodos de treinamento resultem em alterações duradouras nos mecanismos energéticos, em determinadas situações o objetivo do estímulo físico resulta em abordagem diversa. O método de repetições, neste sentido, caracteriza-se pela combinação de períodos de esforço e de recuperação, o qual por não se traduzir em aprimoramento de quaisquer sistemas energéticos, restringe-se ao aperfeiçoamento dos aspectos técnico e tático, podendo ser utilizado nos momentos reservados à preparação e à volta à calma.

---

[3] Parâmetro fisiológico que estabelece a intensidade da atividade relacionada à dinâmica metabólica aeróbia.

A aplicação dos métodos, ao longo do processo de treinamento, direciona determinada seqüência de adaptações, na qual o aprimoramento dos mecanismos aeróbios prepara o organismo diante de estímulos mais intensos. Torna-se, assim, possível, o diálogo entre adaptações predominantemente neuromusculares e metabólicas, representadas pelos métodos contínuo e intervalado.

Importante ressaltar que tanto os estímulos aplicados em alta intensidade e em curta duração, quanto aqueles distribuídos num maior intervalo de tempo e, executados numa intensidade inferior, formatam a carga do treinamento distribuída ao longo da temporada, segundo direcionamento específico das variáveis duração, intensidade, freqüência; relacionadas aos estímulos aplicados e orientadas ao aprimoramento, em momento oportuno, de certas qualidades físicas.

Geralmente, conforme Garret e Kirkendall (2003), o início de todo processo de preparação física é caracterizado pela utilização de um período denominado preparatório, o qual se apresenta como etapa mais duradoura (± 6 meses) do processo anual de treinamento. Oportunamente, esse período contempla duas etapas. Na fase de preparação geral se forja a estrutura básica na qual aprimoramentos do componente cardiovascular e do nível máximo de força muscular servem às adaptações que, em fases posteriores, detêm caráter mais específico, estando intimamente relacionadas ao alto rendimento em determinada modalidade esportiva. Trata-se de exercícios cujo estereótipo motor não reproduz a estrutura interna (vias energéticas e mobilização neuromuscular) de um dado gesto esportivo, específico de um determinada modalidade. Na etapa seguinte, denominada fase de especialização, o treinamento mais generalizado cede espaço a uma abordagem mais específica, composta por trabalho de longa distância, de velocidade, caracterizando o início de elevação gradual na intensidade do esforço, que irá requisitar de forma mais contundente as vias aeróbias e anaeróbias de fornecimento de energia.

Transcorrido o período de tempo mencionado anteriormente, o programa de treinamento da fase anterior é reestruturado de modo a sofrer progressivo aumento em sua intensidade, fazendo com que trabalhos de caráter intervalado, executados na zona de limiar anaeróbio assumam maior ênfase.

Todas as ações propostas na fase de preparação culminam no período de competição, no qual o indivíduo deve manifestar o mais elevado nível de prontidão, a partir do que fora desenvolvido nas fases anteriores, em relação aos aspectos tático, técnico, mental e (principalmente) físico.

O final do processo que compreende o calendário competitivo deve representar transição segura e eficaz para um novo período preparatório. Esse período, com duração aproximada de 6 a 8 semanas, é caracterizado por redução planejada do nível de condicionamento físico através de atividades próprias de outras modalidades esportivas (neste momento, semelhante ao que ocorrera no período de preparação geral, o ciclista pode optar, por exemplo, por se exercitar através de exercícios de corrida) representando, acima de tudo, uma maneira de se promover a fase inicial de um novo recomeço.

Em quaisquer dos períodos que compõem o processo mais amplo da preparação, a execução de determinado esforço muscular, por meio da pedalagem, requer que aporte suficiente de energia seja direcionado pela via energética primordialmente solicitada. O aprimoramento desta última, alcançada por meio da aplicação periódica de certo estímulo físico, tende a causar uma redução na energia necessária para a execução da mesma.

Faria (1992), relata acerca da distinção verificada entre ciclistas treinados e destreinados, em relação à capacidade manifestada pelo primeiro grupo na manutenção de altas taxas de pedalagem sem diminuição da potência mecânica e da eficiência.

A relação entre o percentual de energia química, exigida durante a realização de um trabalho externo, e o influxo total de energia é entendida por McArdle et al (2003), como a eficiência mecânica, própria de um exercício executado sob combinação específica da intensidade e da duração, empregadas no esforço físico em questão. Esta situação pode ser constatada de acordo com a EQ. (3.1). Tomando as variações na Produção de trabalho mecânico e no dispêndio de energia, respectivamente, pelos termos z e w, tem-se que:

$$EficiênciaMecânica = [z / w] \times 100 \qquad (3.1)$$

Hansen e Sjøgaard (2006), consideram a velocidade de contração e o tipo de fibra muscular recrutada, como variáveis que influenciam na eficiência da contração muscular. No estudo conduzido por estes pesquisadores, alterações realizadas no ritmo de pedalagem ocasionaram pequeno efeito na eficiência muscular. Além disso, seu estudo verificou que indivíduos com predominância de fibra lenta (tipo I) realizaram exercício em nível submáximo de forma mais eficiente quando pedalaram num ritmo de 115 rpm, quando comparado com freqüência de 61e 88 rpm.

Procedimentos experimentais que correlacionaram o esforço muscular empregado em eventos de curta ou longa duração, e a distribuição (recrutamento) de determinado tipo de fibra muscular demonstraram que a pedalada realizada com maior vigor físico solicitou expressivo montante energético armazenado nas fibras do tipo II, as quais possuem maior

capacidade na geração de força. Por outro lado, outros experimentos apontaram que em contrações realizadas em velocidades mais baixas (cerca de 80 rpm), o processo de conversão de energia química em trabalho mecânico dar-se-ia de forma mais eficiente por meio da solicitação preponderante de fibras do tipo I, fisiologicamente mais adaptáveis aos processos oxidativos.

A eficiência do corpo humano se encontra, de acordo com McArdle et al (2003), por volta de 20 – 30% para atividades como a caminhada, a corrida e a pedalagem estacionária, estando subjugada a aspectos relacionados à aptidão, à técnica do movimento, bem como ao gênero e ao tamanho corporal do indivíduo. A média dos valores referentes à eficiência muscular, segundo o que Hansen e Sjøgaard (2006) observaram em seu estudo, foi de 26%, coerente, portanto, com os valores citados anteriormente.

Estudos de Asmussen, 1952; Boming et al., 1984; Sidossis et al., 1992; Chavarrem e Calbet, 1999; Martin et al., 2002, citados por Hansen e Sjøgaard (2006), demonstraram que incremento na cadência de pedalagem (rpm) são acompanhados por elevação na eficiência muscular. No entanto, ressaltam que estudos futuros devem contribuir no esclarecimento acerca da influência do tipo de fibra muscular na eficiência de um dado gesto motor, principalmente quando relacionado com variados ritmos de contração.

A análise do estudo do dispêndio energético relacionado ao exercício físico pode ocorrer por meio da mensuração do calor produzido em certo trabalho muscular, o qual se apresenta enquanto método direto de mensuração da energia despendida. Por outro lado, a quantificação do consumo de oxigênio, e sua conseqüente conversão em quilocalorias, constitui-se em uma forma indireta na determinação da mesma energia gasta. O valor calórico associado à quantidade de oxigênio consumido exige conhecimento acerca do nutriente que fora metabolizado em determinada tarefa motora. Na verdade, a energia é fornecida por uma dieta mista, composta, principalmente, por carboidratos e gorduras, cuja proporção (respeitadas as condições de aplicação do estímulo físico, considerando sua intensidade e duração) pode ser satisfatoriamente conhecida a partir da consideração não apenas do consumo de oxigênio, mas também do dióxido de carbono produzido (é sabido que cada grama de gordura metabolizada produz mais que o dobro de kcal, quando comparado às proteínas ou aos carboidratos. São 9 kcal daquela, contra 4 kcal das demais fontes).

Dispositivos, conhecidos como ergômetros (do grego εργον = trabalho, e μετρον = medida; pronuncia-se, respectivamente, ergon e metron), são comumente disponibilizados para avaliação de movimentos relacionados à gestos cíclicos. Faria (1992), destaca os cicloergômetros, convencionais e modificados, e as esteiras, como dispositivos capazes de

mensurar a máxima energia humana produzida. De acordo com Hansen e Sjøgaard (2006), o ciclismo tem sido utilizado na investigação da eficiência muscular voluntária, em virtude da relativa facilidade concernente à mensuração de variáveis como a potência externa e a energia do metabolismo interno, determinada por meio do consumo de oxigênio em níveis submáximos de exercício.

De acordo com Lúcia et al (2003), a potência máxima de saída, em eventos caracterizados por alta intensidade, encontra-se em torno de 350 W, embora indivíduos altamente treinados possam atingir valores superiores a 400 W (os mesmos autores citam média de 509,5 W produzidos durante 1 hora de pedalagem alcançada por atleta de renome internacional).

A capacidade em se produzir energia, seja por meio de processos aeróbios ou anaeróbios, pode ser realizada por meio da mensuração das potências aeróbia e anaeróbia, as quais são indicadores eficazes da capacidade de produzir energia, por unidade de tempo, em um dado grupo muscular, e da capacidade de diversos sistemas e órgãos, como pulmões, coração, músculos ativos, envolvidos no transporte e no consumo de oxigênio, interagirem mutuamente.

O cicloergômetro, conforme mostrado na FIG. (3.1), segundo Silva (2006), apresenta em sua estrutura física, mecanismos capazes de mensurar o trabalho [J] e a potência [W; J/s; kgm/s], resultante de esforço físico exercido com determinada duração. Conforme Faria (1992), a mensuração da potência de saída é freqüentemente determinada através da força exercida no pedal. Dessa forma, maior força vertical resulta em maior trabalho por rotação do pedal, o qual, por meio, ou não, de cadência constante, repercutirá em incremento na potência de saída. Dias et al. (2007) relatam a potência mecânica enquanto parâmetro utilizado na determinação da intensidade de exercício realizado em cicloergômetro, associado ao que esses autores classificam como carga resistiva.

Tradicionalmente, professores e treinadores têm assumido a mensuração do trabalho e da potência, como a carga (a qual corresponderia à massa suspensa, responsável pela tensão da correia sobre a roda), multiplicada pela distância através da qual a roda é movida (a cada giro do pedal, a roda do cicloergômetro adotado, percorre a distância de 6m). Gordon et al (2004), divergem deste raciocínio, encarando como simplista esta metodologia, ao considerar possíveis equívocos na análise mecânica do mecanismo de frenagem utilizado.

Lakomy (1986), à propósito, relata que os métodos de mensuração do trabalho mecânico, produzido a partir de exercício realizado em cicloergômetro de frenagem mecânica,

não consideram possíveis erros que possam surgir, quando se assume que a roda esteja se movendo em velocidade constante, não se levando em conta o trabalho requerido nas fases referentes à aceleração e à desaceleração da mesma.

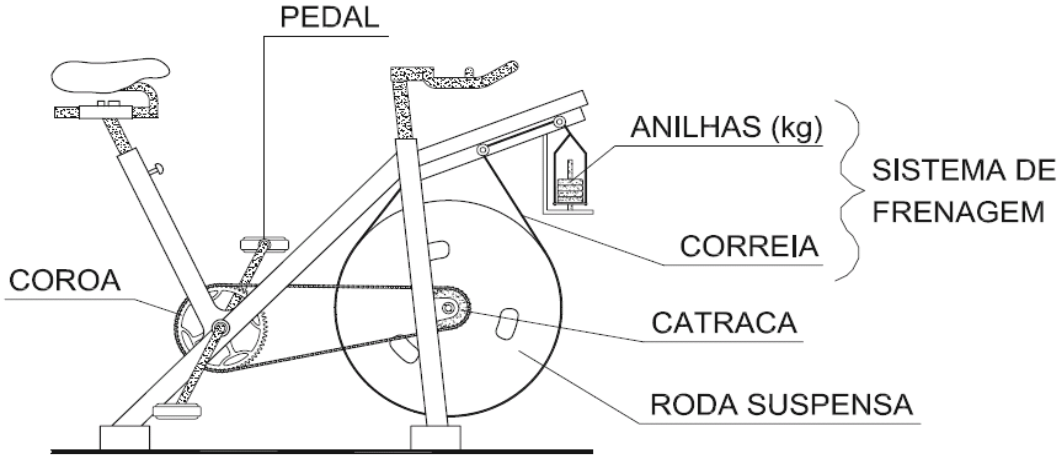


FIGURA 3.1- Cicloergômetro constituído por sistema mecânico de frenagem.

Dessa forma, intencionando minimizar tal fonte de incerteza, propôs um método de cálculo da potência, que consideraria o produto entre a velocidade instantânea da roda e a resistência (força) externa efetiva, esta última, por meio da consideração da força de atrito aplicada na roda e da força que se oporia à aceleração da mesma.

Gordon et al. (2006), comparou a potência e o trabalho, obtidos por meio de mensuração direta da velocidade da roda (por meio de um tacômetro) e do torque de frenagem (através da mensuração da força de atrito da correia sobre a roda), com valores obtidos por meio de equações-padrão fornecidas pelo fabricante do equipamento. Os valores médios de potência e trabalho, obtidos por meio do método modificado foram, respectivamente, 147,45 W e 26.460 J, contra valores padrão de 183 W e 33.067 J, estes últimos obtidos a partir de técnica de mensuração tradicional. Da mesma forma, Franklin et al. (2007) constataram discrepância de 12 a 14% em valores de trabalho e potência, obtidos através de mensuração direta no teste anaeróbio de *wingate*[4], os quais foram inferiores a valores padrão.

A adoção de valores superestimados na avaliação fisiológica de atletas, indivíduos sedentários, e pacientes (como exemplo, cardiopatas) pode repercutir em implicações, em decorrência da prescrição de treinamento inadequado e às propostas de reabilitação que estejam acima de um limiar, adequado e seguro, de mobilização dos componentes cardiovascular, circulatório e músculo-esquelético.

---

[4] Relaciona-se à mensuração da capacidade de solicitação das vias anaeróbias de fornecimento de energia.

Silva (2006), como forma de sanar este fator limitante, propôs que a roda e o sistema de carga de um cicloergômetro padrão Monark (este último composto por estrutura de sustentação, sistema de roldanas, elemento para posicionamento das anilhas e cinta de fricção), fosse adaptado em uma bicicleta de ciclismo de salão. A despeito da adequação anteriormente mencionada, a conformação biomecânica da bicicleta, segundo relato do próprio autor, foi preservada de modo que ajustes em relação ao banco e ao selim fossem possíveis, junto às características antropométricas de cada indivíduo.

De uma forma geral, a energia disponibilizada, por meio da ação humana, principalmente em ambientes voltados à atividade física, pode se encontrar sob a forma cinética ou potencial. A possível geração de energia elétrica a partir de qualquer uma dessas situações e, sua posterior utilização no funcionamento de certos equipamentos, requer o emprego de dispositivos eletro-conversores, entre os quais se encontram os de natureza piezoelétrica e eletromagnética.

A prática disseminada do ciclismo de salão nas academias de ginástica torna possível o aproveitamento da energia mecânica gerada durante o esforço físico. No entanto, sua conversão em energia elétrica requer, necessariamente, que os dispositivos eletromecânicos utilizados sejam caracterizados por potência elétrica compatível com a potência mecânica produzida durante a pedalagem.

A utilização de determinado gerador, caracterizado por estratégia de conversão eletromecânica específica, deve permitir que a energia disponibilizada em uma dada tarefa motora (que representa, por sinal, a menor parte da energia muscular disponibilizada para qualquer esforço físico, em virtude da parte majoritária que se perde sob a forma de calor), seja aproveitada, sobretudo, quando se considera tal evento motor inserido num plano de treinamento, coerente com uma seqüência lógica de adaptações.

Pandian (2004), classifica os mecanismos relacionados ao processo da conversão da energia humana em energia elétrica, como constituídos por variados dispositivos, entre os quais se encontram as molas, os componentes hidráulicos, os sistemas de ar comprimido (estes podem se prestar, em algumas situações, ao armazenamento da energia mecânica associado ao movimento), os geradores elétricos, e os materiais piezoelétricos.

Materiais piezoelétricos são estruturas que, quando sujeitas à tensão mecânica, por meio de movimentos de compressão, flexão e choque, produzem energia elétrica (como relatado por Sodano et al, 2005), a qual seria proporcional à magnitude da deformação sofrida e à freqüência de ocorrência da mesma. Esta ação comporta procedimento inverso, ou seja, a

aplicação de campo elétrico ao material em questão resultaria em deformação física do mesmo; tal processo é conhecido, segundo Sáez (2004), como “efeito piezoelétrico inverso”.

Segundo Kuipers (2003), pode-se diferenciar dois tipos de materiais piezoelétricos: materiais cerâmicos (PZT) e materiais em forma de polímeros (PVDF). Geralmente, elementos piezoelétricos constituídos por material cerâmico apresentam voltagem extremamente alta, comportamento exatamente antagônico ao apresentado pelos polímeros (SÁEZ, 2004).

A aplicabilidade dos materiais piezoeléricos é relativamente vasta, compreendendo desde os atuadores, os quais transformam energia elétrica em mecânica, passando pelo bloqueio sonoro de vibrações de alta freqüência, e até mesmo funcionando como sensores, nos quais a energia elétrica atuaria como instrumento de medição. Ultimamente, o crescente interesse no acionamento de dispositivos elétricos mediante a ação humana tem repercutido em estudo mais contundente acerca do efeito piezoelétrico, enquanto fonte alternativa de energia. Dessa forma, poder-se-ia citar como exemplo, o acionamento de Televisores, o funcionamento de controles remoto, bem como de relógios de punho.

No entanto, a energia elétrica gerada através de materiais piezoelétricos ainda não é produzida em magnitude suficiente para suprir a demanda de alguns dispositivos eletrônicos. Assim, geradores eletromagnéticos, principalmente os rotacionais, seriam utilizados enquanto opção mais viável na conversão da energia cinética ou potencial, associada ao movimento humano, em energia elétrica.

De acordo com Kuipers (2003), dispositivos eletromagnéticos se constituem no tipo mais usual de conversores de energia mecânica. Estas máquinas são, comumente, caracterizadas pelos geradores, os quais são responsáveis pela transformação da energia mecânica em energia elétrica, baseando-se no princípio da indução magnética; fenômeno descoberto pelo cientista inglês Michael Faraday. De acordo com a lei de Faraday, um condutor submetido à variação de um campo magnético (criado por um elemento imantado), ao qual se encontra submetido, fica sujeito à ação de uma força (conhecida como força eletromotriz – f.e.m.), causadora, em última análise, de corrente elétrica no condutor em questão. Pode-se, como exemplo, citar o conversor eletromagnético, desenvolvido pelo próprio Faraday, em 1831, o qual consistia num disco de cobre que girava no interior de um campo magnético formado por um ímã em formato de ferradura (que envolvia o disco citado anteriormente). Após esta primeira etapa, o desenvolvimento das máquinas elétricas seguiu em ritmo acelerado, até culminar com a invenção do enrolamento em tambor, realizada pelo pesquisador alemão Werner von Siemens, e utilizado até os dias atuais.

