



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

DIPOSITIVO DE CONVERSÃO DE ENERGIA
MECÂNICA EM ENERIA ELÉTRICA APLICADA À
BICICLETA ESTACIONÁRIA

JOÃO BATISTA SOLDATI JÚNIOR

Belo Horizonte, 31de Março de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**DIPOSITIVO DE CONVERSÃO DE ENERGIA
MECÂNICA EM ENERIA ELÉTRICA APLICADA À
BICICLETA ESTACIONÁRIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica de Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Bioengenharia

Orientador: Prof. Marcos Pinotti Barbosa

(Escola de Engenharia Mecânica)

Co-orientador: Leszek A. Szmuchrowski

(Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional)

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG



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

**DIPOSITIVO DE CONVERSÃO DE ENERGIA
MECÂNICA EM ENERIA ELÉTRICA APLICADA À
BICICLETA ESTACIONÁRIA
JOÃO BATISTA SOLDATI JÚNIOR**

Dissertação defendida e aprovada em 31/03/2010 pela banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como dos requisitos necessários à obtenção do título de “**Mestre em Engenharia mecânica**”, na área de concentração de “**Bioengenharia**”

Orientador Prof. Marcos Pinotti Barbosa – Escola de Engenharia mecânica

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

Prof. Examinador

Prof. Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e principalmente aos professores responsáveis à minha formação em especial ao Dr. Leszek e ao Dr. Pinotti pela doutrina e credibilidade. Eles sim atuam no sentido literal da palavra *mestre*.

Às pessoas as quais, sem a participação, seria simplesmente impossível essa conquista. São os companheiros do dia-a-dia unidos na busca pelo conhecimento ajudando-se mutuamente como uma família. Obrigado, pela minha formação acadêmica e pessoal, e por me ensinarem tanto a aprender quanto a ensinar.

Uma parte dessa família se chama LAC (laboratório de avaliação da carga). Agradeço em especial a Jacielle, Rodrigo, Bruno, João e Rafael pelas discussões, debates e contribuições prestadas.

A outra parte se chama LABBIO (laboratório de bioengenharia). Agradeço em especial a Tálita, Daniel, Fábio e Claysson pelos esforços, atenção, contribuições prestadas e principalmente pela paciência.

A minha mãe Cléria e minhas irmãs Olinda e Grazielle pelo amor incondicional sem o qual não teria estrutura emocional para chegar aqui. Ao meu pai João Soldati pelo apoio mesmo do “outro lado”. Ao meu tio Ronaldo pelo exemplo e inspiração. A Ariana, mulher da minha vida, pelo carinho e conforto. Amo vocês!

Aos voluntários pela disponibilidade e finalmente a você! Pela contribuição financeira indireta para com o ensino público.

Obrigado!

João Soldati Jr.

*"Eu poderia viver recluso numa casca de noz e me considerar rei
do espaço infinito..."*

Shakespeare, "Hamlet" ,ato 2,cena 2
Citação Stephen Hawking

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	10
NOMENCLATURA.....	11
RESUMO	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos gerais.	19
1.2. Objetivos específicos.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Energia e meio ambiente	20
2.1.1. A nova ordem energética mundial.....	20
2.1.2 Matriz energética brasileira	21
2.1.3 Os acordos internacionais sobre mudança do clima.....	23
2.1.4 Mecanismo de desenvolvimento limpo	24
2.2 Eco-design.	25
2.2.1 Potência humana.....	26
2.3 Energia humana.	31
2.3.1 Vias metabólicas.....	32
2.3.2 Métodos de quantificação da energia humana.....	35
2.3.3 Cicloergômetro.	37
2.4 Ciclismo de salão.....	39
2.4.1 Academias auto-sustentáveis.....	42
2.5 Conversores	46
2.5.1 Componentes do gerador elétrico.....	48
2.6 Eletricidade gerada por bicicleta.	49
3. METODOLOGIA.....	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
5. CONCLUSÕES	74
6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
ABSTRACT	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE	83

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.1 – Estágios de desenvolvimento humano e consumo de energia.
- FIGURA 2.1a – Evolução da demanda de energia e a taxa de crescimento econômico
- FIGURA 2.1b – Evolução do crescimento populacional e da demanda per capita
- FIGURA 2.2 – Evolução da estrutura da oferta de energia no Brasil.
- FIGURA 2.3 – Progressão da tecnologia móvel.
- FIGURA 2.4 – Fluxo de energia de um sistema de energia humana.
- FIGURA 2.5 – Possibilidades do sistema de energia humana.
- FIGURA 2.6 - Cicloergômetro com sistema mecânico de frenagem.
- FIGURA 2.7a – Dispendio de energia humana (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.7b – Dispendio de energia humana (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.8a – Potência mecânica humana (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.8b – Potência mecânica humana (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.9a – Frequência cardíaca média (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.9b – Frequência cardíaca média (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.
- FIGURA 2.10 – O que fazer com o Watt.
- FIGURA 2.11 – California Fitness gyms
- FIGURA 2.12 – Experimento da Lei de Faraday.
- FIGURA 2.13 – Gerador de corrente alternada
- FIGURA 2.14 – Dínamo acoplado à bicicleta.
- FIGURA 2.15 – Bicicleta com sistema de treinamento fornecido por alternador.
- FIGURA 2.16 – Bicicleta geradora de energia cinética por ar comprimido.
- FIGURA 2.17 – Bicicleta geradora de energia acoplada à rede elétrica..
- FIGURA 2.18 – Televisor acionado por gerador montado em bicicleta.
- FIGURA 2.19 – Bicicleta de dois lugares com gerador acoplado à roda traseira.
- FIGURA 2.20 - Gerador montado no interior do pedal de uma bicicleta.

FIGURA 2.21 – Gerador montado na parte traseira de uma bicicleta.

FIGURA 2.22 – Esquematização de acoplamento ajustável de um alternador a vários equipamentos.

FIGURA 3.1 – Bicicleta acoplada á estrutura de sustentação.

FIGURA 3.2a – Alternador DENSO 65 AMP 46765842 12V .

FIGURA 3.2b – Bateria chumbo-ácida (12V 7Ah) da marca UNIPOWER.

FIGURA 3.3 – Relação entre os eixos rotacionais do sistema.

FIGURA 3.4a – Placa de aquisição *National Instruments* 6008.

FIGURA 3.4b – Cardio-frequencímetro *Polar S710*.

FIGURA 3.4c – Shunt *Meditec 100A – 100mV*.

FIGURA 3.4 _ Chaveamento das resistências elétricas.

FIGURA 3.5 – Painel frontal (LABview 8.5).

FIGURA 3.6 – Teste caracterização velocidade angular.

TABELA 3.7 – Teste caracterização resistências elétrica.

FIGURA 3.8 – Aula padronizada spinning®.

FIGURA 4.1 – Resultado do teste de caracterização da cadência.

FIGURA 4.2 – Resultado do teste de caracterização da resistência elétrica.

FIGURA 4.3a – Frequência cardíaca no teste de um voluntário masculino.

FIGURA 4.3b – Cadência de giro no teste de um voluntário masculino.

FIGURA 4.3c – Potência elétrica de saída no teste de um voluntário masculino.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 2.1 – Estimativa do requerimento da potencia humana em determinadas atividades.

TABELA 2.2 – Consumo de potencia de alguns produtos eletrônicos.

TABELA 2.3 – A relação entre dispêndio de energia no ciclismo e o consumo de energia de alguns produtos.

TABELA 3.1 – Teste caracterização resistências elétricas.

TABELA 4.1 Valores de potência média relativo por etapa, assim como as chaves acionadas e seu respectivo valor de resistência.

TABELA 4.2 Resultado da frequência cardíaca média.

TABELA 4.3 Resultado da potência média de cada voluntario e seu gênero.

TABELA 4.4 Resultado da potência elétrica de saída média para homens, mulheres e ambos.

NOMENCLATURA

Letras Latinas

P	Potência [W]
U	Trabalho [J]
F	Força [N]
F_{peso}	Peso [N]
F_{atrito}	Força de Atrito [N]
T_{pedal}	Torque produzido no pedal [Nm]
T_{roda}	Torque produzido na roda [Nm]
V_{linear}	Velocidade Linear [m/s]
R	Raio da roda [m]
$VO_2 \text{ máx.}$	Volume máximo de oxigênio consumido por kg a cada minuto [ml/kg.min]

Letras Gregas

μ	Coefficiente de atrito dinâmico [adimensional]
ω	Velocidade angular [rad/s]

RESUMO

O mundo atual enfrenta uma crise relacionada ao aquecimento global resultado de anos de poluição ambiental, causada principalmente, pela utilização de fontes não-renováveis de energia. A consequência disso é a busca, por parte da comunidade governamental e científica, pelo desenvolvimento de fontes de energia renováveis. Apesar de, em academias de ginásticas haver considerável dispêndio de energia humana, os mesmos não se caracterizam, 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. Um sistema de conversão de energia foi desenvolvido no presente estudo e acoplado na parte traseira de uma bicicleta estacionária permitindo transformar a energia mecânica proveniente da pedalada em energia elétrica. Inicialmente foi realizado testes de caracterização do comportamento do sistema em relação às variações tanto da cadência de giro (rpm) quanto da resistência elétrica a ele acoplado. A quantidade de energia elétrica passível de ser produzida em um ambiente voltado a pratica de ciclismo indoor foi verificada. Quinze voluntários de ambos os sexos realizaram, no sistema de conversão em questão, um protocolo de treinamento da modalidade de ciclismo indoor (spinning®). Dados referente à frequência cardíaca (bpm), cadência de giro (rpm) e potência elétrica de saída (W) foram coletados e posteriormente analisados. Os resultados mostraram que o sistema desenvolvido varia a quantidade de potência elétrica de saída em relação à resistência elétrica, e o mesmo não ocorre em relação à cadência. Os valores da média de frequência cardíaca 158 ± 14 bpm, indicam que o protocolo de treinamento foi devidamente reproduzido. A potência elétrica média de saída foi $60,0 \pm 19,7$ W. Portanto, o modelo de gestão energética que utiliza a ação humana como fonte poderia se caracterizar pela auto-sustentabilidade funcionando, além disso, como maneira de se aliar o bem estar físico, à consciência ecologicamente correta.

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

1. INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia, a qual se mostra neste contexto um ingrediente essencial no desenvolvimento. Tal fato pode ser facilmente comprovado quando é comparado o consumo de energia *per capita*¹ por ano de países industrializados de 5,5 TEPs (tonelada de equivalente de petróleo por pessoa/ano) com o consumo brasileiro de 1,39 TEPs no ano de 1998 (GOLDEMBERG, 2000). Entre os fatores que contribuem para o desenvolvimento econômico alinham-se um expressivo processo de industrialização e uma notável expansão demográfica acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização, resultando, em última análise, em significativo aumento no consumo de energia. Diversas são as fontes existentes no quadro energético mundial na atualidade podendo ressaltar as fontes primárias de energia de origem fósseis (petróleo) por sua maior participação geral. Porém no processo de transformação desta fonte é liberado no ambiente, subprodutos químicos e gases de efeito estufa (GEEs), principalmente o CO₂, repercutindo em uma grande desvantagem por afetar diretamente o equilíbrio do meio ambiente.

A demanda energética do ser humano evidenciada ao longo da história por GOLDEMBERG (1998), relaciona a quantidade de energia per capita diária (em kcal) em seis estágios do desenvolvimento humano, demonstrando um crescimento expressivo em todos os quatro aspectos por ele analisados; moradia/comércio, indústria/agricultura, alimentação e transporte. A análise parte desde o homem primitivo (1.000.000 de anos atrás) onde a energia utilizada provinha apenas dos alimentos em torno de 2000 kcal, passando pelo homem caçador (100.000 anos atrás) que utilizava da combustão da madeira para gerar calor, seguindo pelo homem agrícola (Mesopotâmia em 5000 a.c.) utiliza a energia animal para semear e colher, o homem agrícola avançado (Noroeste da Europa, em 1400 d.c.) explorava os combustíveis fósseis, carvão, força da água e o transporte animal, chegando no homem industrial (Inglaterra, em 1875) que fazia uso da máquina a vapor e finalizando no homem tecnológico (EUA, em 1970) que utiliza meios de transporte movidos, principalmente, por combustíveis derivados do petróleo, além de equipamentos e dispositivos

¹ Expressão latina que significa *para cada cabeça*.

eletrônicos; elevando seu consumo diário para, aproximadamente, 230.000 kcal/dia como demonstrado no figura 1.1.

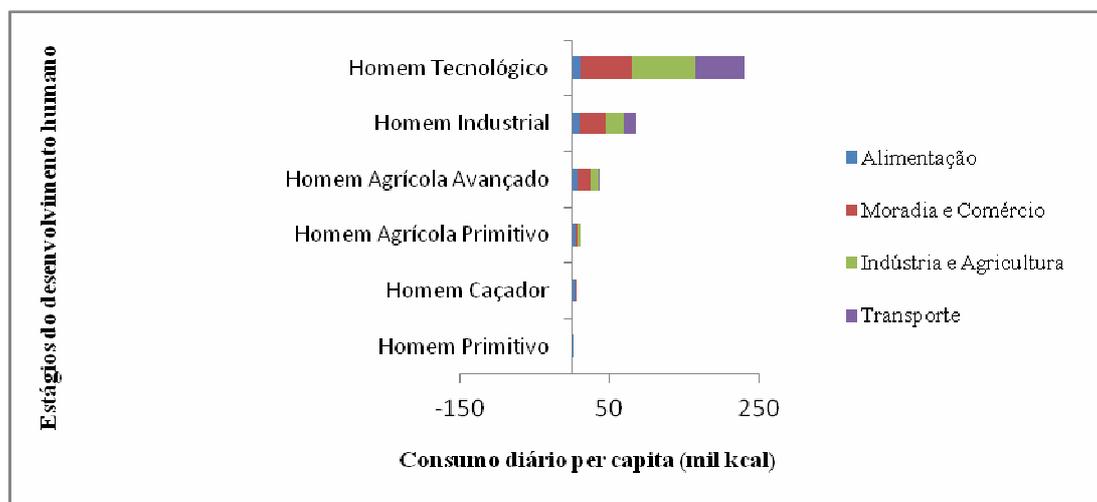


FIGURA 1.1 – Estágios de desenvolvimento humano e consumo de energia.

FONTE - GOLDEMBERG, 1998, p. 30.

Frente à incapacidade do planeta de manter suas condições climáticas, devido à elevação na concentração de gases de efeito estufa, vem despertando interesse e preocupação nas autoridades e na opinião pública mundial a respeito do aumento gradativo da temperatura média da terra. Esta situação obrigou os países a adotarem estratégias (QUIOTO, 1997) que resultem na diminuição percentual das emissões de CO₂, desviando dessa forma, o foco quando a questão é fonte energética. Um dos mecanismos propostos é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o único que permite a participação de países em desenvolvimento em cooperação com países desenvolvidos. O objetivo final da redução das emissões pode ser atingido, assim, por meio da implementação de atividades de projetos nos países em desenvolvimento que resultem na redução das emissões de GEEs ou no aumento da remoção de CO₂, mediante investimentos em tecnologias mais eficientes, substituição de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento, entre outros (LOPES, 2002).

Uma dessas alternativas é o *ecodesign*, eco-desenho ou desenho ecológico, que pode ser compreendido com produtos respaldados com uma postura ecologicamente correta, através de meio de produção focado em funcionalidade, manuseio e sistema, reaproveitando o máximo de materiais e levando em consideração toxicidade, escassez,

renovabilidade e reciclabilidade, além de redução de espessuras, não utilização de cola, intensificação do uso de refil, entre outras iniciativas (VIECELLI, 2006).

Em produtos eletrônicos portáteis a parte relacionada ao fornecimento de energia (pilhas e baterias) representa, assim como ao ambiente, um fator limitante no desenvolvimento capaz de restringir o seu tamanho, peso e autonomia (SÁEZ, 2004). Além disso são elas também as responsáveis pela maior parte do impacto causado pelo ciclo de vida útil de diversos produtos ao meio ambiente, sendo responsável por 50 a 85% de sua ação danosa. (JANSEN E STEVELS, 2006). Sendo assim, dispositivos que apresentem capacidade de aproveitamento do seu sistema energético de maneira otimizada, associado ao desenvolvimento de novas tecnologias, repercutem em diminuição da energia necessária ao suprimento que suas funções demandam e estão ganhando atenção no mercado eletrônico. Na tentativa de solucionar os problemas vigentes no que diz respeito às baterias assim como fornecer opções de novas utilizações de fontes de energias renováveis, vem firmando-se o grande interesse em relação à conversão da energia mecânica a partir da ação humana (PANDIAN, 2004; JANSEN E STEVELS, 2006; STARNER e PARADISO, 2004).

A idéia de se recuperar a energia proveniente da ação humana e utilizá-la no funcionamento de produtos elétricos ou eletrônicos como lâmpadas, carregadores de celulares, relógios de pulso entre outros, leva vantagem quando comparado ao sistema de fornecimento de energia usual (baterias) por apresentarem fatores benéficos em consideração os aspectos econômicos e relacionados ao usuário, como citados por Jansen (2006):

- Vida útil longínqua (especialmente importante em casos de emergência)
- Infra-estrutura energética independente
- Independe da disponibilidade de baterias e seus custos relacionados
- Utiliza energia que seria perdida (como sistema de amortecimento)
- Aplicável em produtos onde existem lugares de acesso ao usuário indesejável (não necessitando deixar o interior do aparelho acessível para a troca de bateria).

Dessa forma lanternas, dentre outros dispositivos já existentes no mercado atual, apresentam seu funcionamento totalmente gerido a partir do fornecimento energético proveniente do próprio usuário (acionados com movimentos simples como apertar, girar

uma manivela etc.) e ganham grande preferência por parte de consumidores principalmente pelo fato de serem dispositivos independentes, de fontes “ilimitadas” e poderem ser utilizados em qualquer situação inclusive em uma emergência. No âmbito ecológico, os benefícios ambientais de produtos que usam sistema de energia humana são baseados no fato de consumirem fontes renovável de energia durante sue ciclo de vida útil, o que torna não poluentes por consideração. Apesar da dificuldade da quantificação, o sistema de energia humana apresenta um baixo potencial tóxico quando comparado as baterias assim como se mostram duas ou três vezes menos poluentes (JANSEN e SLOB, 2003).

Visando a possibilidade de construir aparelhos eletrônicos no qual o próprio usuário poderia servir como fonte energética, deve-se inicialmente fazer uma relação a respeito da potencia energética (medida em Watts) que o ser humano é capaz de gerar quando este executa movimentos específicos tanto do dia a dia quando em exercício físico, e compará-la com o requerimento de energia do dispositivo em questão. Esta comparação deveria levar em consideração a estratégia de conversão energética adotada, considerando as perdas existentes no processo de conversão e de armazenamento (refletindo a eficiência). A realização de estudos que visam explorar as possibilidades e limitações de sistemas de energia humana (apertar botão, espremer e girar manivela) constata sua compatibilidade quando estes são correlacionados à dispositivos eletrônicos de baixo consumo como; pequenos rádios, mp3 players e telefones celulares (JANSEN E STEVELS, 2006).

E notório os resultados encontrados por estudos acerca do potencial energético humano. Uma vez conhecido o valor energético dos substratos armazenados pelo organismo como as gorduras (1 g equivale a 9 kcal), sendo uma caloria igual a 4.19 J, chega-se a valores aproximados de 384 MJ (mega joules) de energia disponível em uma pessoa de 68 kg de massa corpórea sendo 15% de gordura. Dessa forma, STARNER E PARADISO (2004) consideram o corpo humano como um gigantesco reservatório de energia e defendem mecanismos que viabilizam coletar mesmo que uma pequena fração desta energia estocada, com intuito de fornecer a aparelho móvel grande fonte renovável para drenar.

A eficiência do corpo humano na conversão energética de sua forma armazenada (gorduras) em forma de energia mecânica (movimento), calculada por McARDLE et. al. (2003), está por volta de 20 – 30% para atividades como a caminhada, a corrida e a pedalada estacionária, tendo como variáveis dependentes a aptidão, à técnica, bem como

o gênero e o tamanho corporal do indivíduo. A média dos valores referentes à eficiência muscular, segundo o que HANSEN E SJOGAARD (2006), observaram em seu estudo, foi de 26%, coerente com os valores citados anteriormente. Isso quer dizer que aproximadamente um quarto da energia despendida pelo corpo humano seria efetivamente utilizada como potência de entrada em um sistema que objetivasse converter a ação humana em energia elétrica, estando tal valor sujeito também a eficiência relativa à conversão músculo - energia elétrica que por sua vez dependeria da tecnologia utilizada (eficiência do conversor). Os geradores elétricos constituem na atualidade o meio mais usual de conversão de energia e são também chamados de dispositivos eletromagnéticos (JANSEN E RUITER 2003).

Geradores elétricos são máquinas que tem a propriedade de transformar a energia mecânica rotativa de entrada em energia elétrica de saída (eletricidade) fazendo uso do fenômeno descoberto por MICHEL FARADAY (1831). O fenômeno demonstra que quando um condutor é submetido à variação de um campo magnético (criado por um ímã ou induzido em uma bobina), resulta na ação de uma força (denominada força eletromotriz – f.e.m), que por sua vez é causadora de corrente elétrica no condutor em questão (Máximo e Alvarenga, 1994). A eficiência dos dispositivos eletromagnéticos estaria por volta de 40 – 60% segundo FLIPSEN (2004).

Portanto levando em consideração 25% de eficiência humana e 50% de eficiência de dispositivos eletromagnéticos, quando se imagina um sistema onde o movimento rotacional aplicado ao eixo do gerador fosse proveniente da ação humana seria plausível também imaginar que o sistema teria por volta de 12,5% de eficiência. Nesse sentido, quanto maior fosse a ação humana (atividade física) maior seria a quantidade de energia elétrica de saída, portanto a implementação deste sistema deveria estar situada em ambientes onde ocorressem elevados dispêndios de energia humana.

Após os anos 70, o surgimento das academias de ginástica tem sido considerado um dos maiores fenômenos sociais em todo o mundo segundo MARINHO E GUGLIELMO (1997) se tornado um dos principais palcos na prática de atividade física. Apesar de estes ambientes apresentarem um alto dispêndio de energia humana, não existe ainda um modelo de gestão energética que pudesse efetivamente resultar em economia quando comparado ao seu gasto de energia elétrica.

Uma das modalidades praticadas em academias de ginásticas caracterizada por elevado impacto no metabolismo humano assim como no sistema cardiorrespiratório, e assim sendo um elevado dispêndio de energia é o ciclismo de salão (CARIA, 2007)

mais conhecido pelo empréstimo lingüístico *Ciclismo Indoor* (CI); esse trata do treinamento coletivo da modalidade de ciclismo em recinto fechado, e vem apresentado crescimento vertiginoso em todo o mundo (KANG, 2005). Spinning® (marca registrada MADD DOG ATHETICS) é um programa de treinamento de (CI) largamente praticado ao redor do mundo foi originalmente projetado para auxiliar o treino de ciclistas profissionais, especificamente melhorando a capacidade cardiorrespiratória, tonos muscular e a resistência ao exercício (Johnny, 1996). Uma sessão de spinning exige que se gaste uma elevada quantidade de energia, e portanto, spinning tem sido considerado como uma excelente forma de se perder peso como parte de um programa de treinamento recreativo (JOHNNY, 1996). Uma sessão de spinning é normalmente realizada em uma sala vagamente iluminada onde os participantes pedalam juntos em uma bicicleta estacionaria modificada acompanhada pelo ritmo de musicas e de palavras motivadoras de um instrutor.

Associado ao alto dispêndio de energia referente à modalidade em questão está a forma com que ela é despendida. Uma sessão de spinning tem a duração em torno de cinqüenta minutos onde os participantes mantêm um ritmo de pedala entre 60 – 120 rpm (rotações por minuto) continuamente (CARIA, 2007). Dessa forma tal modalidade se mostra uma fonte de energia atraente quando o assunto é modelo gestão energético que visa à conversão da ação humana em energia elétrica, principalmente por representarem uma fonte de movimento rotacional continua e duradoura, assim como utilizarem como motores primários grupos musculares de maior capacidade de geração de trabalho do corpo; membros inferiores.

Tendo em vista a situação supracitada, o presente estudo faz menção no assunto relacionado ao aproveitamento de fontes alternativas de energia, especificamente aquelas provenientes de atividades físicas executadas em ambientes de ciclismo de salão, particularmente da modalidade spinning®.

Sendo assim, o objetivo do estudo é demonstrar a quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada, a partir da energia mecânica proveniente do exercício físico realizado em bicicletas estacionárias na modalidade de ciclismo indoor da marca spinning. Além disso, verificar a magnitude da redução no consumo mensal de energia elétrica em um ambiente, caracterizado por gerenciamento energético planejado, caso a energia produzida via exercício físico fosse direcionada ao acionamento dos equipamentos elétricos deste local.

1.1 Objetivos gerais.

- Quantificar a energia elétrica gerada em uma bicicleta estacionária, por usuários submetidos a um protocolo de treinamento da modalidade de ciclismo indoor (spinning®).

1.2 Objetivos específicos.

- Adaptar um dispositivo de geração de energia a uma bicicleta estacionária para converter a energia mecânica em energia elétrica.
- Desenvolver um dispositivo de monitoramento da energia elétrica gerada pela bicicleta.
- Desenvolver um mecanismo de controle do torque nos pedais.
- Caracterizar o dispositivo quanto aos níveis de potência gerada.
- Executar um protocolo de treinamento (spinning®) no dispositivo.
- Analisar os valores mensurados durante o protocolo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia e meio ambiente

2.1.1. A nova ordem energética mundial

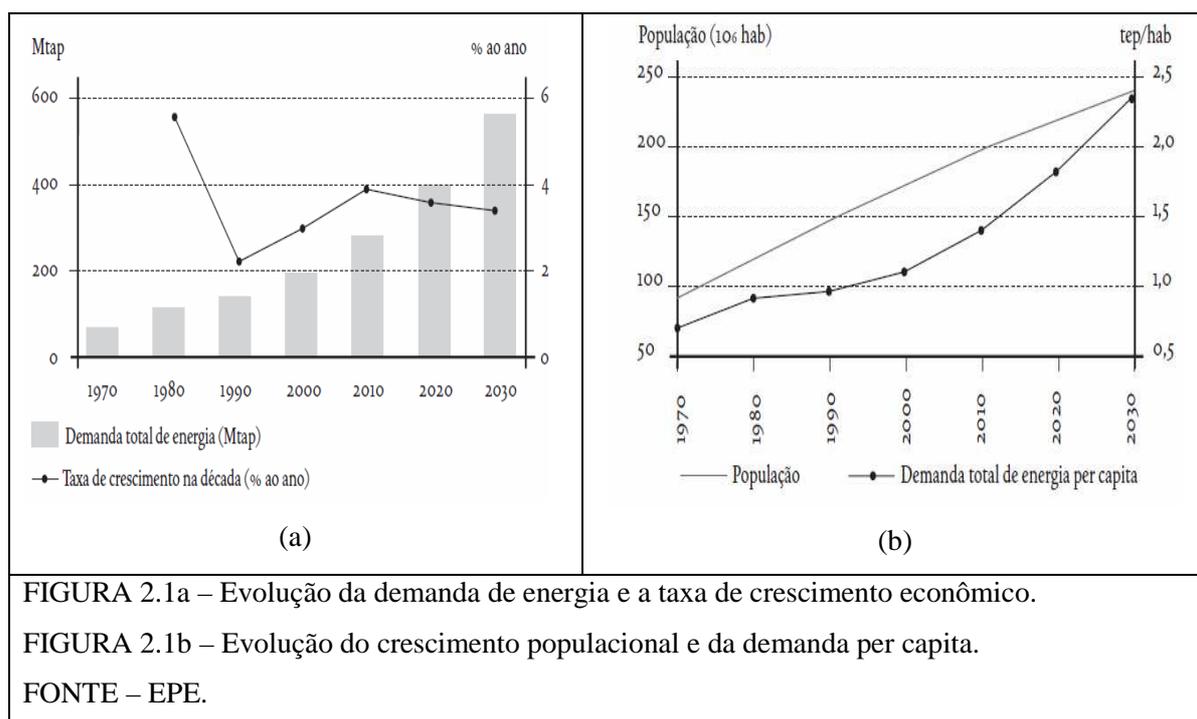
Atualmente, a nova ordem mundial é a busca pela auto-suficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis. Para tanto, os países têm que ter sob controle fontes primárias de geração de energia elétrica, térmica e veicular e, em um mundo globalizado, é necessário que haja uma interdependência entre os países e uma auto-suficiência em alguma fonte de energia (IGNATIOS, 2006). Essa diversificação trará para os países mais segurança à oferta de energia sem sucumbir às pressões de preços de insumos ou adversidades climáticas. É necessário que haja mais investimentos direcionados para área de produção de combustíveis e geração de energia, o que se configura como um problema, uma vez que o governo não teria recursos suficientes para a diversificação e ampliação da matriz energética. Segundo a EPE² (Empresa de Pesquisa Energética) estatal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, caso a demanda por energia venha a crescer anualmente na ordem de 4,8%, o país precisará investir em torno de R\$ 125 bilhões para a ampliação de geração e transmissão de energia a fim de que haja fornecimento regular sem riscos de apagão.

Esta questão energética vem gerando uma apreensão mundial e ganhando sempre mais importância, seja pela questão ambiental, com a necessidade de se reduzir a emissão de gases poluentes, e, conseqüentemente, o consumo de combustíveis fósseis, seja pelo fato de uma possível e não muito distante diminuição significativa das fontes de energia não-renováveis, o que ocorre com o petróleo, um bem finito e que atualmente não mais consegue acompanhar o crescimento da demanda.

² Empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada em 2004 com a finalidade de elaborar estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético nacional.

2.1.2 Matriz energética brasileira

Ao longo do século XX o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, que se refletiu numa crescente demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram tal crescimento alinham-se um expressivo processo de industrialização, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização (TOLMASQUIM et al, 2007). As figuras 2.1a e 2.1b mostram a tendência de crescimento na demanda de energia e populacional para os próximos 20 anos. Considerando-se apenas o período a partir de 1970, a série histórica da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional indica que naquele ano a demanda de energia primária era inferior a 70 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), enquanto a população atingia 93 milhões de habitantes. Em 2000 a demanda de energia quase triplicou, alcançando 190 milhões de tep, e a população ultrapassava 170 milhões de habitantes (TOLMASQUIM et al, 2007).

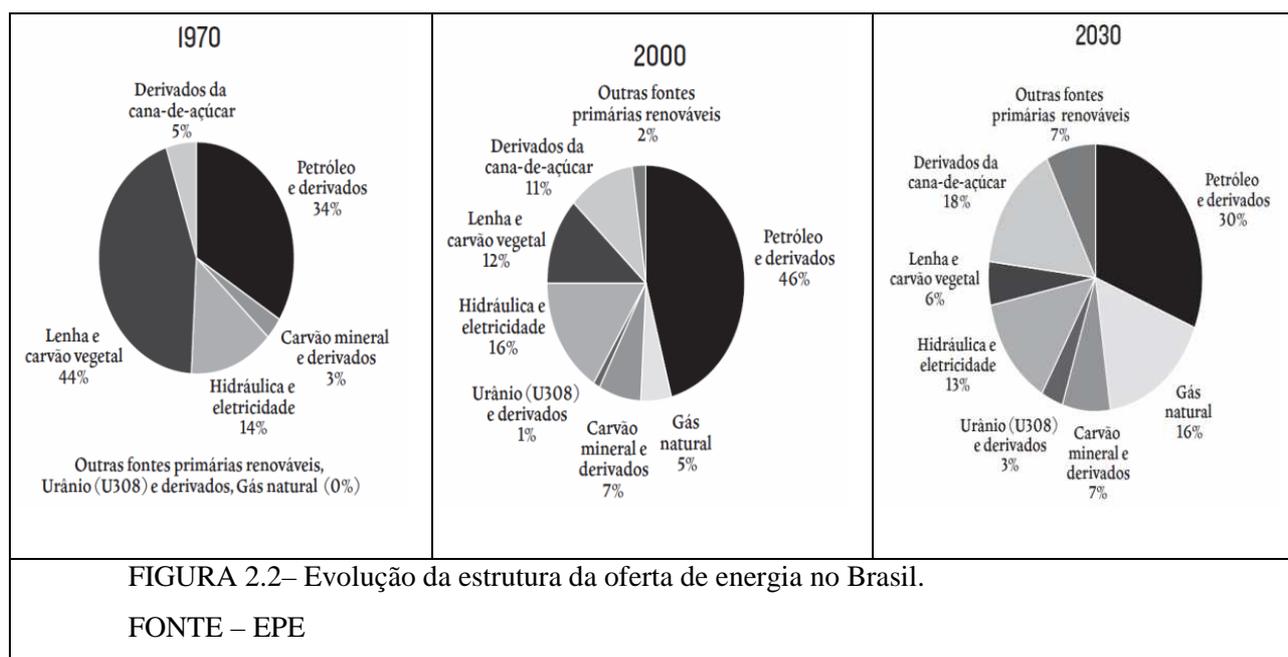


Em conformidade com a prospectiva formulada para a economia brasileira, os estudos de longo prazo conduzidos pela EPE apontam forte crescimento da demanda de energia nos próximos 25 anos. Estima-se que a oferta interna de energia crescerá a 5% ao ano no período 2005-10 e que nos anos subsequentes haverá um crescimento menor — de 3,6% e 3,4% ao ano nos períodos 2010-20 e 2020-30, respectivamente — devido,

sobretudo, a uma maior eficiência energética tanto do lado da demanda como da oferta. No entanto, esse crescimento deve ser qualitativamente diferente. Além de um crescimento sustentado, pode-se esperar um aumento muito mais intenso da renda *per capita* e também uma melhor distribuição de renda. Esses fatores, aos quais se soma o consumo de energia *per capita*, atualmente muito baixo para os padrões mundiais (de 1.190 tep/10³ hab.), justificam o crescimento da demanda nacional de energia para 3,8% ao ano em 2030, superando 550 milhões de tep.

Cabe ressaltar uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. Como se pode observar no Gráfico 2.2, em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica. Projeta-se para 2030 uma situação em que quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo: além de petróleo e energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural — com redução da importância relativa da lenha.

Destaque-se ainda a reversão da tendência de redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Em 1970 essa participação era superior a 58%, em virtude da predominância da lenha. Com a introdução de recursos energéticos mais eficientes, a participação das fontes renováveis caiu para 53% no ano 2000 e chegou a 44,5% em 2005. Essa tendência deve ser mantida nos próximos anos, mas visualiza-se a possibilidade de reversão a partir de 2010 como indica a figura 2.2 (EPE):



2.1.3 Os acordos internacionais sobre mudança do clima

Os problemas ambientais globais começaram de fato a fazer parte da agenda internacional com a Conferência de Estocolmo, em 1972, mas a questão do aquecimento global só começou a adquirir uma maior importância com a realização da Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979, pela Organização Meteorológica Mundial³ das Nações Unidas. Nesta ocasião, os países participantes chegaram à conclusão de que a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e as mudanças no uso do solo aumentaram o montante de CO₂ na atmosfera em 15% durante os cem anos que precederam esta conferência (BRAZ, 2003). Este trabalho teve continuidade, onze anos depois, em 1990, com a elaboração do Primeiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas⁴. Esse esforço foi traduzido politicamente na constituição do Comitê Negociador Internacional para uma Convenção sobre Mudança do Clima.

Em 1992, o Rio de Janeiro recebeu representantes de 178 governos que participaram da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento⁵. Dentre os principais resultados desta Conferência, teve especial destaque a Convenção-Quadro nas Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC), que trouxe a proposta de que fossem realizadas conferências frequentes sobre o clima para monitorar os progressos obtidos e revisar as medidas tomadas para reduzir a emissão global de GEEs (gases de efeito estufa) (RODRIGUES, 2004).

Desse modo, os signatários da Convenção-Quadro foram divididos em dois grupos. O primeiro denominado países Partes Anexo I, engloba os países desenvolvidos da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e os países industrializados ex-comunistas em transição para a economia de mercado, que possuem compromissos de redução de gases de efeito estufa. O segundo grupo, denominado países Partes não-Anexo I, agrega os países em desenvolvimento, que não possuem compromissos de redução, mas ficam obrigados a elaborar inventários nacionais de emissões de carbono (VIOLA, 2003,).

Buscando priorizar os trabalhos, a Conferência das Partes (COP), órgão supremo da Convenção, tem a responsabilidade de acompanhar e examinar a implementação dos objetivos propostos, além de tomar as decisões necessárias para promover a sua efetiva

³ World Meteorological Organization (WMO).

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

⁵ United Nations Conference on Environment and Development (UNCED92).

concretização. Esta implementação é feita mediante a realização periódica de Conferências subsequentes, nas quais, por intermédio de tratados específicos, criam-se, desenvolvem-se e implementam-se técnicas para o alcance do objetivo final da Convenção-Quadro.

A mais significativa das Conferências, realizada em dezembro de 1997, em Quioto (Japão), contou com a presença demais de 160 países que se empenhavam em cumprir o Mandato de Berlim, adotando, assim, o Protocolo de Quioto, incluindo metas e prazos relativos à redução ou limitação das emissões futuras de GEEs. Este Protocolo foi aprovado em meio a discussões extremamente difíceis e complexas, deixando vários artigos e decisões a serem tomadas nas Conferências das Partes posteriores, nas quais predominaram um clima de impasse com relação a esses pontos-chave (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2004).

De acordo como Protocolo, os países desenvolvidos aceitaram compromissos diferenciados de redução ou limitação de emissões entre 2008 e 2012, representando, no total dos países desenvolvidos, redução em pelo menos 5% em relação às emissões combinadas de gases de efeito estufa de 1990. As emissões consideradas são aquelas geradas por atividades humanas no setor energético, em processos industriais, no uso de solventes, no setor agropecuário e no tratamento de resíduos (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2004).

2.1.4 Mecanismo de desenvolvimento limpo

Um dos mecanismos propostos é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o único que permite a participação de países em desenvolvimento em cooperação com países desenvolvidos. O objetivo final da redução das emissões pode ser atingido, assim, por meio da implementação de atividades de projetos nos países em desenvolvimento que resultem na redução das emissões de GEEs ou no aumento da remoção de CO₂, mediante investimentos em tecnologias mais eficientes, substituição de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento, entre outros (LOPES, 2002).

2.2 Eco-desing.

O objetivo de produtos projetados com visão ambientais, em geral denominados ‘eco-desing’ ou mais especificamente produtos ecologicamente corretos projetados levando em consideração o processo de reciclagem, é a diminuição do impacto ambiental total causado por ele, ou por sua utilização durante seu ciclo de vida útil (JANSEN E STEVELS, 2004). Vários métodos podem ser encontrados na literatura na busca de estratégias para aperfeiçoar o potencial do impacto ambiental de produtos industrializados (DEWBERRY, 1996).

Cálculos feitos pela Philips® baseados em aproximadamente cinquenta estudos sobre o ciclo de vida de aparelhos eletrônicos mostram que o consumo de energia é responsável por 50 – 85% do impacto ambiental total desses produtos (JANSEN E STEVELS, 2006). O sistema de fornecimento de energia de um aparelho eletrônico (bateria) é talvez o fator mais limitante na tecnologia móvel, capaz de restringir seu peso, tamanho e autonomia (JASEN et al, 2000).

A elevação notável do consumo de energia global causa também um aumento no número de problemas ambientais. Além disso, esta claro que vários países (Estados Unidos, grande parte da Europa etc.) não serão capazes de cumprir totalmente o tratado de Quioto em reduzir a emissão de CO₂. Por esta razão a pressão política e social em desenvolver produtos com menor consumo de energia esta aumentando (JANSEN E STEVELS, 2006).

Assim como mostra a figura 2.3, a capacidade da bateria é uma das mais retardatárias na tendência da computação móvel. Durante a progressão da tecnologia em 13 anos para computadores portáteis, uma tecnologia consideravelmente madura, a capacidade de armazenamento de informações (Bytes) aumentou em torno de 4000 vezes desde 1990 ate 2002, enquanto a bateria evoluiu em uma escala consideravelmente menor na densidade de energia (J/Kg), se mostrando incapaz de acompanhar a evolução tecnológica (STARNER E PARADISO 2004).

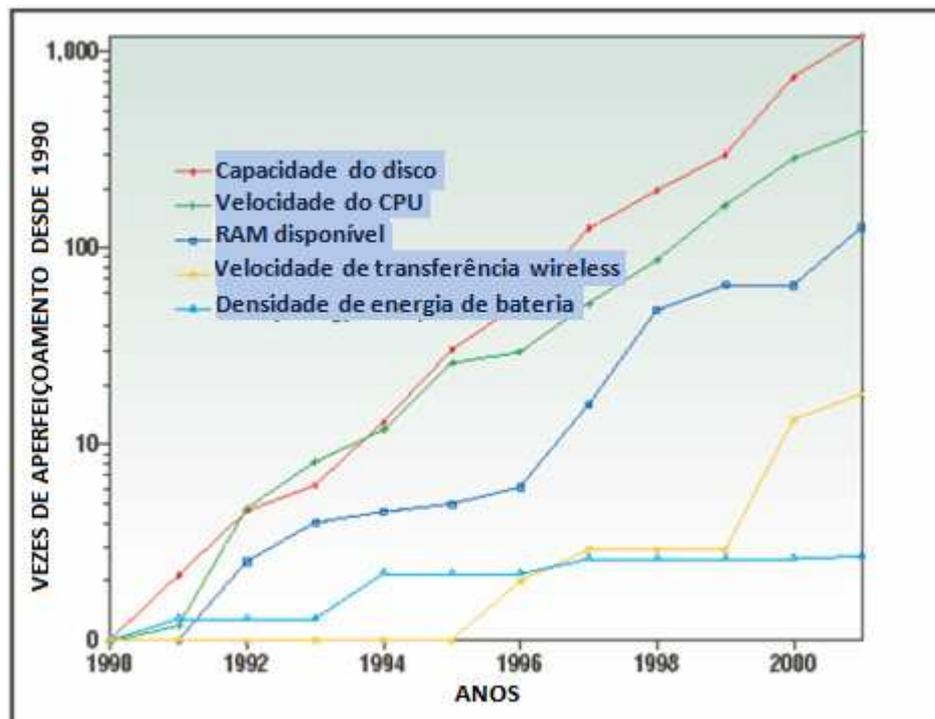


FIGURA 2.3 – Progressão da tecnologia móvel.

FONTE – STARNER E PARADISO, 2004.

2.2.1 Potência humana

Potencialmente, existe uma maneira em torno das limitações provenientes da bateria e sua disponibilidade de energia limitada para suprir as necessidades de aparelhos eletrônicos: extrair energia do próprio usuário. O corpo humano é um tremendo estoque de energia onde apenas um grama de gordura equivale a nove quilocalorias que por sua vez equivale a nove mil calorias, ou como mostra a equação 2.1 (STARNER E PARADISO 2004):

$$\left(\frac{9,000\text{calorias}}{1\text{g(gordura)}}\right)\left(\frac{4,19\text{J}}{\text{caloria}}\right) = 37,700\text{J} \quad (2.1)$$

Uma pessoa em média pesando 68 kg com 15% de gordura corporal têm estocado em seu corpo aproximadamente o equivalente a (equação 2.2):

$$0,15(68\text{Kg})\left(\frac{1,000\text{g}}{1\text{Kg}}\right)\left(\frac{37,700\text{J}}{1\text{g(gordura)}}\right) = 384\text{MJ} \quad (2.2)$$

Portanto, se pudéssemos coletar mesmo que uma pequena fração desta energia estocada, um aparelho móvel teria uma grande fonte renovável para drenar. Seguindo esta visão, pesquisadores estão desenvolvendo células combustíveis in-vivo que oxida a glicose sanguínea para fornecer uma pequena quantidade de energia (cerca de microwatts) com objetivo de suprir implantes de baixa necessidade energética (válvulas cardíaca, sensores biomédicos eficientes ou transmissores rastreadores de animais), infiltrando diretamente no processo biológico que transforma gordura em energia, porém ainda além da tecnologia atualmente disponível (KIM, et. al. 2003)

Por outro lado, é possível coletar a energia do usuário indiretamente, provenientes de atividades cotidianas ou geradas intencionalmente por ele. De fato, produtos existentes no mercado há anos (lanternas, rádios, relógios etc.) já operam dessa forma, e pesquisadores estão trazendo outros produtos para este nicho, enquanto tentam achar caminhos alternativos para drenar o excesso de energia da atividade humana (COOPER, 2001; KENNEALLY, 2000).

Dentro dos caminhos existentes que utilizam o corpo humano como fornecedor de um sistema de energia está:

- Trabalho por forças exercidas por partes do corpo.
- Variações na temperatura.
- Fluxo sanguíneo.
- Reações químicas.

Grupos de pesquisadores como PSE⁶ focam seus estudos especificamente na geração de energia proveniente de forças exercidas por partes do corpo humano (girar uma manivela, espremer etc.). Estudos anteriores (DAAMS, 1994 e STARNER, 1996) mostram os limites físicos do corpo humano em produzir trabalho em curtos períodos de tempo. Os próximos passos na pesquisa em sistema de energia humana consistem em modelar e quantificar a relação entre a funcionalidade do produto, motivação e considerações a respeito do desconforto associados a este sistema (JANSEN E STEVELS, 2006).

⁶ (Personal Energy Systems) Grupo de pesquisa da Delft University of Technology.

Um modelo descritivo de um sistema de energia humana em um produto, focando o fluxo de energia é mostrado na figura 2.4. O sistema de energia pode ser integrado (*on board*) ou separado do produto (*charger*).

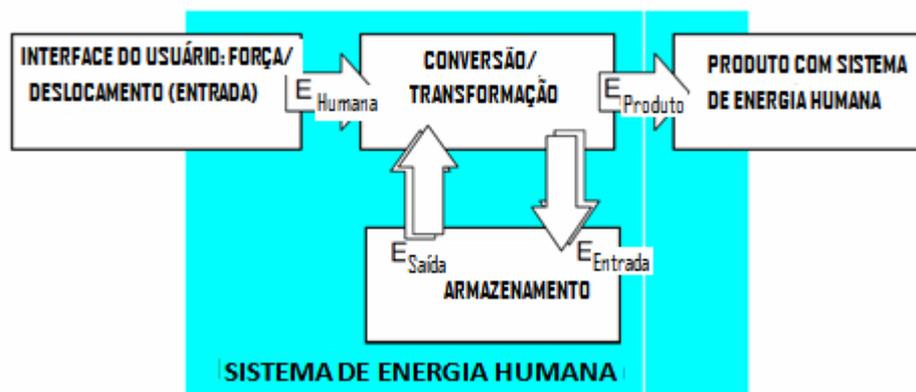


FIGURA 2.4 – Fluxo de energia de um sistema de energia humana.

FONTE – JANSEN E STEVELS, 2006.

Estimações no requerimento de potência em diferentes tipos de forças exercidas foram determinadas anteriormente (JANSEN E STEVEL, 1999) e estão mostradas na tabela 2.1. Para ser capaz de colocar estas estimações dentro da perspectiva de aplicabilidade de produtos eletrônicos, foi mensurada a potência consumida de alguns aparelhos (JANSEN E STEVEL, 1999) como mostra a tabela 2.2.

DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO	DEMANDA DE POTÊNCIA HUMANA (W)
Apertar botão (16 N x 40 mm)	0.64
Espremer com a mão (400 N x 30 mm)	12
Girar manivela (30 N x 100 mm x 90 rpm x $2\pi/60$)	28

TABELA 2.1 – Estimativa do requerimento da potência humana em determinadas atividades.

FONTE – JANSEN E STEVEL, 1999.

PRODUTO	MÉDIA DA DEMANDA DE POTÊNCIA
Rádio portátil pequeno	30mW
Walkman	60mW
Controle remoto (TV)	100mW
Celular (talk/stand-by)	2 W/35 mW
Lanterna	4 W
Vídeo tela LCD	6 W
Computador portátil (laptop)	10 W
TV (53/67/wide screen)	50/74/111 W

TABELA 2.2 – Consumo de potência de alguns produtos eletrônicos.

FONTE – JANSEN E STEVEL, 1999.

Considerações simples nos mostram que a quantidade total de energia produzida pelo corpo humano deve ser maior que a quantidade de energia dissipada por ambos o sistema de conversão/estoque e pelo produto propriamente dito. Para isto utiliza-se a equação 2.3 (JANSEN E STEVELS, 2006):

$$\eta_a \int_{t=0}^{t=t} W(\text{humana}) (t). dt - \int_{t=0}^{t=t} W(\text{produto}) (t). dt \geq 0 \quad (2.3)$$

Onde:

η_a (a de 1 até n) [%]: Eficiência do sistema de energia total (consiste de n passos

incluindo a eficiência de armazenamento, eficiência de transferência, etc).

$W(\text{humana})$ [Watt]: Potência de entrada fornecida pelos músculos.

$W(\text{produto})$ [Watt]: Potência consumida do produto.

Combinando estes dois conjuntos de dados utilizando esta equação, (assumindo 25% de eficiência), foi possível prever de maneira teórica as possibilidades do sistema de energia humana em suprir continuamente produtos eletrônicos como mostra a figura 2.2 (JANSEN E STEVELS, 2006).

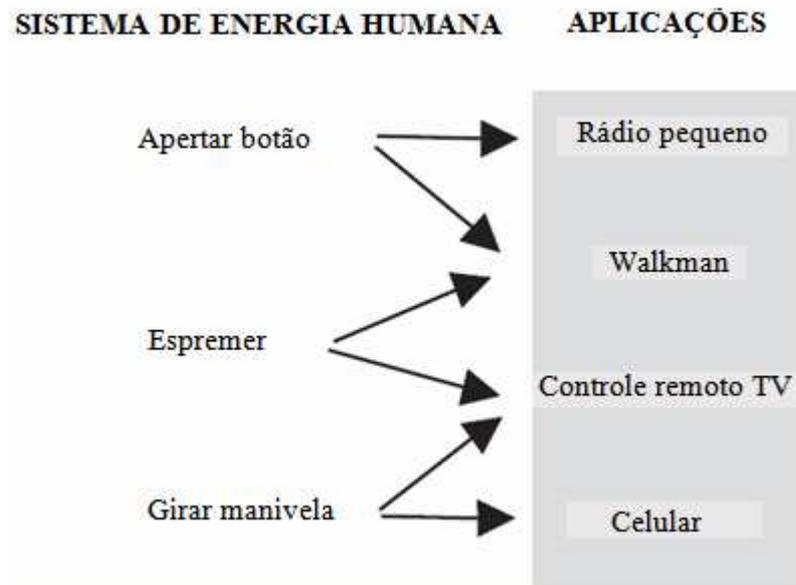


FIGURA 2.5 – Possibilidades do sistema de energia humana.

FONTE – JANSEN E STEVELS, 2006.

Seguindo esta ideologia, vários estudos de casos foram realizados visando explorar as possibilidades e limites do sistema de energia humana sendo que a maior parte deles foi realizada em cooperação com indústrias (Volvo, Philips Nokia, etc.). Através destes estudos foi capaz de analisar as potenciais vantagens deste sistema quando comparada ao sistema de suprimento energético portátil existente atualmente (baterias). Estas potenciais vantagens são manifestadas em três diferentes áreas: ecológica, econômica e relacionadas ao usuário. Dentro das duas últimas área estão (JANSEN E STEVELS, 2006):

- Vida útil longínqua (especialmente importante em casos de emergência).
- Infra-estrutura energética independente.
- Independe da disponibilidade de baterias e seus custos relacionados.
- Utiliza energia que seria perdida (como sistema de amortecimento).
- Aplicável em produtos onde existem lugares de acesso ao usuário. indesejável (não necessitando deixar o interior do aparelho acessível para a troca de bateria).

Na área ecológica, os benefícios ambientais de produtos que usam sistema de energia humana são baseados no fato de não consumirem fontes não renovável de energia durante seu ciclo de vida útil, o que os torna não poluentes por consideração. Apesar da dificuldade da quantificação, o sistema de energia humana apresenta um baixo potencial tóxico quando comparado as baterias assim como se mostram duas ou três vezes menos poluentes (estudos considerando um ciclo de vida de cinco anos) (JANSEN E SLOB, 2003).

STEVENS (2001) desenvolveu o chamado '*three shades of green*' (três faces do verde) referindo-se as diferentes perspectivas no campo de atuação da proteção ambiental. Os grupos são diferenciados por suas ideologias e definições sobre o que é benéfico ao ambiente. Primeiramente o grupo dos consumidores que se baseiam na educação, crenças, gênero, idade ou experiências e atitudes sociais. Em seguida o grupo científico com suporte em resultados provenientes de métodos de mensuração cientificamente válidos. Por fim o grupo governamental, essencialmente baseado em crenças originária do ponto de vista político, mas também influenciada por aspectos geográficos, disponibilidade de recursos naturais e situação da economia. Apesar de quaisquer diferenças nas perspectivas destes grupos, a opinião final é a mesma em relação ao sistema de energia humana: é bom para o meio ambiente.

2.3 Energia humana.

O homem, para se manter vivo, necessita dos três substratos energéticos básicos, isto é, hidratos de carbono, proteínas e lipídios, provenientes dos alimentos. Esses substratos energéticos são oxidados pela célula, produzindo energia (BURTON, 1979). Nesse processo oxidativo, é consumido oxigênio e produzido gás carbônico. Desde o século XVIII, demonstrou-se que a respiração modifica o ar atmosférico, diminui seu volume, muda sua natureza e, em curto espaço de tempo, perde a propriedade de manter a vida (COUTINHO, 1981; SCHUTZ, 1995). Foi Lavoisier quem descobriu a existência do oxigênio, e demonstrou a produção de gás carbônico, comparando a combustão de uma vela de gordura de carneiro à respiração de uma cobaia. Escreveu então: "é apenas uma combustão lenta de carbono e hidrogênio, que se assemelha ao que se passa em uma lâmpada ou vela acesa, e, sob esse ponto de vista, os animais que respiram são verdadeiros corpos combustíveis que se queimam e se consomem (COUTINHO, 1981).

Dessa forma, quando uma analogia é feita entre o corpo humano e a máquina, podemos afirmar que esta máquina utiliza motor à combustão interna como gerador de energia.

Sabe-se que a eficiência desta máquina se encontra, de acordo com McARDLE e colaboradores (2003), por volta de 20 – 30% para atividades como a caminhada, a corrida e a pedalada estacionária, tendo como variáveis dependentes a aptidão, a técnica, bem como o gênero e o tamanho corporal do indivíduo. A média dos valores referentes à eficiência muscular, segundo o que HANSEN E SJOGAARD (2006), observaram em seu estudo, foi de 26%, coerente com os valores citados anteriormente. McARDLE calcula a eficiência mecânica humana através do produto da divisão entre o trabalho externo e o influxo de energia pelo escalar 100 (equação 2.4).

$$Eficiência\ Mecânica = \left[\frac{\text{Trabalho externo realizado (rendimento energético)}}{\text{Influxo de energia}} \right] \times 100 \quad (2.4)$$

2.3.1 Vias metabólicas.

Porém o sistema de fornecimento de energia do corpo humano está longe de ser tão simples quanto a de um motor a combustão. Existem diferentes combustíveis que podem ser utilizados assim como diferentes formas de se extrair a energia contida neles, de maneira que a máquina humana é capaz de usar tais variações de acordo com a carga de trabalho que a ela está sendo imposta. Essas variações modificam a eficiência do fornecimento de energia que é compensada com a velocidade com que a energia é disponibilizada.

O exercício físico demanda intenso consumo de adenosina trifosfato (ATP)⁷. Nos músculos esqueléticos existem sistemas eficientes que permitem a constante ressíntese do ATP. Estes sistemas são: fosfagênio (ATP, creatina fosfato), glicolítico e oxidativo (POWERS; HOWLEY, 2006).

Cargas de trabalho de baixa intensidade e longa duração com mobilização de 1/6 a 1/7 da musculatura esquelética total são características das atividades aeróbicas,

⁷ Responsável pelo armazenamento de energia em suas ligações químicas.

promovendo, portanto, adaptações no sistema cardiorrespiratório e nos processos celulares oxidativo. (HOLLMANN & HETTINGER, 1989).

O sistema de fornecimento de energia de forma aeróbica ou oxidativo utiliza o oxigênio para realizações de suas diversas reações químicas, tendo como produto final dióxido de carbono e água. Enquanto no sistema anaeróbico as reações químicas ocorrem dentro do líquido celular denominado sarcoplasma, no sistema aeróbico ocorrem em compartimentos especializados chamados mitocôndrias. Caso ao término da primeira fase de reações denominada glicólise, haja presença de oxigênio, o ácido pirúvico que é uma decomposição da glicólise, se transformará em acetilcoenzima A (acetil co-A). O acetil co-A entrará na mitocôndria dando continuidade a produção de ATP através de duas series de reações químicas conhecidas como: Ciclo de Krebs e Sistema de Transporte de Elétrons (FOX & MATHEWS, 1986).

Neste sistema tanto o carboidrato em forma de glicose quanto as gorduras em forma de ácidos graxos livres podem ser utilizados como substrato energético. A glicose é estocada em forma de glicogênio muscular e hepático e as gorduras em forma de tecido adiposo subcutâneo e também no próprio músculo. A gordura é decomposta inicialmente por uma serie de reações químicas denominadas beta oxidação, preparando-a para penetrar no ciclo de Krebs e no sistema de transporte de elétrons (McARDLE, 1996).

Segundo FOX & MATHEWS (1986), a necessidade de energia para as funções vitais em repouso é suprida principalmente por carboidratos e gorduras. Na atividade física a utilização de da glicose ou do ácido graxo está diretamente ligada à intensidade e a duração do trabalho. As reservas de gorduras ao contrário dos carboidratos são “ilimitados”, porém para sua maior metabolização dependerá do tipo de trabalho, da intensidade da carga, da duração, da musculatura empregada e do tipo de fibras muscular (WEINECK, 1991). Como para metabolização de ácidos graxos necessitamos de grandes quantidades de oxigênio, quanto maior for a intensidade maior será a utilização da glicose. Por outro lado, para que seja possível a metabolização dos ácidos graxos, é necessário que os mesmos sejam retirados dos depósitos de gordura através da ação de diversos hormônios e transportados para a musculatura ativa através da corrente sanguínea, o que levaria um tempo relativamente longo. O inicio da mobilização da gordura acontece em media de 15 a 30 minutos dependendo do nível de aptidão física. Indivíduos treinados mobilizam ácidos graxos mais rapidamente que indivíduos destreinados (McARDLE, 1996). Nas atividades de longa duração com baixa

intensidade inicialmente os carboidratos são utilizados em maior quantidade, mas gradualmente o processo vai se invertendo passando a serem mais utilizadas as gorduras. Este evento deve-se a diminuição do glicogênio muscular e hepático, aumentando de 5 a 6 vezes a quantidade de ácidos graxos circulantes no sangue (McARDLE, 1996).

As atividades aeróbicas com características cíclicas como as corridas e o ciclismo são realizadas através de movimentos que iniciam e terminam completando um ciclo, facilitando a manutenção estável da frequência cardíaca.

Durante a realização de uma atividade aeróbica, os sistemas anaeróbicos são acionados para suprirem a necessidade momentânea de energia sendo por oscilações da frequência cardíaca ou através de aumento na intensidade de trabalho (LEITE, 1986). Nas situações em que o nível do consumo de oxigênio estiver abaixo do necessário para a produção de energia, constitui-se um déficit de oxigênio, fazendo com que os sistemas ATP-CP e glicolítico tenham que suprir estas necessidades. Isso ocorre tanto na transição do repouso para o exercício, como no aumento da intensidade durante a prática da atividade (FOX & MATHEWS, 1986).

O sistema ATP-CP ou anaeróbico alático utiliza a energia proveniente da separação das moléculas de creatina (C) e fosfato (P), de um componente químico denominado creatina fosfato (CP), para ressintetizar o ATP. Este sistema processa reduzidas reações químicas sem a presença de oxigênio, gerando energia muito rapidamente para o prosseguimento das contrações musculares.

A energia resultante deste sistema, apesar de ser imediata, é suficiente para uma duração máxima de 20 segundos de trabalho muscular. Este sistema é o principal responsável pela produção de energia em exercícios físicos de curta duração e altas intensidades como corridas rápidas em distâncias curtas, sucessão de saltos, levantamentos intensos de pesos e *sprints* no ciclismo.

O sistema glicolítico ou anaeróbico láctico é mobilizado quando a atividade necessita de uma grande quantidade de energia, por um período de tempo relativamente curto, porém superior ao sistema anterior. Neste caso a contração muscular é realizada de forma tão rápida e intensa, que o sistema cardiorrespiratório ainda não consegue suprir a demanda de oxigênio para a ressíntese de ATP, fazendo com que parte do mesmo seja produzida sem a presença de oxigênio, ou seja, de forma anaeróbica (McARDLE ET al., 1996).

O sistema utiliza a glicose como substrato energético e o processo da quebra deste substrato é chamado de glicólise, onde através de diversas reações químicas facilitadas por diversas enzimas que não necessitam de oxigênio, resultam na produção de energia para ressintetizar 2 moléculas de ATP (FOX & MATHEWS, 1986). Durante este processo, os átomos de hidrogênio da molécula de glicose são retirados formando um composto denominado lactato, que se difunde rapidamente dos músculos para o sangue.

Nas atividades de alta intensidade sustentada a partir de 20 segundos, esse sistema assume um papel dominante, com pico máximo de 40 a 45 segundos, podendo suprir a energia necessária por cerca de 60 segundos (McARDLE et al., 1996).

2.3.2 Métodos de quantificação da energia humana

Existem várias maneiras de se quantificar a energia despendida pelo corpo humano quando este realiza determinado movimento. Contudo qualquer que seja o parâmetro analisado estará incluído em uma dessas quatro categorias principais (Neptune e Bogert, 1997); (1) energia metabólica, (2) trabalho externo, (3) métodos cinemático (4) métodos cinético com os últimos três sendo derivados dos fundamentos da mecânica.

Energia metabólica reflete o custo energético do movimento medindo-se a taxa de oxigênio consumido (VO_2)⁸, transformado, num segundo momento, em Kcal (kilocalorias), através da igualdade: $1,0 LO_2 = 5,0 kcal$ (MCARDLE et al, 2003). Porém este método tem a desvantagem de ser limitado a atividades submáximas onde a via energética predominante é aeróbica, além de ser uma medida global tornando difícil isolar o custo associado a diferentes componentes atrás do sistema como um músculo específico ou parâmetros mecânicos.

A segunda abordagem, trabalho externo, tenta estimar o custo energético através da quantidade de trabalho necessário para vencer forças do ambiente, uma vez que essas variáveis são dependentes entre si. Por exemplo, forças aerodinâmicas no ciclismo e a força de arrasto na natação dependem da orientação e da velocidade dos segmentos corporais e podem ser determinados experimentalmente. Para essas atividades a medida

⁸ Capacidade individual do corpo de transportar e utilizar o oxigênio.

de trabalho externo é indicador de economia de movimento, mas não fornece informações acerca da energia despendida no sistema. Em outras aplicações, o trabalho externo é uma constante e parte das especificações do teste como em um cicloergômetro a 90 rpm e 200 w (NEPTUNE E BOGERT, 1997).

A terceira abordagem, método cinemático, baseia-se em mudanças na cinética e na energia requerida pelo trabalho. Esta abordagem estima o trabalho mecânico baseado na mudança cinética e nas energias potenciais do centro de massa do corpo e/ou segmento corporal separado. A energia instantânea de um segmento corporal n é representada na equação 2.5 (WINTER, 1979):

$$E_b(t) = \sum_{i=1}^N PE_{G,t} + \sum_{i=1}^N TKE_{G,t} + \sum_{i=1}^N RKE_{G,t} \quad (2.5)$$

Onde $E_b(t)$ é a energia instantânea de um segmento corporal n , $PE(i,t)$ a energia potencial do i -ésimo segmento no tempo t , $TKE(i,t)$ a energia cinética translacional do i -ésimo segmento no tempo t e $RKE(i,t)$ sendo a energia cinética rotacional do i -ésimo segmento no tempo t .