No final do século XIX, a evolução dos geradores e motores elétricos foi motivada pela invenção da lâmpada elétrica, e pela instalação de um prático sistema de produção e distribuição deste tipo de energia.

A estrutura física de um gerador elétrico elementar se constitui de uma armadura[5] metálica (conhecida, também, sob a denominação de espira) que possui a condição de se mover livremente em torno de um eixo, o qual se encontra perpendicular às linhas de força do campo magnético aplicado. Nesta situação, a corrente elétrica formada, seria alternada, em virtude do aumento e da diminuição do fluxo magnético num giro completo da espira, fato que resultaria na produção de corrente elétrica ora num sentido, ora em sentido oposto.

Embora diversas formas de energia sejam passíveis de conversão em energia elétrica, o termo "gerador elétrico" é, no ramo industrial, somente aplicável às máquinas que convertam energia mecânica em elétrica.

Conforme a característica da corrente elétrica produzida, os geradores podem receber a denominação de dínamos ou alternadores, de acordo, respectivamente, com a corrente contínua ou alternada que surge quando de seu acionamento.

A FIG. (3.2) ilustra a formação de corrente elétrica num gerador de corrente alternada, e sua relação com um circuito externo, conforme a seqüência de eventos listados a seguir:

[5] O termo armadura se refere à parte móvel de geradores ou motores, na qual é induzida uma força eletromotriz.

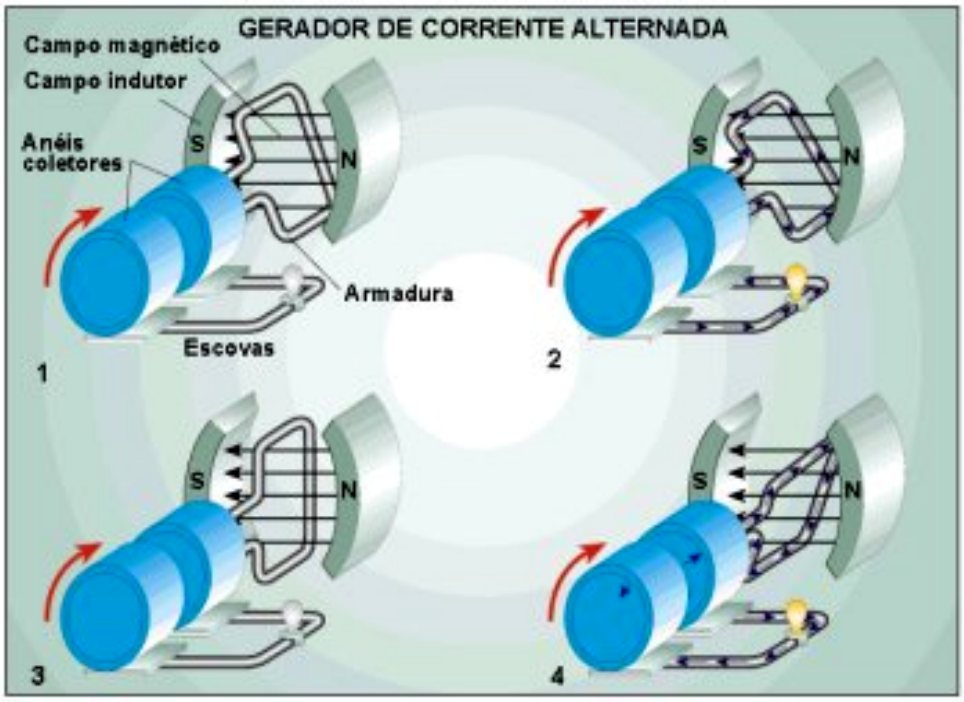


FIGURA 3.2 – Funcionamento de um gerador de corrente alternada.

FONTE – http://www.copel.com

1 – As duas extremidades da espira (armadura metálica) se ligam a anéis condutores, que se encontram sobre escovas de carbono.

2 – Quando a espira gira, a corrente flui no sentido anti-horário. Neste momento, uma das escovas conduz a corrente para fora da armadura, permitindo que uma lâmpada seja acesa. O brilho da lâmpada será mais intenso quando a superfície da espira estiver perpendicular às linhas de força do campo magnético (que saem do pólo norte em direção ao pólo sul do ímã).

3 – Quando a espira se encontrar paralelamente ao campo magnético, não há geração de corrente.

4 – Uma fração de segundo depois, a espira, estando postada obliquamente ao campo magnético, permite que novo fluxo de corrente, desta vez em sentido contrário, seja conduzido pela outra escova para o circuito externo.

Além da divisão quanto ao tipo de corrente gerada (contínua ou alternada), os geradores podem ser classificados quanto ao número de pólos, sendo dipolares e multipolares; segundo o tipo de enrolamento do induzido, podendo ser em anel ou em tambor; e quanto à forma de excitação, sendo enquadrados em auto-excitados e de excitação independente.

O processo de geração de energia elétrica caracterizado anteriormente se aplica tanto aos dínamos, quanto aos alternadores, sendo que a diferença fundamental entre ambos reside na utilização de uma peça denominada coletor, através da qual, os dínamos, retificam sua corrente, gerada pelo induzido (bobina), transformando-a em corrente contínua.

Há uma outra distinção, esta de caráter estrutural, entre dínamos e alternadores, referente à posição relativa entre o induzido (bobina) e o indutor (ímã). Enquanto no dínamo, a bobina exerce a função de rotor, fazendo com que o ímã, responsável pelo campo magnético, permaneça postado na carcaça; no alternador, o campo magnético se origina a partir de movimento do ímã (o qual pode ser circular ou linear, representando, respectivamente, geradores rotacionais e translacionais) através das bobinas, as quais ao se encontrarem dispostas no entorno do mesmo, são percorridas por corrente elétrica induzida.

Segundo Flipsen (2004), a energia elétrica produzida, por determinado gerador, depende:

- da velocidade de rotação do rotor (rpm);
- do número de espiras da bobina;
- da magnitude do campo magnético;
- do número de pólos do ímã;
- da resistência Ôhmica (Ω).

Basicamente, um dínamo, como é mostrado na FIG. (3.3) é formado pelas seguintes partes principais: carcaça, núcleo do induzido, induzido, coletor, escovas, porta-escovas, eixo e mancais. A carcaça, geralmente fabricada de ferro fundido ou aço, atua como suporte mecânico, funcionando como envoltório externo. A armadura, peça que aloja as bobinas do induzido, é de aço laminado, possuindo condutores internos através dos quais se faz o resfriamento da máquina. Enquanto o coletor, consistindo numa série de segmentos de cobre ou bronze fosforoso, mantém-se ligado aos terminais das bobinas do induzido.

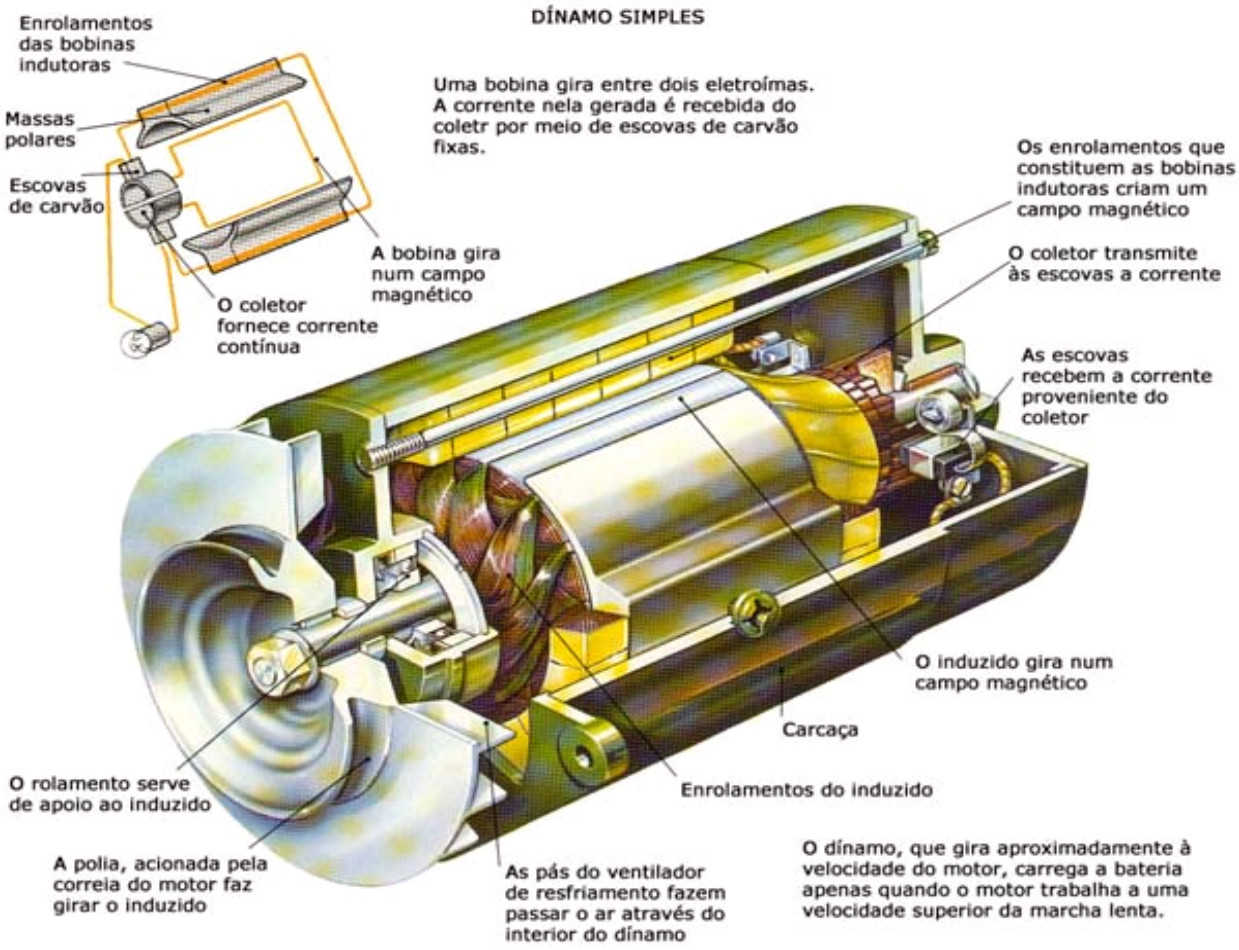


FIGURA 3.3 – Descrição de um dínamo com suas partes constituintes.

A eficiência na conversão de energia depende do tamanho e do material do qual o gerador é feito, variando de 20% para os menores até mais de 80% para os grandes geradores (FLIPSEN, 2004). Além disso, a mais alta eficiência alcançada por um gerador depende de velocidade específica do rotor, sendo, para pequenos geradores, algo em torno de 5.000 à 25.000 rotações por minuto.

Ultimamente, geradores caracterizados por reduzida produção de energia elétrica (<100 W) estão sendo utilizados no aproveitamento de energia mecânica associada às ações humanas. Energia elétrica dessa magnitude resulta, mais comumente, da utilização de geradores acoplados a bicicletas de passeio.

Dessa forma, Krygowski e Slanina (2000) ressaltam entre os vários modelos de geradores, na maioria das vezes utilizados em bicicletas, aqueles cujo funcionamento requer contato com a parte lateral da roda. Estes geradores se apresentam em formato que remete a uma garrafa composta por um longo (e fino) "pescoço" (observar FIG. 3.4). Outro modelo empregado funciona em contato com a parte superior da roda traseira da bicicleta. Ademais,

um terceiro tipo, que demanda certa modificação na estrutura da bicicleta, caracteriza-se pela colocação do gerador no eixo da roda. O modelo caracterizado por contato na parte lateral da roda e por acoplamento no eixo são ilustrados na FIG. (3.4).

FIGURA 3.4 – Modelos de dínamos utilizados em bicicletas de passeio.
FONTE – FLIPSEN, 2004, p. 37.

Comparativamente, o dínamo que mantém contato com a parte lateral da roda é menos oneroso quando relacionado aos demais, além de, provavelmente, oferecer (quando de sua utilização) menor possibilidade de deslizamento entre sua superfície e a da roda (principalmente quando em condições de maior umidade); embora se deva relatar que o contato entre ambas as superfícies, algumas vezes, prescinda de preparo conveniente da parte lateral da roda, até mesmo como maneira de se reduzir as perdas por atrito. Por outro lado, geradores que mantém contato com a parte superior da roda são caracterizados por menores perdas, associadas com o atrito, desde que a direção de rotação seja paralela com o acionamento da roda (KRYGOWSKI E SLANINA, 2000).

Em termos de eficiência, os geradores acoplados no eixo apresentam os maiores valores, estando isentos de deslizamento no ponto de contato entre sua superfície e a da roda; caracterizando-se por reduzido atrito nesta região. No entanto, geradores dessa natureza apresentam, num primeiro momento, maiores gastos associados com sua montagem (embora se admita a possibilidade de utilizar um modelo híbrido, que poderia ser alocado concentricamente ao eixo, já existente, da roda).

Krygowski e Slanina (2000), relatam testes realizados, nos quais as potências de entrada (obtido a partir do produto entre o torque e a freqüência de rotação do gerador) e de saída foram mensuradas em função da velocidade da roda. Cargas resistivas de 6, 12, 18 e 24 ohms foram utilizadas para se verificar o efeito da resistência na eficiência e na potência de saída (este parâmetro foi mensurado a partir do produto entre voltagem e corrente). Mensurações realizadas entre os modelos de geradores tipificados por contato lateral e frontal,

submetidos a velocidade de 5,4 m/s, resultaram em eficiência de 42% para este último, e de 29% para o primeiro modelo (utilizou-se, neste experimento, carga resistiva padrão de 12 Ohms).

A respeito da redução na eficiência concernente à conversão eletromecânica, Krygowski e Slanina (2000) citam perdas relacionadas ao atrito no ponto de contato entre o gerador e a roda, bem como relacionadas ao atrito mecânico no interior do gerador, além de perdas resistivas nas bobinas. A redução na magnitude das perdas, relacionadas à algumas dessas fontes de desperdício de energia, podem elevar a eficiência do gerador para até 60%.

Alguns geradores utilizados em bicicletas, conforme relatam Krygowski e Slanina (2000) aproveitam o movimento rotacional da roda para acionar ímãs que se encontram circundados por bobinas (condutores). Quando o ímã está girando em relação à bobina, a periódica alternância entre seus pólos norte e sul resulta em variação concomitante no sentido da corrente elétrica produzida. A freqüência desta alternância é proporcional à velocidade rotacional do gerador, ou melhor dizendo, de seu rotor; além de se encontrar, por conseqüência, intimamente relacionada ao ritmo de giro da roda da bicicleta.

Como regra geral em relação aos condutores, as espiras que compõe as bobinas oferecem resistência ao fluxo de corrente elétrica. Além disso, são caracterizadas por outra propriedade, a resistência indutiva, a qual se revela contrária à alternância do fluxo da corrente produzida. Esta característica adicional das bobinas é proporcional à freqüência com que a corrente elétrica muda seu sentido e, por extensão, à velocidade de giro do rotor. Dessa forma, elevações na velocidade de giro do rotor provocariam, ao mesmo tempo (e, paradoxalmente), incrementos, na voltagem e na reatância indutiva das bobinas (KRYGOWSKI E SLANINA, 2000).

Estes dispositivos utilizam, como geradores, motores de ímã permanente de corrente contínua, sendo também utilizados em lanternas e rádios portáteis, movidos a manivela. A eficiência total desse sistema, representado por ação mecânica (giro da manivela), cuja energia, de forma conveniente, é coletada por uma mola e, posteriormente, transformada em energia elétrica, situa-se por volta de 40%. Atualmente, são projetados para relógios, microgeradores, os quais, não obstante serem montados em tamanho extremamente reduzido, caracterizam-se por alta eficiência.

A utilização do corpo humano enquanto verdadeira usina de energia elétrica pode se dar de forma ativa ou passiva. A geração ativa se refere à movimentos específicos, executados com a finalidade de se converter a energia do movimento humano em energia elétrica; como se sucede com movimentos de empurrar, puxar, balançar, acionar uma manivela com os pés e

com as mãos. Por outro lado, à forma passiva se relacionam todo o conjunto de ações cuja execução corriqueira (e muitas vezes involuntária), como a respiração, a produção de calor pelo corpo, o movimento das articulações (relacionado à algum gesto motor comum) e o próprio caminhar, poderia disponibilizar energia passível de conversibilidade em energia elétrica.

Embora alguns pesquisadores estejam trabalhando no desenvolvimento de células energéticas *in vivo*, as quais por meio da oxidação da glicose sanguínea proporcionariam pequena quantidade de energia (cerca de 1 mW), voltada ao funcionamento de implantes; o quadro tecnológico atual, ainda impõe restrições à sua utilização (STARNER E PARADISO, 2004).

Sáez (2004) aponta a viabilidade de se aproveitar o calor corporal, por meio de geradores termoelétricos, de modo a suprir a demanda energética de dispositivos portáteis. Contudo, Starner e Paradiso (2004), relacionam a esses dispositivos uma diminuta eficiência, com variação entre 0,2% - 0,8%, para diferenças de temperatura de 5°C à 20°C, em se tratando de ambientes de clima temperado . A eficiência do processo de conversão energética, baseado na diferença de temperatura entre o corpo humano e o meio ambiente diminuiria em locais de clima quente, aumentando, por outro lado, à medida que a temperatura do meio ambiente diminuísse (deve-se afirmar que elevações na diferença de temperatura seriam contraproducentes para o organismo, pois predisporiam o mesmo à crescente perda de calor).

Starner e Paradiso (2004), comentam sobre a possibilidade de se gerar energia elétrica a partir da respiração. O mecanismo conversor seria formado por um gerador dielétrico extensível preso a uma cinta, a qual envolvendo o tórax do indivíduo, recuperaria o movimento de expansão, transformando-o posteriormente em energia elétrica (neste caso, possíveis fricções, entre as partes do mecanismo conversor, poderiam causar perda de parte da energia convertida). Ademais, os mesmos autores relatam que alguns trabalhos têm tentado explorar a energia envolvida nos processos respiratórios em dispositivos implantados.

Muitos pesquisadores têm investigado o aproveitamento da energia gasta em atividades biológicas, e sua posterior utilização em dispositivos eletrônicos, dentre as quais se encontram as formas supracitadas. Paralelamente aos mecanismos citados anteriormente, ressalta-se a utilização de recursos invasivos, caracterizados por geradores implantados, cuja ativação dependeria da energia contrátil de um músculo específico (TRUMBLE E MAGOVERN, 1997; LEWANDOWSKI et al, 2007).

Vários estudos têm considerado a possibilidade de se gerar energia elétrica por meio da energia mecânica associada ao movimento de membros inferiores e superiores. Sáez

(2004), relata acerca de produtos (como rádios, lanternas e relógios), cuja energia de funcionamento seria provida por meio do movimento das mãos; como atesta em seu estudo KIRYAKIN et al (1997).

As possibilidades envolvidas com a ação dos membros inferiores podem ser tipificadas por meio de geradores inseridos no solado de calçados de passeio, bem como em calçados de uso militar (STARNER E PARADISO, 2004; BAYLIS citado por SÁEZ 2004). Forma alternativa de se colher a energia mecânica relacionada à marcha pode também ser representada pelo mecanismo concebido por gerador posicionado lateralmente ao joelho, conforme estudo de Donelan et al (2008), o qual aproveitaria a energia da fase de desaceleração da marcha; e por meio da oscilação vertical de mochilas de passeio (GRANSTROM et al, 2007).

O modelo de conversão eletromecânica proposta por Pandian (2004), tipifica a gama de possibilidades concernentes à conversão eletromecânica, ao tratar da transferência da energia associada ao movimento vertical de um equipamento de lazer ("balanço"), cuja armazenagem da energia mecânica sob a forma pneumática, precederia sua conversão em energia elétrica.

Starner e Paradiso (2004), relatam acerca de modelos de pedal de bicicleta em tamanho reduzido que, quando associados a geradores seriam utilizados na produção de energia elétrica, direcionando a mesma à rádios portáteis de ondas curtas.

Geradores elétricos são, na situação descrita acima, tradicionalmente acionados pelos membros inferiores (em virtude da maior força e resistência muscular de coxas e pernas), quando comparados aos membros superiores, na conversão da energia mecânica do movimento. Atualmente, segundo Starner e Paradiso (2004), alguns dispositivos eletrônicos montados em algumas bicicletas utilizadas em academias de ginástica, podem ser carregados (eletricamente) através de movimento dos próprios indivíduos.

Dessa forma, torna-se interessante a consideração acerca das diversas possibilidades referentes à recuperação da energia mecânica associada à pedalagem, o que constitui o foco investigativo do presente estudo. Aspectos que fogem ao cerne da questão, mas que ainda assim, possuam relevância no entendimento mais global do tema proposto, serão abordados ao final do texto, sob o formato de leitura complementar (apêndice).

A obtenção de energia elétrica, a partir do movimento humano, pode ser elevada, por meio do aumento da energia mecânica disponibilizada, sobretudo, pelo esforço físico realizado com os membros inferiores. Dessa forma, faz-se pertinente relatar acerca de invenções, as quais preconizam a utilização de geradores (dínamos e alternadores), no

aproveitamento da energia mecânica associada, principalmente, ao movimento cíclico de bicicletas e esteiras. No caso das bicicletas, os geradores, em sua maioria dínamos, produziriam energia elétrica, mediante contato físico com a roda, estando postados em sua parte lateral, superior e, até mesmo, acoplados ao eixo dessa estrutura.

A produção de energia elétrica por meio de exercício físico, realizado em bicicleta estacionária, pode ser atestado por um invento (patente nº 568.209, denominada *Electric lamp for velocípedes*), datando de 1896; talvez um dos pioneiros no que tange ao enfoque abordado. Este dispositivo se refere a um mecanismo básico de indução eletromagnética, a partir do qual, a energia mecânica obtida a partir do giro da roda, seria transferida por meio de um sistema de engrenagem, composto por polias, para uma haste que, atuando como um rotor, acionaria um dínamo. A corrente elétrica, dessa forma produzida, seria responsável pelo carregamento de um circuito ligado a uma bicicleta.

Diversas tentativas de se aproveitar a energia mecânica proveniente de ações humanas, principalmente durante exercício físico realizado em bicicletas, através da utilização de geradores elétricos, têm sido realizadas. Por exemplo, o sistema de geração de energia elétrica da patente nº 6.016.022 (*Electricity generating system for bicycle*) se baseia na utilização de um ou mais dínamos montados na parte estrutural de uma bicicleta, próximos às suas rodas. Este sistema compreende dois discos, localizados concentricamente às rodas dianteira e traseira (compartilhando, por isso, do mesmo eixo). Os discos funcionariam como polias, os quais estando interligados aos dínamos através de correias, permitiriam que o movimento das rodas fosse transmitido à parte ativa destes geradores, entendida como estrutura externa responsável pela transmissão do movimento ao rotor.

Na invenção de patente nº 6.910.992 (*Tandem exerciser and power generator*), uma bicicleta de dois lugares (*Tandem*) é modificada para atividade simultânea de membros inferiores e superiores, na qual dois indivíduos se exercitariam ao mesmo tempo (estando ambos voltados um para o outro). A movimentação de membros superiores e inferiores (pedalada) seria transmitida a um conjunto de coroas e correntes, cuja montagem dirigiria a força, aplicada nos pedais, à roda, que ao se encontrar associada ao gerador através de correia de contato comum a ambos, permitiria que a energia cinética de seu giro fosse convertida em energia elétrica.

Também na patente de nº 4.298.893 (*Tv energized by exercise*) um gerador, de corrente contínua ou alternada (neste último caso contando com um retificador), mantido em contato com a roda dianteira de uma bicicleta, seria acionado través do giro do pedal. A energia elétrica resultante poderia, assim, ser utilizada diretamente no acionamento de um

televisor, montado na própria bicicleta. Por outro lado, quando armazenada em uma bateria, deveria passar através de um inversor, a qual ajustaria a tensão para níveis compatíveis com o dispositivo em questão. O inversor poderia também conter um contador, que mostraria a taxa na qual a energia elétrica estaria sendo gerada, e/ou o total de energia produzida pelo usuário. O funcionamento desse mecanismo pode, no entanto, ocorrer na ausência de bateria, descarregando diretamente na tv a corrente elétrica gerada durante a pedalagem.

Na patente nº 6.789.926 (*Light-generating bicycle pedal*), um gerador, compreendido por um imã circundado por uma bobina, seria montado dentro de um pedal, segundo seu eixo longitudinal. O movimento do pedal, em relação à manivela, ao causar o giro de seu eixo interno, resultaria em conseqüente giro do rotor (imã) em relação à bobina. A corrente elétrica induzida na bobina seria coletada por uma armadura que possuiria o encargo de transferir a energia elétrica para a parte lateral do pedal, onde lâmpadas, dispostas ao longo do seu eixo, poderiam ser acionadas.

A patente nº 670.371 (*Permanent magnet generator for bicycle light operation*), refere-se a uma montagem um pouco distinta das anteriores. Neste caso, o gerador seria mantido em contato permanente com a parte superior da roda traseira de uma bicicleta. O imã representaria, neste caso, a parte fixa (estator), localizado no centro do gerador, ao redor do qual, a bobina, que se encontraria associada a dois rolamentos (partes do gerador que manteria contato com a roda da bicicleta), efetuaria movimento rotacional a partir do giro da roda. O movimento relativo do rotor em relação ao estator, provocando variação do fluxo magnético, criado pelos ímãs permanentes, resultaria na produção de corrente elétrica, a qual poderia ser utilizada no acionamento do farol da bicicleta.

De forma similar, o mecanismo, de patente nº 6.987.327, (*Electric generating convertible bicycle*) compreende um alternador, interligado, por meio de uma haste, a um cilindro que, mantendo contato com a circunferência externa do pneu traseiro da roda de uma bicicleta (que se encontraria, apoiada em um suporte, afastada do solo), transferiria seu movimento de rotação para o alternador. A corrente elétrica, gerada a partir do giro da roda traseira, poderia se prestar tanto ao acionamento imediato de dispositivos eletrônicos quanto ao carregamento de uma bateria.

O acionamento do gerador, nesta situação um dínamo, seria representado pela patente de nº 6.502.842 (*Bicycle power generating arrangement*), cujo acionamento do dispositivo eletroconversor aconteceria por meio de rodas auxiliares, dispostas no mesmo plano e unidas por um eixo em comum. O dínamo se encontraria entre as duas rodas, compartilhando do mesmo eixo, de modo que o ímã, considerado neste caso rotor do dínamo, estaria disposto

paralelamente às rodas, e envolvido lateralmente por duas bobinas. O contato da roda auxiliar com o solo, permitido por meio de um mecanismo retrátil montado na armação da bicicleta, garantiria que o movimento de rotação das rodas fosse transmitido para o rotor do dínamo, cujo movimento relativo às bobinas resultaria na geração de corrente elétrica.

A patente nº US 2002/0147079 (*Human generated power source*) propõe a utilização de um suporte sobre o qual um alternador, fixo a uma haste vertical, estaria assentado. Este arranjo se ajustaria, por meio de uma correia, ao mecanismo de equipamentos de ginástica, responsável por movimentos cíclicos (como as rodas de bicicletas estacionárias). A corrente elétrica gerada poderia ser armazenada em baterias, ou utilizada no carregamento de equipamentos elétricos como computadores, TVs e freezers.

A maximização da geração de energia elétrica pode ser alcançada a partir do momento que vários desses equipamentos, cada qual contando com seus respectivos mecanismos de conversão eletromecânica, estejam localizados num mesmo ambiente e, além disso, organizados de tal maneira, que façam com que a corrente elétrica total provenha do somatório da energia obtida em cada um desses dispositivos.

A organização espacial, mediante utilização de vários geradores, coaduna-se com a intenção de se energizar eletricamente grandes espaços de uso público[6], a partir do fluxo intenso de indivíduos. Os idealizadores deste projeto propõem a criação de um piso, o qual composto por geradores encaixados em placas, converteria os deslocamentos verticais de sua superfície (em decorrência da pressão exercida pelo peso corporal dos indivíduos que, sobre as mesmas, estivessem transitando) em energia elétrica.

O mecanismo defendido segundo a denominação de "*Sustainable dance club*"[7], parte do mesmo conceito, porém divergindo, em certa medida, em sua utilidade. É sugerido que a movimentação dos usuários, numa pista de dança, fosse convertida em energia elétrica, a qual seria direcionada ao funcionamento da iluminação do ambiente, dos aparelhos de som, e de outros dispositivos instalados no próprio local.

Ademais às possibilidades mencionadas anteriormente, o conceito de um espaço destinado à atividade física e que, em termos energéticos, caracterize-se pela auto-sustentabilidade é, atualmente, encaminhado em academias de ginástica[8], conforme pode ser verificado na FIG. (3.5).

---

[6] http://www.inhabitat.com/2007/08/13/crowd-farming-power-your-building-with-human-motion/
[7] http://www.inhabitat.com/2007/03/06/sustainable-dance-club/
[8] http://totalbodyturnaround.com

Em uma dessas academias, denominada "*The green microgym*", parte da demanda energética seria compensada pela combinação das fontes solar e humana, esta última relacionada à energia mecânica procedente da pedalagem em bicicleta estacionária. Estas bicicletas estariam conectadas a um gerador de moinho de vento, proporcionando energia elétrica suficiente para carregar, entre outros dispositivos, o sistema de som e aparelho de dvd.

FIGURA 3.5 – Academias de ginástica caracterizadas por geração de energia elétrica proveniente do exercício físico.

Esta iniciativa foi, primeiramente, empregada numa academia de Hong Kong[9] ("*The Califórnia Fitness*"). A diferença fundamental entre as duas propostas reside no aproveitamento da energia mecânica referente ao manuseio de equipamentos de musculação, levada a termo por este último ambiente.

O princípio básico que sustenta as intervenções propostas para o ambiente em questão, relaciona-se à adaptação de geradores, montados em equipamentos de ginástica. Do montante de energia elétrica produzida por meio do esforço físico, parte seria utilizada no carregamento de uma placa composta por reguladores eletrônicos, por meio dos quais se permitiria a regulagem de um resistor.

---

[9] http://www.motorwavegroup.com/new/motorwind/californiafitness.html.

Este dispositivo seria responsável pela regulagem de diferentes níveis de resistência externa (mecânica), representando, pois, a força que se oporia ao movimento exercido pelos indivíduos nos equipamentos. A parte remanescente, da energia produzida pelo conversor eletromecânico, seria coletada e, posteriormente, direcionada ao carregamento de baterias, podendo ser utilizada no acionamento do sistema de iluminação da academia.

Os testes, relacionados a tais equipamentos, foram conduzidos, num primeiro momento, com bicicletas estacionárias, cuja energia fora armazenada numa bateria. Constatou-se que, a resistência produzida por meio do carregamento da bateria se mostrou muito alta para alguns indivíduos, optando-se pela utilização de um sistema regulador, que seria responsável pela atenuação da força contrária ao movimento.

Entre os equipamentos utilizados, as máquinas elípticas se mostraram as mais adequadas à geração de energia elétrica, pelo fato de seu mecanismo permitir a utilização de membros inferiores e superiores na execução de determinada tarefa motora. Devido ao torque gerado, a potência de saída variou de 80 a 100 W. Por outro lado, nos equipamentos conhecidos como "*step*", a busca por melhor eficiência estaria, irremediavelmente, relacionada à alterações estruturais. Neste caso se verificou na saída do gerador valores reduzidos referentes à voltagem e à corrente elétrica.

Até mesmo em distantes localidades rurais[10] é possível encontrar mecanismos que convertem a energia associada ao movimento humano, em energia elétrica. Numa distante vila localizada no Laos, pesquisadores adaptaram em uma bicicleta (montada de forma estacionária) um gerador, o qual produziria energia elétrica, direcionada ao acionamento de computadores portáteis. Dependendo do esforço físico empregado, pedalagem executada com duração de um minuto resultaria na utilização da energia gerada por até cinco minutos. A FIG. (3.6) ilustra este mecanismo.

[10] http://www.jhai.org/press.php

FIGURA 3.6 – Geração de energia elétrica em uma localidade remota.

FONTE – http://ieeexplore.ieee.org/ie15/6/27552/01228008.pdf?arnumber=1228008

4 METODOLOGIA

A verificação da quantidade de energia elétrica que pode ser gerada por meio de exercício físico, executado em bicicleta estacionária, requer que os estímulos físicos sejam organizados, de modo que se possa correlacioná-los com a energia mecânica gerada durante a aplicação dos mesmos.

Para tanto, recorreu-se à simulação de um plano de treinamento, que compreenderia o período de um mês, ao longo do qual, em cada uma das semanas, a carga do treinamento sofreria variações, por meio da alternância entre três modelos de treinamento, fundamentados nos métodos contínuo estável (A), contínuo variável (B) e intervalado (C).

De acordo com o QUADRO (4.1), é possível perceber a estruturação da carga de treinamento, proposta para o mês em questão.

QUADRO 4.1 - Distribuição relativa à organização da carga de treinamento aplicada no referido mês.

	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira
1ª Semana	(A)	(C)	(B)	(C)	(A)
2ª Semana	(B)	(C)	(A)	(C)	(B)
3ª Semana	(C)	(A)	(C)	(A)	(C)
4ª Semana	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)

O mês de realização do treinamento comporia, no processo de preparação mais global, o final da fase de especialização do período preparatório. No ciclismo, este momento se caracteriza por maior demanda do treinamento anaeróbio. Tal premissa, não repercute, no entanto, em total abstenção em relação ao treinamento aeróbio. Este último, aprimorado nos primeiros meses da fase de preparação geral (o qual, conjuntamente com a fase de especialização, constitui o período preparatório), torna-se importante quando as adaptações metabólicas, promovidas por sua periódica aplicação, são empregadas nos momentos em que se faz necessário a utilização dos intervalos de recuperação, dispostos nos momentos que se intercalam entre os vários períodos de esforço, de mais alta intensidade, que compõe uma sessão de treinamento anaeróbio.

Recorrendo ao QUADRO (4.1), nas duas primeiras semanas do referido mês, o trabalho mais intenso, caracterizado por dois treinamentos intervalados, está organizado ao redor de uma sessão composta por treinamento contínuo variável. O agrupamento do trabalho mais intenso no meio da semana permite que no início e no final da mesma, as sessões

compostas pelo programa contínuo estável imprimam caráter recuperativo ao organismo, predispondo-o, de forma satisfatória, para o treinamento a ser desenvolvido posteriormente. Na segunda semana, o esforço essencialmente anaeróbio é mantido nos mesmos dias (3ª e 5ª feiras), embora tenha seus efeitos ressaltados pela disposição do programa contínuo variável na 2ª e na 6ª feira. (nesta situação, o programa contínuo estável no meio semana apresentaria função recuperativa). Na terceira semana, o aumento na quantidade de sessões do programa intervalado é compensado pela utilização de dois dias caracterizados pelo programa contínuo estável. Por fim, a quarta, e última semana, seria tipificada por maior demanda nas vias anaeróbias de fornecimento de energia, uma vez que as sessões do programa intervalado seriam intercaladas por dias da semana (na 3ª e 5ª feiras) em que houvesse utilização do método contínuo variável. Embora este método seja primordialmente aeróbio, seu emprego permite que inserções esporádicas na "região energética", caracterizada por reduzida utilização de oxigênio, faça com que o esforço empreendido durante toda esta última semana permaneça num nível de intensidade mais elevado.

O processo descrito representa estratégia de manipulação da carga de treinamento, a qual se caracteriza por elevação gradual no nível de "agressão" sofrida pelo organismo, em virtude da solicitação mais contundente dos mecanismos anaeróbios. Esta situação, no processo de preparação de modalidades de alto rendimento, torna-se condizente diante de momentos nos quais o rendimento mais aguçado dos aspectos mental, técnico-tático e, sobretudo, físico, deve atingir a condição que treinadores denominam como "pico de desempenho".

O presente estudo, deste modo, propõe a seguinte estruturação da carga de treinamento, conforme descrição apresentada no QUADRO (4.2). Da interação entre as variáveis cadência de pedalagem, duração do esforço, e massa externa, esta última responsável pela determinação da força de frenagem, depende a formação dos estágios, cuja seqüência garantiria a especificidade, ou melhor, o grau de intervenção nos metabolismos energéticos de cada programa de treinamento.

QUADRO 4.2 - Descrição das variáveis utilizadas nos programas de treinamento.