As mudanças no sistema de energia são então usadas para estimar a potência mecânica e quando somadas durante todo o ciclo representa o trabalho mecânico. Esta definição de trabalho mecânico é dita "interna", isto é, a energia requerida para mover o segmento (WINTER, 1979, equação 2.6):

$$W_{\text{INTERNO}} = \int_0^t \left| \frac{dE_b(t)}{dt} \right| dt \quad (2.6)$$

Onde t representa a duração do movimento. Quando existe trabalho externo significativo contra o ambiente, como no ciclismo, a quantidade de trabalho externo está sendo somada à estimativa cinemática para determinar o trabalho total (Winter, 1979). Este tipo de abordagem tem sido usado em trabalhos que analisam a caminhada (Wells e Evans, 1987), assim como corrida e pedalada (CAVAGNA E KANEKO, 1977).

O método cinético, finalizando as quatro categorias, é baseado na análise dinâmica inversa e usa o trabalho realizado pelo torque hipotético da articulação atuante como medida de gasto energético do movimento. Esta abordagem tem sido aplicada em ciclismo (INGEN SCHEENAU et AL, 1990; KAUTZ et al, 1994) para obter a energia mecânica muscular gasta (EMMG) e a soma do trabalho positivo e negativo (P) realizado pelos torques articulares dos n -inter segmentos (equação 2.7):

$$EMMG = \int_0^t \left(\sum_{j=1}^n [P_j] \right) dt \quad (2.7)$$

2.3.3 Cicloergômetro.

Aparelhos denominados ergômetros (do grego $\epsilon\rho\gamma\omicron\nu$ = trabalho, e $\mu\epsilon\tau\rho\omicron\nu$ = medida), são aqueles capazes de avaliar o movimento relacionado à corrida realizada em esteira, à pedalada (cicloergômetro) além de outros tipos como *step* e remada. Dentro dessas abordagens o ciclismo atrai maior atenção na busca de métodos de mensuração do desempenho humano em movimento em virtude de sua relativa facilidade de execução. FARIA (1992), destaca os cicloergômetros (convencionais e modificados) como dispositivos capazes de mensurar a máxima energia humana produzida. Sendo assim tais dispositivos quantificam a capacidade individual relacionada à produção de energia em curtos espaços temporais, conhecida por potência anaeróbia. Em contrapartida, quando a análise é voltada para atividades executadas em períodos de tempos longos, a capacidade humana de gerar potência é conhecida como aeróbica.

Potência pode ser entendida como a capacidade de gerar trabalho (energia) relativo ao tempo, e tem como unidades de mensuração o watt (W) onde 1W é definido como 1 Joule [J] de energia transferida por segundo (s) [$W = J/s = \text{kgm/s} = \text{N.m/s}$].

Uma vez que energia designa tudo que pode ser transformado em calor, a mensuração das potências aeróbia e anaeróbia humana em um dado grupo muscular significa quantificar a integração mútua de diversos sistemas e órgãos (pulmões, coração, músculos ativos), envolvidos no transporte e no consumo de oxigênio. O cicloergômetro (FIG. 2.6), segundo SILVA (2006), apresenta em sua estrutura física, mecanismos capazes de mensurar o trabalho e a potência resultante de esforço físico exercido com determinada duração.

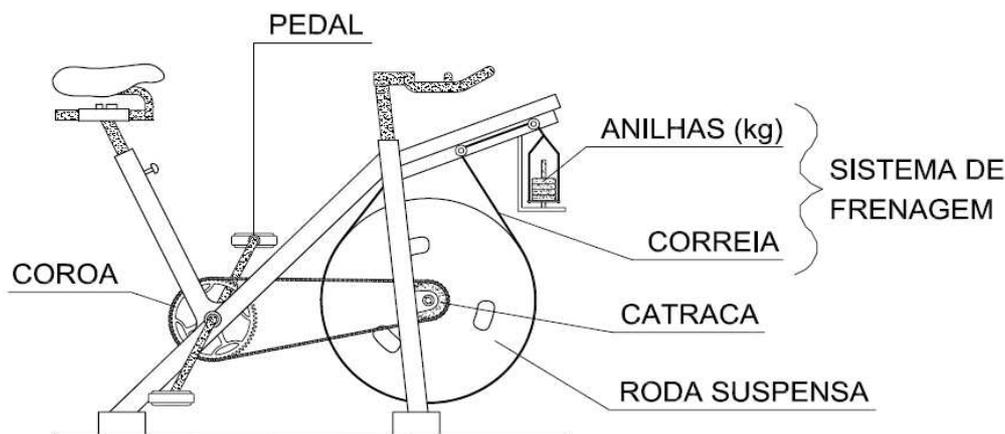


FIGURA 2.6 - Cicloergômetro com sistema mecânico de frenagem.

De acordo com McARDLE et al. (2003), a potência no cicloergômetro é calculada através da Força x Distância (número de revoluções multiplicado pela distância por revolução) ÷ Tempo em minutos. Os incrementos na potência de saída seria determinada por forças verticais aplicadas no pedal e no pedivela as quais resultam em maior trabalho por rotação (FARIA, 1992), podendo, portanto utilizar a potência mecânica como parâmetro na determinação da intensidade do exercício realizado em cicloergômetro associado ao que esses autores classificam como carga resistiva (DIAS et al. 2007).

Existem variados protocolos com intuito de mensurar o desempenho humano em cicloergômetros, dentro dos quais podemos citar por sua larga utilização, o teste anaeróbico de Wingate (BAR-OR, 1987). Atualmente fisiologistas e treinadores assumem a mensuração do trabalho e da potência, como a carga (no cicloergômetro representada pela massa suspensa causadora, por sua vez de tensão da correia sobre a roda) multiplicada pela distância através da qual a roda, freada pela massa suspensa, é movida (a cada giro do pedal, a roda do cicloergômetro adotado, percorre a distância de 6m) (BAR-OR, 1987).

GORDON et al (2004), consideram esta abordagem passível de erros relacionados a análise mecânica do mecanismo de frenagem adotado da mesma forma que LAKOMY (1986) relata que os métodos de mensuração do trabalho mecânico em cicloergômetros, não consideram possíveis erros que possam surgir, quando se assume que a roda esteja se movendo em velocidade constante descartando o trabalho requerido nas fases referentes à aceleração e à desaceleração. 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 do peso que se oporia à aceleração da mesma.

Em eventos caracterizados por alta intensidade como “the tour de france” (competição de ciclismo) a potência máxima de saída encontra-se em torno de 350W realizados durante 1 hora podendo chegar a atingir 400W de potência em atletas específicos da modalidade como cita LÚCIA et al (2003).

Quando comparado os métodos de mensuração da potência e do trabalho em cicloergômetros de maneira indireta (representadas por equações padrões fornecidas pelo fabricante do equipamento) e de maneira direta obtida através do produto entre a velocidade angular da roda (medida por tacômetro) e o torque de frenagem (mensurada a força de atrito entre a correia e a roda), verificou-se alta discrepância entre os resultados. Os valores médios obtidos por meio do método modificado foram de 147,45 W e 26.460 J para potência e trabalho respectivamente enquanto os valores padrões foram de respectivamente 183 W e 33.067 J. Da mesma forma, FRANKLIN et al. (2006) constataram discrepância de 12 a 14% em valores de trabalho e potência, obtidos através de mensuração direta no teste anaeróbio de *Wingate*, os quais foram inferiores aos valores baseados em equações padrão.

2.4 Ciclismo de salão

Com a popularização dos diversos tipos de bicicleta, o ciclismo começou a ser largamente praticado ao ar livre e em recintos fechados com o uso da bicicleta estacionária. Nesse contexto, surgiram os departamentos de ergometria em academias, clínicas médicas e centros desportivos, posteriormente, surge o Ciclismo de Salão, mais conhecido pelo empréstimo lingüístico Ciclismo *Indoor* (CI); esse trata do treinamento coletivo da modalidade de ciclismo em recinto fechado, e vem apresentado crescimento

vertiginoso em todo o mundo (VILLALBA, 2005; DOMINGUES, 2005; KANG et. al., 2005). Assim, é percebido um grande movimento em direção à prática do ciclismo *indoor*, o que pode ser explicado pelo êxodo dos praticantes de ciclismo em busca de segurança, por condições climáticas favoráveis, treinamento, praticidade e distanciamento do trânsito dos grandes centros urbanos (VILLALBA, 2005; MELLO, 2004) além do interesse por parte dos praticantes, pelo grande potencial da modalidade nos processos de emagrecimento e condicionamento físico (DESCHAMPS E DOMINGUES, 2005).

Spinning® (marca registrada MADD DOG ATHETICS) é um programa de treinamento de (CI) largamente praticado ao redor do mundo foi originalmente projetado para auxiliar o treino de ciclistas profissionais, especificamente melhorando a capacidade cardiorrespiratória, tonos muscular e a resistência ao exercício (JOHNNY, 1996). Uma sessão de spinning exige que se gaste uma elevada quantidade de energia e, portanto, spinning tem sido considerado como uma excelente forma de se perder peso como parte de um programa de treinamento recreativo (JOHNNY, 1996).

CARIA e colaboradores (2007), foi um dos pioneiros nos estudos do treinamento de CI da marca spinning. Assim como nas aulas em academias da ginástica, o teste efetuado utilizava de uma variável controlada; a cadência de pedalada deixando a resistência livre para ser controlada pelo próprio ciclista de acordo com sua capacidade física. Doze instrutores de ambos os sexos foram voluntários onde se analisou respostas fisiológicas e fatores biomecânicos como a quantidade de energia despendida (2.481 KJ e 1.839 KJ homens e mulheres respectivamente) e a média da potência de saída, ($120 \pm 4W$ e $73 \pm 43W$ homens e mulheres respectivamente) a figura 2.7a e 2.7b mostram os resultados supracitados assim como a cadência de pedalada durante os 50 minutos de teste.

		♂ n = 6							
		1	2	3	4	5	6	Means	S
Total Energy Exp. (kJ)		1879	2934	2306	2473	3244	2051	2481	523
Energy Exp. (kJ · min ⁻¹)		37.2	58.1	45.6	48.9	64	40.6	49.1	10.3

(a)

		♀ n = 6								
		1	2	3	4	5	6	Means	S	P
Total Energy Exp. (kJ)		1356	917	2244	2386	1880	2252	1839	586	n.s.
Energy Exp. (kJ · min ⁻¹)		26.8	18	44.4	47.3	37.3	44.8	36.4	11.7	n.s.

(b)

FIGURA 2.7a – Dispendio de energia humana (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.

FIGURA 2.7b – Dispendio de energia humana (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.

FONTE – CARIA et al, 2007

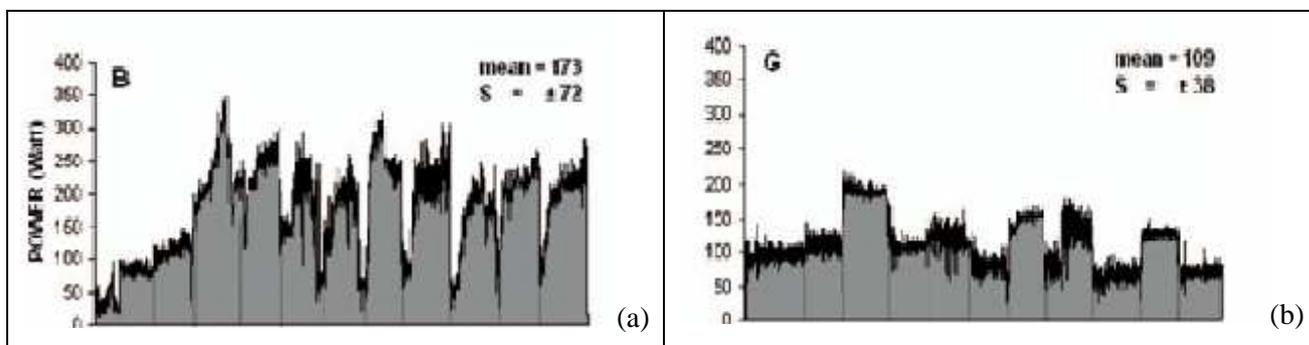


FIGURA 2.8a – Potência mecânica humana (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.

FIGURA 2.8b – Potência mecânica humana (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.

FONTE – – CARIA et al, 2007.

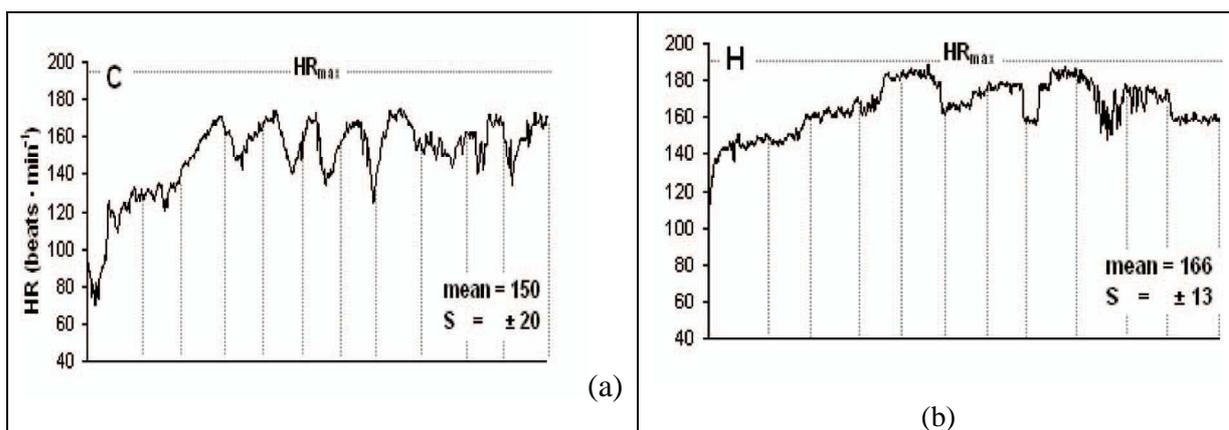


FIGURA 2.9a – Frequência cardíaca média (do sexo masculino) em uma aula de spinning®.

FIGURA 2.9b – Frequência cardíaca média (do sexo feminino) em uma aula de spinning®.

FONTE – – CARIA et al, 2007.

No ciclismo estacionário, existem duas grandes categorias de bicicletas: as equipadas com pião livre (ergométricas verticais e horizontais) e com pião fixo, que é o caso da bicicleta de CI (na qual o controle de carga é feito subjetivamente). O pião integra a engrenagem que liga o eixo central da roda ao mecanismo de corrente e catracas. O pião livre é aquele que permite que a roda gire independente dos pedais e o pião fixo faz com que a roda gire concomitante aos pedais. Existe uma segunda subdivisão relacionada ao tipo de frenagem da roda: mecânica, magnética ou aérea. A

bicicleta de CI é estacionária tem característica de frenagem mecânica, equipada com pião fixo e, dentre os modelos nacionais disponíveis, nenhuma mensura carga e potência (SILVA, 2006).

A potência é a taxa temporal à qual um trabalho é realizado (ÂSTRAND, 1980; KELLER, 1997). O cicloergômetro é capaz de medir o trabalho produzido, mediante seus graus de automação, no qual a potência é dada pelo produto da carga mecânica resistiva com a velocidade da roda, valendo-se da relação física: $\text{potência} = \text{força} \times \text{velocidade}$; sendo a velocidade mantida constante (DUARTE *et al*, 1999). A velocidade da roda e a carga mecânica resistiva são calculadas assim respectivamente: multiplica-se o deslocamento da roda (distância) em uma rotação completa do pedal pela frequência de rotação do pedal (ciclo), medida por um ciclo-computador; e a carga por meio do atrito provocado por uma cinta que envolve a circunferência da roda.

A relação da marcha é calculada dividindo-se o diâmetro da catraca, situada na roda, com o diâmetro da coroa situada no eixo do pedal, de forma que a relação de 1:1 significa que uma revolução no pedal representa uma revolução da roda.

A impossibilidade de mensuração da resistência externa (contra a qual é desenvolvida certa cadência de pedalada) nas bicicletas utilizadas no CI impede que a dinâmica energética seja revelada isenta de possíveis erros em sua quantificação; limitando, dessa forma, a avaliação funcional, e conseqüentemente a prescrição do treinamento mais adequado. A maneira encontrada por SILVA (2006) para sanar este fator limitante se fundamentou na adaptação do sistema de carga (composto por estrutura de sustentação, sistema de roldanas, “gaiola” para posicionamento das anilhas e cinta de fricção) e da roda de um cicloergômetro (padrão MONARK), em uma bicicleta de CI. Apesar da adequação anteriormente mencionada, a conformação biomecânica da bicicleta foi preservada de modo que ajustes necessários em relação ao banco e ao selim permanecessem passíveis de ajuste, junto às características antropométricas de cada indivíduo.

2.4.1 Academias auto-sustentáveis.

Dentro da enorme gama de máquinas existente em academias de ginástica usadas no treinamento, as bicicletas se mostram uma das melhores opções quando o assunto é transformar a energia do usuário em energia elétrica. Isso pode ser comprovado devido principalmente a dois motivos (STARNER e PARADISO, 2004);

as bicicletas são acionadas pelos membros inferiores dos usuários (região muscular do corpo de maior capacidade de produção de potência) e fornecem energia mecânica rotacional contínua.

Esforços acerca da possibilidade de se determinar a quantidade de energia passível de ser extraída do movimento rotacional proveniente de bicicleta estacionária são evidenciados como no estudo de BREZET (2001). A figura 2.10 demonstra as possíveis aplicações da energia elétrica produzida pelo movimento de pedalada encontrada pelo autor. A tabela 2.3 representa as mesmas possibilidades em forma de números relativizadas pelo tempo.

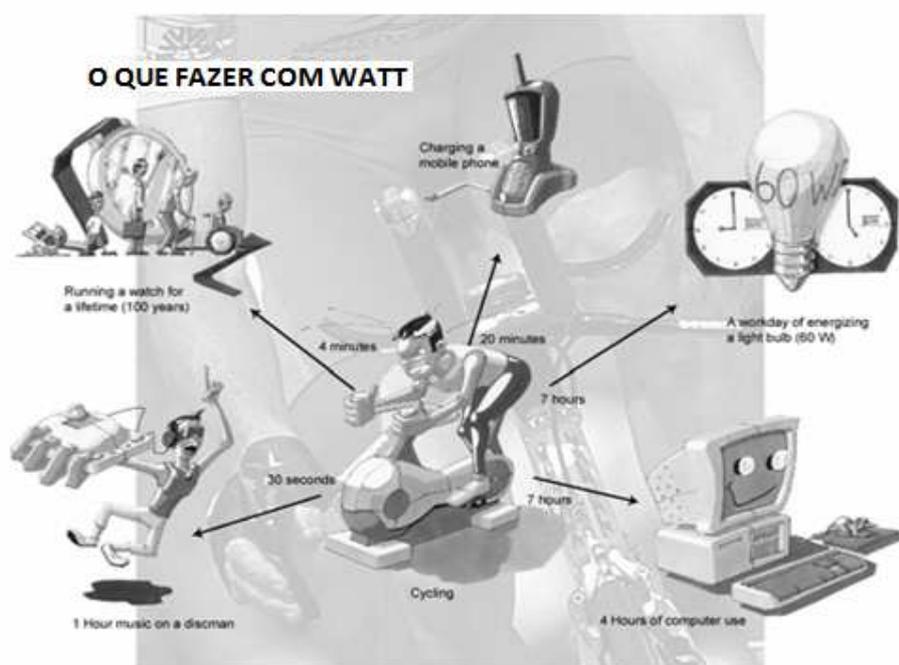


FIGURA 2.10 – O que fazer com o Watt.

FONTE – BREZET et al, 2001.

30 Segundos	de pedalada é igual a	1 Hora de música no <i>discman</i> .
4 Minutos		Supri um relógio para toda vida.
20 Minutos		Carrega um celular
7 Horas		Um lâmpada 60W por um dia de trabalho.
7 Horas		4 Horas de uso de computador

TABELA 2.3 – A relação entre dispêndio de energia no ciclismo e o consumo de energia de alguns produtos.

FONTE – BREZET et al, 2001.

A idéia de se aproveitar a energia produzida pelo corpo humano quando este realiza exercícios físicos em academias vem sendo empregada ao redor do mundo, apesar de ser um conceito ainda relativamente novo. Em uma dessas academias, denominada “*THE GREEN MICROGYM*”, parte da demanda energética é compensada pela combinação das fontes solar e humana, esta última relacionada à energia mecânica proveniente de 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.

Talvez a pioneira no enfoque seja a CALIFORNIA GYM (figura 2.11) onde todos seus equipamentos modernos são equipados com um gerador elétrico interno que supre as necessidades energéticas de suas respectivas placas de controle, permitindo ao usuário visualizar e ajustar seu treino. Os diferentes níveis de resistência são controlados por um regulador eletrônico que varia o valor do resistor. Além disso, a energia gasta pelo usuário é utilizada para carregar uma bateria recarregável, que posteriormente é utilizada no sistema de luz da própria academia.

Os geradores produzem tensão em uma escala que varia de 15 a 70 volts dependendo da velocidade de rotação do equipamento. E ao se conectar uma bateria de 24 volts, utiliza-se um conversor e um regulador de tensão como forma de proteção à ela (a tensão então se limita a 25 volts). Dessa forma, a variável independente é a corrente elétrica que varia de acordo com o condicionamento físico do usuário (pessoa destreinada = 20W, pessoa treinada = 100 W).

A academia tem 18 máquinas (dentre elas bicicletas, *elípticos* e *steps*) equipada com este sistema sendo que cada uma gera em média 70W.h, e dentro das suas 16 horas de funcionamento por dia, as máquinas são usadas em média de 6 a 8 horas. Seguindo estes dados, foi possível calcular a porcentagem de economia relativa ao custo elétrico do sistema de luz da academia, e os resultados foram de 50%. Em relação à economia da implementação desse sistema utilizando as máquinas descritas, o investimento seria reposto em um prazo de aproximadamente três anos, podendo cair para um ano se excluídos os custos da instalação de luz e se fossem realizadas modificações em nível de fabricação nas máquinas para melhor se adaptarem ao sistema. Sendo assim, alguns fatos são citados pela CALIFÓRNIA GYM:

- ✓ Uma máquina sendo usada por uma hora por uma pessoa de nível de condicionamento médio produzirá aproximadamente 50 Wh.
- ✓ Para produzir a mesma quantidade de energia uma usina libera na atmosfera 75g de CO₂.
- ✓ Uma máquina sendo utilizada 10 horas por dia durante os 365 dias do ano irá economizar 547 kW/h.
- ✓ Para produzir a mesma quantidade de energia uma usina libera na atmosfera 273 kg de CO₂.
- ✓ Se todas as máquinas de todas academias California Fitness gyms do mundo estivessem com estes sistema operante produziria 21.900 MW/h por ano.
- ✓ Para produzir a mesma quantidade de energia uma usina libera na atmosfera 11.000 tons de CO₂.



FIGURA 2.11 – California fitness gyms.

FONTE – <http://www.motorwavegroup.com/new/motorwind/californiafitness.html>

Apesar de no Brasil ter inúmeras academias onde há considerável dispêndio de energia humana, principalmente em ambientes de CI, os mesmos não se caracterizam, por modelo de gestão energética que possa repercutir em substancial economia no consumo mensal de energia elétrica. O que constitui o enfoque investigativo do presente estudo.

Porém alguns passos já foram efetuados nesse sentido como é apresentado no estudo de SILVA (2008) onde é investigada a viabilidade de se reduzir o consumo mensal de energia elétrica num ambiente voltado a pratica do CI através da organização de um mesociclo de treinamento. A dinâmica da carga, aplicada ao longo de todo um mês, estruturou-se sobre três programas de treinamento: (A) Contínuo estável, (B) Contínuo variável, e (C) Intervalado. Por meio de cálculos correspondentes aos parâmetros potência e trabalho produzido 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, mostrou-se superavitária em, aproximadamente, 24,0 kWh. Comprovando dessa forma que o reaproveitamento da energia humana, por meio do esforço físico, poderia se prestar à consolidação de um ambiente que, em termos energéticos, talvez 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.

2.5 Conversores

A prática disseminada do ciclismo de salão nas academias de ginástica torna possível o aproveitamento da energia mecânica gerada durante o esforço físico, e sua conversão em energia elétrica deve contar, necessariamente, com conversores eletromecânicos caracterizados por potência compatível com a potência mecânica produzida.

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 dispositivos podem se prestar, em algumas situações,

ao armazenamento da energia mecânica associado ao movimento), os geradores elétricos, e os materiais piezoelétricos (conversores eletromecânicos).

Geradores elétricos são máquinas capazes de manter uma diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico, fazendo uso de outras formas de energia como mecânica (movimento) e química (pilhas e baterias) e constituem no meio mais usual de conversão de energia assim chamados: dispositivos eletromagnéticos (JANSEN E STEVELS 1999).

De acordo com o cientista inglês MICHAEL FARADAY (1831) a variação de um campo magnético (criado por um ímã ou induzido em uma bobina) quando é submetida a um condutor, resulta na ação de uma força (denominada força eletromotriz – f.e.m), que por sua vez é causadora em última análise, de corrente elétrica no condutor em questão (MÁXIMO E ALVARENGA, 1994). Um experimento que exemplifica tal fenômeno é demonstrado na figura 2.12 na qual um condutor em forma de espiral fecha circuito com um aparelho sensível à corrente elétrica (agulha do galvanômetro). Corrente elétrica pode ser gerada cortando as linhas de força que existem no campo magnético, assim quando um ímã atravessa a espira, tais linhas são cortadas pelo fio condutor e os elétrons existentes nele se movem (FERREIRA, 2003).

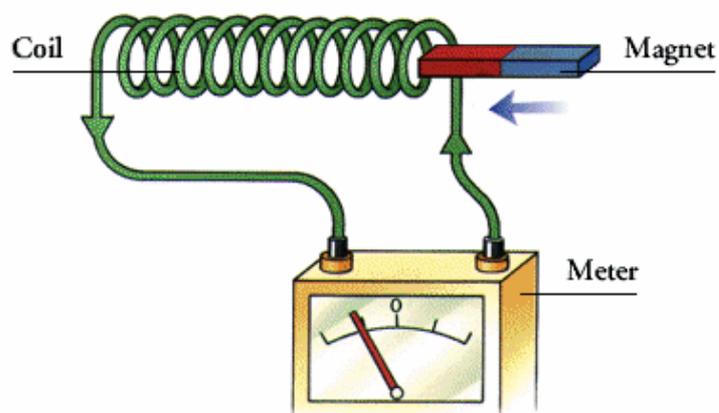


FIGURA 2.12 – Experimento da Lei de Faraday.

A grandeza da f.e.m. induzida numa bobina, por indução eletromagnética, varia proporcionalmente à quantidade de linhas de fluxo magnético do magneto cortadas pela bobina num dado período de tempo e ao número de espiras da bobina, sendo verdadeira a equação 2.8 (FERREIRA, 2003):

$$E = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.8)$$

Onde:

E _ é a força eletromotriz induzida.

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ _ é a variação do fluxo magnético no tempo.

N _ é o numero de espiras de uma bobina.

2.5.1 Componentes do gerador elétrico.

A estrutura física de um gerador elétrico elementar se constitui de uma armadura 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 estrutura, a corrente elétrica formada é alternada, pois o aumento e a diminuição do fluxo magnético num giro completo da espira resultam na produção de corrente elétrica ora num sentido, ora em sentido oposto (FERREIRA, 2003).

A FIG. 2.13 ilustra a formação de corrente elétrica num gerador de corrente alternada, e sua relação com um circuito externo, conforme a seqüência de eventos listados abaixo:

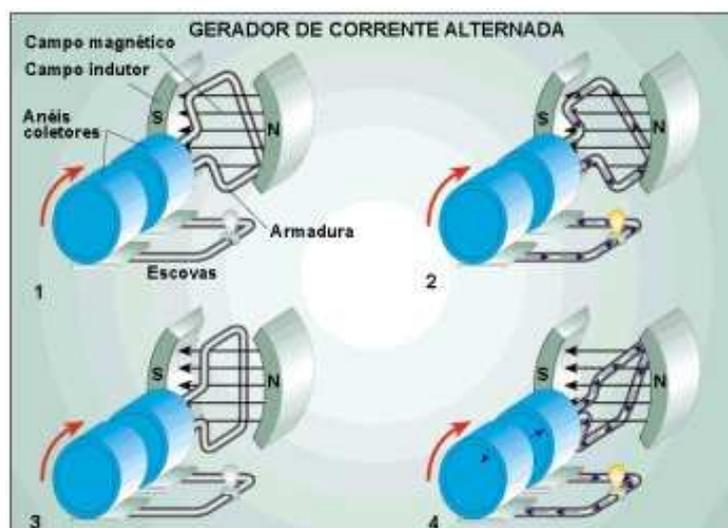


FIGURA 2.13 – Gerador de corrente alternada.

FONTE – <http://www.copel.com>

As duas extremidades da espira (armadura metálica) se ligam a anéis condutores, que se encontram sobre escovas de carbono. 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 do pólo sul do ímã). Quando a espira se encontrar paralelamente ao campo magnético, não há geração de corrente. Uma fração de segundo depois, a espira, estando obliquamente ao campo magnético, permite 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, auto-excitados e de excitação independente.

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).

2.6 Eletricidade gerada por bicicleta

Dessa forma, torna-se interessante a consideração acerca das variadas possibilidades referentes à recuperação da energia mecânica associada ao movimento de pedalada, constituindo-se o foco investigativo do presente estudo.

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. Talvez um dos pioneiros no assunto fosse um invento (cuja patente nº 568.209, denominada Electric lamp for velocípede), datando de 1896, que 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. A FIG. 2.14 ilustra a invenção citada anteriormente.

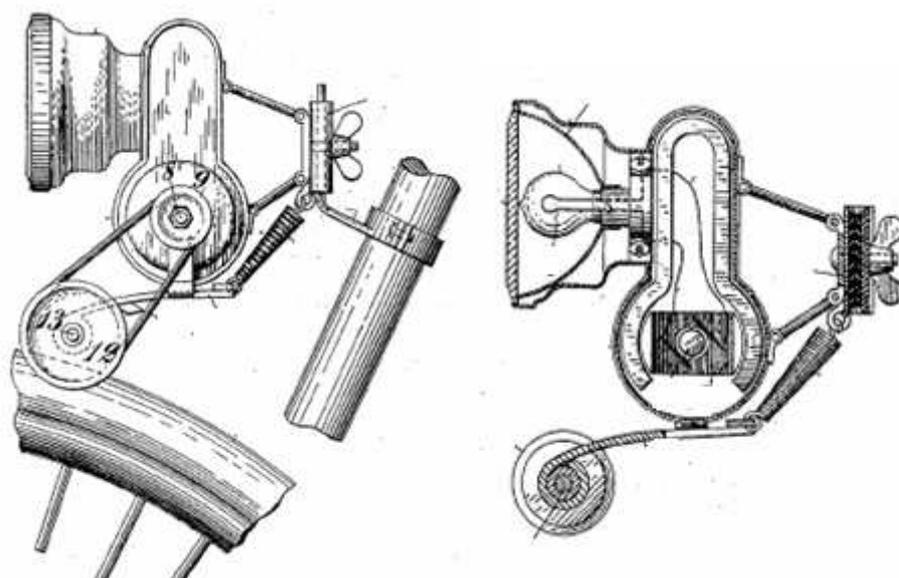


FIGURA 2.14 – Dínamo acoplado à bicicleta.

FONTE – www.googlepatents.com

Em outra patente de numero 4.613.129 (Exercise Bicycle Attachment) foi desenvolvido um sistema de acoplamento que converte bicicleta estacionária em uma máquina de exercício eletrônico. Ao tubo de base da estrutura da bicicleta e acoplado uma haste onde é pendurado um alternador. O alternador pode ser levantado no plano da dobradiça de forma a permitir contato entre o eixo do alternador e a roda da bicicleta. O alternador é mantido em posição operacional através de uma corda tensionada por molas. Por controle elétrico do campo magnético do alternador a carga aplicada à roda da bicicleta é variada, dessa forma permite ao aparato fornecer programas de treinamento incluindo um display visual com informações do tempo, carga velocidade e frequência de pulso. A figura 2.15 demonstra a invenção.

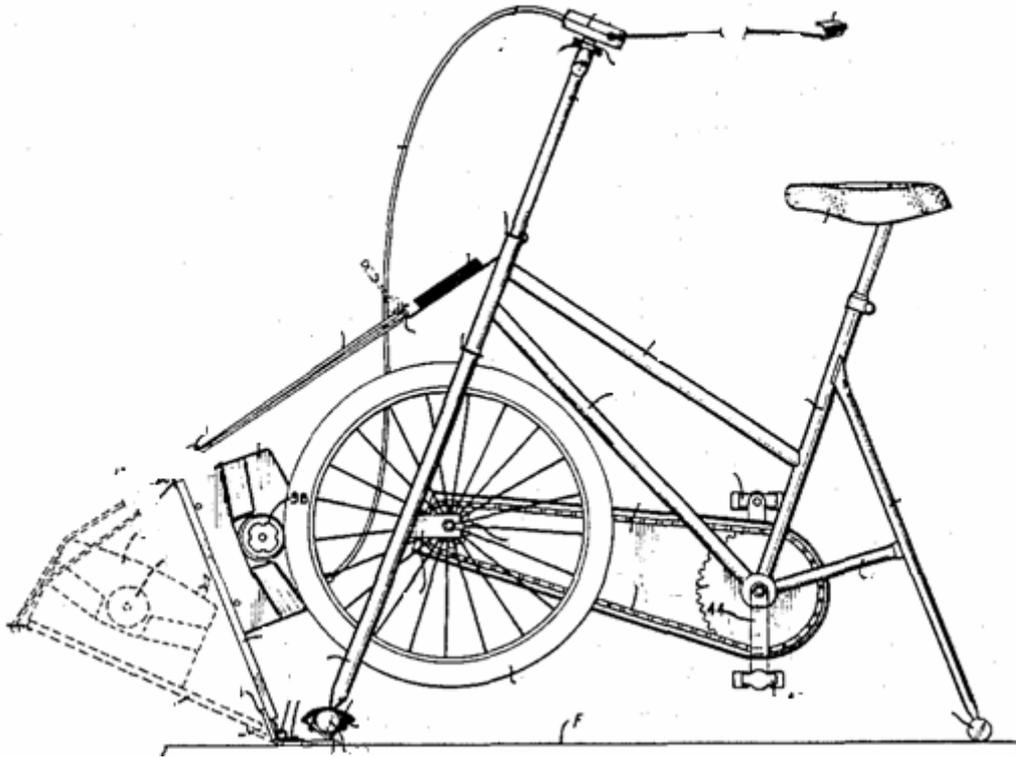


FIGURA 2.15 – Bicicleta com sistema de treinamento fornecido por alternador.

FONTE - www.googlepatents.com

A transferência de energia humana em elétrica poderia não ser de maneira direta como mostra a patente de numero 4.612.447 (Method and Apparatus for Converting Human Energy to Stored Kinetic Energy) nesta invenção, um método de exercício e um aparelho ativado por ar comprimido onde o movimento rotacional do pedal de uma bicicleta estacionária supre a energia cinética necessária para o acionamento do compressor é apresentado. O ar comprimido é armazenado em uma série de garrafas e o compressor é conectado a este sistema de forma que quando uma pressão é atingida em uma garrafa, o compressor passa a encher de ar a próxima garrafa. A energia cinética estocada nas garrafas então seria liberada em uma frequência controlada acionado por sua vez uma turbina ou qualquer motor a ar, gerando dessa forma energia mecânica para o acionamento de um gerador elétrico. A figura 2.16 ilustra a patente.

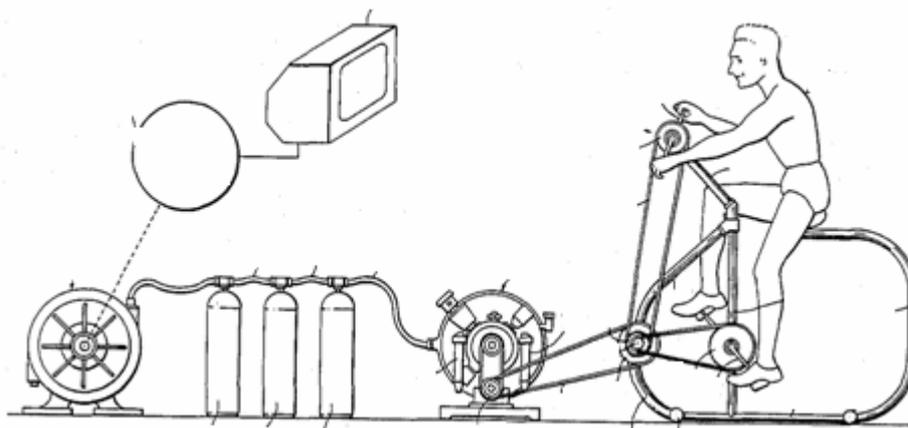


FIGURA 2.16 – Bicicleta geradora de energia cinética por ar comprimido.

FONTE - www.googlepatents.com

Na invenção de patente nº 6.987.327, (Electric Generating Convertible Bicycle figura 2.17) um aparelho para a produção e armazenamento de energia é desenvolvido incluindo uma bicicleta convencional com diferentes sistemas de transmissão (marchas) e um alternador contendo um eixo rotacional acoplado em uma haste de sustentação a qual é engajada por fricção na parte de fora do pneu da bicicleta. A bicicleta é adaptada para usos estacionários ou não, ambos as formas permitindo a produção de eletricidade. O gerador carrega uma bateria que pode ser transportada com a bicicleta. Um inversor converte a corrente alternada em contínua. Uma massa é adicionada de maneira opcional a roda da bicicleta suavizando o processo de pedalada.

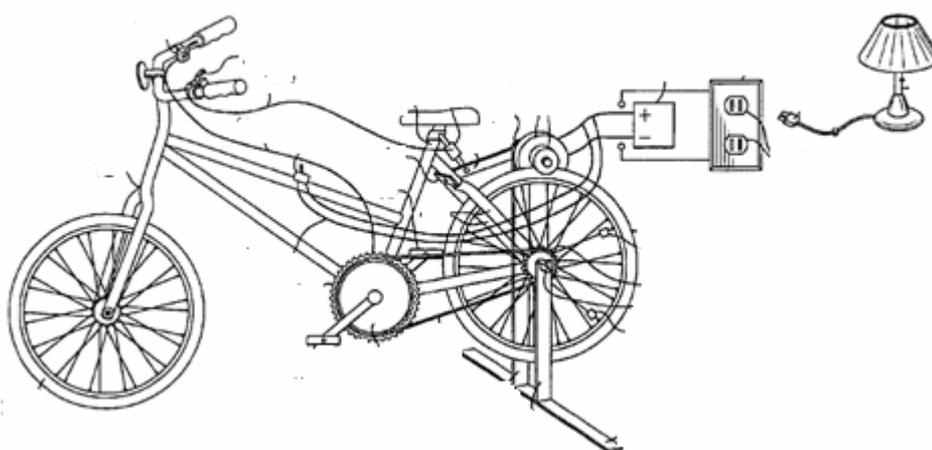


FIGURA 2.17 – Bicicleta geradora de energia acoplada à rede elétrica.

FONTE - www.googlepatents.com

Seguindo a mesma idéia a patente nº 4.298.893, (Tv energized by exercise) uma bicicleta estacionaria comum de exercício físico fornece energia elétrica para uma televisão. A bicicleta pode ser usada para carregar uma bateria a qual por sua vez promove energia para o funcionamento da televisão, ou o ciclo de exercício pode acionar um gerador que opera diretamente a TV. O aparelho é especialmente útil em limitar a quantidade de “lixo” que as crianças assistem na televisão (figura 2.18).

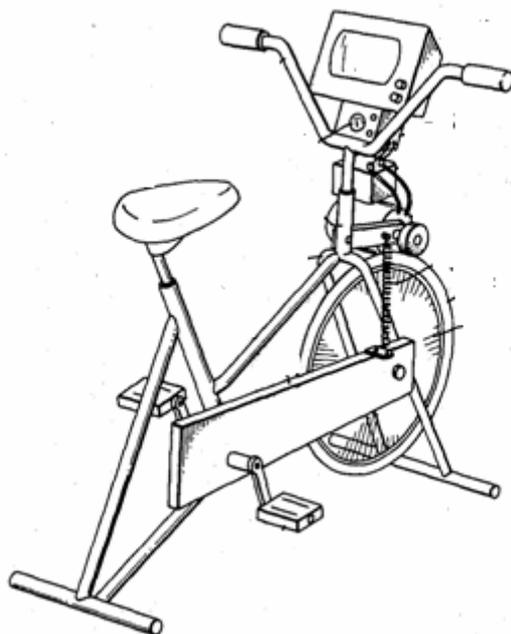


FIGURA 2.18 – Televisor acionado por gerador montado em bicicleta.

FONTE - www.googlepatents.com

Na busca por maiores quantidades de energia elétrica produzida uma bicicleta foi modificada para atividade simultânea de membros inferiores e superiores, na qual dois indivíduos se exercitam ao mesmo tempo, (estando ambos voltados um para o outro). A movimentação de membros superiores e inferiores (pedalada) são transmitidas a um conjunto de coroas e correntes, cuja montagem dirige a força (aplicada nos pedais) à roda, que se encontrando associada ao gerador através de correia de contato comum a ambos, permitindo que a energia cinética de seu giro seja convertida em energia elétrica. A FIG. 2.19 revela detalhes desta invenção.

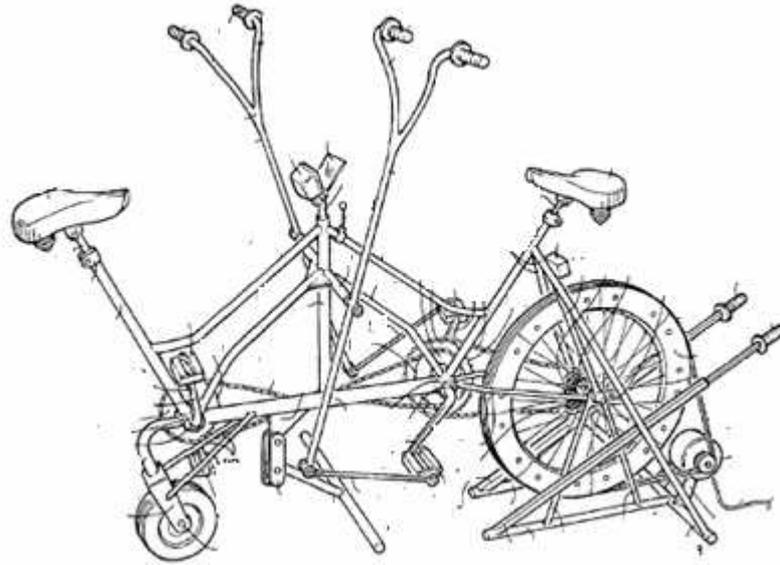


FIGURA 2.19– Bicicleta de dois lugares com gerador acoplado à roda traseira.

FONTE - www.googlepatents.com

A FIG 2.20 descreve a patente nº 6789926 (Light-generating bicycle pedal), onde um sistema de geração de luz em bicicleta consiste de um eixo com a estrutura do pedal montada sobre ele, assim como uma unidade de geração de luz formada por uma roda magnética (ímã), uma bobina e uma lâmpada. O conjunto é montado de forma que a rotação do eixo relativo ao pedal resulta em rotação do ímã em relação à bobina, induzindo dessa forma, corrente elétrica no condutor providenciando a lâmpada energia suficiente para o seu devido funcionamento.

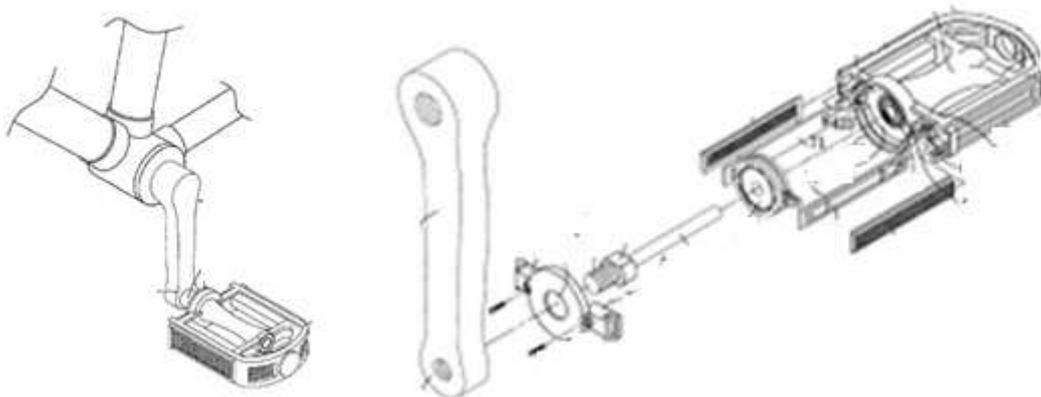


FIGURA 2.20 - Gerador montado no interior do pedal de uma bicicleta.

FONTE - www.googlepatents.com

A patente nº 670371 (Permanent magnet generator for bicycle light operation), mostrada abaixo por meio da FIG 2.21, refere-se a uma montagem um pouco distinta das anteriores. Neste caso, o gerador é mantido em contato permanente com a parte superior da roda traseira de uma bicicleta. O ímã representaria, neste caso, a parte fixa (estator), localizado no centro do gerador, ao redor do qual, a bobina, que se encontra associada a dois rolamentos (partes do gerador que mantém contato com a roda da bicicleta), gira a partir de movimento 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.

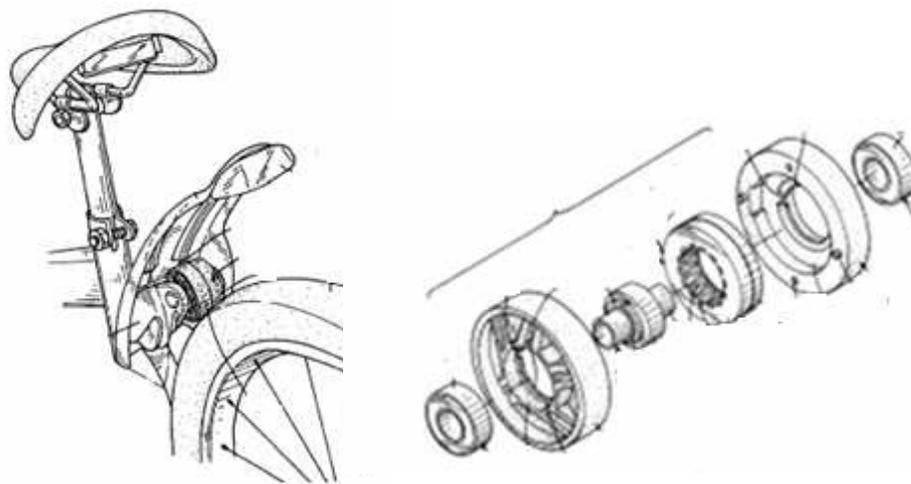


FIGURA 2.21 – Gerador montado na parte traseira de uma bicicleta.

FONTE - www.googlepatents.com

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, no caso das bicicletas). A corrente elétrica gerada poderia ser armazenada em baterias, ou utilizada no carregamento de equipamentos elétricos como computadores, TVs e freezers. Logo abaixo, por meio da FIG 2.22, encontra-se a descrição da patente supracitada.

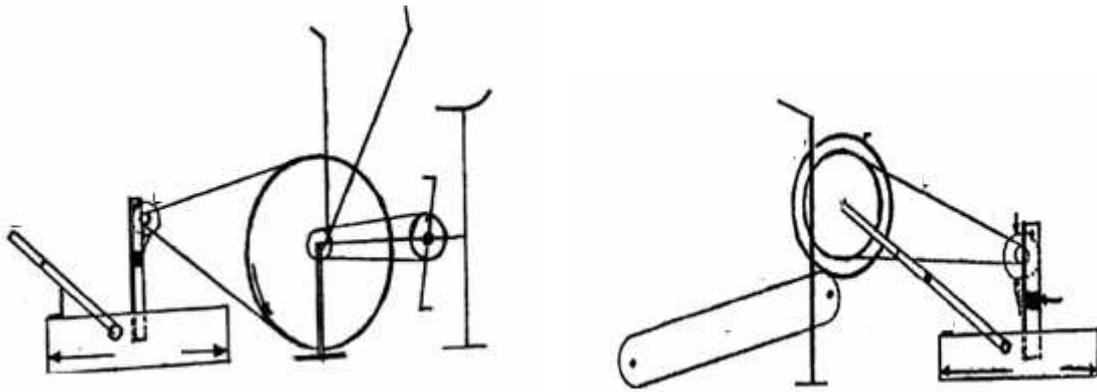


FIGURA 2.22– Esquemática de acoplamento ajustável de um alternador a vários equipamentos.

FONTE - www.googlepatents.com

3. METODOLOGIA

Em virtude de alcançar os objetivos propostos relacionados à análise da quantidade de energia elétrica que poderia ser gerada a partir da ação humana, aplicada nas bicicletas estacionárias, presente em ambientes de ciclismo de salão foi desenvolvido um dispositivo de conversão eletromecânico adaptado, de forma que, quando o voluntário iniciasse o movimento de pedalada, acionaria o gerador elétrico simultaneamente.

O sistema é composto por uma estrutura de sustentação metálica onde foi acoplada uma bicicleta (mountain bike), tal estrutura permite o movimento rotacional de roda traseira sem o deslocamento horizontal da mesma. A ela, foi colocada uma roda de metal maciço (elevando assim, a energia inercial) com o diâmetro equivalente a 50cm com uma massa de 20kg, a mesma utilizada em cicloergômetros e em bicicletas estacionárias (Figura 3.1).



FIGURA 3.1 – Bicicleta acoplada á estrutura de sustentação.

Preso à parte de trás da estrutura, foi inserido um gerador elétrico de campo magnético induzido (alternador da marca DENSO®, de 65 AMP 46765842 12V) comumente utilizado em veículos automotivos. Acoplados a ele estão três diodos (componente elétrico retificador, permite que a corrente elétrica atravessasse-o em um sentido apenas) que transforma a corrente alternada produzida em corrente contínua, assim como um regulador de tensão (componente elétrico formado por semicondutores) que limita a tensão de saída em 14,2V. O eixo do alternador foi alinhado à roda em questão de maneira que uma correia de borracha fosse capaz de conectá-los, e, como a estrutura permite ao alternador certa liberdade de deslocamento horizontal, antes de ser devidamente fixada à estrutura por parafusos e porcas, a tensão aplicada na correia pode então ser regulada evitando possível perda de eficiência por deslizamento (Fig. 3.2a). Como o gerador precisa de corrente elétrica para induzir o campo magnético em seu rotor, foi utilizado uma bateria chumbo-ácida regulada por válvula (12V 7Ah) da marca UNIPOWER (Fig. 3.2b).



(a)

(b)

FIGURA 3.2a – Alternador DENSO 65 AMP 46765842 12V .

FIGURA 3.2b – Bateria chumbo-ácida (12V 7Ah) da marca UNIPOWER.

A bicicleta contém um sistema de transmissão por engrenagens formada pela catraca, coroa e a corrente. Este sistema permite controlar a relação de revoluções entre os eixos rotacionais contidos no sistema geral (pedal, roda e eixo do alternador). A divisão do diâmetro da roda pelo diâmetro do eixo do alternador é igual a 6,25, este valor representa a relação entre eles. Para o presente estudo foi calculado e utilizado uma relação referente a 1:4 entre a coroa e a catraca (significa que uma revolução no

pedal causa 4 revoluções na roda que por sua vez causa 25 revoluções no eixo do alternador). A relação final entre a coroa e o eixo do alternador foi equivalente a 1: 25, tendo como base o menor valor rotacional utilizado no treinamento do presente estudo correlacionando-o com o menor valor rotacional necessário para o devido acionamento do gerador elétrico (alternador). A figura 3.3 demonstra a relação entre os eixos.

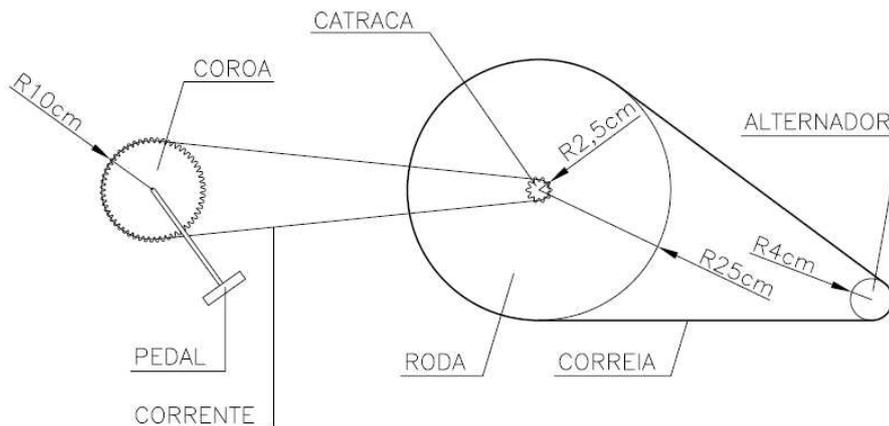
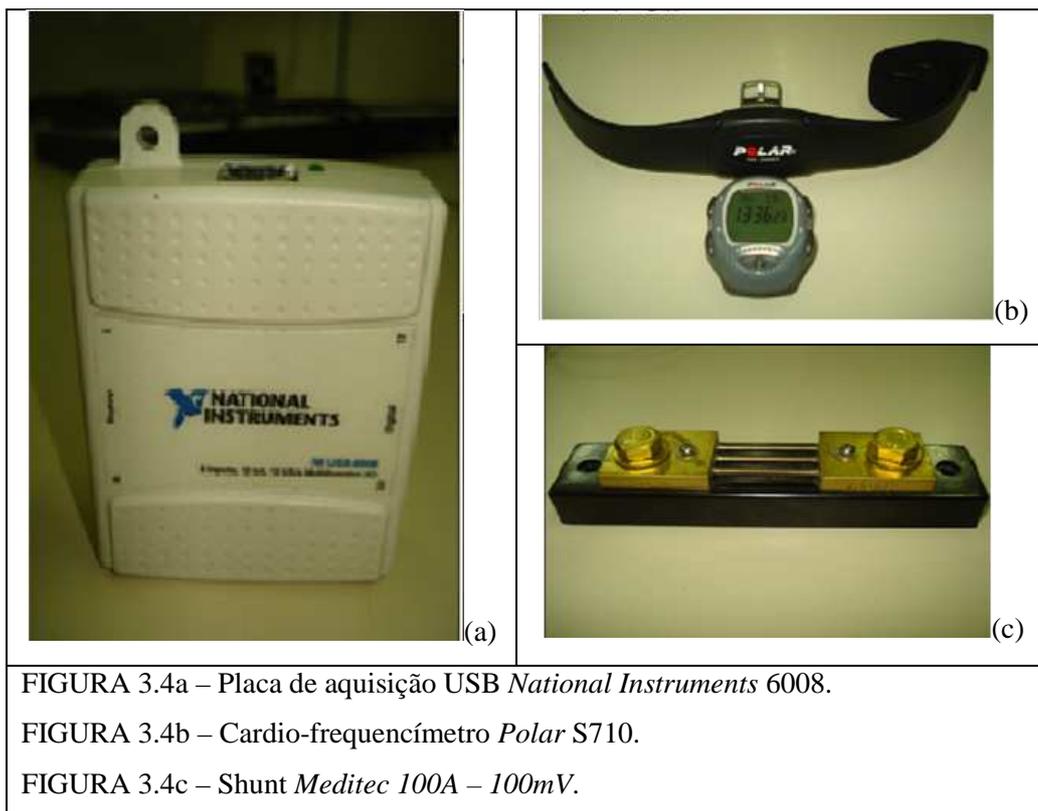


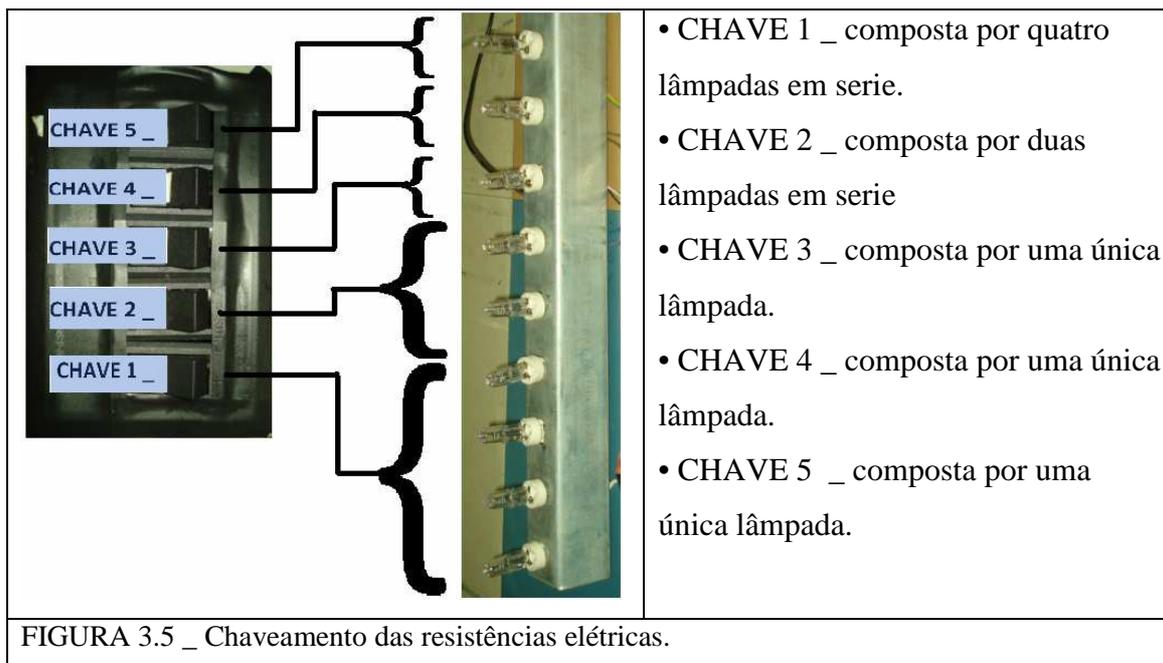
FIGURA 3.3 – Relação entre os eixos rotacionais do sistema.

As variáveis mensuradas foram; cadência de giro no pedal (os outros dois pontos foram calculados utilizando a relação supracitada), corrente elétrica de saída, assim como a frequência cardíaca dos voluntários. Para cadência de giro foi utilizado um sensor magnético colocado em um ponto fixo no quadro da bicicleta assim como um ímã acoplado no ponto rotativo do sistema (coroa), de forma que o campo magnético do ímã seja capaz de atingir o sensor em um determinado ponto de rotação. Cada vez que o ímã passa perto do sensor fecha-se um circuito que gera uma tensão de saída igual a 1,5V (fornecida por uma pilha) formando uma série de pulsos com frequência equivalente à frequência de giros.



Com a função de leitura da corrente elétrica foi inserido em série com o circuito elétrico de saída, um shunt (MEDITEC LTDA 100A – 100mV ENGRO) com valor de resistência baixo ($0,001\Omega$), de modo que a corrente total que passa pelo circuito passe também por ele. Assim, medindo a queda de tensão sobre o shunt e tendo o valor de resistência conhecido, é possível calcular o valor da corrente elétrica que passa pelo circuito. Para a aquisição das duas variáveis supracitadas foi utilizada uma placa de aquisição de dados USB, modelo 6008 (National Instruments). Para a mensuração da frequência cardíaca, foi colocado eletrodos nos voluntários (cardio-frequencímetro) da marca POLAR modelo S710, e para aquisição desses dados utilizou-se o software POLAR PRECISION PERFORMANCE 4.

A potência elétrica produzida pelo gerador alimenta um sistema de resistências elétricas compostas por nove lâmpadas de 12V – 100W. Tais resistências são responsáveis pela variação do torque mecânico resultante no pedal da bicicleta o qual o voluntário supera durante a realização do teste. A resistência elétrica acoplada ao sistema é proporcional ao torque mecânico resultante no pedal, ou seja, quanto maior a resistência elétrica maior o torque resultante. Em vista disso, a resistência elétrica total (as 9 lâmpadas) foi divididas e chaveadas da seguinte maneira (Fig. 3.5):



Cada uma das chaves, quando acionada, adiciona ao sistema um valor correspondente de resistência elétrica total. Esse valor depende da resistência da lâmpada (R), do número de lâmpadas e da maneira como elas são ligadas ao sistema (série e paralelo). Tal chaveamento permite também o acionamento simultâneo de duas ou mais chaves. Quando isso ocorre, os valores das resistências das chaves acionadas se somam (em paralelo) diminuindo o valor da resistência equivalente. Isso afere ao sistema um progresso gradual na variável em questão e conseqüentemente um progresso gradual na resistência mecânica que é aplicada no pedal. Todas as chaves foram posicionadas no guidão da bicicleta permitindo ao próprio usuário o ajuste das resistências (elétricas e mecânicas).

Um circuito eletrônico foi construído para controle da abertura e fechamento do sistema de modo que ele funcione apenas quando a energia mínima necessária proveniente do acionamento do alternador é gerada (ver Anexo 1). Isso evita que a bateria que está conectada ao alternador, com a função apenas de induzir o seu campo, alimente o circuito. Este controle é feito de acordo com a velocidade de rotação do pedal (e conseqüentemente velocidade de rotação do eixo do alternador), de forma que, quando a rotação do gerador é inferior à mínima necessária para seu devido acionamento, o sistema se mantém aberto e as lâmpadas não são acesas, e quando a rotação é superior à mencionada anteriormente o sistema é fechado permitindo ao

gerador suprir a demanda energética imposta pelas lâmpadas. Este controle é efetuado por meio de acionamento de relés (componente eletrônico com função de chaveamento).

A aquisição dos dados do sensor magnético e do shunt, bem como os cálculos da rotação do pedal, rotação do alternador e da potencia elétrica gerada foi realizada utilizando uma placa de aquisição de dados USB modelo 6008 e o software LABVIEW 8.5, ambos da marca NATIONAL INSTRUMENTS (Fig. 3.6). Tal software também foi utilizado no controle do acionamento do relé. A frequência de aquisição dos dados foi de 80 Hz.

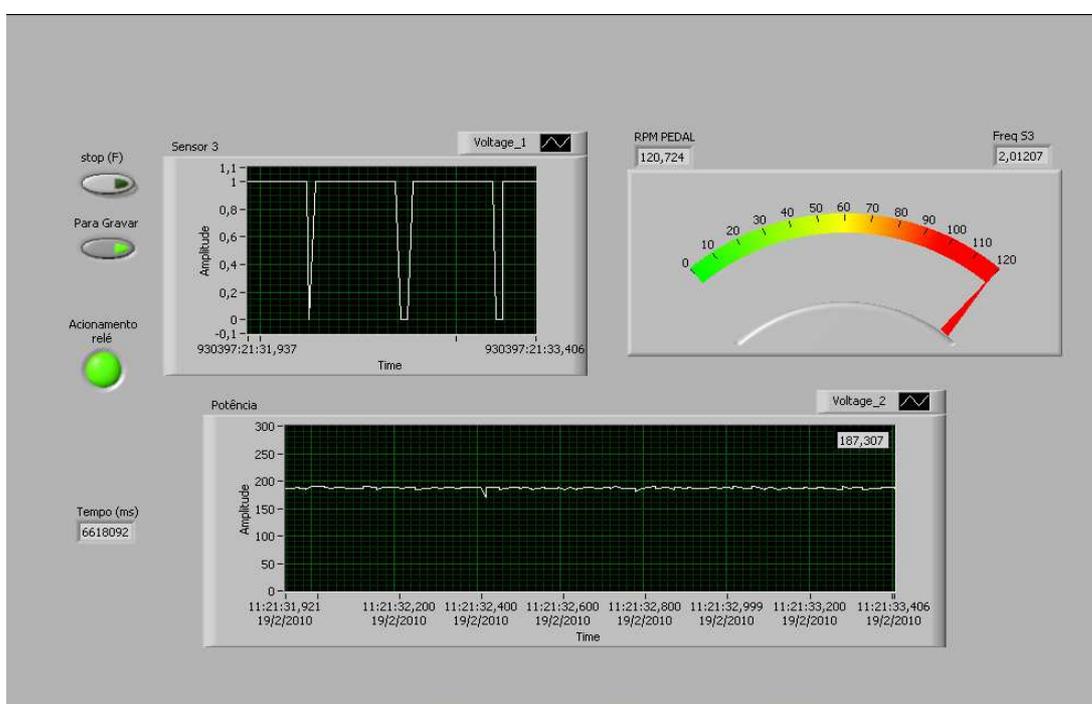


FIGURA 3.6 – Painel frontal (LABview 8.5).