			Componentes da carga de treinamento		
Programa de treinamento	Estágio	Nível de esforço	Massa (kg)	Cadência de pedalagem (rpm)	Tempo
Intervalado (C)	1º	Recuperativo	2 kg	80	5 min.
	2º	Aeróbio intensivo	2 kg	120	5 min.
	3º	Aeróbio / anaeróbio	3 kg	120	5 min.
	4º	Lático	4 kg	120-100-120-80-120-100	80seg- 40seg- 60seg- 30seg- 60seg- 30seg
	5º	Aeróbio intensivo	3 kg	100	5 min.
	6º	Aeróbio / anaeróbio	3 kg	120	5 min.
	7º	Lático	4 kg	120-100-120-80-120-100	80seg- 40seg- 60seg- 30seg- 60seg- 30seg
	8º	Aeróbio intensivo	2 kg	120	5 min.
	9º	Aeróbio extensivo	2 kg	100	5 min.
	10º	Recuperativo	2 kg	80	5 min.
Contínuo Variável (B)	1º	Recuperativo	2 kg	100	5 min.
	2º	Aeróbio intensivo	2 kg	120	10 min.
	3º	Aeróbio / anaeróbio	3 kg	120	5 min.
	4º	Aeróbio intensivo	3 kg	100	10 min.
	5º	Aeróbio / anaeróbio	3 kg	120	5 min.
	6º	Aeróbio intensivo	2 kg	120	10 min.
	7º	Recuperativo	2 kg	80	5 min.
Contínuo estável (A)	1º	Recuperativo	2 kg	100	5 min.
	2º	Aeróbio intensivo	3 kg	100	40 min.
	3º	Recuperativo	2 kg	80	5 min.

A massa externa, a qual determinaria a força de frenagem que se oporia a cada giro do pedal, sugerida para cada um dos estágios, levaria em conta o peso utilizado em testes físicos de caráter aeróbio e anaeróbio (cuja metodologia é descrita por Adams, 1994; Szmuchrowski et al, 1999; Szmuchrowski et al, 2001). Deste modo, para os estágios cuja finalidade seja a preparação do organismo à etapas de trabalho, que se revelem mais intensas, mas que ainda assim estejam relacionadas ao aprimoramento do metabolismo aeróbio, o critério para seleção da massa externa foi baseado nos valores percentuais de 2% e 4%, relacionados à massa corporal. Considerando que o treinamento simulado, no presente estudo, adote como

referência indivíduo com massa corporal de 70kg, os percentuais anteriormente mencionados, de 2% e 4%, resultariam, em valores que, quando arredondados, relacionar-se-iam, respectivamente, às massas de 2kg e 3kg.

Em situações caracterizadas por esforço máximo, cujo objetivo seja a análise acerca do nível de condicionamento aeróbio, como ocorre no teste de limiar anaeróbio descrito por Szmuchrowski et al (1999), a variação na cadência de pedalagem seria o fator responsável pelo aumento progressivo do esforço ao qual o indivíduo estivesse submetido. Esta metodologia, ou seja, a manutenção da força de frenagem e o aumento progressivo da freqüência de pedalagem, foi a estratégia utilizada (pelo treinamento simulado) na mobilização do componente aeróbio.

Dessa forma, a massa externa de 2 Kg associada à variação na cadência de pedalagem, situada entre 80 a 120 rpm, ajustaria o esforço físico, de modo a abarcar desde estágio referente aos movimentos preparátorios, até aqueles em que houvesse (essencialmente) aprimoramento do metabolismo aeróbio. À medida que o nível de esforço fosse deslocado para trabalhos na zona limítrofe entre os metabolismos aeróbio e anaeróbio, o peso seria incrementado para 3 Kg (neste caso correspondente à aproximadamente 4% da massa corporal), o qual permaneceria, nesta situação, associado com ritmos de pedalagem, representados pelos valores de 100 rpm e de 120 rpm.

Neste ponto em diante, incremento na massa para 4kg, combinado com cadências de 80 a 120 rpm, aplicadas em curtos intervalos de tempo, direcionaria o trabalho cíclico ao aprimoramento dos mecanismos anaeróbios de fornecimento de energia. Em estágios dessa natureza, a força de frenagem, seria determinada em correspondência com o teste anaeróbio de *Wingate,* (no qual valor percentual de 7,5 %, relativo à massa corporal, é utilizado para levar o indivíduo a uma situação caracterizada por esforço máximo, à qual deve se seguir drástica redução na freqüência de giro, compatível com uma situação caracterizada por caráter recuperativo). Dessa forma, resolveu-se adotar o valor percentual de 6%, como maneira de se evitar que os períodos de esforço, realizados em alta intensidade, fossem, invariavelmente, compensados por nível de intensidade que se localizasse abaixo de um limiar que correspondesse, ainda que de maneira irrisória, ao aprimoramento do metabolismo aeróbio (a cadência de pedalagem, nesta situação, manter-se-ia entre 80 e 100 rpm).

A mensuração da energia mecânica, produzida nos programas de treinamento, depende da determinação da força de frenagem, correspondente a uma dada massa externa, e do ritmo de pedalagem. Para tanto, a bicicleta estacionária deveria permitir, por meio de um dispositivo auxiliar, a verificação da freqüência de giro, imposta ao pedal no momento do exercício; além

de contar com a adequação do sistema de frenagem utilizado em cicloergômetros (conforme proposta de Silva, 2006), por meio do qual se conheceria a força de frenagem.

Os parâmetros mecânicos potência e trabalho serão mensurados conforme dois modelos de cálculo, de modo a se verificar por meio de sua confrontação possíveis discrepâncias nos valores obtidos, em razão de se considerar ou não a força de atrito no cálculo da força que se opõe à pedalagem.

No primeiro modelo, o qual, no presente estudo, é exibido sob a denominação de tradicional, a mensuração dos parâmetros mecânicos, potência e trabalho, ocorre por meio da EQ. (4.1) e da EQ. (4.2). Nesta situação, a força de frenagem é, comumente, representada pela força-peso, enquanto a velocidade linear se encontra relacionada com o ritmo de pedalagem, por meio do qual se determina a distância percorrida.

$$\mathrm{P} = F_{peso} \times V_{linear} \text{ [W]} \tag{4.1}$$

$$U = \mathrm{P} \times t \text{ [J]} \tag{4.2}$$

O outro modelo, classificado de modificado, será representado por meio da potência e do trabalho angulares, condizente, pois, com o caráter cíclico do movimento empregado no ciclismo (segundo o que propõe Gordon et al, 2006 e Gordon et al, 2004).

A mensuração da potência mecânica, verificada por meio da EQ. (4.3), encontrar-se-ia em dependência direta com o produto do torque exercido pelo indivíduo e a velocidade angular, ambos medidos no pedal. Dessa forma, o cálculo da velocidade no pedal (rad./s) apresentaria relação direta com a cadência (rpm) de pedalagem, representado por meio da igualdade: $1rpm = 0{,}1047\frac{rad}{s}$.

$$\mathrm{P} = \tau_{pedal} \times \omega \text{ [W]} \tag{4.3}$$

A quantificação do torque no pedal, constatado por meio da EQ. (4.4), dependeria do produto entre o torque da roda e o valor de 3,71, o qual corresponderia à relação de giro existente entre as circunferências da coroa e da catraca.

$$\tau_{pedal} = \tau_{roda} \times 3{,}71 \text{ [Nm]} \tag{4.4}$$

O torque da roda, por sua vez, ao manter direta relação com a força de atrito, exercida pela correia sobre a roda, poderia ser demonstrado conforme a EQ. (4.5).

$$\tau_{roda} = F_{atrito} \times r \text{ [Nm]} \tag{4.5}$$

Em sistemas de carga caracterizados por frenagem mecânica, o que se opõe à pedalada, segundo o que é preconizado por Gordon et al. (2006), é a força de atrito, que a correia exerceria sobre a roda, cujo valor dependeria da determinação da força peso e do coeficiente de atrito dinâmico, cujo valor determinado experimentalmente por Gordon et al (2004) é 0,175. Ambas as variáveis, força de atrito e força peso, poderiam ser reveladas, respectivamente, pelas EQ.(4.6) e (4.7).

$$F_{atrito} = F_{peso} \times \mu \text{ [N]} \tag{4.6}$$

$$F_{peso} = m \times g \text{ [N]} \tag{4.7}$$

Existem outras possibilidades que permitem a mensuração dos parâmetros potência e trabalho, mensurados durante exercício realizado em bicicletas.

O sistema SRM[1] (*Schoberer Rad Messtechnik*), apresenta-se enquanto opção viável à mensuração da potência mecânica gerada na pedalagem. Sua unidade de mensuração se compõe de células de força, as quais se encontrando dispostas entre o pedivela e a corrente, permitem, por meio de sua deformação, tanto o registro da força (e, por conseqüência, do torque produzido a cada pedalada), como também da cadência (velocidade angular). Estes parâmetros (valores), são convertidos em sinais elétricos, os quais são transmitidos telemetricamente para um sensor localizado na própria bicicleta, permitindo que, continuamente, a potência mecânica seja mensurada.

Outra possibilidade é o dispositivo desenvolvido pela empresa Polar®[2], o qual, além de monitorar a freqüência cardíaca, quantifica a potência de saída, máxima e média, por meio de sensores (sensor™ W.I.N.D).

Este dispositivo é composto por dois sensores que, localizados na polia traseira e na corrente, tornam-se responsáveis, respectivamente, pela mensuração da velocidade e da tensão, ambas geradas na corrente, já que toda força envolvida na pedalada seria transmitida através deste mecanismo.

Além disso, este dispositivo estaria também apto a realizar mensurações acerca do equilíbrio de forças entre os pés direito e esquerdo, da variação da potência durante uma rotação completa (taxa de pedalagem), da distância percorrida e, também da cadência de pedalagem.

[1] www.srm.de/usa.
[2] http://www.polarusa.com/Products/cs/cs600.asp.

Para a quantificação da potência e do trabalho produzidos, estabeleceu-se o modelo de cálculo baseado nas equações que levam em conta a força de atrito dinâmica, o qual, acredita-se, seja mais coerente com a mecânica que caracteriza o mecanismo de frenagem, adaptável ao tipo de bicicleta, usualmente, utilizada no ciclismo de salão. Dessa forma, buscou-se demonstrar a quantidade de energia mecânica que, em cada um dos programas de treinamento, seria disponibilizada para posterior conversão em energia elétrica.

O sistema de conversão eletromecânico, adotado na presente análise, compreenderia dois dínamos (da marca Tung Lin®, com voltagem e potência de, respectivamente, 16V e 8 W), os quais permaneceriam postados em cada um dos lados da roda dianteira da bicicleta estacionária.

A fixação dos dínamos, por meio de braçadeiras, ao garfo dianteiro da bicicleta, permitiria que os mesmos, quando inclinados lateralmente, mantivessem encostados à superfície lateral da roda, conforme mostrado pela FIG. (4.1). Como forma de se assegurar que o movimento rotacional da roda seja transferido de forma integral para a parte móvel do dínamo, preconizar-se-ia o revestimento da parte lateral da roda com uma fina tira de borracha, esta última colocada em toda sua extensão.

Dessa forma, a energia mecânica gerada a cada pedalada, sendo transformada em energia cinética correspondente à rotação do rotor do dínamo, poderia ser convertida em energia elétrica.

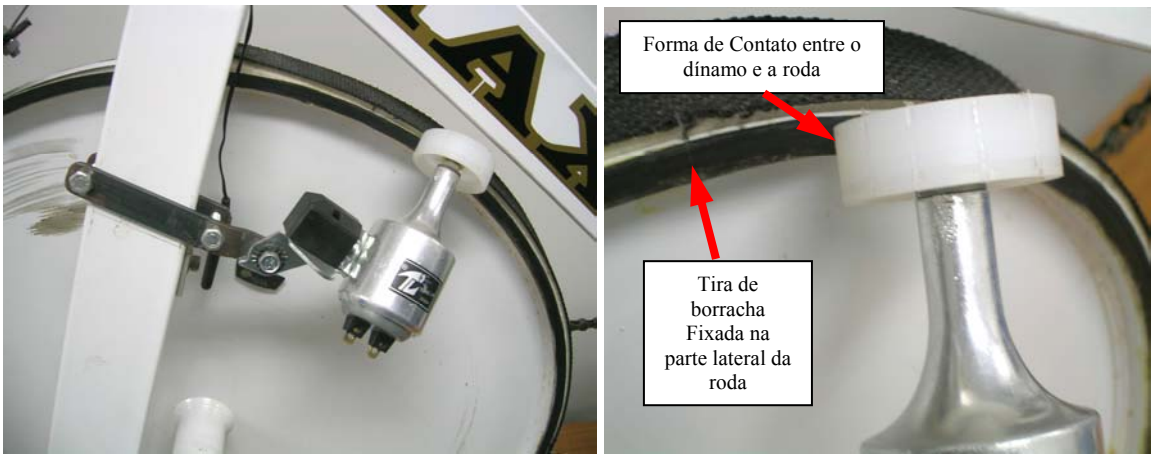


FIGURA 4.1 - Forma de fixação do dínamo à bicicleta.

Com o intento de se verificar a relação entre o ritmo de giro no pedal e a potência de saída do dínamo, recorreu-se a um procedimento experimental, a partir do qual várias cadências de pedalagem foram confrontadas com os respectivos valores de potência elétrica gerada pelo dínamo. A intenção subjacente a este raciocínio foi estabelecer a correlação entre as freqüências de giro, correspondentes às cadências de pedalagem situadas no intervalo

utilizado no treinamento simulado, nas quais o gerador em questão converteria a energia mecânica associada a cada giro do pedal em energia elétrica. Dessa forma, seria possível estabelecer o regime nominal de trabalho do dínamo.

A mensuração do ritmo de rotações do pedal foi efetuada por meio de um tacômetro digital, marca Minipa, modelo MDT–2238 A, com precisão de aproximadamente 0,05 % (na leitura, somado mais um dígito). Seu acionamento pode ocorrer tanto por contato, quanto por interrupção de radiação infravermelha. Este dispositivo apresenta faixa de medição de 0,5 a 20.000 rpm, para o modo contato, e de 2,5 a 100.000 rpm, para o modo foto. Sendo que neste último modo de operação contaria com resolução de 0,1 rpm, caso a faixa de trabalho permaneça entre 2,5 e 999,9 rpm.

Para realizar as medições em cada uma das diferentes cadências, o tacômetro foi posicionado lateralmente à coroa da bicicleta, de modo que a interrupção do facho de luz, a cada giro do pedal, determinasse a freqüência de pedalagem.

Simultaneamente ao acionamento do tacômetro, foram constatados os valores relacionados à produção de energia elétrica. Estas medidas foram realizadas por meio de um osciloscópio, marca Agilent, modelo DS06012A, cuja faixa de freqüência (nominal) se situa por volta de 100 MHZ (podendo chegar até 250 MHZ), contendo taxa de amostragem de 2 GSa/s. A faixa de valores, deste equipamento, referente às escalas vertical e horizontal seriam de, respectivamente, 1 mV/div até 5 V/div e 5 nsec/div até 50 sec/div. Sua precisão de alcance vertical se situaria por volta de 2% em relação ao fundo de escala. Enquanto a precisão relacionada ao valor do offset vertical seria de 0,5 % e de 1,5 %, quando seu valor correspondesse, respectivamente, a $\leq 200mV / div$ e a $> 200mV / div$.

À medida que o indivíduo pedalava, em freqüências que variaram de 50 a 130rpm, o osciloscópio, mantido conectado aos terminais de um dos dínamos, registrava valores referentes tanto à voltagem, quanto à corrente elétrica. Dessa forma, a cada ritmo empreendido, associava-se valor correspondente, referente à potência elétrica, a qual fora mensurada por meio da fórmula: $P_e = Tensão(V) \times Corrente(A)$.

A escolha de ritmos situados entre 50 e 130 rpm tem por objetivo reproduzir intervalo de trabalho, o qual seja similar à variação das cadências de pedalagem utilizadas em uma aula de ciclismo de salão, como pode ser verificado no estudo de Caria et al (2007).

A utilização de valores próximos a 50 rpm, os quais compõem o trecho inicial da seqüência do procedimento em questão, justifica-se pela similitude que apresentam em relação à cadências de pedalagem utilizadas na fase de preparação (inicial) de testes de

esforço máximo, como relatado por Szmuchrowski et al (1999). Por outro lado, a adoção das cadências de pedalagem que se encontrem acima de 100 rpm, principalmente em se tratando de ritmos entre 120 e 130 rpm, se ajustaria à níveis mais elevados de uma aula de ciclismo de salão, como pode ser verificado no estudo de Gardner et al (2007), no qual se constatou taxa ótima de pedalagem em cerca de 128 rpm.

No presente estudo, o montante de energia elétrica que poderia ser gerada a partir da energia mecânica, correspondente ao treinamento simulado, seria efetivada em ambiente caracterizado por gerenciamento eficaz, no que se refere à aspectos que resultem em economia no consumo de energia elétrica, de modo que a demanda do mesmo fosse suprida pela quantidade de energia elétrica produzida durante o exercício físico.

A concepção de um espaço voltado à prática do ciclismo de salão, que se caracterize pela autogestão energética, contaria, com uma área estimada de $20m^2$. A escolha desta dimensão levaria em consideração o espaço necessário para abrigar 20 bicicletas, quantidade média adotada como parâmetro por este estudo.

A funcionalidade deste ambiente estaria associada ao uso de equipamentos elétricos que supririam a demanda originada por aspectos relacionados à luminosidade, ao som ambiente e à ventilação.

A determinação da iluminação adequada, no que se refere à potência das lâmpadas a serem utilizadas, dependeria, essencialmente, de fatores como: altura da luminária em relação ao piso, das cores das paredes, pisos e tetos e, principalmente, da área do cômodo (em m^2). Fundamentado na relação entre tamanho de cômodo e potência das lâmpadas - baseados em dados fornecidos pela Companhia Energética de Minas Gerais / CEMIG - a sala de 20 m^2 poderia ser iluminada por uma lâmpada incandescente de 200 W, ou por uma lâmpada fluorescente de 40 W. Em virtude da elevada eficiência (menor quantidade de energia para iluminar determinada área) e do baixo consumo de energia elétrica (kWh) apresentada pelas lâmpadas fluorescentes, recomendar-se-ia para este local, a utilização desta última. Nesta situação, seria mais adequado o emprego de duas lâmpadas de 40 W, como maneira de se garantir iluminação mais homogênea a todo o ambiente.

Considerando que em um ambiente com as mesmas dimensões, a ventilação exigida requeira um único ventilador com potência aproximada de 200 W, determinou-se, que para o espaço preconizado, seria mais conveniente a utilização de dois ventiladores (de mesma potência) em virtude da maior quantidade de energia térmica gerada num ambiente voltado à prática de atividade física.

A demanda energética desse ambiente se completaria com a escolha do equipamento de som, cuja intensidade sonora deveria se adequar às normas técnicas, regidas pela ABNT, as quais estipulariam os níveis de pressão sonora mais adequados à saúde dos praticantes. Dessa forma, baseando-se no limite máximo relativo à intensidade sonora, preconizado como salutar, situado por volta de 85dB[3], foi escolhido aparelho de som, de aproximadamente 150W, considerando que o valor referente à sua intensidade sonora se situasse abaixo do limite máximo determinado para o local em questão. Ademais, menciona-se a devida precaução no que diz respeito à distribuição das caixas amplificadoras, de forma que o som se dispersasse de forma homogênea pela sala.