AVALIAÇÕES PRÉ-TESTE

O sistema de conversão desenvolvido permite que os participantes ajustem a intensidade do exercício durante a realização do teste de duas formas: variando tanto a cadência de pedalada quanto o valor da resistência elétrica que o sistema está conectado. Portanto, para que se conheça ao certo o comportamento do sistema em relação à variação de tanto da cadência quanto da resistência, dois testes iniciais foram realizados da seguinte forma:

1_ Resistência constante (Fig. 3.7): Inicialmente o voluntário foi instruído a manter uma cadência de pedalada de 70 rpm e acionar a chave 1 que controla a resistência elétrica em um determinado valor. Mantendo a resistência citada anteriormente constante, o voluntário elevou a cadência de pedalada no valor de cinco revoluções por minuto a cada etapa de dois minutos até atingir o valor de 120 rpm na décima terceira etapa no vigésimo sexto minuto de teste. A faixa de cadência analisada na caracterização do sistema (70 a 120 rpm) corresponde a mesma faixa de rotações proposta no treinamento de spinning utilizada no presente estudo. O objetivo deste teste foi verificar o comportamento da potência elétrica de saída do sistema em relação à variação da cadência de pedalada.

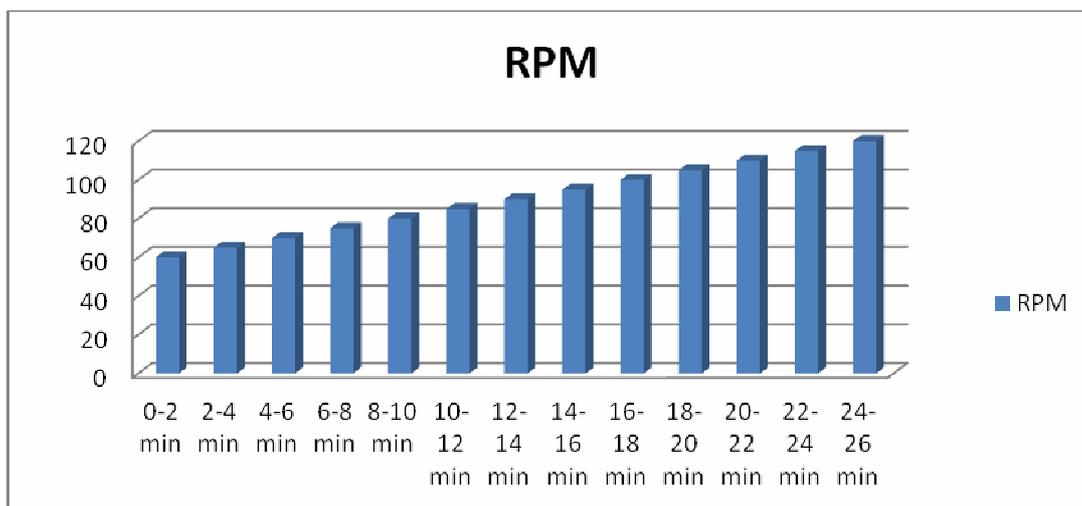


FIGURA 3.6 – Teste caracterização velocidade angular.

2_ Cadência constante (Tab.3.1): O voluntário iniciou o teste mantendo uma cadência de pedalada no valor de 80 rpm vencendo uma resistência elétrica do circuito no valor referente a chave 1 dos sistema (chave de menor resistência mecânica no pedal). A cadência de pedalada foi mantida inalterada durante todo o teste e a resistência elétrica do sistema variada progressivamente de forma crescente. O teste foi dividido em 10 etapas com duração de 2 minutos cada. Tendo como referência o valor da resistência de uma lâmpada (R), a tabela 3.1 mostra para cada etapa a forma de chaveamento assim como o valor da resistência elétrica equivalente.

ETAPAS	CHAVE 1	CHAVE 2	CHAVE 3	CHAVE 4	VALOR DA RESISTÊNCIA
1 ^a	X				4R
2 ^a		X			2R
3 ^a			X		R
4 ^a	X	X			3/4R
5 ^a	X		X		4/5R
6 ^a		X	X		2/3R
7 ^a	X	X	X		4/5R
8 ^a			X	X	1/2R
9 ^a	X		X	X	4/9R
10 ^a		X	X	X	2/5R
11 ^a	X	X	X	X	4/11R

TABELA 3.7 – Teste caracterização resistências elétrica.

TESTE

A amostra utilizada no presente estudo foi composta por 15 voluntários de ambos os gêneros (8 masculinos e 7 femininos). Como critério de exclusão, todos os voluntários deveriam estar gozando de seu estado pleno saúde assim como praticando a modalidade de ciclismo *indoor* ou *outdoor* (ciclismo de rua) no mínimo seis meses precedentes ao teste. Para a execução do teste em bicicleta estacionária da modalidade de ciclismo de salão, foi utilizado um treinamento da marca Spinning® (CARIA et al, 2006). A sessão de spinning foi realizada em laboratório aplicado a um voluntário de cada vez. O mesmo protocolo foi utilizado para todos os participantes, onde foram instruídos para executar o treinamento como se estivessem em uma aula regular de spinning. Os testes foram realizados no período da tarde entre 14:00 e 18:00 horas em uma sala com temperatura controlada entre $21^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ C e umidade relativa do ar entre $45 \pm 6.6\%$. Foi permitida aos participantes a ingestão de água à vontade, e, para facilitação de regulação térmica e evitar a queda de desempenho por excessiva elevação da temperatura, um ventilador posicionado a 1.5 metros de distância do voluntário fornecia um constante fluxo de ar durante a sessão.

Os voluntários realizaram o teste enquanto ouvia uma seleção de músicas compostas por onze faixas onde a duração total delas era de 50.5 minutos. Cada faixa

corresponde a uma fase específica (também denominadas de terreno) da sessão baseado no manual oficial do programa de treinamento spinning. Os terrenos simulam diferentes estratégias de pedaladas utilizadas no ciclismo outdoor e são rotuladas da seguinte forma (JOHNNY, 1996; figura 3.7):

- Aquecimento (warm-up) – Atividade preparatória executada na posição sentada, onde a cadência de pedalada utilizada varia de moderada a alta, e a resistência baixa.
- Plano sentado (sitting) – Simula terreno plano. Executada na posição sentada (quadril fora do selim), cadência de pedalada baixa e resistência alta.
- Subida sentada (seated climbing) – simula terreno íngreme ascendente. Executada na posição sentada, cadência de pedalada baixa e resistência alta.
- Plano de pé (running) – Simula terreno plano. Executada na posição de pé (quadril fora do selim), cadência moderada a alta e resistência moderada.
- Saltando (jumping) – Revezas as posições sentado/em pé. Utiliza cadência de pedalada alta e resistência moderada.

Alguns terrenos são repetidos durante o teste (plano sentado, subida sentada, plano de pé e saltando) sendo as seleções delas propositalmente projetada para pessoas que estejam iniciando suas atividades nas aulas de spinning. Adicionalmente ao protocolo de músicas, os participantes foram instruídos a manter uma cadência de pedalada que foi anteriormente definida para cada faixa. A respeito da resistência imposta na roda da bicicleta, os participantes estavam livres para ajustarem de acordo com suas sensações e interpretações, assim como ocorre nas aulas regulares, porém para cada terreno foi instruído a eles subjetivamente uma escala de intensidade; baixa, moderada e alta.

Assim como nas aulas regulares que acontecem nas academias, os voluntários foram instruídos a seguir a cadência de giro determinada para cada terreno. Para isso foi utilizado um metrônomo QWIK TIME QUARTZ que ditava um ritmo utilizando tanto informações visuais (luz) quanto auditivas (som). Da mesma forma, os voluntários foram instruídos a selecionarem a resistência mecânica como se estivessem em uma situação real referente à aula, ou seja, de acordo com seu condicionamento. Para isso foi

ensinado aos voluntários o funcionamento do chaveamento das resistências elétricas e suas progressões.

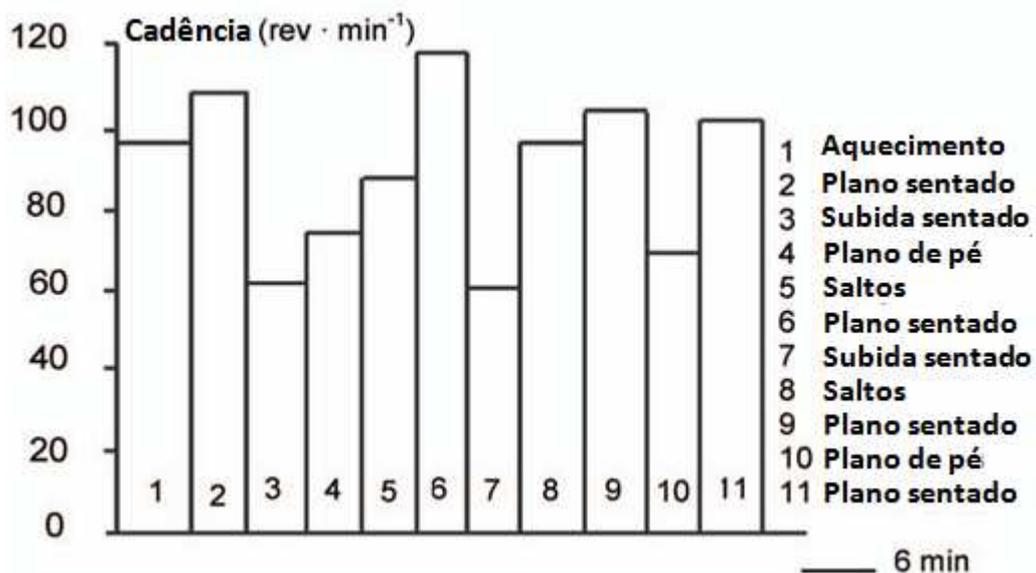


FIGURA 3.8 – Aula padronizada spinning®.

FONTE – CARIA et al, 2007

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema adaptado à bicicleta estacionária, desenvolvido no presente estudo, foi capaz de suprir a demanda energética do circuito elétrico bem como monitorar os valores referentes à rotação do pedal e à potência elétrica de saída. Esses valores possibilitaram uma análise posterior do treinamento dos voluntários.

Os resultados iniciais referem-se ao teste de caracterização do sistema realizado com o objetivo de conhecer o seu comportamento em relação à variação da cadência de pedalada (velocidade angular). Na figura 4.1 é possível verificar o comportamento da cadência de pedalada (curva vermelha) em função do tempo, variando de 70 rpm até 120 rpm (faixa esta adotado na simulação da aula de CI), onde a potência elétrica de saída (curva preta) do sistema se manteve constante em torno de 42.3 ± 0.4 watts.

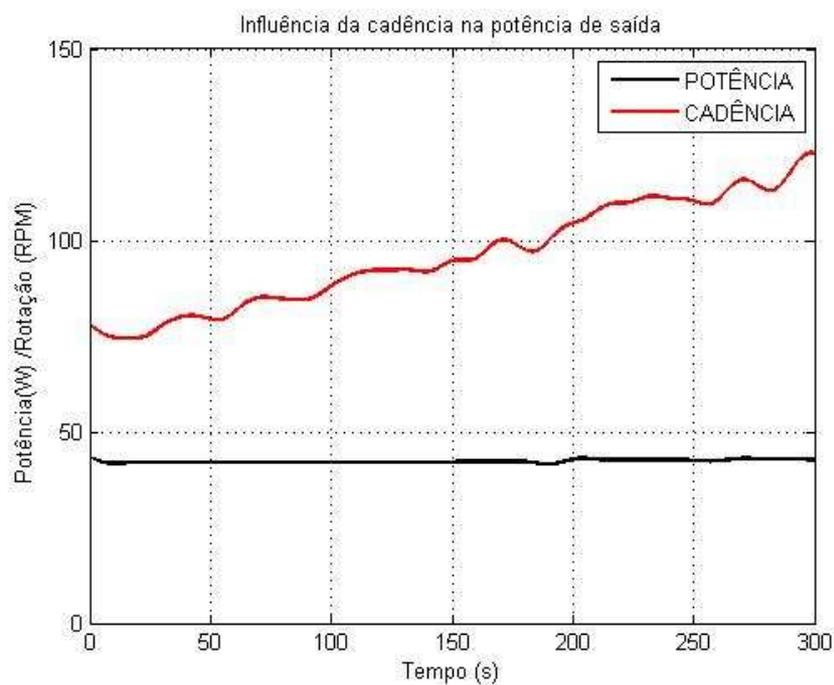


FIGURA 4.1 – Resultado do teste de caracterização da cadência.

Isso mostra que, apesar da elevação da cadência de pedalada representar um incremento no gasto calórico do indivíduo assim como no trabalho realizado (energia produzida), ela não tem influência na potência elétrica de saída do sistema em questão. Tal fato se deve à utilização do regulador de tensão no gerador que limita a tensão elétrica de

saída em torno de 14,2 V. Portanto, verificou-se que a rotação mínima utilizada no treinamento do presente estudo foi suficiente para saturar o regulador de tensão. Velocidades angulares adicionais não provocam acréscimos no valor da tensão elétrica de saída, e consequentemente, na potência elétrica. De certa forma este fato representa uma desvantagem ao sistema, pois a energia gasta para elevar a cadência de pedalada acima de tal ponto está sendo desperdiçada, mas por outro lado, dessa forma, é permitido um controle estável da resistência mecânica aplicada no pedal da bicicleta que por sua vez permite controlar a intensidade do treinamento esportivo que esta sendo realizado (o qual é objetivo principal da aula de CI).

Da mesma forma são demonstrados a seguir, na figura 4.2, os resultados do teste de caracterização realizado com o objetivo de conhecer o comportamento do sistema em relação à variação da resistência elétrica a ele acoplado.

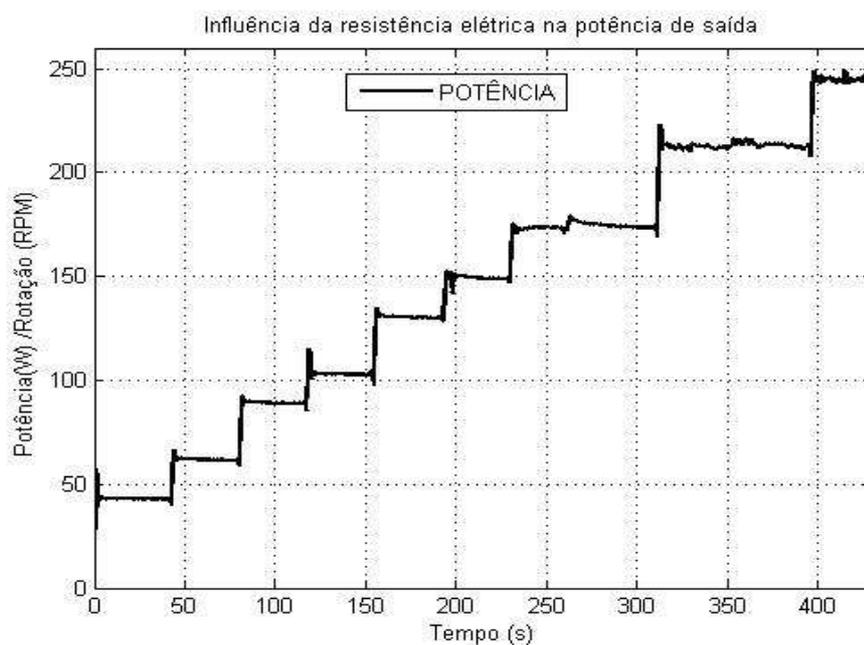


FIGURA 4.2 – Resultado do teste de caracterização da resistência elétrica.

Os resultados mostram que o sistema fornece diferentes potências elétricas de saída de acordo com o valor da resistência que está sendo imposta ao circuito. Tais resistências são compostas de lâmpadas de 100 W chaveadas de maneira que o valor delas pudessem ter um aumento gradual. A tabela 4.1 demonstra o valor da potência de saída relativo a cada etapa do teste assim como as chaves acionadas com seu respectivo valor da resistência equivalente.

ETAPAS	CHAVES ACIONADAS	VALOR DA RESISTÊNCIA	POTÊNCIA MÉDIA (W) e DESVIO PADRÃO
1 ^a	1	4R	42.9 ± 3.1
2 ^a	2	2R	61.7 ± 1.4
3 ^a	3	R	88.4 ± 4.2
4 ^a	1 e 2	3/4R	102.8 ± 2.9
5 ^a	1 e 3	4/5R	129.4 ± 5.2
6 ^a	2 e 3	2/3R	148.7 ± 3.2
7 ^a	1, 2 e 3	4/5R	172.7 ± 2.8
8 ^a	3 e 4	1/2R	174.5 ± 1.3
9 ^a	1, 3 e 4	4/9R	211.8 ± 5.6
10 ^a	2, 3 e 4	2/5R	213.3 ± 1.2
11 ^a	1, 2, 3 e 4	4/11R	244.0 ± 4.8

TABELA 4.1 Valores de potência média relativo por etapa, assim como as chaves acionadas e seu respectivo valor de resistência.

A influência que a resistência elétrica tem no comportamento do sistema é explicada pelo fato de que quanto menor o seu valor, menor também é a força que se opõe à passagem dos elétrons no circuito que eles compõem. Sendo assim uma menor resistência elétrica permite que uma maior corrente elétrica atravesse o circuito. Logo, uma maior corrente, resulta em última análise, em uma maior potência elétrica de saída (uma vez que essa última é resultado do produto entre a tensão e a corrente).

Uma vez que o alternador tem sua tensão de saída constante, a corrente elétrica foi a única variável livre, ela foi responsável tanto pela variação da potência elétrica de saída como a resistência mecânica imposta no pedal da bicicleta. Sendo assim, quando os voluntários alteravam a chave que controla as resistências elétricas, aumentava ou diminuía o torque aplicado no pedal, mas em contrapartida aumentava ou diminuía a quantidade de corrente elétrica gerada por ele. Os resultados também mostram o aumento gradual que cada chave impõe na potência elétrica de saída do sistema (em torno de 20 W por chave).

Os dados referentes à média da frequência cardíaca dos voluntários separados por gênero (homens e mulheres) foram 154.5 ± 10.8 bpm e 162.2 ± 17.0 bpm respectivamente. Esses valores se mostraram coerentes quando comparados ao estudo de CARIA (2007) onde foi executado o mesmo treinamento do presente estudo (spinning®). Como a frequência cardíaca é indicador fisiológico da intensidade de exercício, tal coerência indica que o treinamento foi devidamente reproduzido. Os valores encontrados pelo autor foram 150 ± 20

bpm e 166 ± 13 bpm para homens e mulheres respectivamente. Os resultados da frequência cardíaca de cada grupo (masculino e feminino) assim como de ambos estão dispostos na tabela 4.2.

GRUPO	FREQUÊNCIA CARDÍACA MÉDIA (Bpm)
Homens	154.5 ± 10.8
Mulheres	162.2 ± 17.0
Homens e mulheres	158.0 ± 14.0

TABELA 4.2 Resultado da frequência cardíaca média

Os resultados referentes à média da potência elétrica de saída durante os 50.5 minutos de teste assim como os respectivos desvios padrões de cada um dos voluntários estão apresentados na tabela 4.3 (Anexo 2). Quando é analisada a potência elétrica produzida pelos voluntários divididos por gênero (masculino e feminino), notam-se maiores valores absolutos gerados pelos homens em relação às mulheres. Essa diferença de valores entre os gêneros foi também evidenciada no estudo de CARIA (2007) e deve-se em grande parte pelo fato da fisiologia masculina apresentar quantidade de massa muscular mais elevada que a feminina (McARDLE, 2003).

VOLUNTARIOS	POTÊNCIA MÉDIA	SEXO
1	76.7 ± 26.6	MASCULINO
2	67.2 ± 31.5	MASCULINO
3	63.1 ± 18.4	MASCULINO
4	90.7 ± 37.2	MASCULINO
5	89.0 ± 36.4	MASCULINO
6	83.9 ± 22.0	MASCULINO
7	77.6 ± 33.1	MASCULINO
8	46.8 ± 16.3	MASCULINO
9	41.2 ± 1.6	FEMININO
10	46.1 ± 11.9	FEMININO
11	43.3 ± 7.2	FEMININO
12	48.3 ± 9.7	FEMININO
13	41.5 ± 4.2	FEMININO
14	39.0 ± 9.0	FEMININO
15	41.7 ± 3.0	FEMININO

TABELA 4.3 Resultado da potência média de cada voluntario e seu gênero.

Durante a realização do teste os participantes ficaram livres para ajustar a resistência de acordo com seu condicionamento físico, através das chaves seletoras. Os resultados mostram que o grupo feminino realizou a maior parte do teste utilizando apenas a chave 1, que representa o menor nível de resistência oferecida pelo sistema. Isso explica os baixos valores de desvio padrão por parte desse grupo e indica um certo super dimensionamento do sistema em relação a resistência mínima. Já para o grupo masculino não houve tal problema e a maioria dos voluntários utilizou variadas resistências ao longo do teste como evidencia a figura de potência 4.3c. As figuras 4.3a e 4.3b mostram a frequência cardíaca e a cadência de giro desse voluntário do gênero masculino.

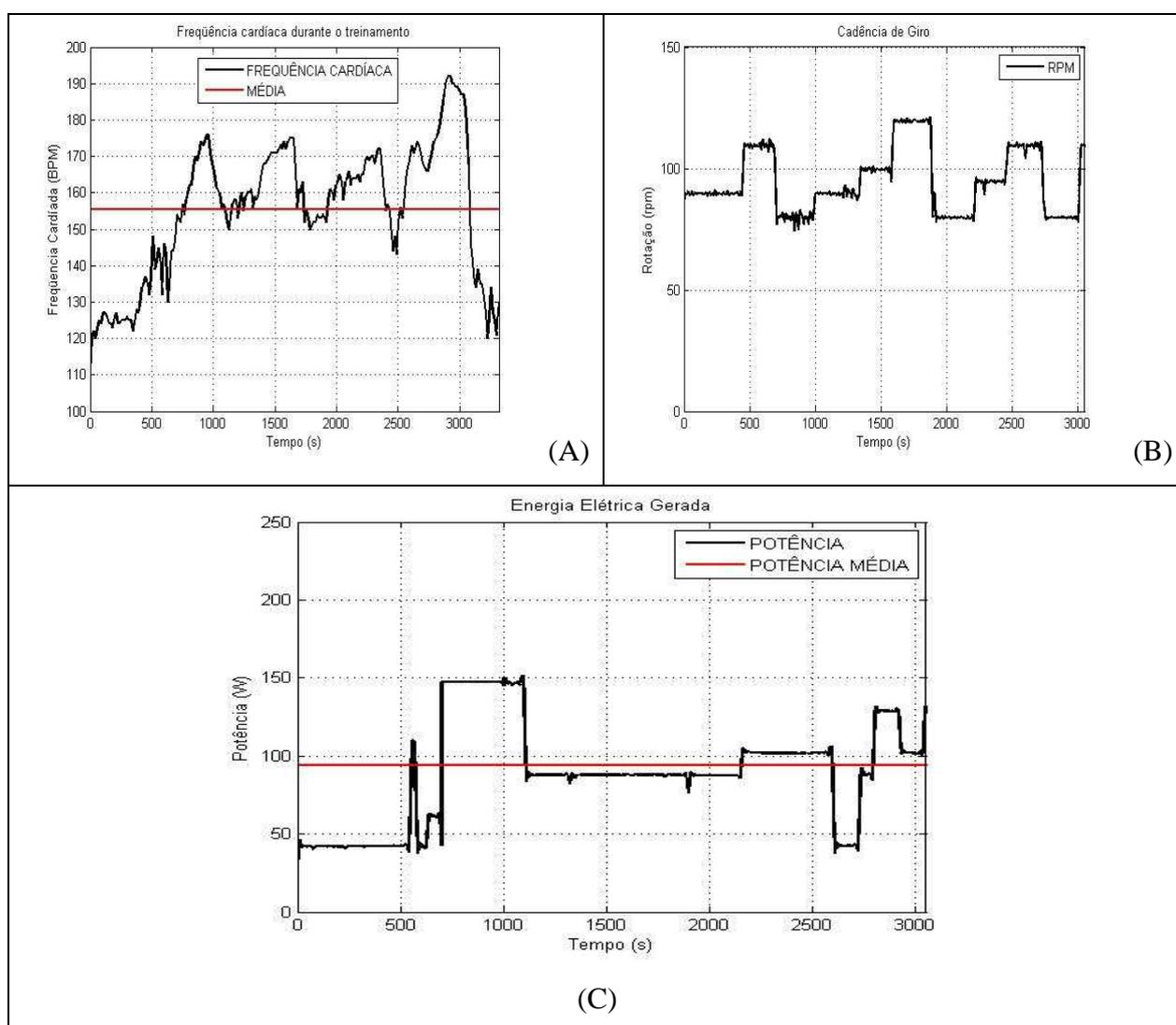


FIGURA 4.3a– Frequência cardíaca no teste de um voluntário masculino.

FIGURA 4.3b– Cadência de giro no teste de um voluntário masculino.

FIGURA 4.3c– Potência elétrica de saída no teste de um voluntário masculino.

Considerando o ambiente de ciclismo de salão presente em academias de ginástica constituído por participantes de ambos os sexos de forma homogênea, faz-se necessário a obtenção de valores de potência elétrica média geral. Os resultados demonstrados na tabela 4.4 evidenciam um valor médio equivalente a 60.0 ± 19.7 W referente ao teste da simulação de uma aula de 50.5 minutos de duração. Este mesmo valor quando relativizado pelo tempo revela o valor de 50.0125 Wh (watts hora).

GRUPO	POTÊNCIA MÉDIA (W) DESVIO PADRÃO	POTÊNCIA MÉDIA (Wh)
HOMENS	74.8 ± 15.3	62.3
MULHERES	43.0 ± 3.1	35.8
HOMENS E MULHERES	60.0 ± 19.7	50.0

TABELA 4.4 Resultado da potência elétrica de saída média para homens, mulheres e ambos.

Segundo a CALIFÓRNIA GYM, academia de Hong Kong onde foi implementado sistema de conversão de energia adaptado em suas bicicletas (assim como nos elípticos e *steps*), uma pessoa de nível de condicionamento médio produz 50 Wh de energia, tal valor se mostra condizente com o presente estudo. O montante de energia elétrica então produzida pela academia no final do mês dependerá do número de máquinas que contêm tal sistema, assim como o tempo de acionamento das mesmas. No caso da Califórnia Gym cada máquina funcionando em média 10 horas por dia é capaz de economizar o equivalente a 547 KWh em um período de um ano. Uma usina geradora de energia elétrica para produzir essa mesma quantidade de energia libera no ambiente o equivalente a 273 Kg de CO₂. E ainda, tal sistema implementado em todas as máquinas (bicicletas, elípticos e *steps*) de toda rede Califórnia Gym (9 academias) revela números ainda mais expressivos. Ao ano o montante equivalente a 21.900 MWh é economizado, e conseqüentemente o ambiente deixa de receber 11.000 tons de CO₂ (CALIFORNIA GYM).

O sistema do presente estudo se diferencia daquele utilizado na CALIFÓRNIA GYM e das bicicletas utilizadas normalmente em ambientes de ciclismo de salão no que diz respeito ao monitoramento do treinamento referente ao controle de suas variáveis. Este controle, ainda que indireto, indica através da potência elétrica de saída o valor da resistência mecânica que o usuário está vencendo de forma mais precisa que a correia de atrito descrita por FARIA (1992). De fato, o controle da resistência das bicicletas deixa de ser subjetivo e passa a ter um controle estabilizado.

O resultado encontrado por SILVA (2008) referente á quantidade de energia elétrica passível de ser gerada em ambientes de ciclismo de salão no decorrer de um mês foi de 73,58 kWh. Para se chegar nesse resultado o autor utilizou de cálculos onde foi adotado o número de vinte bicicletas assim como cinco aulas por dia. Para os valores de referência da potência mecânica, adotaram-se diferentes tipos de treinamento da modalidade CI; intervalado, contínuo variável e contínuo estável com valores de 50,76 W, 46 W, e 38,08 W respectivamente. Mesmo considerando uma eficiência de conversão eletromecânica alta para os parâmetros de geradores elétricos (equivalente a 90%), ainda sim os resultados encontrados pelo autor em questão se mostram significativamente menores quando comparados com o presente estudo.

Ao se aplicar o valor encontrado no presente estudo à realidade de uma academia proposta por SILVA (2008) referente ao número de bicicletas existentes no ambiente de CI (20), assim como a quantidade de aulas realizadas por dia (5), chega ao montante de 115.0 kWh superando o valor de 73,58 kWh encontrado por ele. Os cálculos efetuados por tal autor revelam que esta quantia, quando confrontada ao consumo de equipamentos elétricos utilizados em um ambiente voltado à prática do ciclismo de salão (calculada em cerca de 50,4 kWh/mês), mostrou um superávit de 23,16 kWh.

Essa quantia subestima os valores encontrados no presente estudo, onde o superávit nesse caso está por volta de 64.628 kWh (valor este capaz de suprir a demanda de dois ambientes supracitados).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo se propôs a quantificar a energia elétrica que pode ser gerada por meio da aplicação de um protocolo de treinamento da modalidade de ciclismo *indoor*, utilizando o sistema de conversão eletromecânico desenvolvido e adaptado à bicicleta estacionária. Sendo assim, chegou-se a conclusão que o valor da média gerada é equivalente a 60.0150 W de potência por sessão ou 50.0 Wh.

O sistema de conversão desenvolvido foi capaz de transformar a energia mecânica de entrada, proveniente do usuário, em energia elétrica de saída assim como monitorar a potência elétrica produzida.

O sistema apresentou variação inversamente proporcional da quantidade de potência produzida em relação a alterações no valor de resistência elétrica que era ligada ao circuito, e diretamente proporcional ao torque mecânico resistivo aplicado no pedal. Além disso, não apresentou variações na potência elétrica de saída quando alternava a cadência de pedalada (rpm), pela restrição imposta pelo regulador de tensão do gerador elétrico.

Os dados da frequência cardíaca revelaram que o sistema desenvolvido foi capaz de reproduzir devidamente o protocolo de treinamento da modalidade de ciclismo indoor (spinning®).

A análise feita compara os valores encontrados no presente estudo com os valores encontrados por outros autores, confrontando com a demanda de energia elétrica necessária para suprir o ambiente onde o sistema seria implementado. A quantidade de energia elétrica gerada por tal sistema corrobora com valores apresentados por uns autores, e são subestimados por outros. Sendo assim, conclui-se que o sistema desenvolvido no presente estudo é viável por apresentar um superávit em relação à energia elétrica necessária para suprir o ambiente que este se encontra.

6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade ao trabalho desenvolvido no presente estudo sugere-se o aprimoramento do sistema de conversão eletromecânico acoplado à bicicleta estacionária em relação à sua eficiência e funcionalidade. Tal aprimoramento poderia ser feito com células de cargas adaptadas no pedal da bicicleta, onde informações acerca da força aplicada pelo usuário, e conseqüentemente a potência mecânica de entrada, estaria sendo coletada. Uma vez feita a relação entre potência mecânica de entrada e potência elétrica de saída, pode-se determinar a porcentagem de conversão de energia do sistema, (eficiência) assim como identificar e minimizar possíveis perdas indesejáveis de energia.

Da mesma forma o sistema em questão poderia ser aprimorado em relação a sua funcionalidade de forma a oferecer ao usuário incrementos gradativos na resistência mecânica em menor escala. No presente estudo esse incremento está por volta de 20 W de potência iniciando (no menor nível de chaveamento) com a potência de 40 W. Dessa forma, o usuário teria um controle mais preciso a respeito da intensidade (carga resistiva) que esta sendo aplicada no pedal. A diminuição no valor de potência do nível mínimo permitiria que usuários iniciantes da prática de atividades física (sedentários e pessoas com nível de condicionamento físico baixo) pudessem utilizar o sistema sem nenhum tipo de limitação.

O passo seguinte e determinante na linha de pesquisa que visa o reaproveitamento de energia humana em academias de ginástica seria a implementação do sistema em questão em um ambiente de ciclismo indoor assim como nas máquinas rotativas presentes no ambiente da modalidade de treinamento resistivo (conhecido como sala de musculação). As principais máquinas que são passíveis de aceitar o acoplamento de tal sistema, além das bicicletas, são os *elípticos* e os *steps*. Uma vez implementado o sistema, mensurações a respeito dos valores reais de economia, assim como o tempo necessário de retorno do investimento inicial seriam adquiridos, comprovando ou não os resultados viáveis concluídos no presente estudo.

O presente estudo se limitou a quantificar a energia elétrica que pode ser gerada a partir da ação humana em bicicletas estacionárias. Porém considerações a respeito da aplicabilidade dessa energia, uma vez que ela foi gerada, devem ser feitas para maximizar seu aproveitamento. Estudos a respeito do armazenamento em células de baterias e sua eficiência frente à perda pelo efeito joule no seu processo devem ser feitos para melhor entendimento a respeito da viabilidade do sistema como um todo. Além do armazenamento, outras aplicações podem ser efetuadas como mostrada na patente nº 6.987.327 onde a energia gerada é

simultaneamente incorporada na rede de fornecimento convencional de energia eléctrica. Dessa forma, utilizando um inversor e relés o sistema pode ser conectado a rede evitando assim ao máximo, perdas no processo de armazenamento.

ABSTRACT

Nowadays the world faces a crisis related to global warming result of years of environmental pollution, caused mainly by the use of non-renewable energy sources. The consequence of this is the search by the government and the scientific community to develop renewable energy sources. The practice of physical activity is performed 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. This type of environment conception could be based on the use of energy alternative sources and work mainly as a way to harness the mechanical energy from the exercise. A system of energy conversion has been developed in this study and engaged in the back of a stationary bike so the mechanical energy applied on pedal is transformed into electrical energy. Initially tests were performed to characterize the behavior of the system in relation to both variations in the rate of rotation (rpm) and the electrical resistance coupled to it. The amount of electricity that can be produced in an environment that focuses on the practice of indoor cycling has been verified. Fifteen volunteers of both sexes performed a training protocol of a type of indoor cycling (spinning ®) whit the conversion system attached to the bike. Data on the heart rate (bpm), rate of rotation (rpm) and electric power output (W) were collected and later analyzed. The results showed that the system varies the amount of electrical power output in relation to electrical resistance, and the same is not true in relation to the cadence. The mean values of heart rate 158.0 ± 14.0 bpm, indicate that the training protocol was duly reproduced. The average electrical power output was 60.0 ± 19.7 W. Therefore, the energy management model that uses human action as a source could be characterized by self-sustainability working also as a way to combine the physical well-being and eco-friendly consciousness.

Key-words: exercise, electromechanical converter, self-sustainability

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂSTRAND PO. **Tratado de Fisiologia do Exercício**. Editora Interamericana: Rio de Janeiro; 1980.

BRASIL. Senado Federal. Subsecretaria de Edições Técnicas. **Protocolo de Quioto e legislação correlata**. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal, 2004. v. 3 (Coleção Ambiental). 88 p.

BRAZ, Mario Sergio Araújo. **Os mecanismos de cooperação internacional para redução de emissões sob o Protocolo de Quioto**. Boletim Científico Escola Superior do Ministério Público da União, Brasília, n. 9, p. 139-159, out./dez. 2003.

BREZET, H, VERGRAGT, P, HORST, T. VAN DER **Vision on Sustainable Products Innovation**, Kathalys, BIS Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 2001, ISBN 90-6369-013-4

BURTON B. **Metabolismo energético**. In: **Nutrição humana**. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, p. 23-33, 1979.

CAVAGNA, G.A., KANEKO, M.,. **Mechanical work and efficiency in level walking and running**. *Journal of Physiology* (London) 1977 268, 647-681.

COOPER. M. **Batteries not included**. *New Scientist*, 171(2307):24, September 24 2001.

COUTINHO R. **Breve resumo da história do metabolismo**. In: **Noções de fisiologia da nutrição**. Editora Cultura Médica, Rio de Janeiro, p. 3-16, 1981.

DUARTE M, TAKESHITA J, VECHIA ED, AMADIO AC. **Sistema de determinação da potência mecânica humana e aferição de cicloergômetros**. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Florianópolis: UFSC; 1999. p.427-432.

DAAMS BJ. **Human force exertion in user-product interaction, backgrounds for design**, *Series physical ergonomics* nr. 2. Delft University Press; 1994.

DESCHAMPS SR, DOMINGUES FILHO LA. **Motivos e benefícios psicológicos que levam os indivíduos dos sexos masculino e feminino a praticarem o ciclismo indoor**. *Rev Bras Cienc Mov* 2005;13(2):27-32.

DEWBERRY, E.L. (1996), **EcoDesign – Present Attitudes and Future Directions**, Studies of UK Company and Design Consultancy Practice, PhD-Thesis, The Open University, Milton Keynes, UK

DOMINGUES FILHO LA, organizador. **Ciclismo Indoor - guia teórico prático**. Jundiaí: Editora Fontoura; 2005.

FLIPSEN, S.F.J., JANSEN, A.J., BREMER, A.P. & VEEFKIND, M. **Towards a selection method for alternative energy systems in consumer products** . In: Horvath, I. & Xirouchakis, P. (ed.), proceedings of TMCE 04, april 13-17, Lausanne (Switzerland), ISBN 90 5966 018 8 (2004).

FOX E.E; MATHEWS D.K. **Bases Fisiologicas da Educação Fisica e dos Desportos Rio de Janeiro**. Editora Guanabara. 1986.

HANSEN, E. A.; SJOGAARD, 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, 2007.

HOLLMANN, W E HETTINGER T.H. **Medicina de Esporte** . Edição Rvisada. São Paulo. Ed Manole, 1989.

IGNATIOS, Miguel. **Um governo auto-suficiente**. Gazeta Mercantil, 11 maio 2006, p. A-3.

INGEN SCHENAU, G.J. VAN, WOENSEL, W.W. VAN, BOOTS, P.J., SNACKERS, R.W., DE GROOT, G., 1990. **Determination and interpretation of mechanical power in human movement: application to ergometer cycling**. *European Journal of Applied Physiology* 61, 11Ð19.

JANSEN AJ, FRIDSTEDT S, WEERNINK AJW. **Batteryless remote control for Volvo, results of a feasibility study**. In: Proceedings of ISATA 2000, automotive & transportation technology. Dublin, Ireland; 25-8-2000.

JANSEN AJ, SLOB P. **Human power: comfortable one-hand cranking**, ICED 2003. In: Proceedings of ICED, international conference on engineering design. Stockholm, Sweden; 2003. p. 661e3

JANSEN A.J.; STEVELS A.L.N, 1999, “**Human power, A sustainable option for electronics**”, *Proc. IEEE Int. Symp. on Electronics and the Environment*, Danvers, MA, 1999, pp. 215-218.

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 JIE, CHALOUPKA EC, MASTRANGELO MA, HOFFMAN JR, RATAMESS NA, O’CONNOR E. **Metabolic and Perceptual Responses during Spinning(R) Cycle Exercise**. *Med Sci Sport Exer* 2005; 37(5):853-859.

KAUTZ, S.A., HULL, M.L., NEPTUNE, R.R., 1994. **A comparison of muscular mechanical energy expenditure and internal work in cycling**. *Journal of Biomechanics* 27, 1459Ð1467.

KELLER FJ, GETTYS WE, SKOVE MJ. **Física** - volume 1. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora; 1997.

KENNEALLY. C. **Power from the people breaks the hold of batteries and plugs.** *New York Times*, page G9, August 3 2000.

KIM H.-H., MANO N., ZHANG Y., AND A. HELLER. **A miniature membrane-less biofuel cell operating under physiological conditions at 0.5 V.** *Journal of The Electrochemical Society*, 150(2):A209–A213, 2003.

LEITE, P. F. **Fisiologia do Exercício, Ergonomia e Condicionamento Físico.** 2ª Edição Livraria Atheneo, 1986.

LOPES, IGNEZ VIDIGAL (COORD.). **O mecanismo de desenvolvimento limpo:** guia de orientação. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002.

MARINHO, A., GUGLIELMO, L. G. A. **Atividade Física na Academia: Objetivos dos Alunos e suas Implicações.** In: Congresso Brasileiro de Ciências do Esporte, 2, 1997. Anais, 1997. p. 1214.

MÁXIMO A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física.** Volume 3. São Paulo: Harbra, 1994.

McARDLE, W.D., KATCH, F.I.; KATCH, V.L, **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano.** Rio de Janeiro. Editora Guanabara, 1998.

MCCULLAGH J.C. (Ed.), **Pedal Power in Work, Leisure, and Transportation,** Rodale Press, Emmaus, PA. 1977

MELLO DM. **Ciclismo Indoor.** Rio de Janeiro: Editora Sprint; 2004.

NEPTUNE, R. R. AND A. J. VAN DEN BOGERT (1997). "Standard mechanical energy analyses do not correlate with muscle work in cycling." *Journal of Biomechanics* **31**(3): 239-245.

PANDIAN, S. R. A human power conversion system based on children' play.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício, teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho.** São Paulo: Manole, 2006.

RODRIGUES, M. A.. Protocolo de Kyoto e mecanismo de desenvolvimento limpo: uma análise jurídico-ambiental. **Interesse Público**, Porto Alegre, n. 24, p. 29-38, mar./abr. 2004.

SCHUTZ Y. **The basis of direct and indirect calorimetry and their potentials.** *Diabetes Metab Rev* 11: 383-408, 1995.

SILVA, L. P. S. **Disponibilidade de Energia Produzida em Exercício Físico Realizado em Bicicleta Estacionária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) PPGMEC Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

STARNER T., PARADISO, J. "**Human generated power for mobile electronics**", C.(ed), Low-Power Electronics, CRC Press, Chapter 45.2004.

STARNER T. **Human-powered wearable computing**. IBM Systems Journal 1996;35(3e4):618e29.

STEVENS, A.L.N., (2001) "**Application of EcoDesign Ten years of dynamic development**" In: ed. Proceedings of Ecodesign 2001, December 12-15, Tokyo, Japan

TOLMASQUIM M. GUERREIRO A. GORINI R. **matriz energética brasileira: uma prospectiva** Rio de Janeiro. Editora Guanabara, 1998

VIECELLI, A. **Ecodesign: Fator Redutor de Impacto Ambiental**. Portal do Meio Ambiente. Niteroi: Rebia – Rede Brasileira de Informacao Ambiental, 2006.

VILLALBA CB. **Manual de ciclo indoor**. Barcelona: Editorial Pai do Tribo; 2005.

WEINECK, J. **Biologia do Esporte**, São Paulo. Editora Manole, 1991.

WINTER, D.A., 1979. **A new definition of mechanical work done in human movement**. *journal of applied physiology* 46, 79-83.

UNITED STATES PATENT. Yoshimasa Tahara. **Peddaling 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. **Electricity 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 equipment**. 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.lunarbase.rutgers.edu>>. Acesso em: 10 abr. 2009.

<<http://www.srm.de/usa>>. Acesso em 20 abr. 2009.

<<http://www.polarusa.com/Products/cs/cs600.asp>>. Acesso em 19 abr. 2009.

<<http://www.inhabitat.com/2007/08/13crowd-farming-power-your-buldging-with-human-motion/>> Acesso em: 24 de Abr. 2009.

<<http://www.inhabitat.com/2007/03/06/sustainable-dance-club/>>. Acesso em: 20 de abr. 2009.

<<http://totalbodyturnaround.com>>. Acesso em: 24 de abr. 2009.

<<http://www.motorwavegroup.com/new/motorwind/californiafitness.html>>. Acesso em: 21 de abr. 2009.

<<http://www.copel.com>>. Acesso em: 20 de fev. 2009.

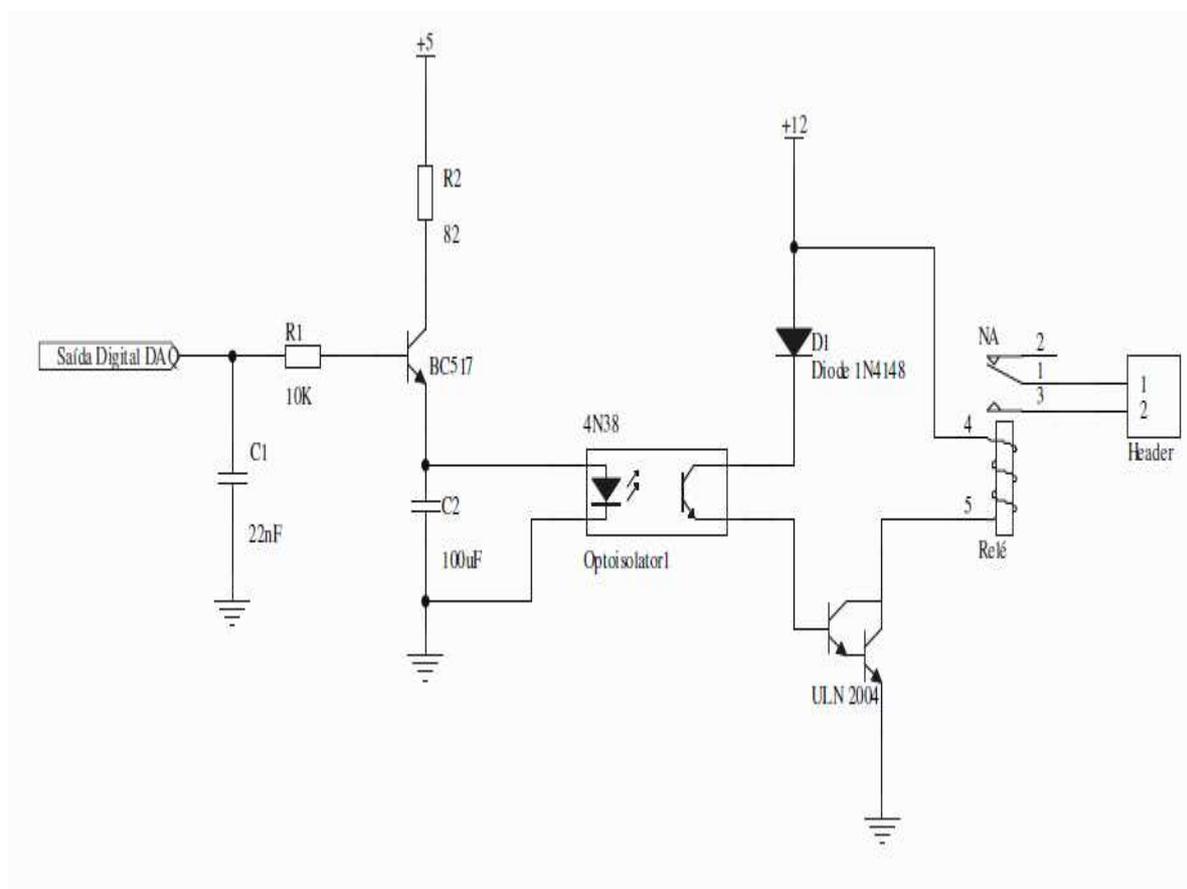
<<http://www.intactlabs.com/index.php?t=applications&x=biosensor>>. Acesso em: 22 de mar. 2009.

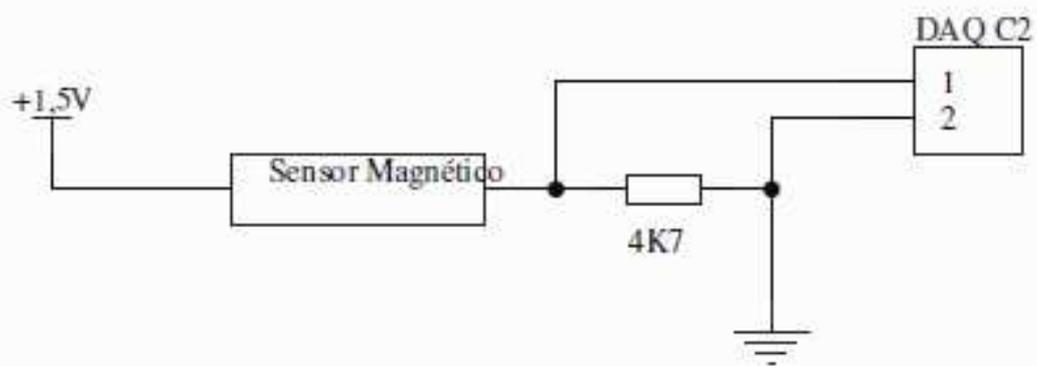
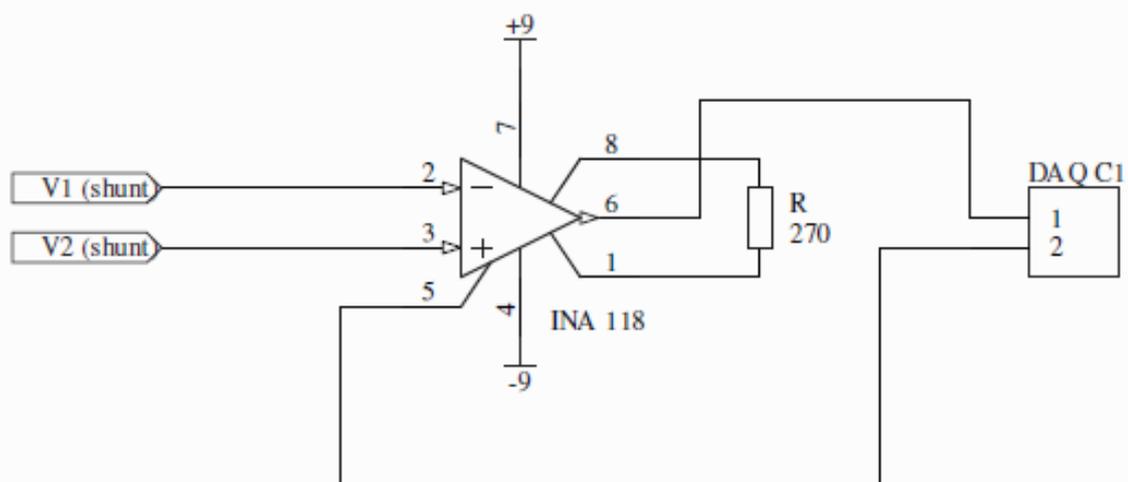
<<http://technology.newscientist.com/channel/tech/nanotechnology/dn11158>>. Acesso em: 20 de mar. 2009.

APÊNDICE

ANEXO 1-

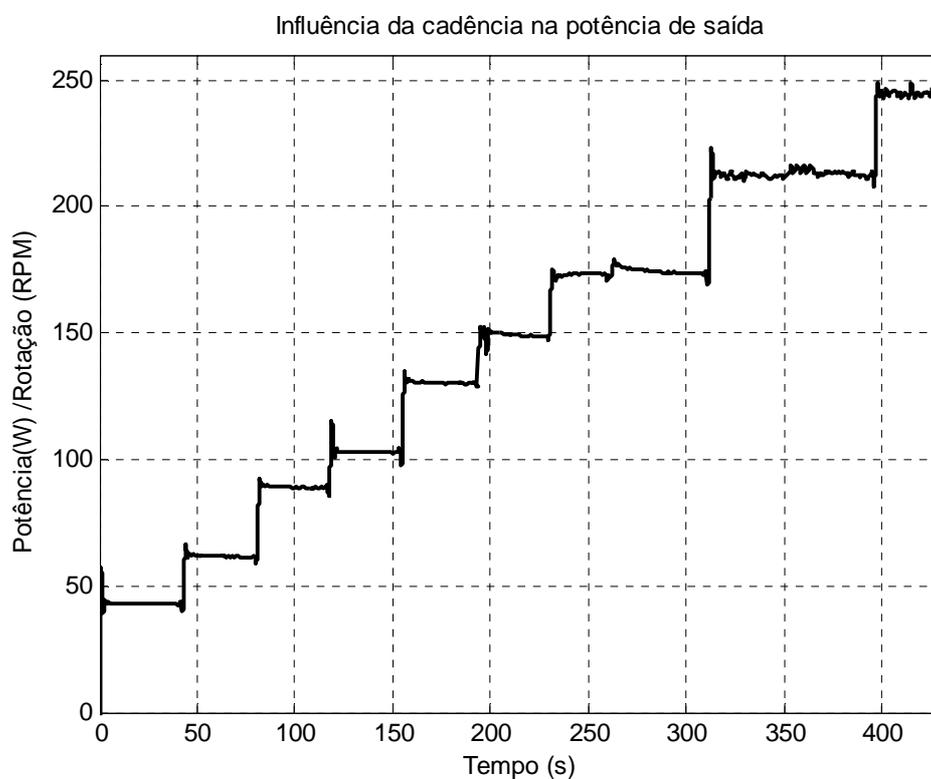
Esquemático circuito elétrico do sistema de conversão de energia utilizado no presente estudo.



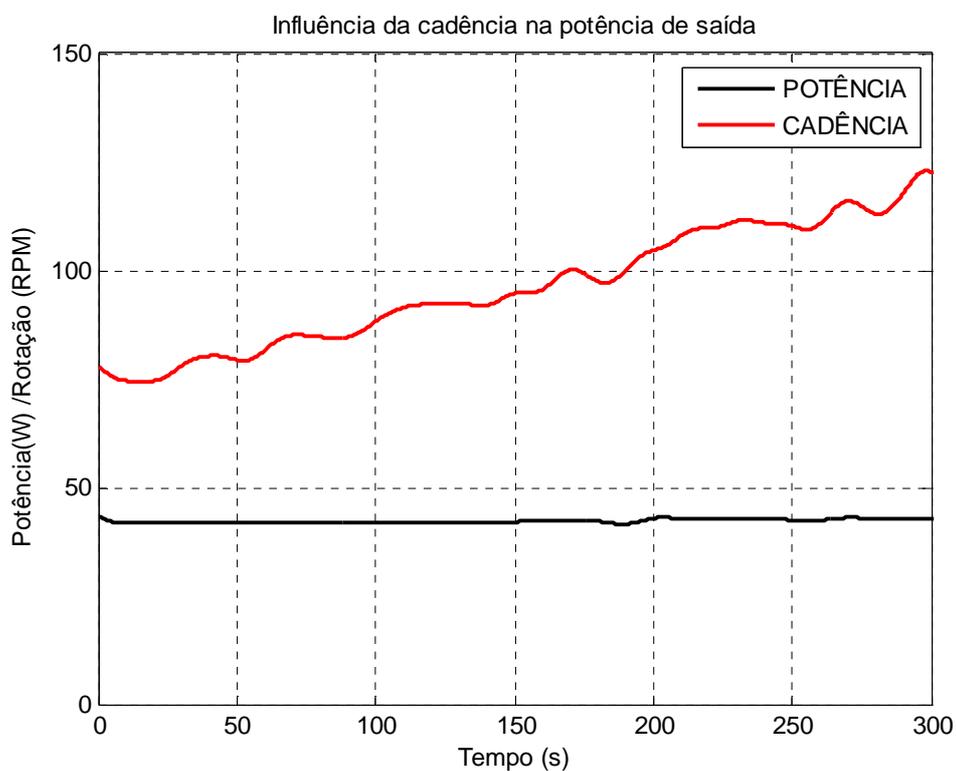


ANEXO 2- Resultados adquiridos no estudo.

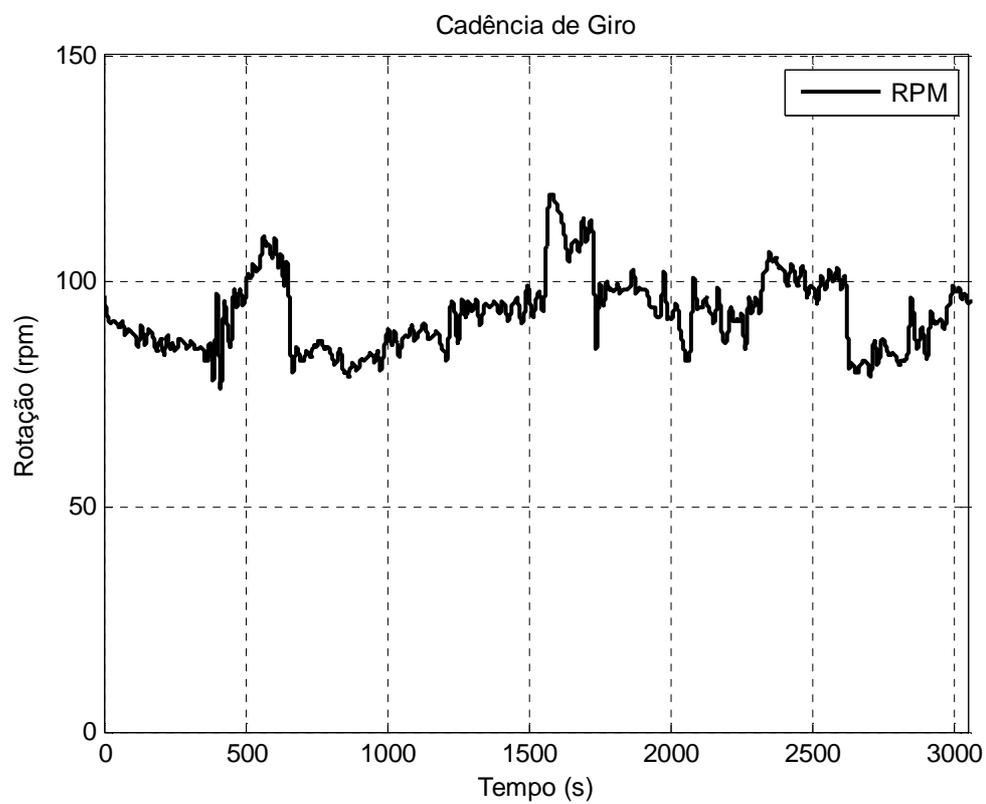
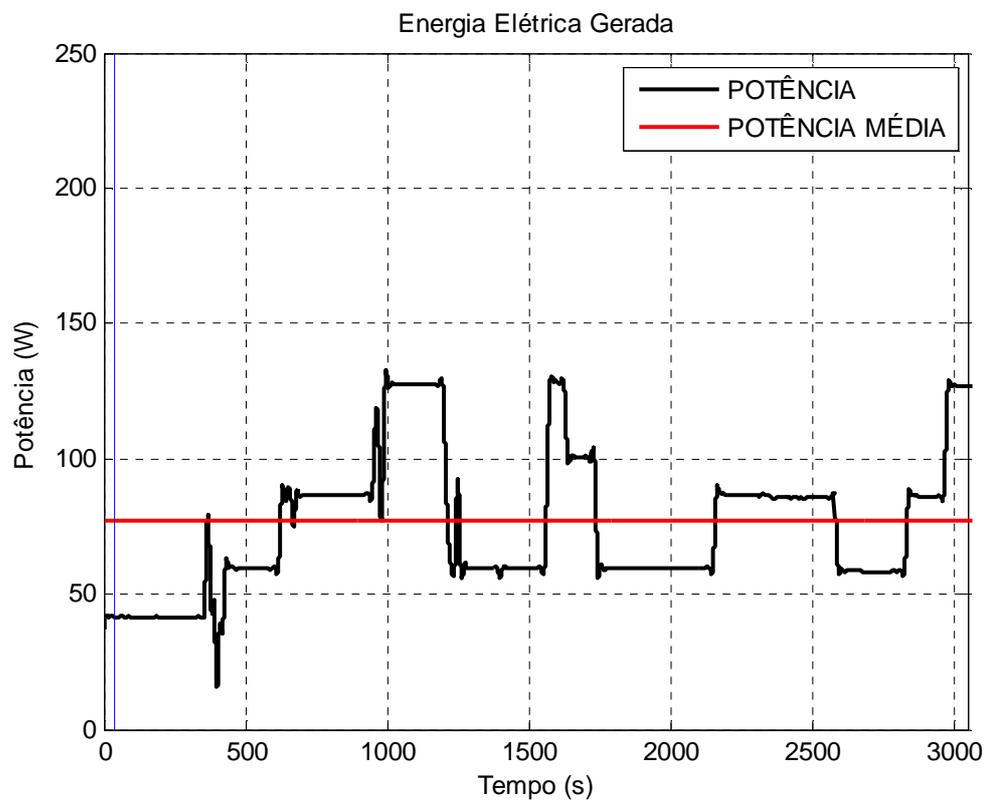
CARACTERIZAÇÃO RESISTÊNCIA ELÉTRICA



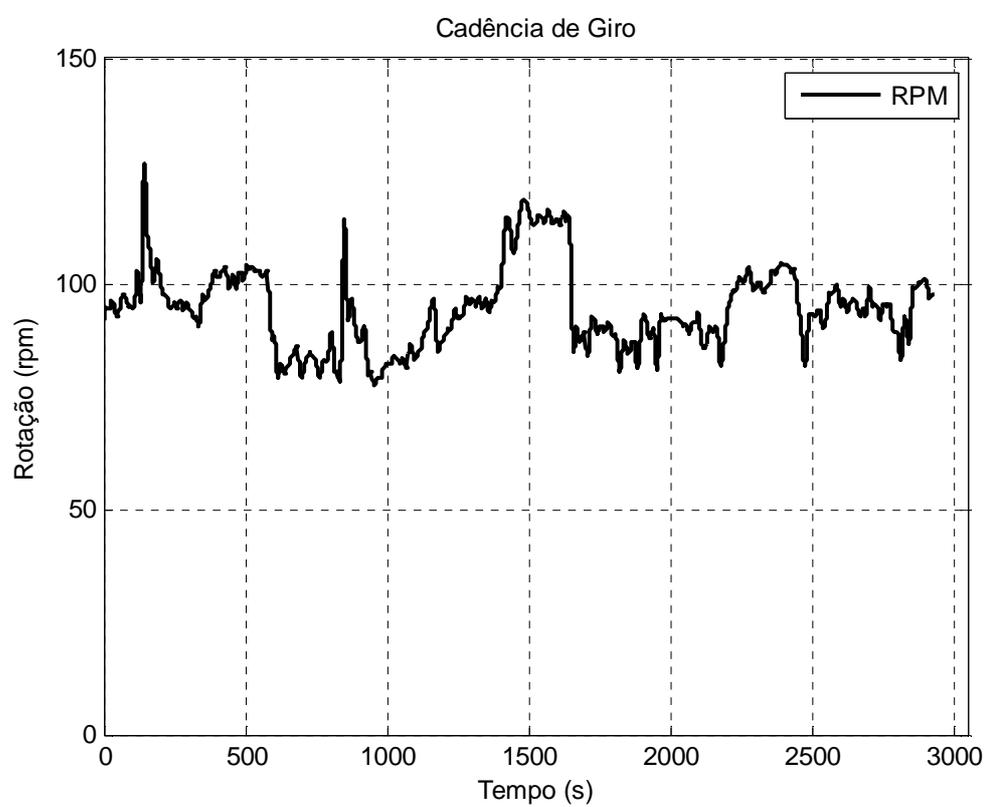
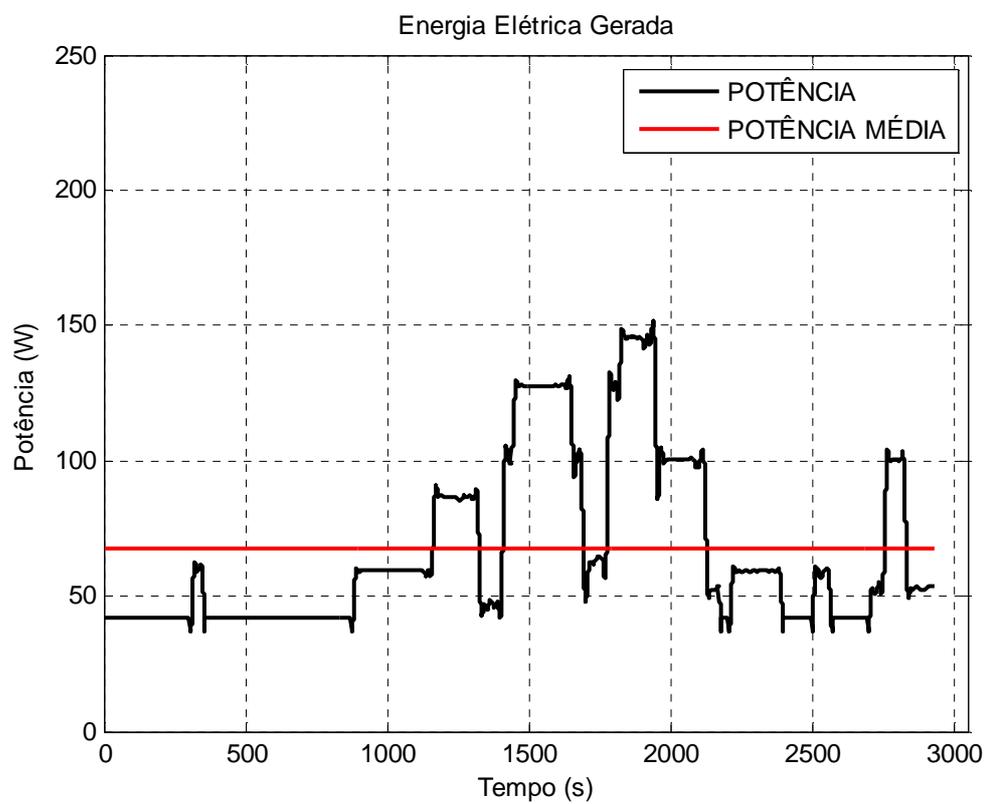
CARACTERIZAÇÃO CADÊNCIA