A escolha dos equipamentos, com seu respectivo consumo energético, conforme pode ser constatado por meio da TAB. (4.1), precederia a determinação da energia de consumo de cada um dos mesmos, no mês em questão, por meio da relação estabelecida entre sua potência elétrica (em Watts) e o número de horas / mês que permaneceriam em funcionamento.

TABELA 4.1 – Relação de parâmetros relacionados aos equipamentos elétricos utilizados e seu respectivo tempo de uso.

Equipamentos	Quantidade	Potência (Watts)	Tempo de funcionamento hora/mês
Lâmpadas	2	40	80
Ventiladores	2	200	80
Aparelho de som	1	150	80

O tempo total correspondente ao funcionamento dos equipamentos elétricos foi determinado, admitindo que os mesmos permanecessem acionados por aproximadamente 4 horas / dia. Como se trata de um ambiente planejado, deve-se ressaltar que parte da energia correspondente à utilização dos dispositivos elétricos, em determinado momento do dia, pode ser suprimida ao se lançar mão de aspectos, envolvidos no ambiente em questão, como a ventilação e a luminosidade natural. Esta estratégia, contudo, voltada à redução do custo energético diário, pode apresentar restrições (os quais podem variar ao longo do ano), considerando a possibilidade de maior parte das aulas de ciclismo se concentrar no período noturno, em virtude de maior fluxo de alunos.

Uma vez estabelecidos a energia elétrica, que poderia ser gerada por meio do plano de treinamento simulado, e o custo energético mensal do ambiente, concebido para a prática do ciclismo de salão, seguir-se-ia a confrontação dos mesmos, por meio da qual poderia ser indicado quão eficiente seria um sistema de geração de energia elétrica baseado no exercício físico.

[3] Valor limite em decibéis, para 8 horas diárias, segundo normas do ministério do trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficácia do sistema gerador de energia elétrica, proposto no presente estudo, depende da capacidade do dispositivo eletro-conversor em se adequar ao esforço físico realizado tanto em baixa intensidade, quanto em magnitudes mais elevadas de trabalho; caracterizados por ritmos diversos de pedalagem, que iriam de 50 a 120 rpm.

Como pode ser observado por meio da TAB. (5.1), verifica-se que níveis reduzidos de rotação imposta ao pedal foram suficientes no acionamento do dínamo.

TABELA 5.1- Correlação entre ritmos de pedalagem e parâmetros referentes à energia elétrica gerada.

Freqüência de pedalagem (rpm)	Tensão (v)	Corrente (A)	Potência Elétrica (W)
50	12,35	0,44	5,43
60	14,70	0,45	6,55
70	15,80	0,48	7,56
80	17,20	0,52	8,96
90	17,80	0,54	9,60
100	19,00	0,55	10,45
110	20,00	0,61	12,12
120	21,00	0,64	13,36
130	21,30	0,65	13,75

No entanto, pode-se observar que a potência elétrica (P_e) nominal foi ultrapassada quando o ritmo de pedalagem se encontrava entre 70 e 80 rpm. Neste contexto, a geração de energia elétrica por meio da pedalagem, exigiria que o esforço físico permanecesse continuamente no intervalo mencionado anteriormente, fazendo com que a energia mecânica gerada em freqüências de giro do pedal mais elevadas, não fossem passíveis de conversão em energia elétrica. Além do prejuízo, no que se refere a reduzida quantidade de energia mecânica que poderia ser convertida em energia elétrica, tal prática, dependendo do nível de desempenho em que se encontre determinado praticante de ciclismo de salão, talvez inviabilizasse a ocorrência de adaptações metabólicas e neuromusculares, ao impedir que esforços compatíveis com ritmos de pedalagem mais elevados fossem requisitados.

Embora também possa ser observado que o dínamo tenha sido capaz de operar acima de sua potência elétrica nominal, ou seja, 8W, ressalta-se que este procedimento talvez repercuta em prejuízo ao dispositivo eletroconversor, principalmente se cadências mais elevadas de pedalagem, situadas acima de 100 rpm, forem mantidas por maiores intervalos de tempo.

A maneira encontrada para sanar este obstáculo (funcional) resultou em alteração na dimensão da parte superior ("cabeça") do dínamo, de modo que uma certa freqüência de pedalagem imposta aos pedais repercutisse em giro mais lento do rotor deste conversor eletromecânico.

Os cálculos pertinentes ao redimensionamento em questão se basearam na transferência do movimento rotacional (a partir da pedalada imposta ao pedal) através da seqüência das circunferências coroa-catraca-roda-dínamo. Admitiu-se que a máxima rotação a ser executada pelo no pedal corresponderia ao valor de 200 rpm, diante da qual o rotor do dínamo deveria permanecer com a mesma velocidade angular máxima; indicando, nesta nova situação, a adequação do giro máximo do rotor ao novo valor limite de rotação aplicada ao pedal. Os resultados obtidos revelaram que a parte superior do dínamo deveria ter seu raio aumentado em 2x, quando comparado à sua dimensão original (alterando de 1 para 2 cm).

A escolha do ritmo de pedalagem, encarado como referencial no processo descrito anteriormente, admitiu que o mesmo se situe acima de frequência de pedalagem que, compondo-se por trabalho realizado em altas intensidades, desenvolvido em curtos períodos de tempo, resultem em adaptações de caráter anaeróbio. Pode-se tomar como critério de referência, os valores extremos alcançados durante teste (supramáximo) de *wingate* (Szmuchrowski et al, 2001), cujos resultados referentes à máxima potência mecânica gerada (relatado por Adams, 1994), chegariam a aproximadamente 700 W, cuja freqüência de pedalagem se situaria por volta de 160 rpm.

Como pode ser observado por meio da TAB. (5.2), a mensuração da quantidade de energia mecânica, que pode ser obtida por meio do treinamento simulado, depende do modelo de cálculo utilizado. No modelo de cálculo tradicional, o valor referente à potência mecânica gerada depende do produto entre a força-peso (a qual apresenta relação direta com a massa externa), e a velocidade linear, verificado por meio da EQ. (4.1). De forma diversa, no modelo de cálculo modificado, pelo fato da força-peso ser multiplicada pelo valor de 0,175, referente ao coeficiente de atrito dinâmico, o resultado final sofre um decréscimo considerável. Se, neste modelo de cálculo, ao coeficiente de atrito dinâmico fosse associado valor unitário, a potência mecânica praticamente não sofreria alteração, quando comparado com os resultados que seriam obtidos por meio do modelo tradicional.

Por essa razão, a grandeza relacionada ao coeficiente de atrito dinâmico possuiria considerável relevância na mensuração da potência e do trabalho, motivando, dessa forma, a adoção de uma postura mais precavida quanto à possíveis alterações deste valor, em virtude de mudanças relacionadas tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de impurezas no material do

qual é feito a correia que envolve a roda (no caso do sistema de frenagem mecânico). Dessa forma, deve-se verificar a repercussão que possíveis alterações no coeficiente de atrito teriam na quantificação da energia mecânica.

TABELA 5.2 – Mensuração da energia mecânica produzida durante o treinamento simulado, conforme modelos de cálculo distintos.

		Potência mecânica (W)		Trabalho mecânico (kJ)	
Programa de Treinamento	Estágio	Modelo Tradicional	Modelo Modificado	Modelo Tradicional	Modelo Modificado
Intervalado (C)	1	156,86	27,64	47,06	8,30
	2	235,30	41,45	70,59	12,44
	3	353,0	62,42	105,9	18,73
	4	422,36[1]	73,69[1]	37,15	21,06
	5	294,18	52,04	88,25	15,61
	6	352,94	62,42	105,88	18,73
	7	422,36[1]	73,69[1]	37,15	21,06
	8	235,3	52,04	70,59	15,61
	9	196,08	34,55	58,82	10,37
	10	156,86	27,64	47,06	8,29
Total (C)		**282,52**[2]	**50,76**[2]	**668,45**[3]	**150,02**[3]
Contínuo variável (B)	1	196,08	34,55	58,82	10,37
	2	235,3	41,45	141,18	28,87
	3	352,94	62,42	105,88	18,73
	4	294,12	52,04	176,47	31,22
	5	352,94	62,42	105,88	18,73
	6	235,3	41,45	141,18	24,87
	7	156,86	27,64	47,06	8,29
Total (B)		**182,35**[2]	**46,0**[2]	**776,47**[3]	**141,08**[3]
Contínuo estável (A)	1	196,08	34,55	58,82	10,37
	2	294,12	52,04	705,89	124,90
	3	156,86	27,64	47,06	8,29
Total (A)		**215,69**[2]	**38,08**[2]	**811,77**[3]	**143,56**[3]

[1] Valor médio referente à razão entre a potência total produzida em determinado estágio, pelo número de fases do mesmo.

[2] Como potência é a taxa da variação temporal da energia produzida, o valor em questão se refere à potência média, obtida por meio da consideração da potência total, de cada programa, dividida pelo número de estágios.

[3] O trabalho mecânico total, relativo a cada programa de treinamento, é equivalente ao somatório de todos os estágios.

Com base nos programas de treinamento, formadores da seqüência de sessões organizadas ao longo do mês em questão, chegou-se aos seguintes valores, referentes aos parâmetros mecânicos trabalho (kJ) e potência (W). A TAB. (5.3) descreve a quantidade, estimada, de energia elétrica, que estaria associada a cada estágio de exercício físico.

TABELA 5.3 – Relação entre produção de energia elétrica e respectivo nível de esforço.

Programa de treinamento	Estágio	Nível de esforço	Produção de energia elétrica (kWh)*
Intervalado (C)	1	Recuperação	0,0023
	2	Aeróbio intensivo	0,0035
	3	Aeróbio/anaeróbio	0,0052
	4	Lático	0,0064
	5	Aeróbio intensivo	0,0043
	6	Aeróbio/anaeróbio	0,0052
	7	Lático	0,0064
	8	Aeróbio intensivo	0,0043
	9	Aeróbio extensivo	0,0028
	10	Recuperação	0,0023
Total (C)			**0,043**
Contínuo variável (B)	1	Recuperação	0,0028
	2	Aeróbio intensivo	0,0069
	3	Aeróbio/anaeróbio	0,0052
	4	Aeróbio intensivo	0,0087
	5	Aeróbio/anaeróbio	0,0052
	6	Aeróbio intensivo	0,0069
	7	Recuperação	0,0023
Total (B)			**0,038**
Contínuo estável (A)	1	Recuperação	0,0028
	2	Aeróbio extensivo	0,035
	3	Recuperação	0,0023
Total (A)			**0,040**

* Estes valores se referem à quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida numa única bicicleta estacionária.

Em estágios que tenham resultado em maior potência mecânica, e que, portanto, objetivem solicitação mais contundente das vias anaeróbias, as variáveis massa externa e cadência de pedalagem, que por sinal determinam a potência mecânica gerada, devem ser representados por valores de mais elevada magnitude. No entanto, relata-se que a reduzida duração dos períodos de esforço, medida que inevitavelmente é adotada em virtude da sobrecarga imposta aos sistemas fisiológicos, resultará, invariavelmente, em menores valores associados ao trabalho mecânico gerado, quando comparado com estágios caracterizados por nível de esforço aeróbio.

Verifica-se que a duração do esforço físico, empreendido em determinado estágio, pode ser encarado como um fator que atua de forma incisiva no aumento do trabalho mecânico. A comparação entre o 4º e o 5º estágios, que compõem, respectivamente, os programas contínuo variável e intervalado, permite avaliar a situação comentada. Em ambas os contextos, o trabalho muscular resulta na produção de mesma quantidade de potência mecânica, embora a maior duração do 4º estágio, superior ao outro estágio analisado, apresente resultado, relacionado ao trabalho mecânico produzido, mais elevado.

Para uma dada potência mecânica, relacionada à combinação entre a massa externa e a cadência de pedalagem, quanto maior o tempo de aplicação de um dado esforço físico, maior o trabalho mecânico e, por conseqüência, maior a quantidade de energia elétrica que pode ser produzida. Seria importante considerar, que nesta situação, a magnitude dos valores deve fazer com que o nível de esforço permaneça próximo ao limite entre os metabolismos aeróbio e anaeróbio. De forma contrária, incursões, mesmo que esporádicas na zona de esforço caracterizada por ausência de oxigênio talvez resulte em redução da intensidade, no instante seguinte ao estímulo propriamente dito, de modo a possibilitar a finalização do exercício no tempo previsto; ou pode repercutir, até mesmo, em interrupção prematura do esforço físico em questão, o que poderia provocar redução na potência mecânica e, em conseqüência, da energia elétrica que poderia ser gerada. Esta situação pode ser ilustrada pelo 2º estágio do programa contínuo estável, o qual resultaria, dentre todos os estágios pertencentes ao treinamento simulado, no mais elevado valor referente à produção de energia elétrica.

A possibilidade de se calcular o trabalho [J] e a potência [W; J/s; kgm/s] em exercício realizado em bicicleta estacionária, conforme adaptação proposta por Silva (2006), torna possível a mensuração da energia mecânica. Enquanto, nas últimas décadas, profissionais envolvidos na ciência do treinamento esportivo vêm se baseando numa abordagem mais tradicional (adotando equações padrão, já mencionadas, no presente estudo), atualmente é sugerido, por alguns autores (GORDON et al, 2004; FRANKLIN et al, 2007; GORDON et al, 2006) que a força de atrito seja considerada, enquanto parâmetro caracterizador da força que se opõe a cada pedalada. Além disso, a desconsideração do trabalho requerido na aceleração da roda (assume-se, na maioria dos testes e estudos, que a mesma se movimenta com velocidade constante) é também associado por Lakomy (1986) como fonte de possíveis erros, os quais podem reduzir a confiabilidade relacionada à mensuração dos resultados finais.

Considerando a potência média (potência total, obtida por meio do somatório da potência parcial de cada um dos estágios, dividida pelo número de estágios) referente aos programas de treinamento intervalado, contínuo variável e contínuo estável, cujos valores foram, respectivamente, 50,76 W, 46 W, e 38,08 W, verificar-se-á que todos se situam em nível superior à potência máxima correspondente aos dois dínamos, assumidos, inicialmente, enquanto solução viável à geração de energia elétrica.

Uma forma de se sanar esta limitação poderia se dar a partir da substituição dos dínamos por um gerador compatível com a potência mecânica produzida durante o exercício, realizado na bicicleta estacionária.

Uma possibilidade seria a utilização de um alternador[1], próprio de veículos automotivos, conforme ilustrado na FIG. (5.1), cuja potência se situasse por volta de 500 W, e caracterizado, por conseqüência, por tensão de 24V e corrente de 20A.

FIGURA 5.1 - Alternador automotivo considerado como alternativa à conversão da energia mecânica.

A possível utilização deste tipo de equipamento, enquanto mecanismo conversor da energia mecânica envolvida no exercício físico, exige que os variados ritmos imprimidos ao pedal da bicicleta estacionária se compatibilizem com freqüência mínima de giro do rotor do dispositivo eletro-conversor, a partir da qual é possível se obter corrente elétrica em seus terminais. A FIG. (5.2) evidencia a relação entre os elementos responsáveis pela transmissão do giro exercido no pedal, ao acionamento do rotor do alternador.

[1] Alternadores são geradores de corrente alternada, projetados para proverem energeticamente a bateria de um automóvel, a partir de situações em que o motor se encontre em baixa rotação (marcha lenta), o que, em veículos de passeio, está em torno de 1000 rpm.

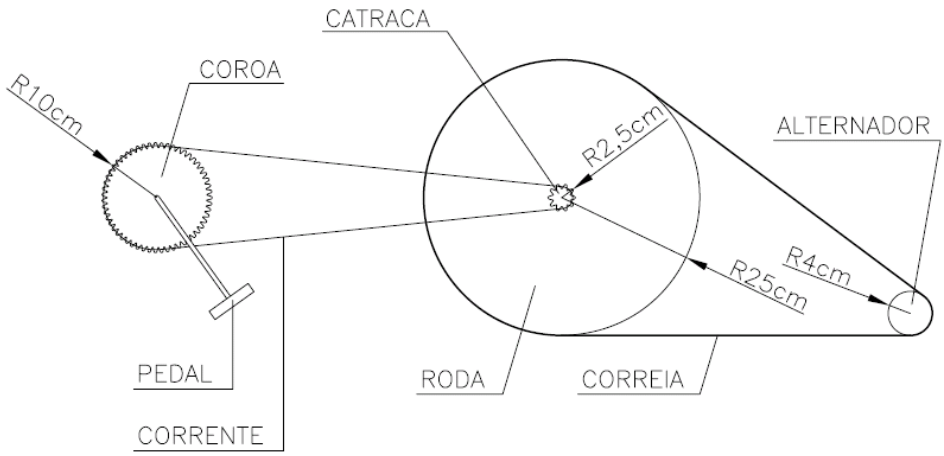


FIGURA 5.2 – Representação da relação entre os elementos rotacionais do sistema gerador de energia elétrica.

Deve-se, para tanto, estabelecer a relação de giro entre as circunferências dos elementos envolvidos na transmissão do movimento aplicado no pedal até a polia do alternador. Deste modo, o valor de 23,19, obtido por meio do produto entre as medidas de 3,71 e 6,25, concernente, respectivamente, à relação coroa-catraca e roda-polia do alternador, poderia ser considerado como um fator de conversão que permitiria o desvelamento acerca da freqüência mínima de rotação do pedal (X), necessária ao acionamento do alternador ($X = {}^{1000}\!/_{23,19}$), correspondente a uma dada cadência de entrada imposta ao pedal da bicicleta.

Tendo sido constatado que pedalagem executada em ritmo de 43 rpm seria o suficiente para acionar os mecanismos eletro-conversores do dínamo, verificou-se a compatibilidade desta cadência com níveis de esforço, comumente, empreendidos em situações, que precedem a fase principal de trabalhos físicos, caracterizados por níveis de cadência de pedalagem mais expressivos.

Dependendo do nível de condicionamento apresentado por determinado indivíduo, a execução deste ritmo de pedalagem representaria a possibilidade de se gerar energia elétrica tanto por meio de níveis irrisórios de esforço, em situações em que o indivíduo se apresente com condicionamento cardiovascular satisfatório, quanto por desempenho que, invariavelmente, possa resultar em adaptações nos mecanismos energéticos.

A produção de energia elétrica por meio do exercício físico, realizado em bicicleta estacionária, pode vir a ser convenientemente aproveitada no acionamento de dispositivos elétricos, caso o ambiente organizado para esta finalidade, conte não somente com

conformação espacial que facilite a utilização da luminosidade e da ventilação naturais, mas que também faça uso de equipamentos elétricos (que se relacionem com a própria funcionalidade do local) mais econômicos, permitindo que parcela adicional da energia elétrica gerada seja armazenada para uso ulterior. A FIG. (5.3) ilustra as possibilidades de emprego da energia elétrica produzida por meio da pedalagem, representadas pelo direcionamento imediato a uma fonte externa ou mantida, a parte excedente, em dispositivos armazenadores.