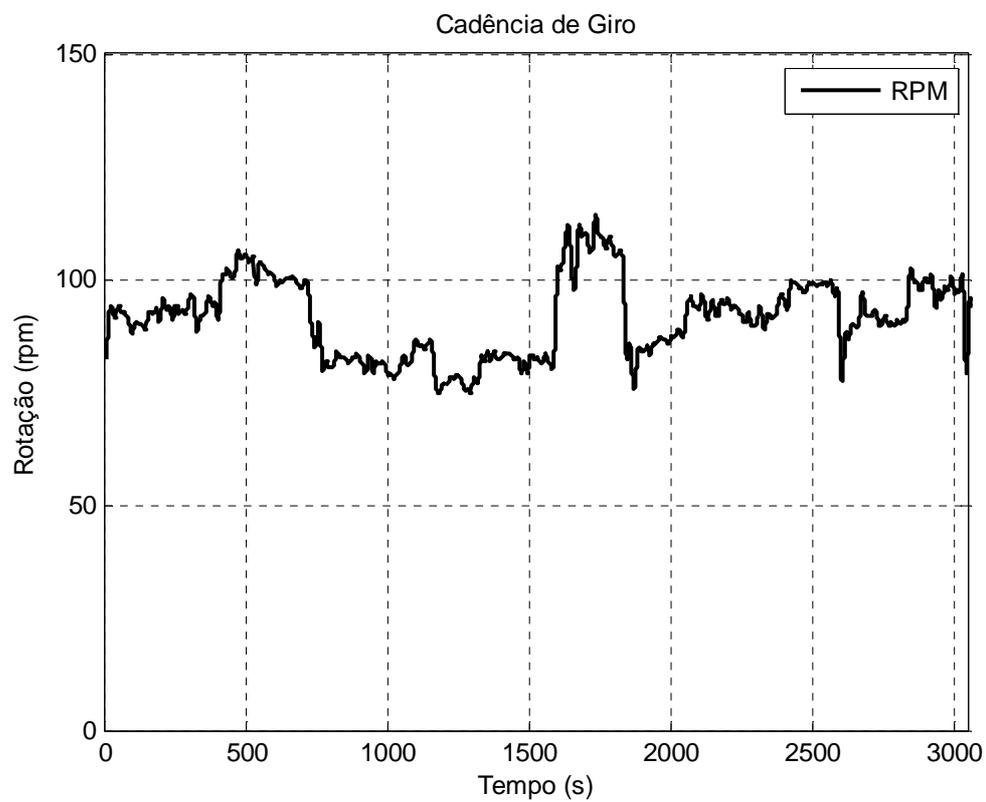
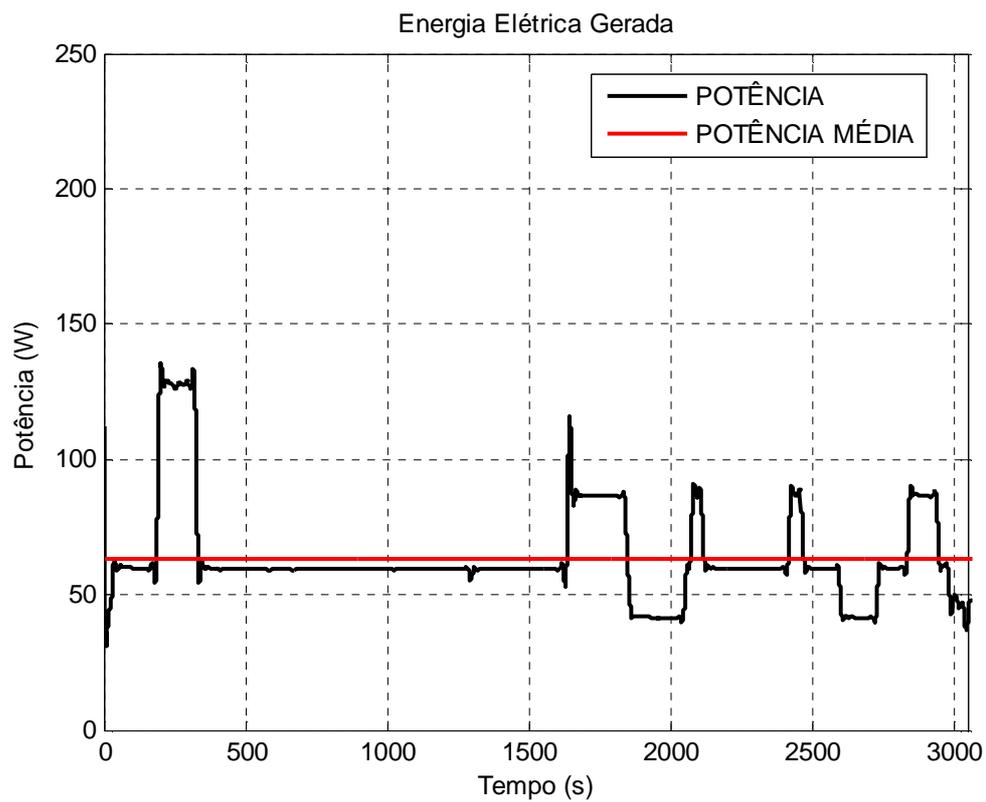
VOLUNTARIO 1

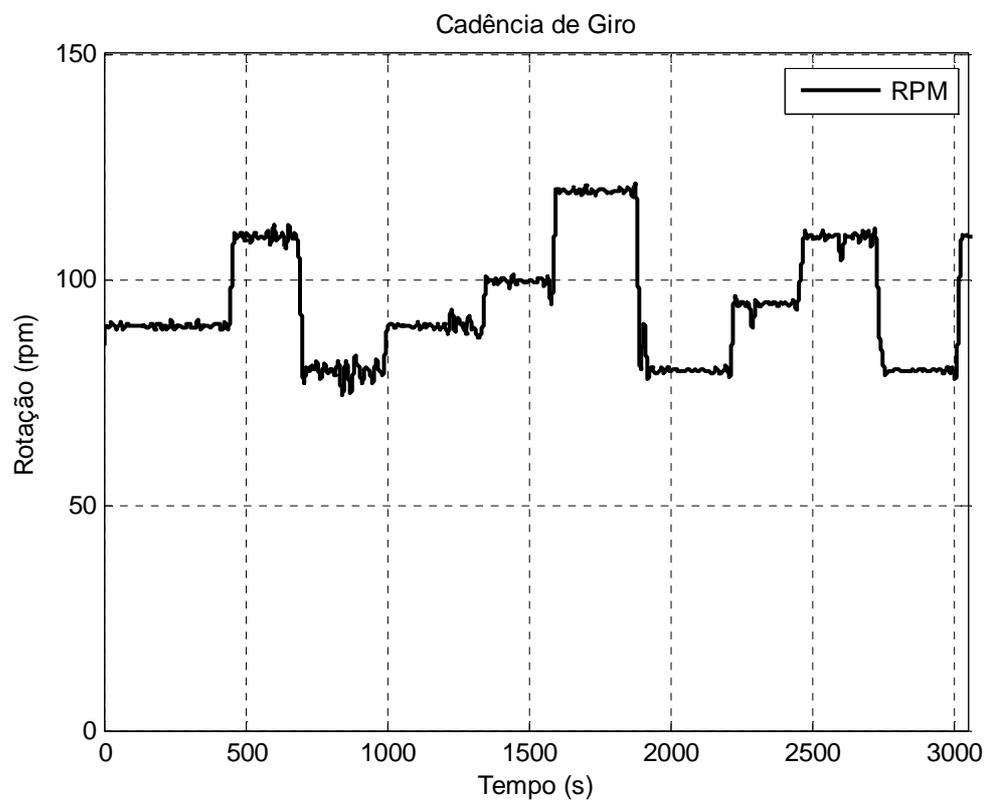
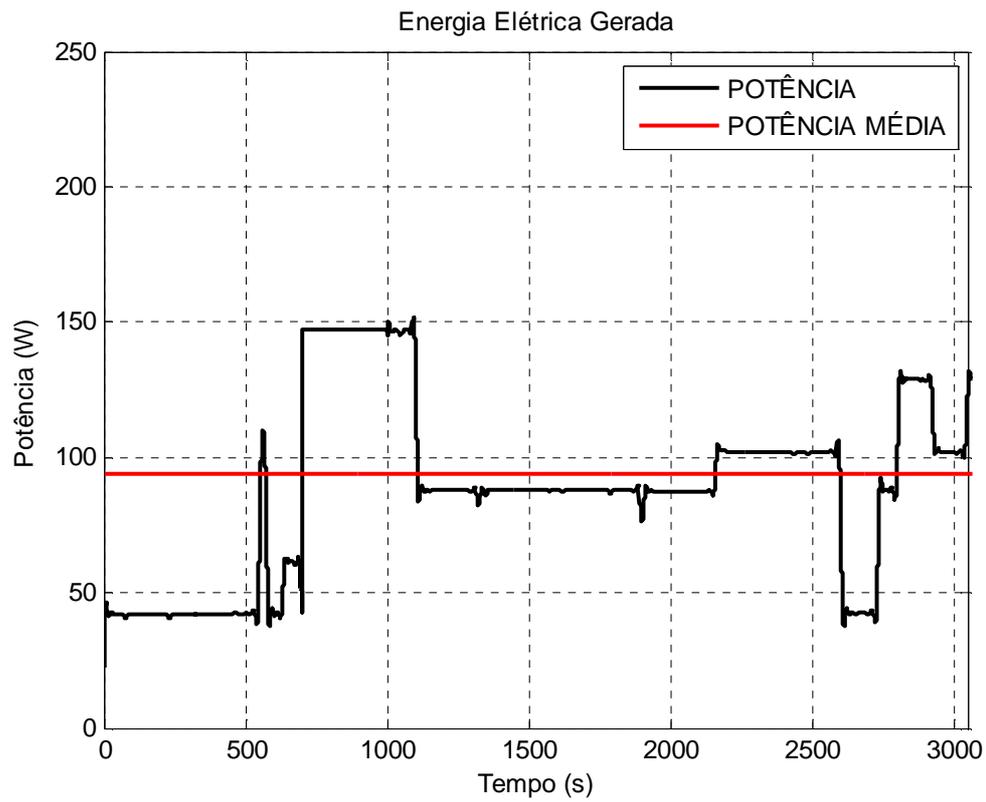


VOLUNTÁRIO 2

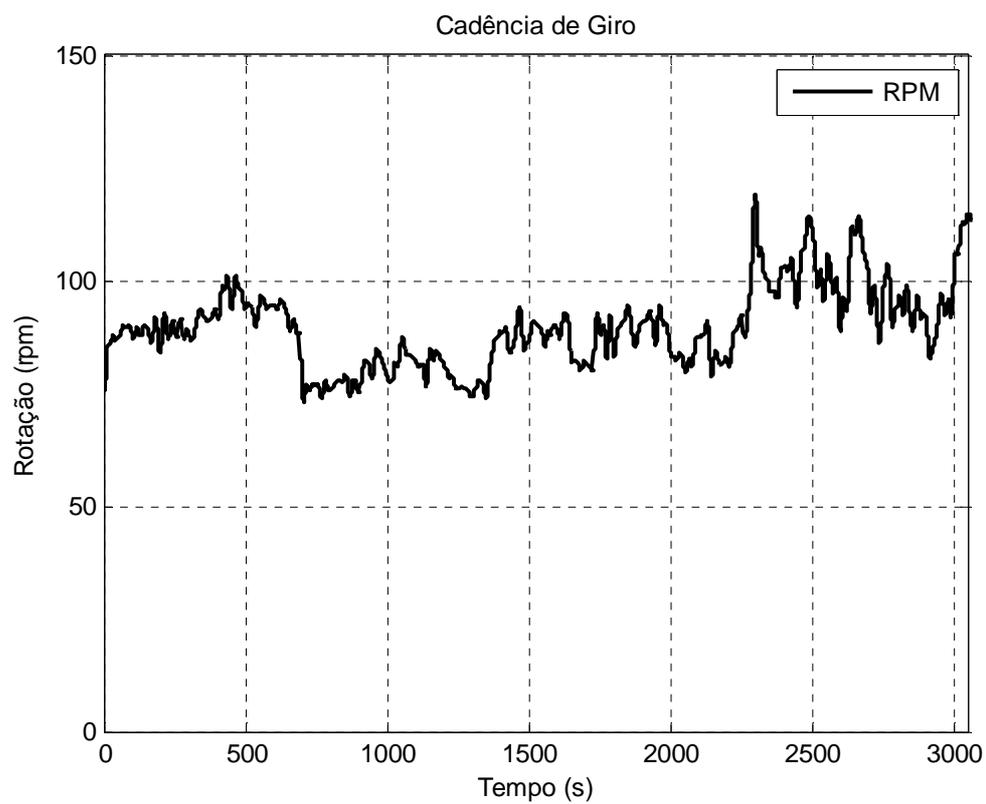
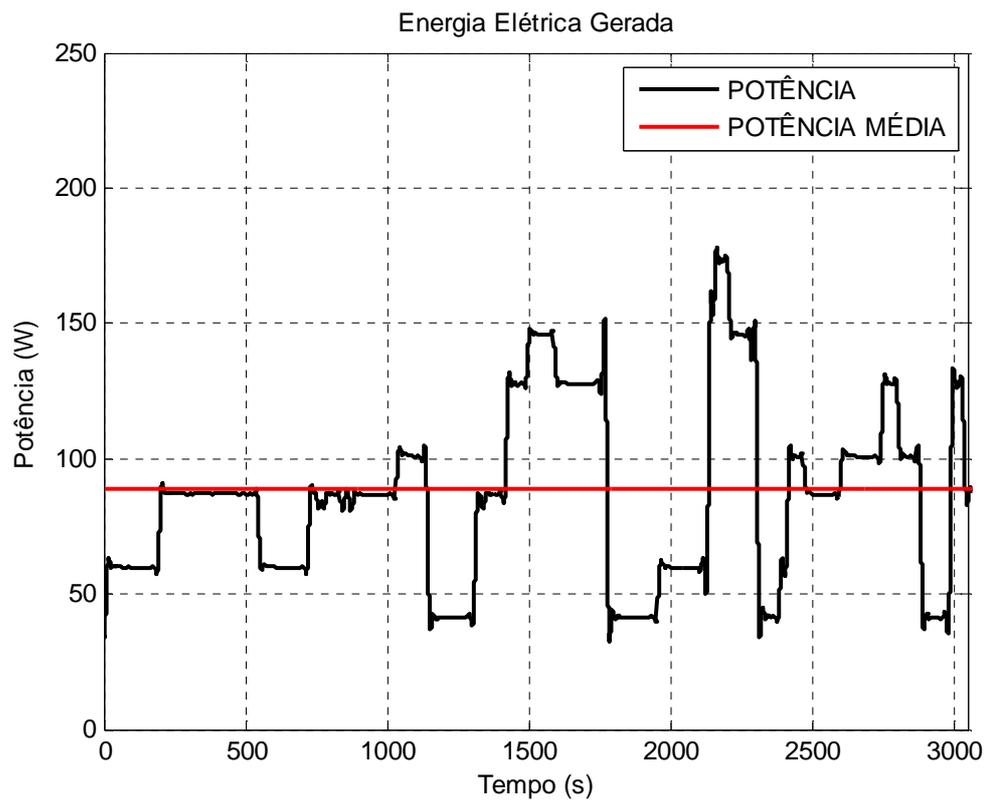


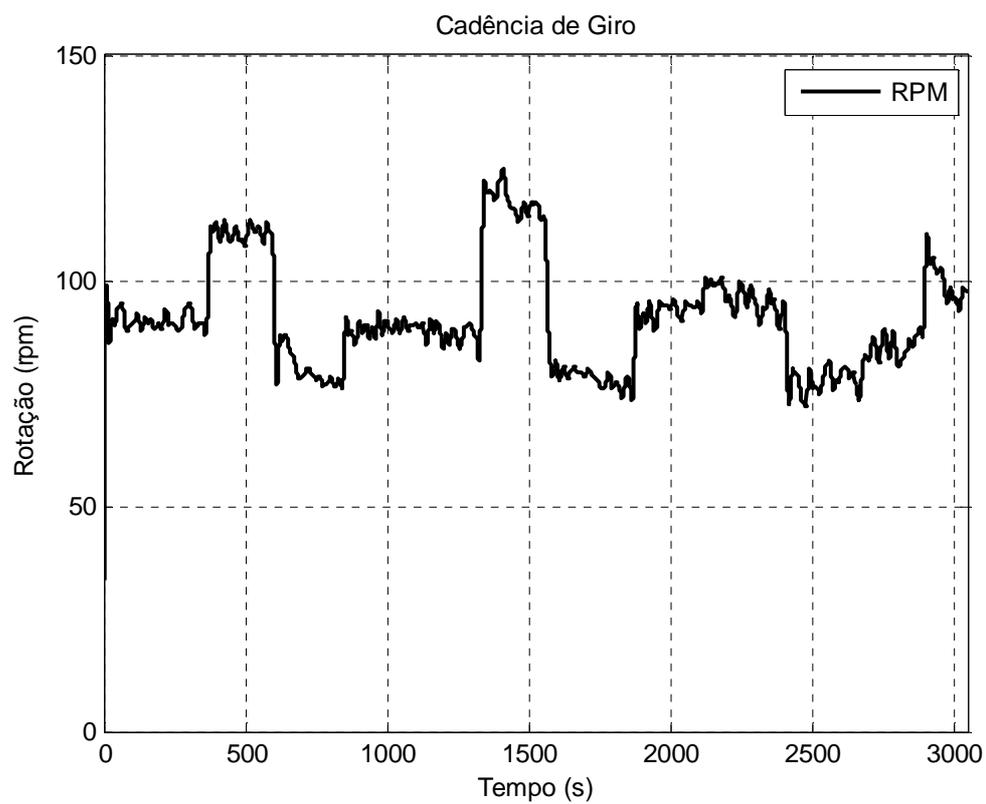
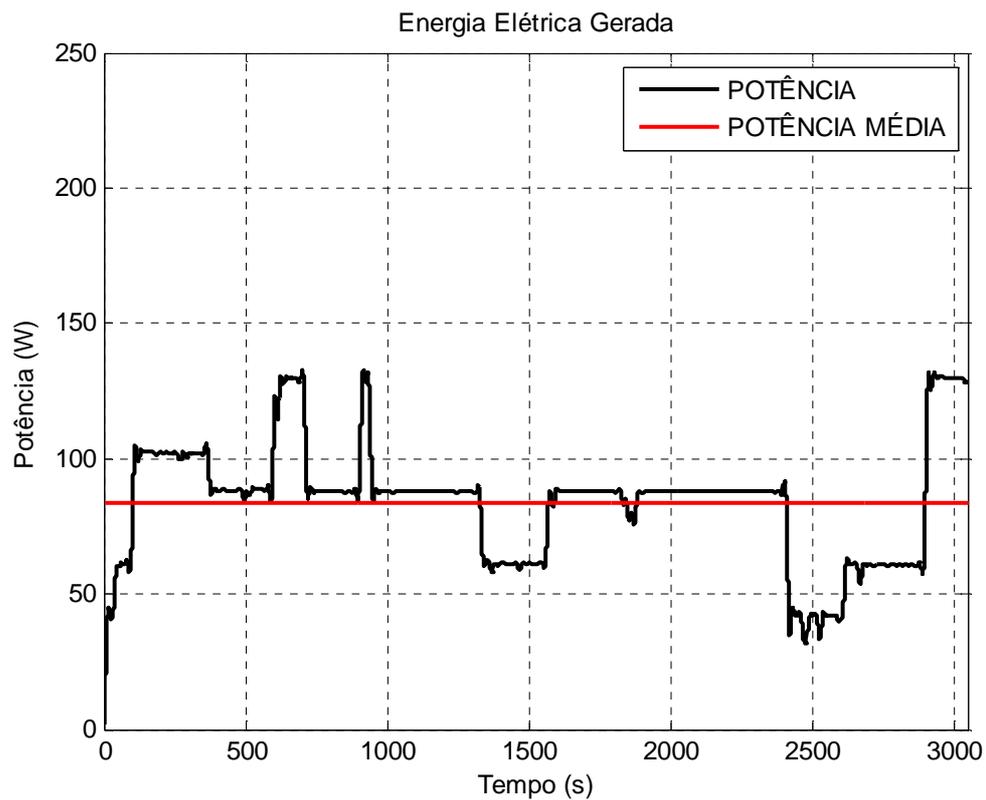
VOLUNTÁRIO 3



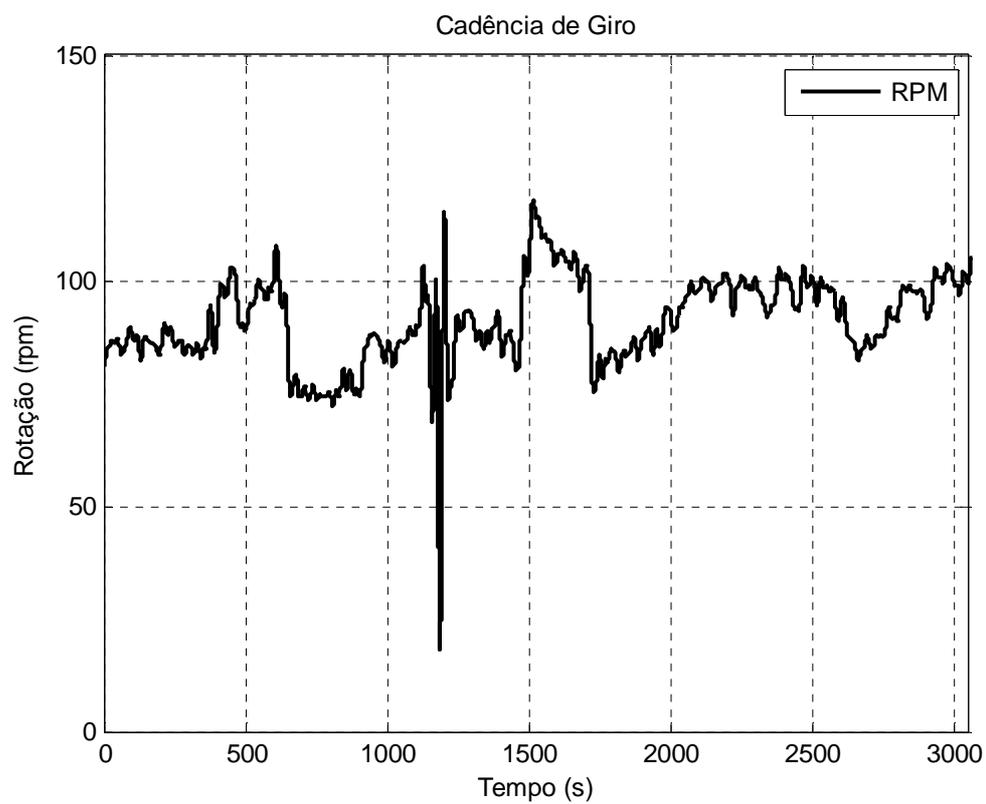
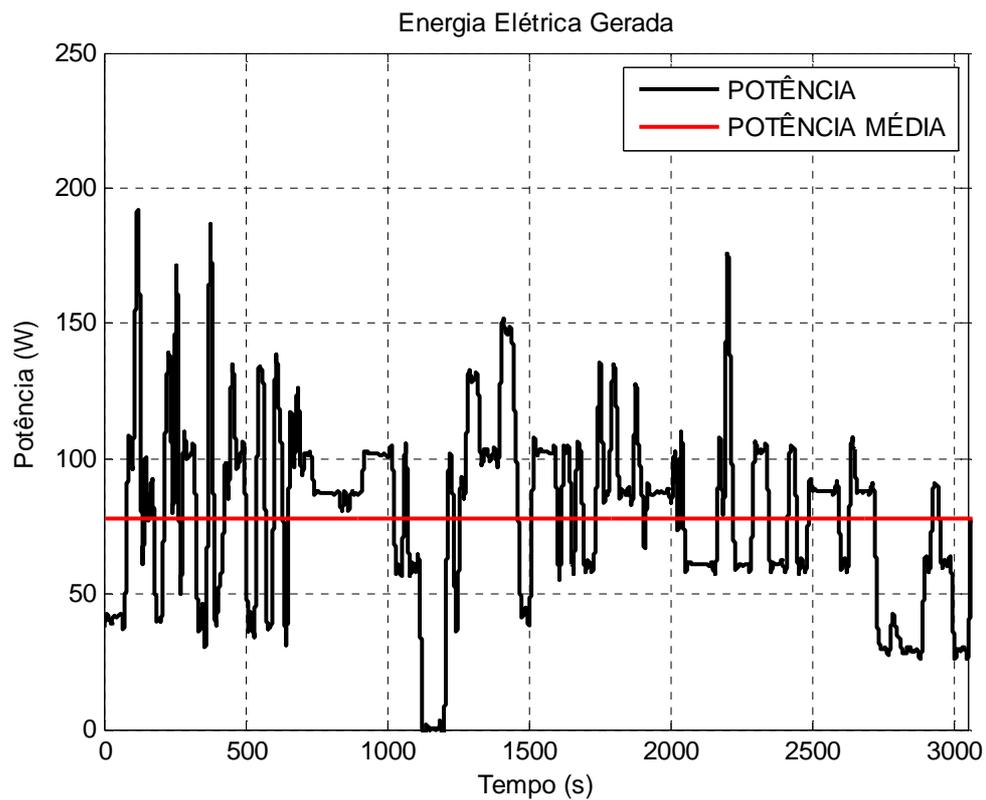


VOLUNTARIO 5

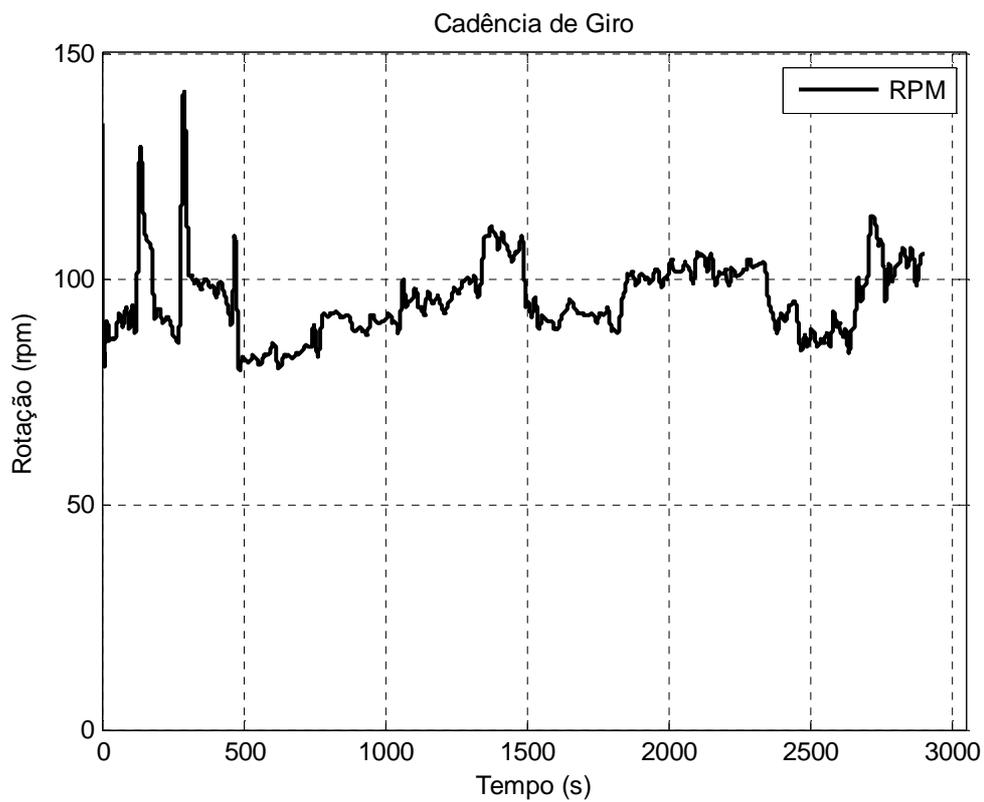
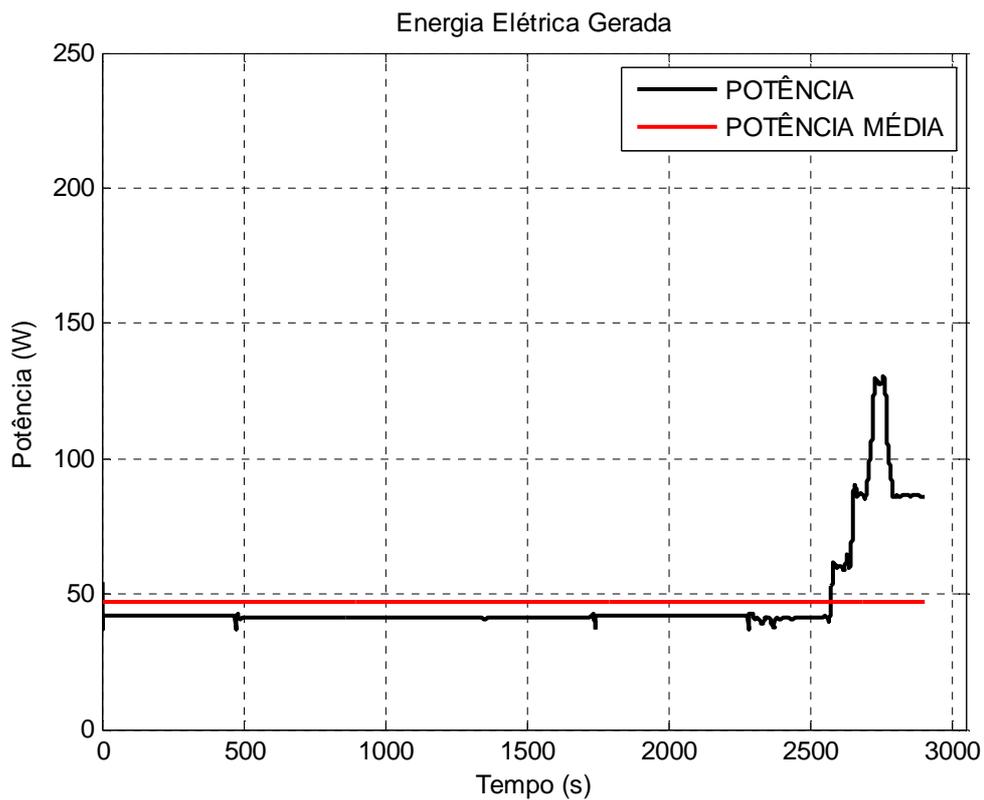