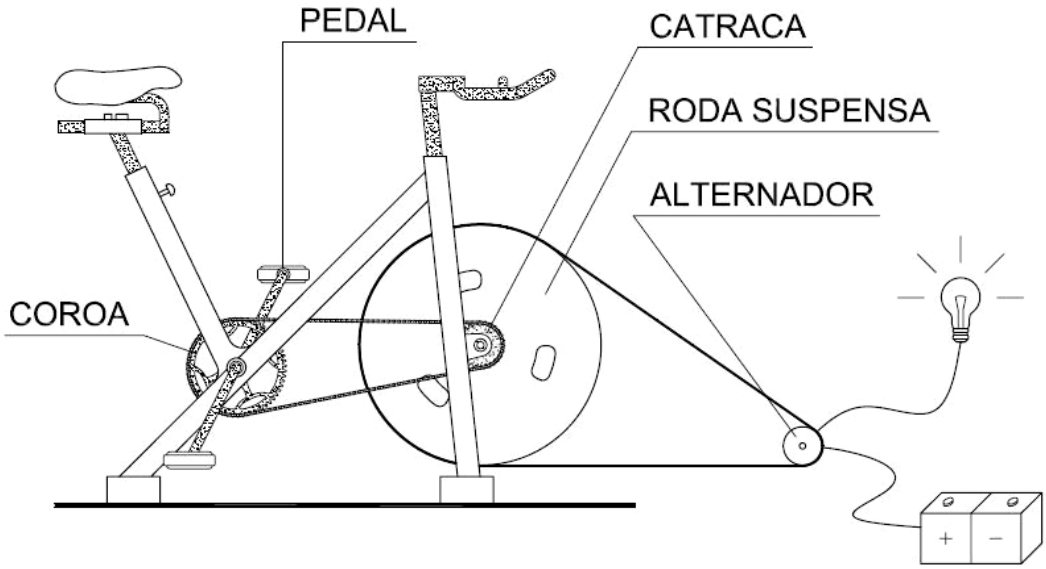


FIGURA 5.3 - Proposta de adequação estrutural de um alternador a uma bicicleta estacionária.

A maximização do processo de conversão eletromecânica pode ser alcançado por duas vias:

- Adoção de programas de treinamento que resultem em maior produção de energia mecânica (verificável a partir de mensuração dos parâmetros trabalho e potência).
- Utilização de conversores eletromecânicos caracterizados por maior eficiência elétrica.

O planejamento de um programa de treinamento que repercuta em maior produção de energia mecânica seria influenciado diretamente pela ação coordenada dos componentes da carga de treinamento, e indiretamente pelas variáveis associadas ao fluxo diário de alunos numa academia de ginástica.

Os dados que se encontram descritos na TAB. (5.3), referem-se à quantidade de energia elétrica que pode ser convertida a partir de geração de energia mecânica por meio do exercício físico, executado por um único indivíduo. No entanto, para que a energia diária, pertinente a quaisquer um dos programas de treinamento, seja efetivamente mensurada, é necessário que o valor energético unitário seja multiplicado pelo produto composto pelo

número de sessões, realizadas num dia, e a quantidade de ciclistas/participantes em cada uma das mesmas.

Baseado em dados fornecidos por uma academia de ginástica, optou-se por considerar como valores médios, o número de 5 aulas/dia, sendo cada uma das mesmas compostas por 20 bicicletas estacionárias. Dessa forma, a energia elétrica produzida num dia de treinamento pelos programas intervalado, contínuo estável e contínuo variável seria, respectivamente, 4,27 kWh, 4,01 kWh e 3,80 kWh. Por meio da TAB. (5.4) se constata a quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada por meio do somatório entre os programas de treinamento, da 1ª à 4ª semana do mês em questão.

TABELA 5.4 - Quantidade de energia produzida em cada semana do mês com respectivo consumo mensal total.

	2ª feira	3ª feira	4ª feira	5ª feira	6ª feira	Produção semanal (em kWh)
1ª Semana	(A)	(C)	(B)	(C)	(A)	20,36
2ª Semana	(B)	(C)	(A)	(C)	(B)	20,15
3ª Semana	(C)	(A)	(C)	(A)	(C)	20,83
4ª Semana	(C)	(B)	(C)	(B)	(C)	20,41
Produção Mensal total (em kWh)						81,75

Contanto que, do total de energia mecânica obtida durante todo o mês de treinamento, cerca de 90% fosse convertida em energia elétrica (adotando este valor como a eficiência do gerador utilizado), verificar-se-ia quantidade de 73,58 kWh disponível para utilização efetiva.

Levando-se em conta a potência de cada equipamento relacionada ao número de horas que os mesmos permaneceriam em funcionamento, pôde-se determinar que a demanda energética do local em questão seria, aproximadamente, 50,0 kWh/mês, em conformidade com a TAB. (5.5).

TABELA 5.5 - Consumo mensal, em kWh, dos equipamentos elétricos utilizados na sala de ciclismo de salão.

Equipamentos	Quantidade	Potência (em watts)	Consumo mensal (em kWh)
Lâmpadas fluorescentes	2	40	6,4
Ventilador	2	200	32,0
Aparelho de som	1	150	12,0
Total produzido			50,4 kWh/mês

Comparando-se a energia obtida no mês de treinamento em questão, ou seja, 73,58 kWh com o consumo energético dos equipamentos elétricos (citados anteriormente), constatou-se que o sistema proposto seria superavitário, pois a energia elétrica gerada ultrapassaria a auto-suficiência relacionada à demanda energética desta sala de ciclismo. O montante excedente (23,16 kWh), deste modo, poderia ser armazenado no próprio local ou direcionado para ambientes adjacentes, contribuindo no carregamento de outros equipamentos elétricos.

Uma forma de otimizar a relação citada anteriormente poderia ocorrer por meio de redução da energia consumida pelos ventiladores, através do aproveitamento da energia mecânica relacionada ao movimento de rotação da roda de algumas bicicletas, a qual seria direcionada ao funcionamento das pás do ventilador. O procedimento que viabilizaria esta proposta poderia se dar através da montagem de uma engrenagem mecânica, que fosse capaz de intermediar o acoplamento do eixo da roda bicicleta ao eixo do ventilador. Tomemos como exemplo uma aula de ciclismo de salão de aproximadamente uma hora de duração. Nesta situação, a energia consumida por um ventilador, de 0,2 kWh, poderia ser suprimida pela energia fornecida por 5 bicicletas, admitindo que cada uma produza cerca de 0,04 kWh. Dessa forma, a eficiência desse modelo de autogestão energética, contando com a modificação sugerida, poderia ser elevada de 23,16 kWh/mês para aproximadamente 43,36 kWh/mês.

Como forma de se verificar o gasto de energia elétrica em espaços concebidos para a prática da atividade física, recorreu-se ao mapeamento acerca dos equipamentos elétricos utilizados em uma academia de ginástica, levando-se em conta a potência de consumo de cada um dos mesmos e o número de horas / mês que permaneceriam em funcionamento.

Num contexto, também representado por espaço voltado à atividade física, que compartilhe das características fornecidas pelo GRA. (5.1), uma análise mesmo superficial, revelaria expressivo gasto de energia elétrica, provocado, não somente, pela utilização das esteiras, mas, sobretudo, pela demanda energética imposta pelos chuveiros elétricos.

A tentativa de se suprir a demanda energética destes equipamentos, unicamente, por conta da energia elétrica proveniente do exercício físico, reduziria acentuadamente a provável (segundo cálculos demonstrados no presente estudo) eficácia dum sistema de geração de energia baseado em fontes não-convencionais de energia. Ressalta-se que, no caso das esteiras, parte de sua demanda poderia ser suprida por meio da energia mecânica proveniente de seu próprio funcionamento.

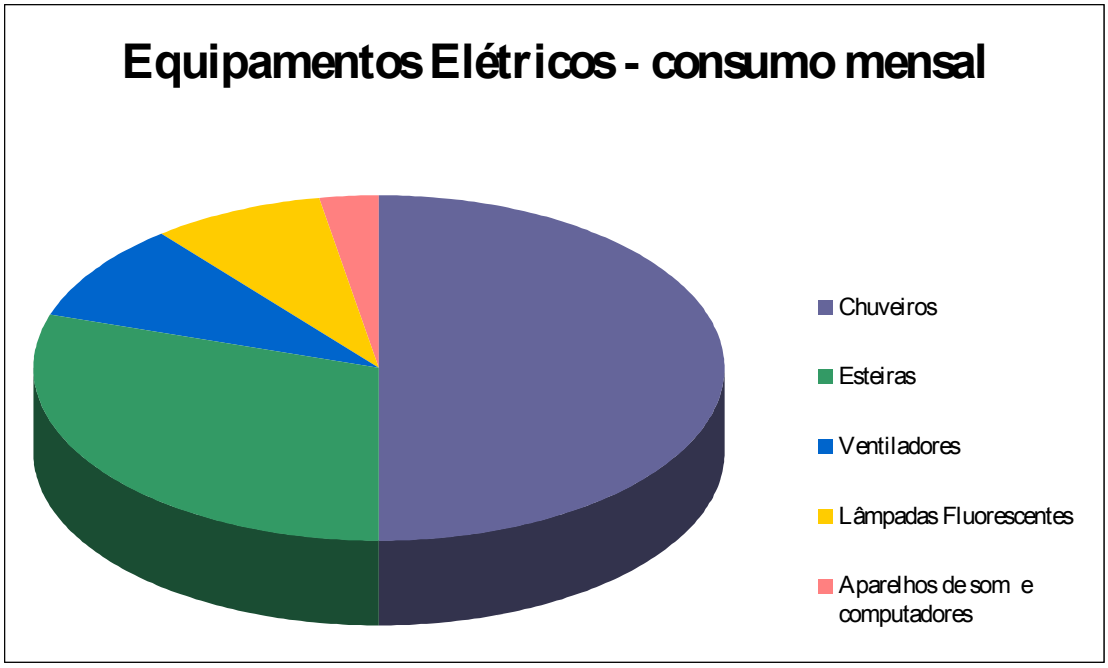


GRÁFICO 5.1 - Hierarquia de consumo absoluto entre equipamentos elétricos predominantemente utilizados em uma academia de ginástica.

A energia elétrica, efetivamente disponível por meio do treinamento proposto no presente estudo, pode ser confrontada com realidades distintas no que se refere à demanda energética imposta por ambientes voltados à prática da atividade física, a qual na situação proposta pelo presente estudo, corresponde ao ciclismo de salão.

Para efeito de comparação, duas situações conflitantes (denominadas 1 e 2), são abordadas, conforme mostrado no GRA (5.2). Em ambas as situações, a taxa de consumo de energia elétrica do ambiente se refere aos equipamentos que subsistiriam funcionalmente o mesmo, formado por ventiladores, lâmpadas fluorescentes e aparelhos de som.

Na situação 1, quando a quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida por meio do plano simulado de treinamento, é contraposta a um ambiente cujo gerenciamento seja ineficaz, como se pode verificar por meio do GRA (5.2), constata-se reduzida contribuição, a qual corresponderia a uma economia de 6,5% em relação ao consumo mensal. Por outro lado, a medida que a confrontação entre oferta e demanda é deslocada para a situação 2, o mesmo montante de energia elétrica tornar-se-ia superavitário em cerca de 37%, quando relacionada à demanda energética caracterizada por gerenciamento energético estruturado de maneira eficiente.

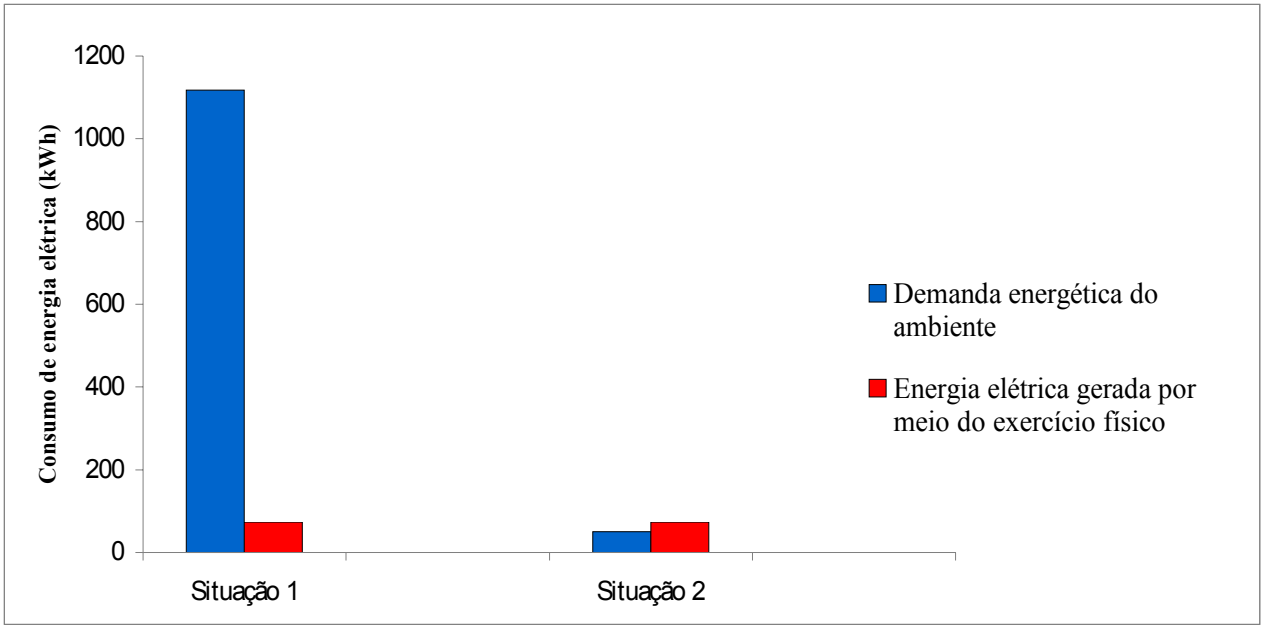


GRÁFICO 5.2 – Comparação entre situações caracterizadas por gerenciamento energético distinto.

A utilização da energia elétrica, convertida por meio da energia mecânica disponibilizada pelo exercício físico, torna-se efetivamente apreciável, quando faz parte de um sistema eficiente de gerenciamento de energia, que se paute pela:

- Utilização de equipamentos elétricos mais econômicos, dependente da potência de consumo, e da localização dos mesmos no local selecionado;
- Concepção de ambientes que aproveitem de forma mais eficiente as condições naturais, no que diz respeito, principalmente, a fatores relacionados com a iluminação e a ventilação;
- Busca por outras fontes alternativas de energia, como as de origem solar.

O modelo de gerenciamento energético adotado deve permitir que a energia elétrica excedente, em cada ambiente, seja passível de intercâmbio com os demais, admitindo que as quantidades de entrada e de saída sofram variações conforme seus possíveis déficits momentâneos; de modo que a macroestrutura, na qual se encontrariam imersos, se mantivesse, constantemente, auto-suficiente em termos energéticos.

6 CONCLUSÕES

A energia elétrica convertida a partir da energia mecânica, que poderia ser obtida durante um plano de treinamento simulado, foi de 73,56 kWh/mês, considerando que o dispositivo eletroconversor utilizado possuísse eficiência energética de 90%.

A confrontação desta quantidade de energia elétrica, com o consumo, mensurado em cerca de 50,4 kWh/mês, relacionado aos equipamentos elétricos que seriam utilizados em um ambiente planejado para a prática do ciclismo de salão, evidenciaria um superávit de, aproximadamente, 23,16 kWh.

A discrepância constatada entre os resultados provenientes dos modelos de cálculo, adotados na quantificação da energia mecânica proveniente do treinamento simulado, evidencia a importância em se analisar, com maior profundidade, a importância de variáveis que estejam envolvidas nos mecanismos relacionados à frenagem mecânica. A quantificação equivocada destas variáveis pode resultar em subestimação ou superestimação da energia elétrica que pode ser gerada por meio de um determinado exercício físico.

ABSTRACT

Nowadays, the search of better life quality is related, invariably, to the developed practice of physical activity mainly at gyms. Although in these places, there is considerable expenditure of human energy, they are not characterized as an energy management model that can reflect in considerable economy in monthly electric energy consumption. The conception of this type of environment conception could be based on the use of energy alternative sources, working, especially, as a way to harness the mechanical energy from the exercise. The conversion of this energy form into electric energy by means through the drive of electromechanical converters, to be directed to the livelihood of the place where it was produced it would work as manner to oppose the appearance of conduct hostile to the environment, supported by the unreasonable and equivocal use of primary energy resources (mainly those of fossil). The feasibility of reducing the monthly energy consumption in an environment dedicated to the practice stationary cycling practice was verified by means of the simulation of monthly training model. The training load dynamics, applied throughout the month, would be structured in 3 training programs: (A) Stable continuous training, (B) Variable continuous training, and (C) Interval training. By means of the calculations corresponding with the power and work parameters that would be produced in that month, it came to the energy amount of 73,58 kWh per month (assuming energy efficiency of 90% of the generator used) by means of calculation corresponding with the power parameters and work produced in a month. When this amount is confronted with the consumption of electrical equipments used in the same place, would prove to be exceeded in approximately 24,0 kWh. Therefore, the reuse of human energy, through the physical effort, could provide the environment consolidation that, in energy terms, may be characterized by self-sustainability, working, besides, as a way to combine the physical well-being with the critical conscience based on ecological ideology.

Key-words: (exercise, electromechanical converters, self-sustainability)

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, G.M. Exercise physiology. Laboratory manual. 2. ed. USA: Brown & Benchmarck, 1994.

CARIA, M.C.; Tangianu F.; CONCU, A.; CRISAFULLI, A.; MAMELI, O. Quantification of spinning® bike performance during a Standard 50-minute class. Journal of Sports Sciences, 25:4, 421-429, 2007.

DIAS, M. R. C.; SILVA A. C.; JÚNIOR, J. M. N; BATISTA, L. A.; LIMA, J. R. P.; NOVAES, J. S. Efeitos da cadência de pedalada sobre a potência mecânica e variáveis fisiológicas. Rev. Bras. de Cineantropometria & Desempenho Humano, 9:3, 271 – 276, 2007.

DONELAN, J. M.; LI, Q.; NAING, V.; HOFFER, J. A.; WEBER, D. J.; KUO, A. D. Biomechanical energy harvesting: generating electricity during walking with minimal user effort. *Science*, 319, 807 – 810, 2008.

FARIA, I. E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Medicine*, 14:1, 43-63, 1992.

FLIPSEN, S.F.J. Alternative Power Sources for portables & Wearables. 2004. Delft University of Technology, p. 7 – 78.