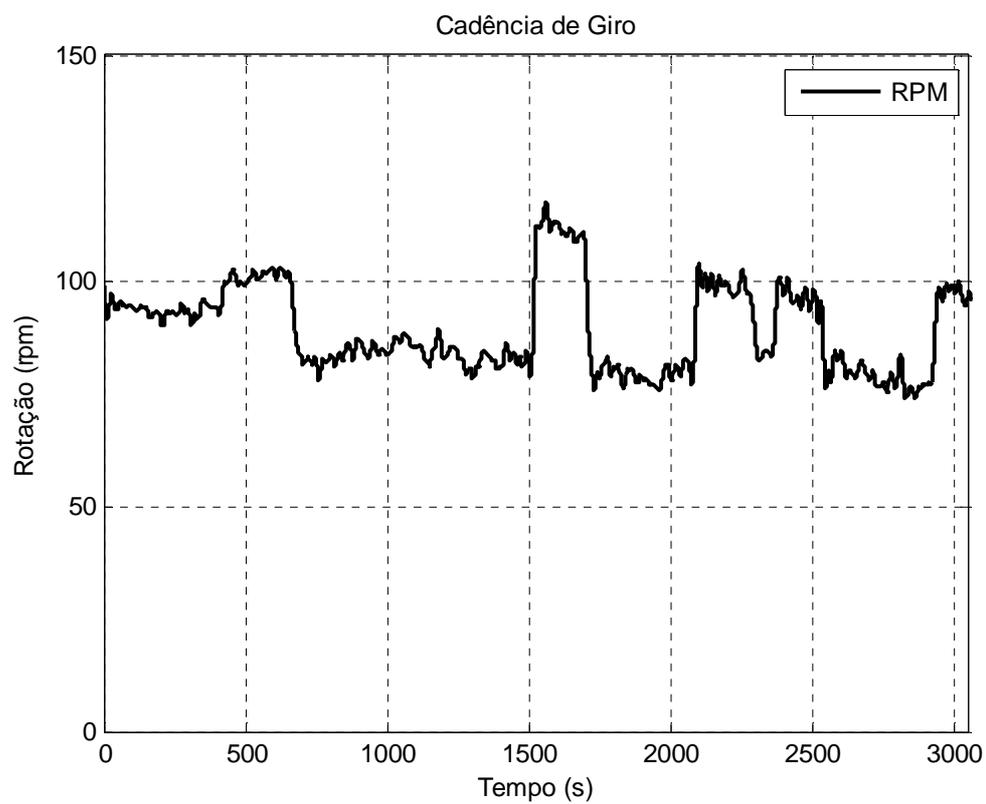
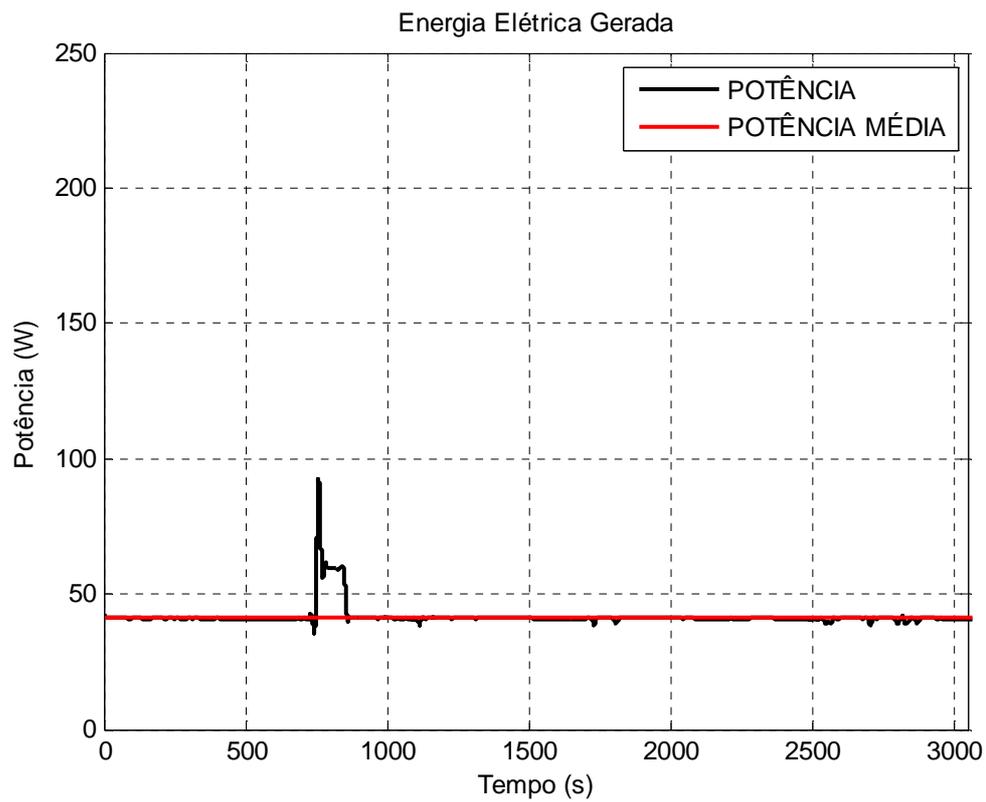


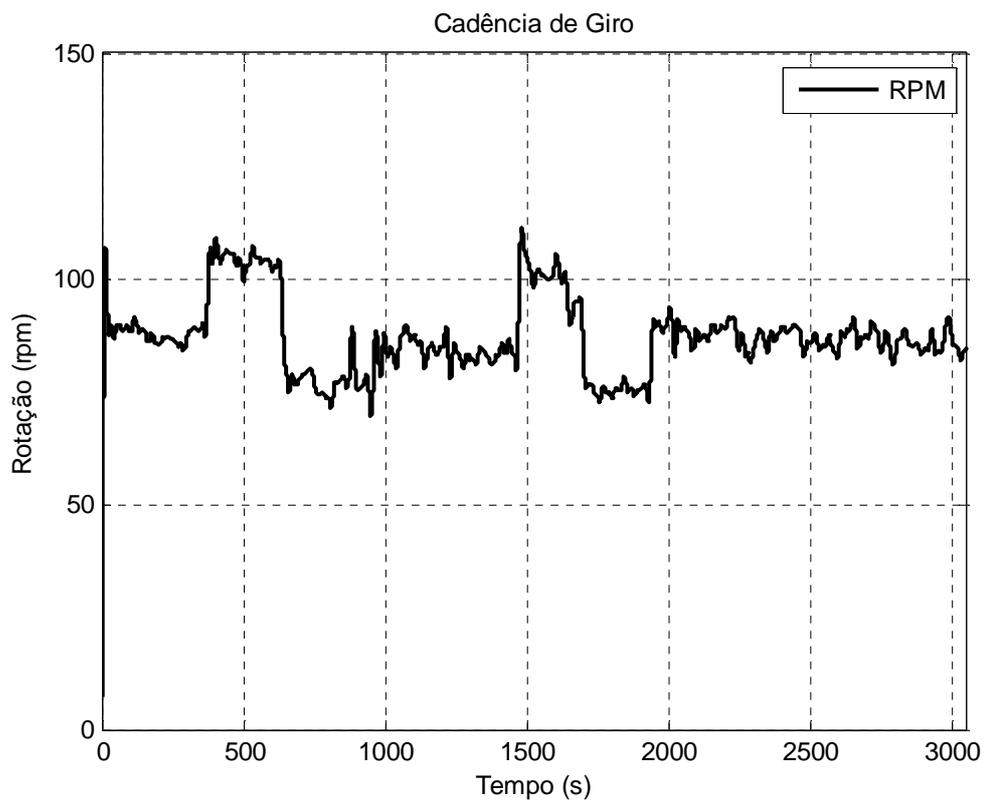
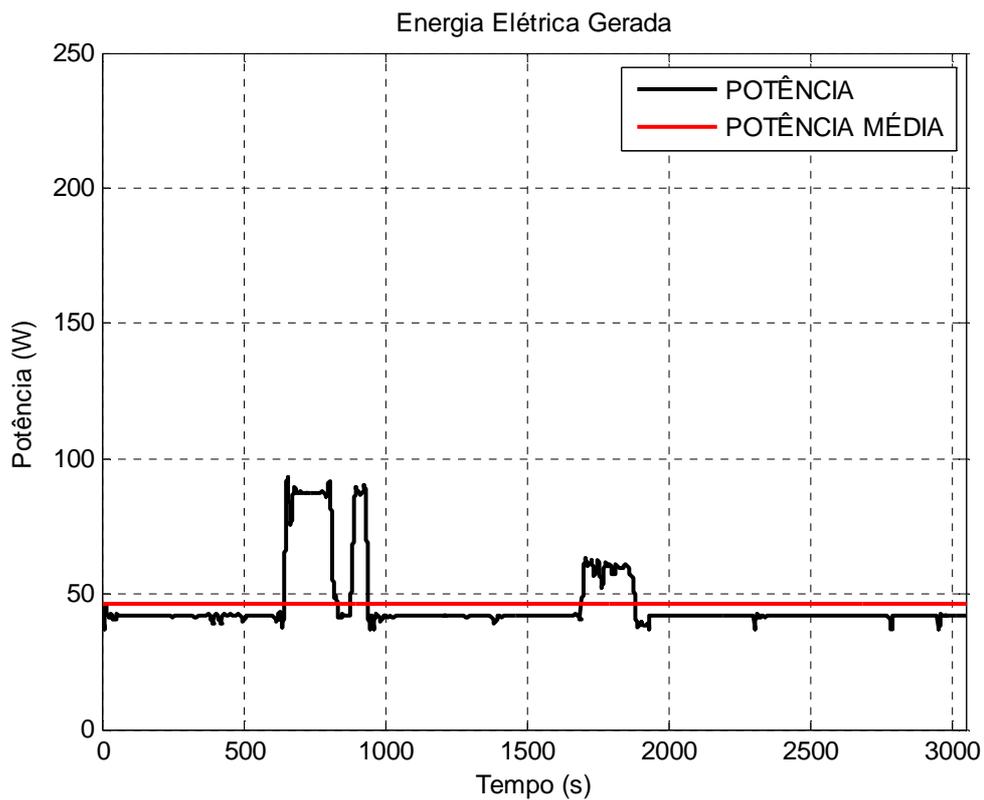
VOLUNTÁRIO 7



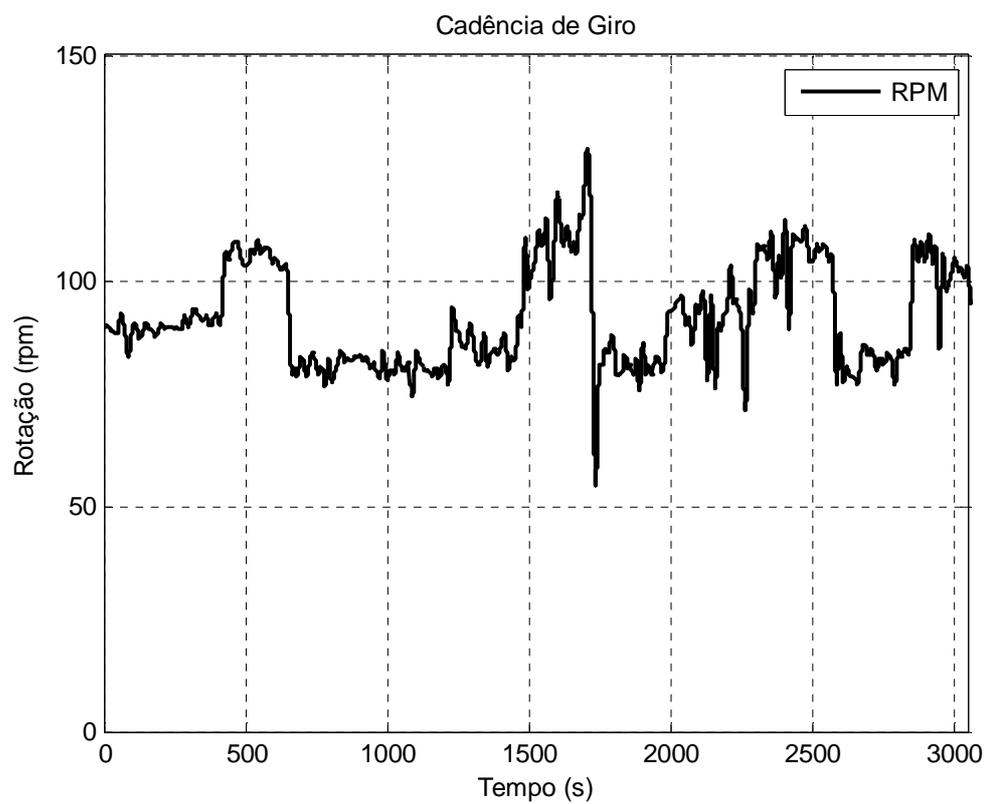
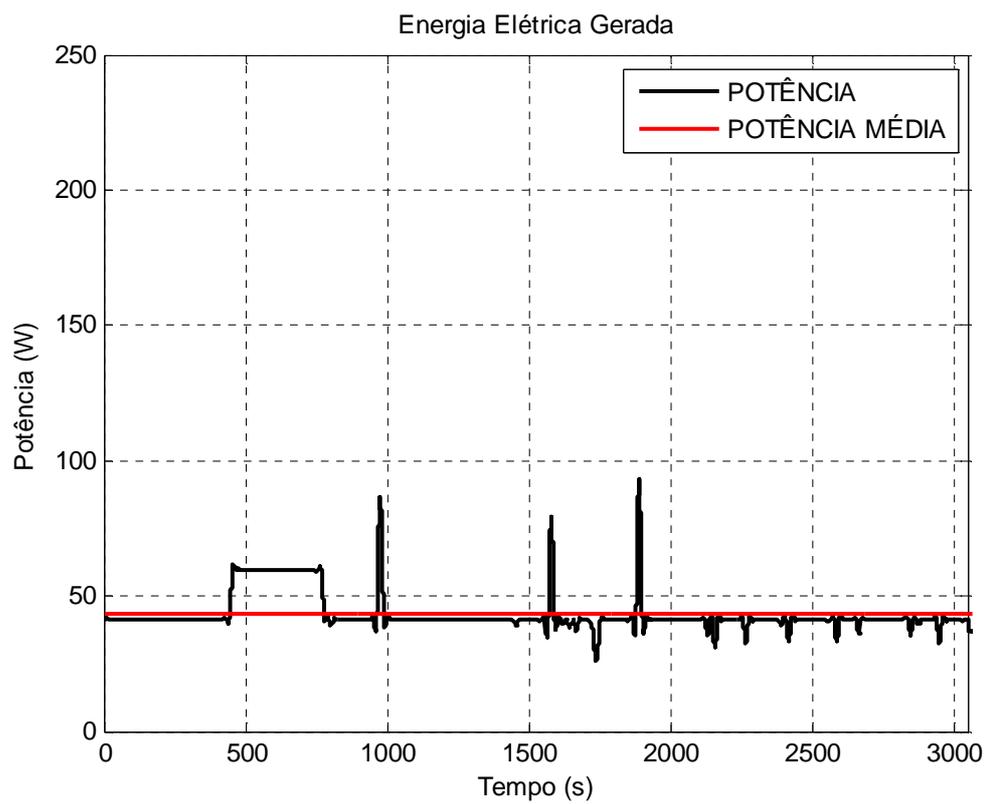
VOLUNTÁRIO 8



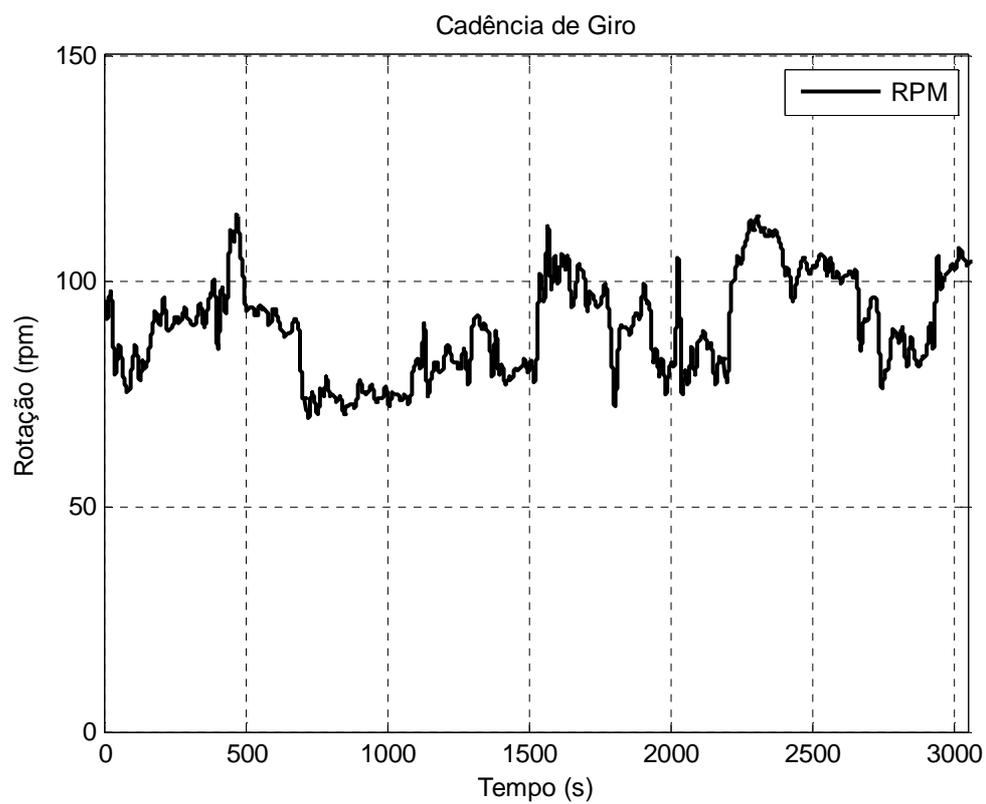
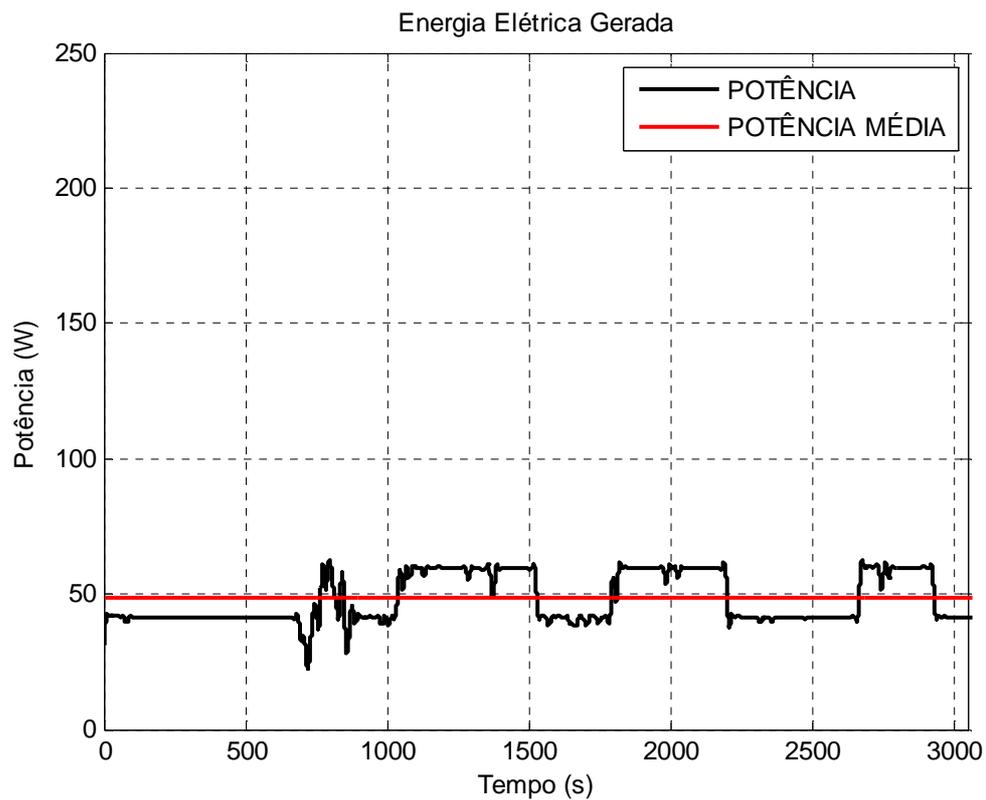


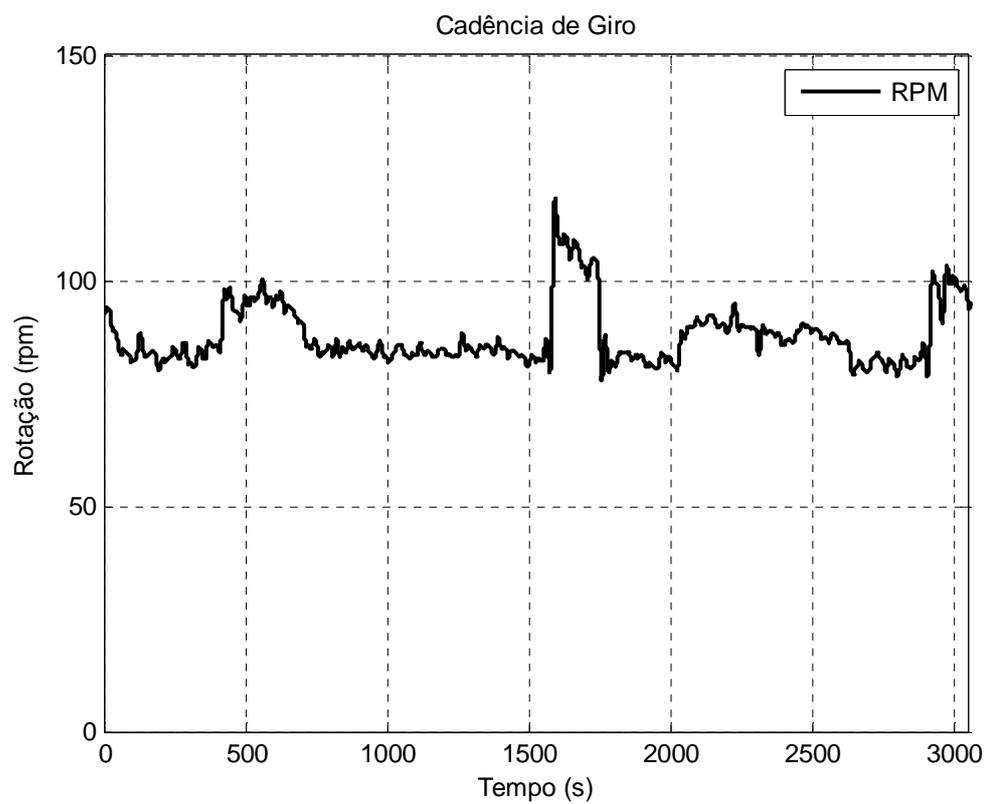
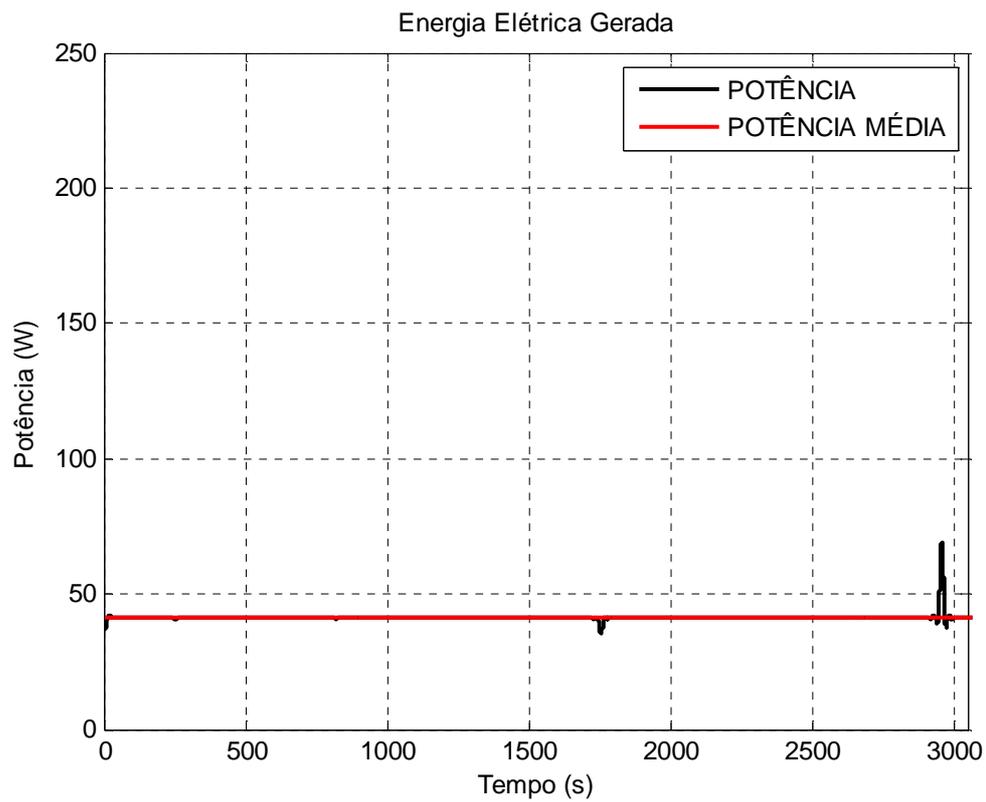


VOLUNTÁRIO 11

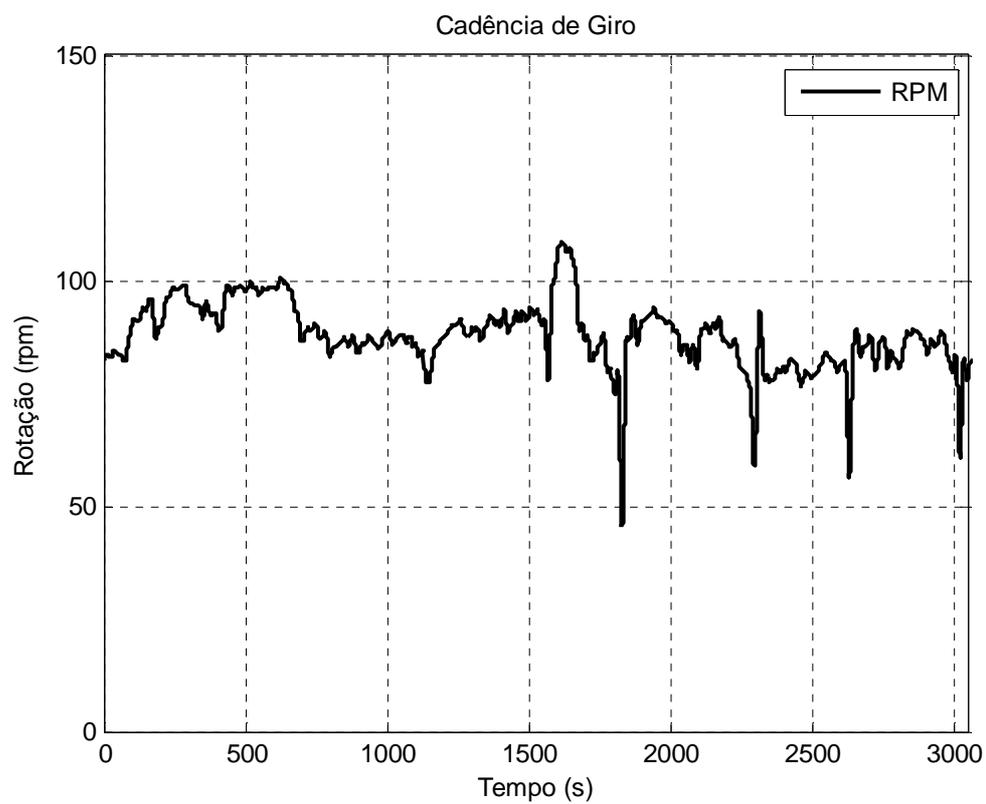
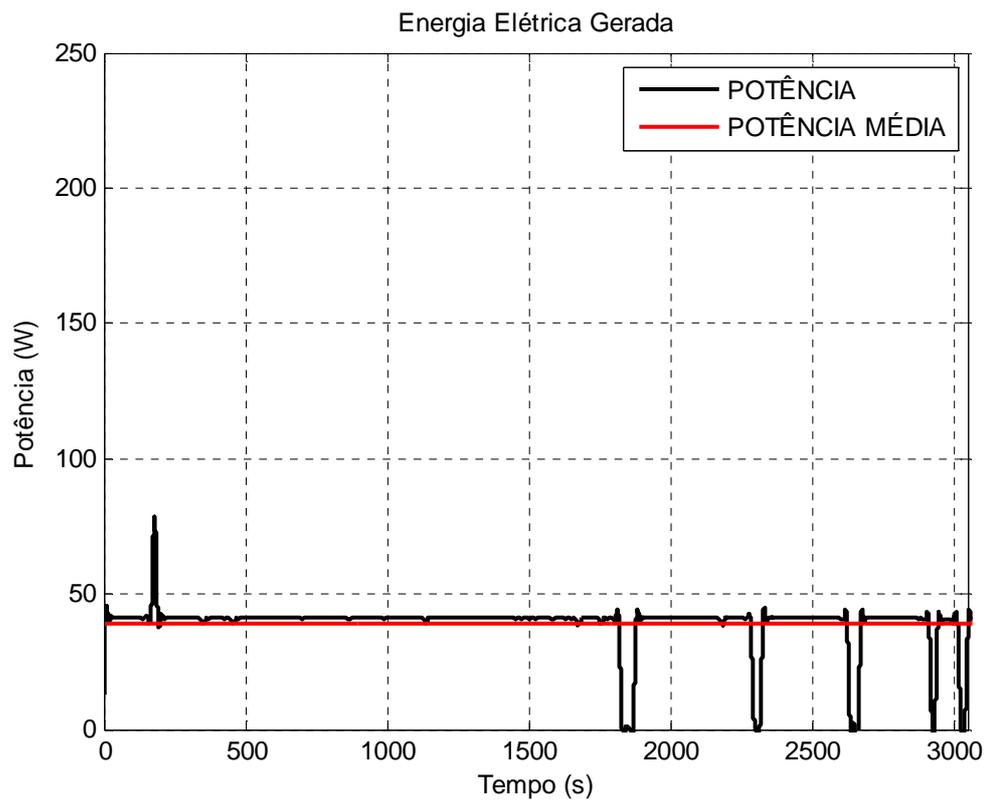


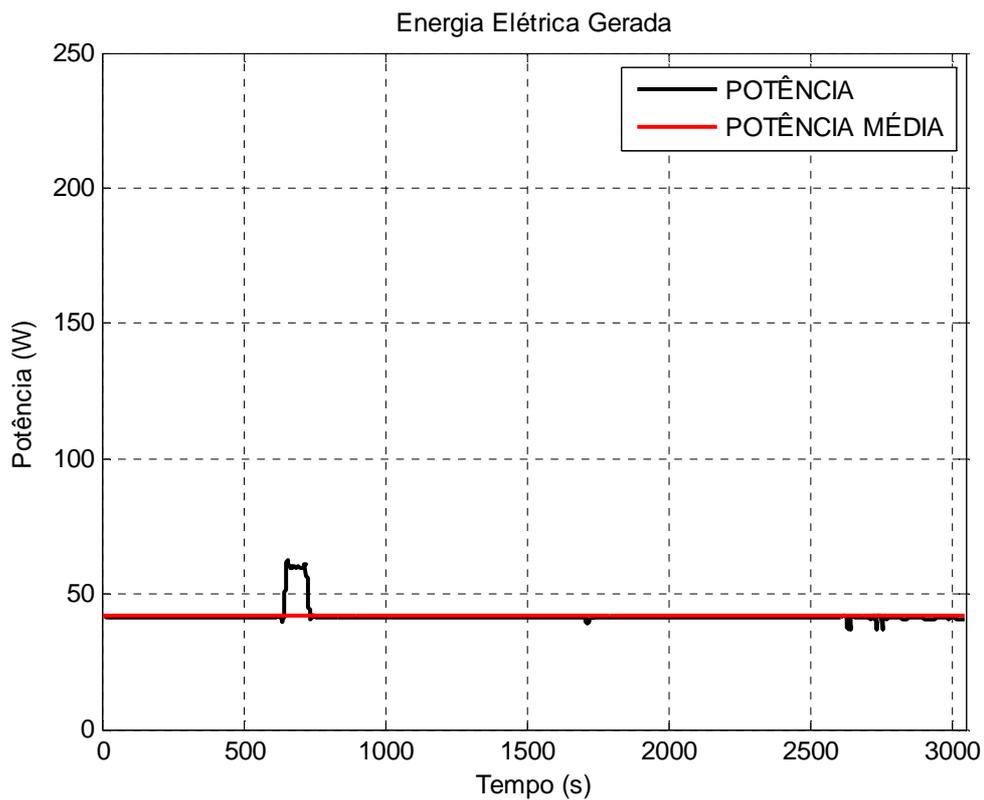
VOLUNTARIO 12





VOLUNTÁRIO 14





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](#)