FRANKLIN, K. L.; GORDON R. S.; BAKER, J. S.; DAVIES B. Accurate assessment of work done and power during a wingate anaerobic test. Appl. Physiol. Nutr. Metab, 32, 225 – 232, 2007.

GARDNER, A. S.; MARTIN, James C.; MARTIN, David T.; BARRAS, Martin; JENKIS, David G. Maximal torque- and power-pedaling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. European Journal Applied Physiology, 101: 287-292, 2007.

GARRET JR., William E.; KIRKENDALL, Donald T. A Ciência do Exercício e dos Esportes. Porto Alegre: Artmed, 2003.

GOLDEMBERG J., Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

GORDON, R. S.; FRANKLIN, K. L.; BAKER, J. S.; DAVIES, B. Accurate assessment of the brake torque on a rope-braked cycle ergometer. Sports Engineering, 7, 131-138, 2004.

GORDON, R. S.; FRANKLIN, K. L.; BAKER, J. S.; DAVIES, B. Determination of aerobic work and power on a rope-braked cycle ergometer by direct measurement. Appl. Physiol. Metab., 31, 392 -397, 2006.

GRANSTROM, J.; FEENSTRA, J.; SODANO, H. A.; FARINHOLT, K. Energy harversting from a backpack instrumented with piezoelectric shoulder straps. Smart Mater. Struct., 16, 1810 – 1820, 2007.

HANSEN, E. A.; SJØGAARD, G. Relationship between efficiency and pedal rate in cycling: significance of internal power and muscle fiber type composition. Scand. J. Med. Sci. Sports, 17, 408 – 414, 2006.

JANSEN, A.; STEVELS, A. Human power: an environmental myth? Proceedings of the TMCE, 13 – 17, abr. 2004.

JANSEN, A.; STEVELS, A. Combining eco-design and user benefits from human-powered energy systems, a win-win situation. Journal of Cleaner Production, 14, 1299 – 1306, 2006.

KANG, J.; CHALOUPKA, E. C.; MASTRANGELO, M. A.; HOFFMAN, J. R.; RATAMESS, N. A.; O'CONNOR, E. Metabolic and perceptual responses during spinning cycle exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2005.

KAZAZIAN, T.; JANSEN, A. Eco-design and human-powered products. 2004.

KIRYAKIN, A. A.; MOSHCHINSKII, Y. A. Eletromechanical converters of human muscle energy. Appl. Energy: Russian Journal of Fuel, Power, and Heat system, 35:2, 66 – 72, 1997.

KUIPERS, R. J. Engineering a human powered mp3 player. 2003. 66 f. (Graduation report). Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, 2003.

KYLE, C. R.; CAIOZZO, V. J. Experiments in human ergometry as applied to the design of human powered vehicles. International Journal of Sport Biomechanics, 2, 6 – 19, 1986.

KRYGOWSKI, F.; SLANINA, D. Generators for bicycle lighting. Human Power: Technical Journal of The IHPVA, 49, 7 – 11, 1999-2000.

LAKOMY, H. K. A. Measurement of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. Ergonomics, 29:4, 509 – 517, 1986.

LEWANDOWSKI, B. E.; KILGORE, K. L.; GUSTAFSON, K. J. Design considerations for an implantable, muscle powered piezoelectric system for generating electrical power. Annals of Biomedical Engineering, 35:4, 631 – 641, 2007.

LUCIA, A.; EARNEST, C.; ARRIBAS, C. The tour de France: a physiological review. Scandinavian Journal. Science. Sports, 13, 275 – 283, 2003.

Manual de Instalações Residenciais- CEMIG, 2003. Disponível em: www.cemig.com.br. Acesso em: 08 mar. 2008.

MCARDLE, William D.; KATCH, Frank I.; KATCH, Victor L. Fisiologia do Exercício: Energia, nutrição e desempenho humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

PANDIAN, S. R. A human power conversion system based on children's play. Department of Electrical Engineering and Computer Science. Tulane University. New Orleans, 2004.

SÁEZ, M. Loreto M. Energy Harvesting from passive human power. 2004. 39 f. PhD Thesis Project (Electronic Engineering), 2004.

SODANO, H. A.; INMAN, D. J.; PARK, G. Generation and storage of electricity from power harvesting devices. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 16, 67 – 75, 2005.

STARNER, T. Human-powered wearable computing. IBM Systems Journal, 35, Nº 3 e 4, 618 – 629, 1996.

STARNER, T.; PARADISO, J. A. Human generated power for mobile electronics. Low Power Electronics Design, 1 – 30, 2004.

SILVA, R. A. S. Construção e calibração de uma bicicleta de ciclismo indoor com graduação de carga. Rev. Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, 8:2, 85 – 91, 2006.

SZMUCHROWSKI, Leszek A. Teste de limiar anaeróbio pela freqüência cardíaca em cicloergômetro in: GARCIA, Emerson S.; MOREIRA, Kátia L.; GRECO, Pablo J. (org.) Temas atuais IV em educação física e esportes, Belo Horizonte: Saúde, 1999.

SZMUCHROWSKI, Leszek A. Avaliação do potencial anaeróbio através da cicloergometria in: GARCIA, Emerson S.; MOREIRA, Kátia L. (org.) Temas atuais VI em educação física e esportes, Belo Horizonte: Saúde, 2001.

SZMUCHROWSKI, Leszek A. Componentes e parâmetros da carga no treinamento esportivo in: GARCIA, Emerson S.; MOREIRA, Kátia L. (org.) Temas atuais X em educação física e esportes, Belo Horizonte: Saúde, 2005.

TRUMBLE, Dennis R., MAGOVERN, James A. A permanent prosthesis for converting in situ muscle contractions into hydraulic power for cardiac assist. Journal of Applied. Physiology, 82: 1704 – 1711, 1997.

UNITED STATES PATENT. Yoshimasa Tahara. Pedalling power generation health machine. 7.066.292 B2, Jun. 27, 2006. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 20 mar. 2008.

UNITED STATES PATENT. Gary L. Yetter. Portable, human-powered electrical energy source. US 7.129.592 B1, Oct. 31, 2006. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 22 out. 2007.

UNITED STATES PATENT. Gerardo Ramos Lucatero. Electric generating convertible bicycle. US 6.987.327 B1, Jan. 17, 2006. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 10 dez. 2007.

UNITED STATES PATENT. Jeng-Jye Shau. Electrical power generators. US 7.148.583 B1, Dec. 12, 2006. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 10 dez. 2007.

UNITED STATES PATENT. Arcádio C. Arguilez. Tandem exerciser and power generator. US 6.910.992 B2, Jun. 28, 2005. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 22 out. 2007.

UNITED STATES PATENT. Chih-Jung Chang. Light-generating bicycles pedal. US 6.789.926 B2, Sep. 14, 2004. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 25 out. 2007.

UNITED STATES PATENT. Chun-Chen Chiu. Permanent magnet generator for bicycle light operation. US 6.703.716 B2, Mar. 9, 2004. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 10 dez. 2007.

UNITED STATES PATENT. Frank Ko. Bicycle power generating arrangement. US 6.502.842 B2, Jan. 7, 2003. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 19 fev. 2008.

UNITED STATES PATENT. Douglas Allen Kainbach. Human generated power source. US 2002/0147079 A1, Oct. 10, 2002. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 23 abr. 2008.

UNITED STATES PATENT. Kunlin Cho. Electricty generating system for bicycle. 6.016.022, Jan. 18, 2000.Disponível em:<www.googlepatents.com>.Acesso em:14 nov. 2007.

UNITED STATES PATENT. Wilfried Baatz. Eddy current trainer for bicycles or other exercise equipament. 5.656.001, Aug. 12, 1997. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 15 mar. 2008.

UNITED STATES PATENT. James H. Holmes. T.V. energized by exercise cycle. 4.298.893, Nov. 3, 1981. Disponível em: <www.googlepatents.com>. Acesso em: 10 jan. 2008.

UNITED STATES PATENT OFFICE. Alfred M. Rodriguez. Electric lamp for velocipedes, & o. 568.209, Sep. 22, 1896.Disponível em:<www.googlepatents.com>. Acesso em: 23 abr. 2008.

UNITED STATES PATENT OFFICE. Frank Ko. Bicycle power generating arrangement. 6.502842, Jan. 30, 2001.Disponível em:<www.googlepatents.com>.Acesso em: 10 mar. 2008.

<http://www.jhai.org>. Acesso em: 15 de fev. 2008.

<http://www.copel.com>. Acesso em: 20 de fev. 2008.

<http://technology.newscientist.com/channel/tech/nanotechnology/dn11158>. Acesso em: 20 de mar. 2008.

<http://www.intactlabs.com/index.php?t=applications&x=biosensor>. Acesso em: 22 de mar. 2008.

<http://www.lunarbase.rutgers.edu>. Acesso em: 10 abr. 2008.

<http://www.polarusa.com/Products/cs/cs600.asp>. Acesso em 19 abr. 2008.

<http://www.srm.de/usa>. Acesso em 20 abr. 2008.

<http://www.inhabitat.com/2007/03/06/sustainable-dance-club/>. Acesso em: 20 de abr. 2008.

<http://www.motorwavegroup.com/new/motorwind/californiafitness.html>. Acesso em: 21 de abr. 2008.

<http://www.inhabitat.com/2007/08/13crowd-farming-power-your-bulding-with-human-motion/ >Acesso em: 24 de Abr. 2008.

<http://totalbodyturnaround.com>. Acesso em: 24 de abr. 2008.

APÊNDICE

Ainda que a conversão da energia humana, baseada no exercício físico, talvez venha a se apresentar como opção mais rentável quanto à produção de energia elétrica, deve-se atentar para a existência de outras possibilidades, cuja utilização pode ser requerida em um contexto mais específico.

Embora, Starner e Paradiso (2004) considerem, atualmente, inviável o carregamento de dispositivos eletrônicos através da energia associada com a pressão sanguínea, o provável aumento de sua taxa energética, provocada pelo exercício físico, talvez fornecesse energia suficiente para "alimentar" microprocessadores. Outra alternativa viável, poderia ocorrer por meio da montagem de dispositivos eletroconversores em calçados, conforme representado pela FIG.(1) (STARNER E PARADISO, 2004).

FIGURA 1 – Exemplos de geradores magnético e eletrostático acoplados a calçados.
FONTES – STARNER E PARADISO, 2004, p. 20; www.lunarbase.rutgers.edu/presentations/Lewandowski.ppt

A tecnologia empregada no estudo de Donelan et al. (2008), conforme mostra a FIG. (2), reaproveita de forma diversa a energia mecânica associada à marcha. O mecanismo em questão é representado por uma armadura, a qual estaria ajustada em torno do joelho do indivíduo. O funcionamento deste dispositivo requer que seu eixo de rotação, alinhado com o eixo de rotação do joelho, colha a energia envolvida no movimento de frenagem, durante o final da fase de balanço da marcha, transmitindo-a a um gerador por meio de engrenagens mecânicas. A ativação do gerador utilizado, somente ocorreria na fase de desaceleração da marcha, em virtude do menor custo metabólico associado à mesma (a energia envolvida na fase positiva seria maior quando relacionada a cada 1 W de energia elétrica gerada). Segundo os autores, a aplicabilidade deste mecanismo poderia se voltar à substituição de baterias utilizadas no carregamento de próteses de joelho e tornozelo, no acionamento de dispositivos

implantados, como neuroestimuladores e bombas liberadoras de remédios, além de atuar no municiamento elétrico em articulações robóticas artificiais.

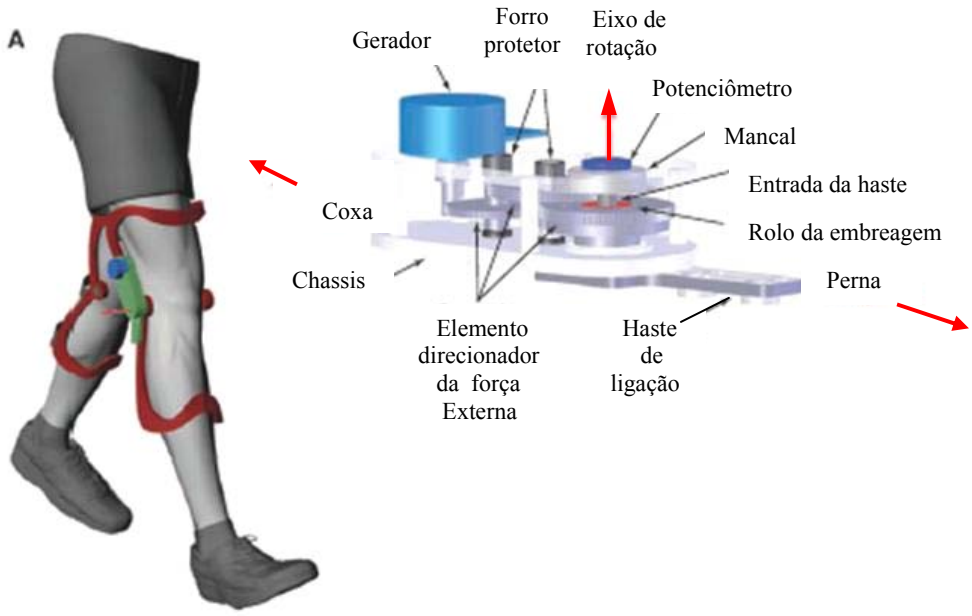


FIGURA 2 - Dispositivo conversor eletromecânico baseado na fase de frenagem da marcha.
FONTE – Adaptado de DONELAN et al., 2008, p. 808.

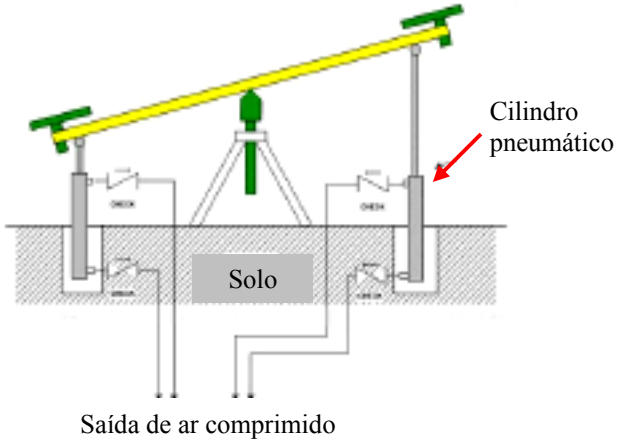
Starner e Paradiso (2004), citam como provável prática, a utilização de materiais eletroativos[1] nas articulações, os quais, através de movimentos de flexão e extensão, poderiam gerar energia elétrica. Estes mesmos autores relatam sobre a existência de dispositivos constituídos por elementos piezoelétricos utilizados em calçados esportivos, os quais agiriam na recuperação de certa quantidade de energia gerada durante a caminhada.

Existem, por outro lado, músculos artificiais construídos com polímeros eletroativos[2], os quais apresentariam variação em sua constituição volumétrica quando submetidos à corrente elétrica. Estes polímeros seriam formados por várias camadas, que se encontrariam agrupadas entre dois eletrodos. Quando os eletrodos, carregados com cargas opostas, fossem percorridos por corrente elétrica o polímero se encurtaria. O comportamento em questão poderia ser empregado na condição inversa, ou seja, o alongamento do músculo artificial promovido por forças externas poderia resultar na geração de tensão elétrica.

---

[1] Substâncias que quando submetidas à cargas elétricas exibem variação em sua estrutura.
[2] http://www.gforum.tv/board/877/91151/m-sculos-artificiais-geram-energia-a-partir-das-ondas.html

O estudo de Pandian (2004), propõe a conversão da energia mecânica, associada ao movimento de crianças em equipamentos de lazer (localizados em espaços públicos), em energia elétrica. Neste método de conversão, baseado na FIG.(3), dispositivos de ar comprimido reteriam a energia mecânica, gerada a partir de movimentos ascendentes e descendentes do "balanço" (denominação do equipamento em questão). Essa energia acionaria um atuador pneumático, o qual conectado a um gerador permitiria a conversão da energia mecânica em energia elétrica. Essa energia poderia, então, ser armazenada em uma bateria ou utilizada no funcionamento de algum dispositivo elétrico (um eletrodoméstico, ou, até mesmo, no acionamento de lâmpadas utilizadas na iluminação do espaço em questão).



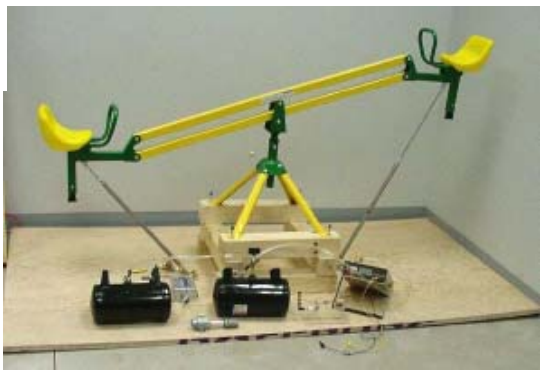


FIGURA 3 - Representação do mecanismo pneumático adaptável a um equipamento de lazer.
FONTE – PANDIAN, 2004, p. 57 e 58.

Segundo Sáez (2004), tem aumentado o número de produtos que utilizam energia elétrica gerada pelo movimento dos membros superiores, tais como relógios de punho, equipados com microgeradores, que convertem a energia de movimento do equipamento em energia elétrica, a qual podem ser armazenada em um capacitor.

O dispositivo concebido por Lewandowski et al. (2007), baseado num modelo invasivo, segundo pode ser observado pela FIG. (4), caracteriza-se por um gerador piezoelétrico associado em série com a estrutura músculo-tendínea, que estaria localizado entre o tendão e seu ponto de inserção ósseo. A força muscular, resultante de contração isométrica, seria convertida em força compressiva (através de um dispositivo mecânico), que, ao deformar o material piezoelétrico (em conformidade com suas propriedades eletromecânicas), resultaria na produção de energia elétrica. Parte dessa energia poderia ser utilizada na estimulação do nervo motor, responsável pela contração do músculo, enquanto

que a quantidade remanescente poderia ser disponibilizada ao carregamento de algum dispositivo eletrônico implantado.

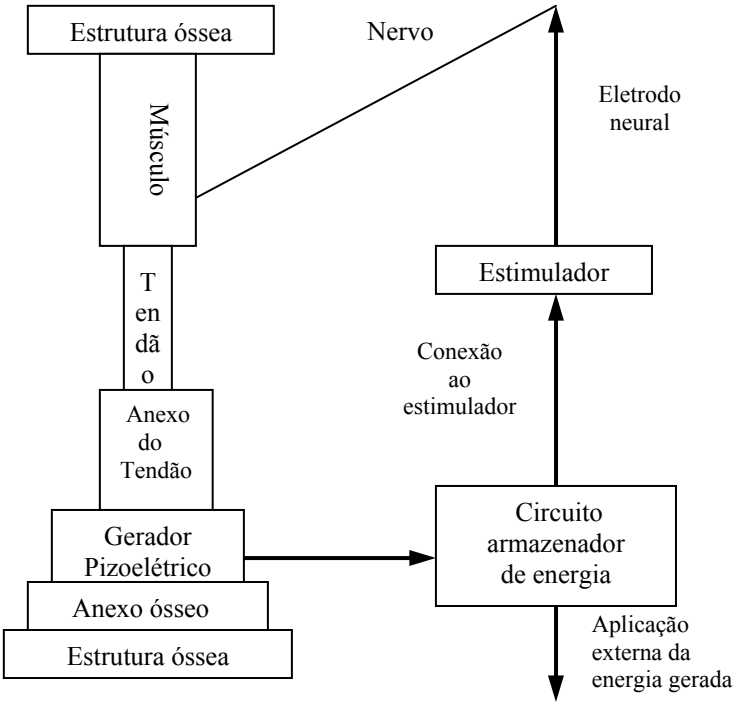


FIGURA 4 – Esquema representativo do gerador piezoelétrico implantado.
FONTE – Adaptado de LEWANDOWSKI et al., 2007, p. 632.

Além dessa finalidade, a energia elétrica gerada poderia se prestar à restauração de funções motoras deterioradas, próprias de pacientes com lesão na medula espinhal. Nesta situação, a maximização da energia resultante da ação do conversor eletromecânico dependeria de propriedades do material, de sua conformação espacial (comprimento e área), e de parâmetros fisiológicos associados à fadiga muscular (freqüência de recrutamento das unidades motoras) e ao tamanho do músculo (magnitude da força muscular). Como forma de verificar a funcionalidade do modelo proposto, os próprios autores simularam uma situação na qual se associou ao músculo gastrocnêmio um gerador piezoelétrico de 8 cm de comprimento, o qual, quando submetido à pico de força de 250 N, teria produzido potência de saída de 690 μW.

Trevor Baylis citado por Sáez (2004), relata sobre um calçado cuja energia elétrica armazenada em uma bateria, seria responsável pelo acionamento de telefones celulares, dispositivos de MP3, ou outros equipamentos caracterizados por baixa demanda energética. Este protótipo seria representado por um par de botas, por cujo solado emergiriam fios; além de contar com um painel solar localizado na área dos dedos, o qual proporcionaria geração adicional de energia elétrica.

Como forma de se contrapor a prováveis prejuízos causados pela colocação de geradores em calçados, Granstrom et al. (2007), relatam a respeito da viabilidade, levada adiante por alguns pesquisadores, de se produzir energia elétrica por meio do movimento vertical de mochilas de passeio.

O modelo proposto por Rome et al. (2005) segundo Granstrom et al. (2007), ilustrado na FIG. (5), compreende uma armação presa a um par de molas, as quais proporcionariam liberdade de movimento na direção vertical, sobre a qual se assentaria a carga externa (a mochila propriamente dita). O mecanismo em questão permitiria que a energia mecânica do movimento vertical da carga, ao provocar movimento rotacional do gerador (localizado na parte superior da armação), resultasse, na produção de energia elétrica. Granstrom et al. (2007) relatam que, embora este sistema tenha produzido cerca de 7,37 W, sua utilização resultou em gasto metabólico adicional, correspondente a 19,1 W, ou aproximadamente 3,2% superior à energia gasta na ausência do mecanismo conversor de energia.

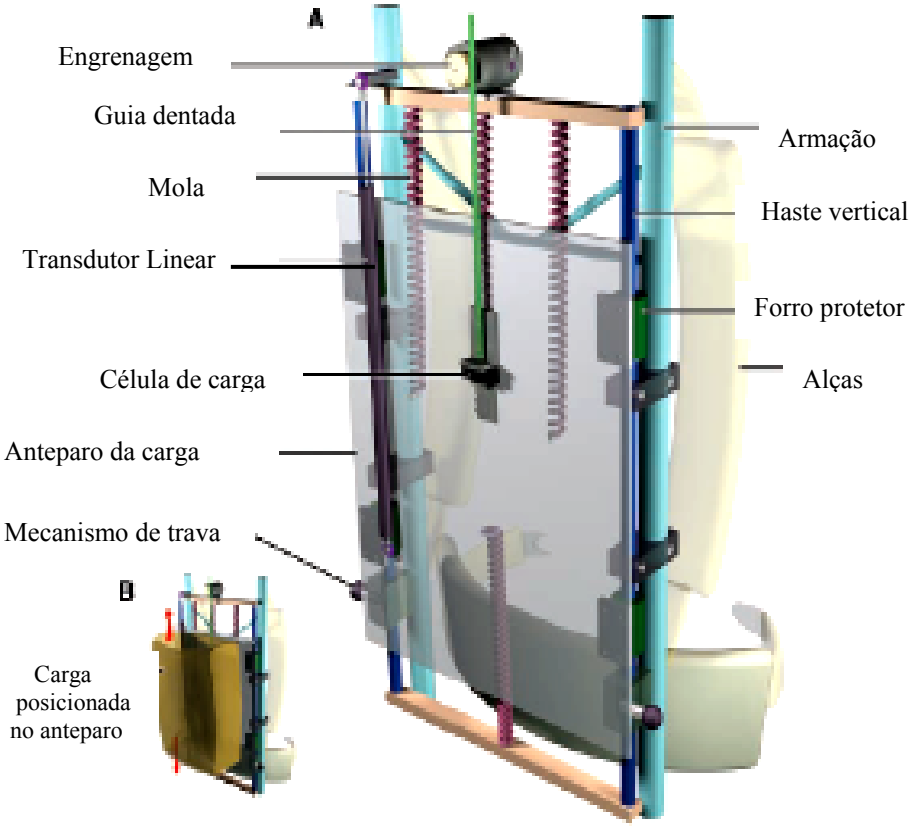


FIGURA 5 - Modelo de conversão eletromecânica em mochila utilizando gerador eletromecânico.

FONTE - GRANSTROM et al., 2007, p. 1812.

Dessa forma, o estudo de Granstrom et al. (2007) buscou conceber um mecanismo que não repercutisse em peso adicional ao usuário, quando comparado a uma mochila tradicional.

Preconizou-se a substituição das alças, em conformidade com a FIG (6), comumente utilizadas em mochilas, por estruturas similares construídas com polímeros de material piezoelétrico.

FIGURA 6 - Modelo de conversão eletromecânica em mochila utilizando material piezoelétrico.

FONTE - GRANSTROM et al., 2007, p. 1814.

Neste caso, a tensão mecânica transferida para os polímeros piezoelétricos das alças, através da diferença de tensão entre o indivíduo e a mochila (a partir do movimento relativo entre ambos), seria convertida em energia elétrica, a qual poderia ser direcionada ao carregamento de dispositivos de baixa potência ou armazenada em pequenas baterias. Através de situações, reproduzidas em laboratório, em que carga externa foi imposta às alças das mochilas, constatou-se que maiores valores de potência média seriam atingidos quando as mochilas fossem carregadas com cargas mais elevadas e, além disso, montadas com menor número de alças.

Uma alternativa, também interessante, relatada por Sáez (2004), seria um sistema de recuperação de energia representado por um teclado de computador. Nesse mecanismo, cada tecla possuiria um ou mais ímãs, os quais se encontrando circundados por bobinas, permitiriam que o movimento de compressão sobre as mesmas desencadeasse oscilação dos ímãs em relação às bobinas, repercutindo na produção de corrente elétrica, a qual teria sua voltagem aumentada, a fim de possibilitar o carregamento de uma bateria.

Outra possibilidade, já utilizada em larga escala, refere-se ao funcionamento de um rádio, cujo carregamento se dá através de movimento repetitivo em uma manivela. Além do mecanismo anteriormente descrito, registra-se outro modelo de rádio que, conjuntamente,

com telefones celular, obteria energia elétrica mediante a absorção de energia luminosa por meio de painéis solares, conforme ilustrado na FIG. (7).

FIGURA 7 – Carregamento de rádio e telefone celular por meio da energia solar.
FONTE – FLIPSEN, 2004, p. 27.

Diferentes dispositivos, como mostrado na FIG. (8), como lanternas e telefones celulares também podem se manter funcionando às expensas da energia mecânica aproveitada por meio de geradores acionados por manivelas, em associação a baterias recarregáveis de alta capacidade de armazenamento.

FIGURA 8 - Dispositivos eletrônicos que obtêm energia elétrica por meio de seu movimento.
FONTE – www.lunarbase.rutgers.edu/presentations/Lewandowski.ppt

Kiryakin et al. (1997) cita, entre dispositivos capazes de converter a energia humana em energia elétrica, um ciclogerador (denominado “Soldado Motor”), cuja função seria prover energeticamente aparelhos de rádio em campos de batalha. Além disso, comentam sobre sistemas de emergência acionados por microgeradores, cuja energia poderia ser acumulada em molas, em pequenos cilindros de ar comprimido, ou em reagentes químicos.

Trumble e Magovern (1997), descrevem um mecanismo conversor que aproveitaria a energia contrátil de um músculo, controlado por um estimulador elétrico implantado, transformando-a para a forma hidráulica, a partir da qual dispositivos cardíacos poderiam ser acionados. O dispositivo conversor, conforme indica a FIG. (9), composto basicamente por um pistão hidráulico, parte principal deste mecanismo (cuja parte superior estaria ligada ao

tendão do músculo), seria montado de modo que seu eixo longitudinal estivesse alinhado com a linha de atuação do vetor força do músculo, fazendo com que o encurtamento deste último concorresse ao movimento descendente do pistão contra o fluido.

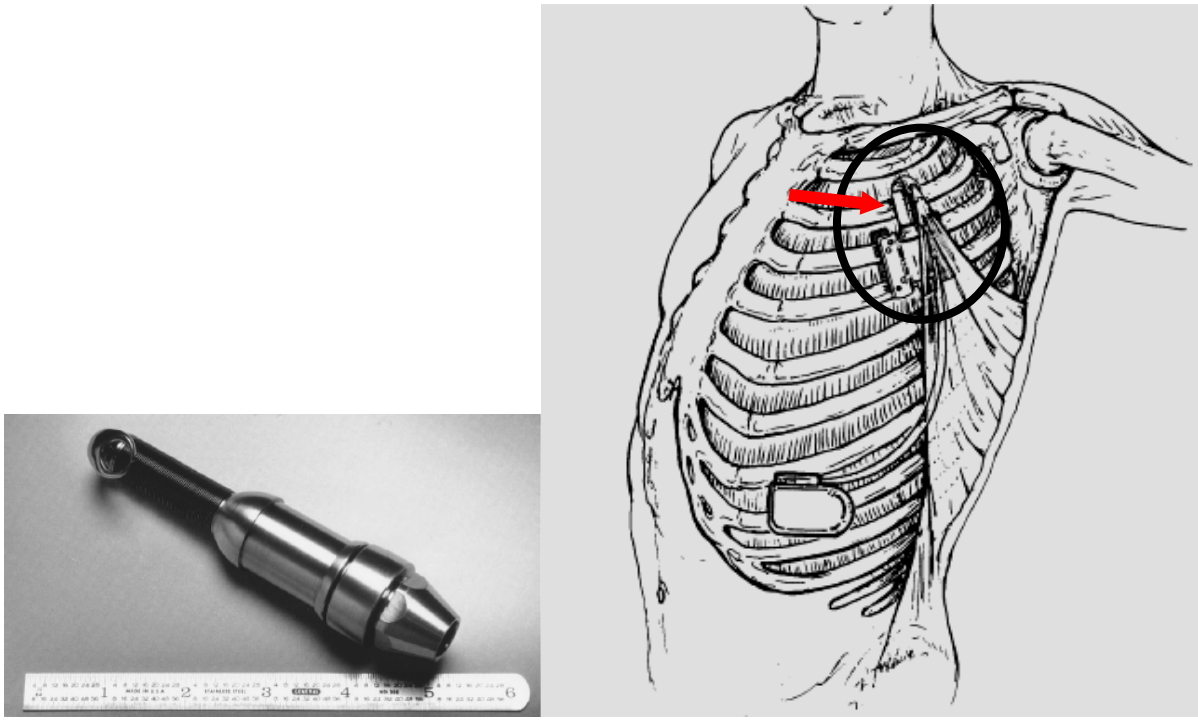


FIGURA 9 - Mecanismo conversor eletromecânico invasivo acionado por meio da contração muscular.
FONTE – TRUMBLE E MAGOVERN, 1997, p. 1705.

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos envolvidos no aproveitamento da energia humana incluem, nanogeradores com fibras de óxido de zinco, microgeradores eletromecânicos, além de sensores capazes de detectar vibrações mecânicas com alto grau de sensibilidade (baseados em uma proteína piezoelétrica).

Ultimamente, o número cada vez maior de estudos relacionados ao aproveitamento da energia associada a ações do corpo humano vem sendo acompanhado por similar interesse em projetos relativos à área espacial, principalmente quando associado aos equipamentos de ginástica utilizados por astronautas. Esta situação permite que a necessidade por exercício vigoroso, necessário na prevenção das perdas, óssea, muscular, e do descondicionamento cardiovascular (normais em condições de microgravidade), adeque-se à oportunidade de se converter a energia do movimento em energia elétrica, a qual pode ser direcionada para a manutenção de vários tipos de equipamentos (é reportado a produção de 61 W de potência mecânica, ou 962 kJ de energia em corrida, de 42 km, realizada, em esteira, na estação espacial internacional).

Dessa forma, a demanda energética requerida por equipamentos utilizados durante uma missão espacial[3], tais como: veículo de exploração tripulado – 10 kW, traje espacial extra veicular – 100 W, PDAs e laptops – W, sensores – mW, poderia se adequar a energia disponibilizada por atividades humanas, cuja magnitude associada a alguns destes processos seria: respiração – mW, movimentos de contato – mW, calor – W, movendo uma manivela com as mãos – W , levantando peso – 10 W, caminhando – 10 W, correndo – 100 W, pedalando – 100 W (LEWANDOWSKI et al, 2007).

A geração de energia elétrica por meios pouco convencionais, atualmente, pode ser também representada através do desenvolvimento de tecnologia relacionada à obtenção de energia por meio de processos biológicos. Este novo campo investigativo, que se descortina, detém-se primordialmente em três áreas.

A primeira vertente trata do emprego de microorganismos, conhecidos como células de combustível microbianas, que promoveriam a conversão da energia química contida em matéria orgânica em energia elétrica; podendo, esta última, ser utilizada no acionamento de dispositivos elétricos e sensores, empregados em ambientes isolados. Dessa forma, poderiam contribuir na redução em larga escala do resíduo (lixo) industrial.

Outra tendência diz respeito à utilização de proteínas fotoativas, as quais, entendidas enquanto, um sistema fotovoltáico biológico, converteriam a energia luminosa em energia elétrica. Este mecanismo, ao tornar mais viável, em termos econômicos, o aproveitamento da energia solar, poderia ser empregado em painéis solares localizados tanto em residências quanto em satélites.

Ademais às possibilidades mencionadas anteriormente, atualmente vêm sendo desenvolvido biosensores caracterizados por alta sensibilidade à vibrações, baseado nas propriedades piezoelétricas de uma proteína denominada Prestin[4], cuja atuação pode ser comparada a de um "gerador molecular", acionado em resposta a uma certa solicitação de natureza mecânica. A FIG. (10) ilustra a referida proteína.

---

[3] www.lunarbase.rutgers.edu/presentations/Lewandowski.ppt

[4] http://www.intactlabs.com/index.php?t=applications&x=biosensor

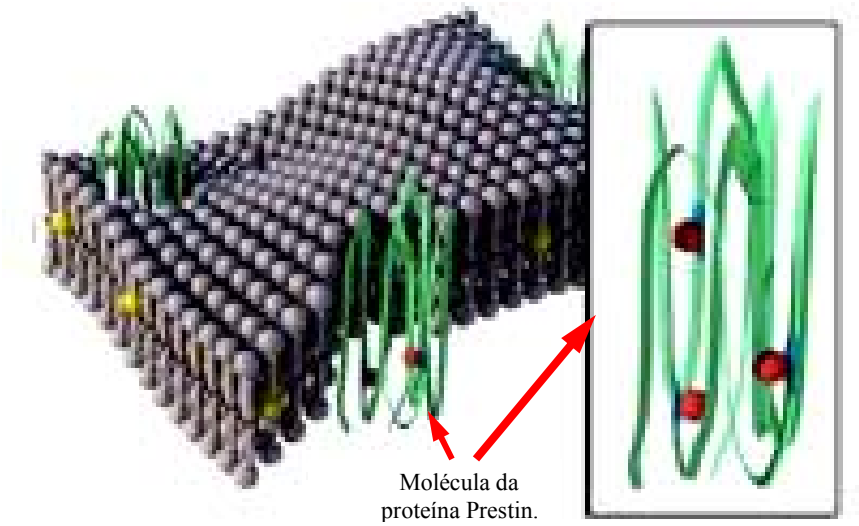


FIGURA 10 – Representação de proteína geradora de energia elétrica.
FONTE- http://www.intactlabs.com/index.php?t=applications.

Esta proteína, encontrada na membrana das células residentes no sistema auditivo, de mamíferos, atuaria na conversão da energia (relacionada à impulsos elétricos), em energia mecânica, a qual repercutindo em movimento de alongamento ou contração da referida célula, seria responsável pela amplificação do som nos ouvidos. A aceitação do efeito inverso, ou seja, o surgimento de corrente elétrica em resposta à tensão mecânica (para tal bastariam microvibrações) aplicada sobre sua estrutura, vem fazendo com que pesquisadores, de ambientes caracterizados por microgravidade, admitam a possibilidade de se utilizar a proteína em questão como maneira de se gerar energia elétrica em missões no espaço[5].

O revestimento da vestimenta (*spacesuit*), usada em missões no espaço, por esta proteína permitiria que a energia mecânica produzida por movimentos corriqueiros executados pelos astronautas, ao ser convertida em energia elétrica, suprisse as necessidades energéticas impostas pelos equipamentos utilizados em atividades diversas. Além disso, a consecução satisfatória de futuras missões tripuladas a marte, estando condicionadas pela possibilidade de permanência neste local, poderiam ser satisfeitas a partir do momento que as bases (construídas para alocação de equipamento e pessoal) fossem revestidas por uma camada composta pela proteína Prestin, a qual seria ativada por rajadas de vento da atmosfera deste planeta. Ambas as possibilidades podem ser constatadas por meio da FIG. (11).

[5] http://technology.newscientist.com/channel/tech/nanotechnology/dn11158

FIGURA 11 – Representação das possibilidades relacionadas à conversão de energia em ambientes caracterizados por microgravidade.

FONTE - http://technology.newscientist.com/channel/tech/nanotechnology/dn11158 / NASA/Pat Rawlings/SAIC.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo