

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DESCRIÇÃO COMPARATIVA DO PADRÃO ANGULAR EM BICICLETA  
ESTACIONÁRIA, MODALIDADE INDOOR, CHASSI FIXO E ARTICULADO

por

Cassiano Pinzon

Projeto para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, abril de 2012

DESCRIÇÃO COMPARATIVA DO PADRÃO ANGULAR EM BICICLETA  
ESTACIONÁRIA, MODALIDADE INDOOR, CHASSI FIXO E ARTICULADO

por

Cassiano Pinzon  
Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da  
Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira

Aprovado por:

Prof. Ph.D. Rodrigo Rico Bini .....Lab. Biomecânica / IBTeC

Prof. Dr. Eduardo Nabinger .....PPGMEC / UCS

Prof. Dr. Herbert Martins Gomes .....PROMECC / UFRGS

Prof. Ph.D. Francis Henrique Ramos França  
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 27, abril de 2012

*Dedico este trabalho a minha esposa Danielle  
a nossa filha Gabriela  
e aos meus pais Nirto e Eva.*

## **AGRADECIMENTOS**

- Ao professor Ney Francisco Ferreira pela orientação do trabalho.;
- Ao professor Eduardo Nabinger, que de alguma forma sempre disposto a contribuir;
- Ao pesquisador Rodrigo Rico Bini, pela oportunidade de tê-lo presente na avaliação deste trabalho, como também pelas inúmeras contribuições para que o mesmo se tornasse realmente uma dissertação.
- Aos colegas do PROMEC que de alguma forma contribuíram.
- Aos tios Rubens e Elisabete e a prima Bruna, sempre dispostos a oferecer algo que com certeza também fez parte da realização deste sonho.

## RESUMO

A bicicleta estacionária articulada é um tipo de equipamento disponibilizado recentemente ao mercado de *fitness*, conseqüentemente não explorado em estudos no meio acadêmico científico. Desta forma surgem alguns problemas de pesquisas, desde o fato da instrumentação deste equipamento até a escolha de metodologias e variáveis a serem estudadas para potencializar o seu uso. Este estudo foi realizado com o propósito de descrever as diferenças quanto ao padrão angular da pedalada do ciclista, ou seja, o ângulo do pedal relativo ao pedivela, utilizando-se desta nova bicicleta estacionária de ciclismo *indoor*, comparando a condição chassi fixo com o articulado. Para a instrumentação, foi acoplado um gerador e um encoder junto a roda de inércia tendo controle das variáveis carga e cadência. Para a medição do ângulo do pedal, os pedais (direito e esquerdo) da bicicleta foram substituídos por pedais instrumentados com potenciômetros, já para o registro do ângulo do pedivela, foi utilizado um sensor eletromagnético, do tipo *reed switch*. A amostra foi composta por cinco praticantes, todos devidamente adaptados com bicicletas de chassi articulado, submetidas a um protocolo pré-estabelecido, variando condição (fixo e articulado) e posição (pedalando no selim e em pé) com carga e cadência determinada. Embora a amplitude de movimento para ambos os pedais não apresentaram diferenças, em análise, os resultados apontaram que o uso do chassi articulado afeta o padrão angular do pedal durante o ciclo da pedalada, menos acentuado quando utilizou-se a posição sentado no selim, e mais acentuado quando estava-se pedalando em pé. Das posições no pedivela que apresentaram as diferenças no padrão angular durante o uso do chassi articulado, 80% foram na parte produtiva da pedalada (ângulo de 0° a 180°), e o ângulo de 150° concentrou 60% destas ocorrências. Já, tratando-se de forças no pedal, o chassi articulado apresenta evidência de ser mais eficiente do que o chassi fixo.

Palavras-chave: Ciclismo *indoor*; Padrão angular da pedalada; Bicicleta estacionária articulada.

## **ABSTRACT**

The stationary articulated bicycle is a type of equipment which is available to the fitness market only recently, and therefore it was not investigated in academic or scientific studies yet. Thus, this fact arises some problems of research, from the fact of instrumentation of this equipment to the choice of methods and variables to be studied to maximize its use. This study was conducted with the purpose to describe the differences in the angular pattern of cyclist pedaling, i.e., the angle on the pedal crank, using this new stationary bicycle of indoor cycling, by comparing the condition of the fixed chassis with the articulated one. For the instrumentation, a generator and an encoder were connected to the wheel of inertia, taking control of the load and cadence variables. To measure the angle of the pedal, the left and right pedals of the bicycle were replaced by pedals which were instrumented with potentiometers. To record the angle of the crank, we used an electromagnetic sensor, the reed switch. The sample consisted of five practitioners, all suitably adapted with articulated frame bicycles, which were subjected to a pre-established protocol, varying the condition (fixed or articulated), and the position (pedaling in the saddle or standing up), with determined load and cadence. The results indicated that the use of articulated frame affects the pattern of the pedal angle during the pedaling cycle, less marked when the sitting position on the saddle was used, and more pronounced when pedaling on the standing up position. About the positions of the crank that showed differences in angle while using the articulated frame: 80% were in the productive part of the pedaling (angle from  $0^{\circ}$  to  $180^{\circ}$ ), and the angle of  $150^{\circ}$  concentrated 60% of these incidents. The amplitude of angular movement of the pedal showed no differences between fixed and articulated frame. However, in the case of forces on the pedal, the articulated frame shows evidence of being more efficient than the fixed frame.

**Keywords:** Indoor cycling; angular pattern of pedaling; stationary articulated bicycle.

## SUMÁRIO

|            |                                                                           |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                    | <b>1</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>Objetivos.....</b>                                                     | <b>4</b>  |
| 1.1.1      | Objetivo geral.....                                                       | 4         |
| 1.1.2      | Objetivos específicos.....                                                | 4         |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                         | <b>5</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Breve histórico sobre a bicicleta.....</b>                             | <b>5</b>  |
| <b>2.2</b> | <b>Estado da arte acerca de bicicletas estacionárias articuladas.....</b> | <b>8</b>  |
| <b>2.3</b> | <b>Ciclismo estacionário.....</b>                                         | <b>12</b> |
| 2.3.1      | Técnica de pedalar no ciclismo <i>indoor</i> .....                        | 13        |
| 2.3.2      | Bicicletas no ciclismo <i>indoor</i> .....                                | 14        |
| <b>2.4</b> | <b>Biomecânica do ciclismo.....</b>                                       | <b>17</b> |
| 2.4.1      | Conceitos básicos da pedalada.....                                        | 17        |
| 2.4.2      | Movimentos articulares e seus ângulos.....                                | 19        |
| 2.4.3      | Ângulo do pedal.....                                                      | 21        |
| 2.4.4      | Forças exercidas sobre os pedais.....                                     | 22        |
| <b>2.5</b> | <b>Instrumentação no ciclismo <i>indoor</i>.....</b>                      | <b>27</b> |
| 2.5.1      | Calibração do sistema proposto por Turra.....                             | 29        |
| <b>3</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                           | <b>32</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Instrumentação – potência e cadência.....</b>                          | <b>32</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Instrumentação – ângulo do pedal.....</b>                              | <b>35</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Amostra e condições da coleta de dados.....</b>                        | <b>37</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS.....</b>                                                    | <b>39</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Visão geral dos gráficos coletados.....</b>                            | <b>39</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Cadência e potência.....</b>                                           | <b>40</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Ângulo do pedal relativo ao pedivela.....</b>                          | <b>40</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Comparações entre chassi fixo e chassi articulado.....</b>             | <b>42</b> |
| 4.4.1      | Posição onde ocorrem as diferenças.....                                   | 44        |
| 4.4.2      | Ângulo máximo e mínimo.....                                               | 48        |

|            |                                                                |           |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5</b>   | <b>DISCUSSÃO.....</b>                                          | <b>54</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                          | <b>56</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Trabalhos futuros .....</b>                                 | <b>56</b> |
| <b>7</b>   | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                        | <b>57</b> |
| <b>8</b>   | <b>APÊNDICES .....</b>                                         | <b>62</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Apêndice A - Termo de consentimento livre.....</b>          | <b>62</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Apêndice B - Curvas e médias, sujeitos B, C, D e E.....</b> | <b>63</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 – Bicicleta estacionária de chassi articulado: (a) RealRyder [adaptado de Irving et. al., 2009], (b) Movebike [adaptado de Pinzon, 2009].....                                      | 1  |
| Figura 1.2 – Princípio básico de funcionamento da bicicleta estacionária de chassi articulada Movebike [adaptado de Pinzon, 2009]. .....                                                      | 2  |
| Figura 2.1 – Celerífero [Pequini, 2000].....                                                                                                                                                  | 5  |
| Figura 2.2 – Bicicleta Draisiana [Hinault, 1988].....                                                                                                                                         | 6  |
| Figura 2.3 – Bicicleta com pedais [Lallement, 1866].....                                                                                                                                      | 6  |
| Figura 2.4 – Bicicleta com roda dianteira maior [Hinault, 1988].....                                                                                                                          | 7  |
| Figura 2.5 – Bicicleta comum [Hinault, 1988].....                                                                                                                                             | 7  |
| Figura 2.6 – Bicicleta do tipo equipamento atlético: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Harabayashi, 1991]. .....                                                        | 8  |
| Figura 2.7 – Equipamento proposto pelo autor: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Chang, 2000]. .....                                                                     | 9  |
| Figura 2.8 – Bicicleta <i>indoor</i> para exercício físico [adaptado de Lim et al., 2001]. .....                                                                                              | 10 |
| Figura 2.9 – Aparato de treinamento: (a) bicicleta, (b) possíveis deslocamentos [adaptado de Badarneh et al., 2005]. .....                                                                    | 10 |
| Figura 2.10 – Bicicleta de exercício para exercitar múltiplos elementos: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Irving et al., 2009]. .....                                  | 11 |
| Figura 2.11 – Bicicleta estacionária rotulada: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [Pinzon, 2009].....                                                                                 | 11 |
| Figura 2.12 – Ciclismo estacionário: (a) bicicleta estacionária, (b) <i>Velodyne</i> da marca Swin, (c) simulador de três rolos [Nabinger, 1997].....                                         | 12 |
| Figura 2.13 – Biobike: (a) ciclo ergômetro, (b) software [adaptado de Mabey et. al., 2010]. .....                                                                                             | 12 |
| Figura 2.14 – Bicicleta específica para prática do ciclismo <i>indoor</i> da marca <i>Schwinn</i> , modelo A.C. <sup>TM</sup> <i>Performance</i> [Schwinn Fitness, 2011]. .....               | 15 |
| Figura 2.15 – Bicicleta estacionária articulada e seus graus de liberdade: (a) bicicleta, (b) trava de acionamento da articulação, (c) deslocamento angular permitido [Movebike, 2011]. ..... | 16 |
| Figura 2.16 – Ciclo de pedivela ou ciclo de pedalada [Carpes, 2006]. .....                                                                                                                    | 18 |
| Figura 2.17 – Força efetiva sobre o pedivela, (I) região produtiva e (II) contraprodutiva [Nabinger, 2006; adaptado de Gregor, 2000]. .....                                                   | 18 |
| Figura 2.18 – Planos e movimentos: (a) planos anatômicos de referência, (b) movimentos articulares característicos [adaptado de Burke, 1996]. .....                                           | 19 |
| Figura 2.19 – Segmentos e seus ângulos articulares [adaptado de Ambrosini, 1990]. .....                                                                                                       | 20 |
| Figura 2.20 – Ângulos: (a) do pedivela, (b) relativo, (c) do pedal [Nabinger, 2006].....                                                                                                      | 21 |
| Figura 2.21 – Ângulo do pedal em um ciclista durante um ciclo de pedalada: (a) curva, (b) valores numéricos ilustrados com intervalos de 22,5° [adaptado de Nabinger, 2006]. .....            | 21 |
| Figura 2.22 – Forças mecânicas envolvidas no ciclo da pedalada, F=Força resultante no pedal, Fr=Força radial, Ft=Força tangencial e M=Momento. ....                                           | 22 |
| Figura 2.23 – Ilustração das forças que atuam no ciclo da pedalada: FN=Força normal, FT=Força tangencial, FR=Força resultante e FE=Força efetiva [Adaptado de Bini, 2011b]. .....             | 23 |

|                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.24 – Média de torque nas posições pedivela a 0°, 45°, 90°, 135° e 180° em potência aeróbica máxima, terreno plano (L) e subida (U), sentado sobre o selim, em diferentes cadências (80 e 100 rpm) [adaptado de Bertucci et al., 2005].     | 24 |
| Figura 2.25 – Força efetiva em função do ângulo do pedivela: (a) com impulsos propulsivo e resistivo, [Bini et al., 2009], (b) no início e fim dos 40 km [Carpes et al., 2005].                                                                     | 25 |
| Figura 2.26 – Força resultante e força efetiva em função do ângulo do pedivela: (a) média de 10 ciclos com o selim na posição de referência [Diefenthaeler et al., 2005], (b) média de 40 ciclos pedalando sentado sobre o selim [Nabinger., 2006]. | 26 |
| Figura 2.27 – Gerador acoplado a roda de inércia [adaptado de Turra, 2008].                                                                                                                                                                         | 27 |
| Figura 2.28 – Diagrama de blocos do sistema [Turra, 2008].                                                                                                                                                                                          | 28 |
| Figura 2.29 – Placa do sistema [Turra, 2008].                                                                                                                                                                                                       | 29 |
| Figura 2.30 – Calibração do sistema [Turra, 2008].                                                                                                                                                                                                  | 30 |
| Figura 2.31 – Potência total fornecida pela roda de inércia.                                                                                                                                                                                        | 31 |
| Figura 3.1 – Bicicleta Movebike instrumentada.                                                                                                                                                                                                      | 32 |
| Figura 3.2 – Alternador da marca Bosch, 14V e 20 – 30A.                                                                                                                                                                                             | 33 |
| Figura 3.3 – Fonte de alimentação para a tensão de campo no alternador.                                                                                                                                                                             | 33 |
| Figura 3.4 – Resistor de carga.                                                                                                                                                                                                                     | 34 |
| Figura 3.5 – Encoder para medição de velocidade angular.                                                                                                                                                                                            | 34 |
| Figura 3.6 – Pedal instrumentado.                                                                                                                                                                                                                   | 35 |
| Figura 3.7 – Sensor eletromagnético do tipo <i>reed switch</i> .                                                                                                                                                                                    | 35 |
| Figura 3.8 – Calibração dos pedais.                                                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Figura 3.9 – Sistema de aquisição de dados.                                                                                                                                                                                                         | 36 |
| Figura 3.10 – Condições da coleta de dados.                                                                                                                                                                                                         | 37 |
| Figura 4.1 – Gráfico dos sinais adquiridos, onde: canal 1 (ângulo do pedal direito), canal 2 (ângulo do pedal esquerdo) e canal 3 (reed switch).                                                                                                    | 39 |
| Figura 4.2 – Cadência e potência média, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) cadência, (b) potência.                                                                                                   | 40 |
| Figura 4.3 – Sujeito A – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.                                                                                 | 41 |
| Figura 4.4 – Sujeito A – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.                                                                                                                                                                 | 42 |
| Figura 4.5 – Sujeito B – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.                                                                                                                                                                 | 42 |
| Figura 4.6 – Sujeito C – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.                                                                                                                                                                 | 43 |
| Figura 4.7 – Sujeito D – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.                                                                                                                                                                 | 43 |
| Figura 4.8 – Sujeito E – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.                                                                                                                                                                 | 43 |
| Figura 4.9 – Sujeito A – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.                                                                                                 | 44 |
| Figura 4.10 – Sujeito B – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.                                                                                                | 44 |
| Figura 4.11 – Sujeito C – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a)(b) médias com desvios, (c) área da diferença.                                                                                             | 45 |
| Figura 4.12 – Sujeito C – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a)(b) médias com desvios, (c) área da diferença.                                                                                            | 45 |
| Figura 4.13 – Sujeito D – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.                                                                                                | 45 |
| Figura 4.14 – Sujeito D – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.                                                                                               | 46 |
| Figura 4.15 – Sujeito E – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado,                                                                                                                                                                | 46 |

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.16 – Sujeito E – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença. ....                      | 46 |
| Figura 4.17 – Sujeito E – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando no selim: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.....                     | 47 |
| Figura 4.18 – Sujeito E – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando no selim: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.....                    | 47 |
| Figura 4.19 – Posição no pedivela onde ocorrem as diferenças. ....                                                                                                              | 48 |
| Figura 4.20 – Ângulo máximo do pedal, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....                 | 50 |
| Figura 4.21 – Ângulo mínimo do pedal, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....                 | 50 |
| Figura 4.22 – Posição do ângulo máximo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....   | 51 |
| Figura 4.23 – Posição do ângulo mínimo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....   | 51 |
| Figura 4.24 – Média do valor x posição do ângulo máximo de todos os sujeitos, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. .... | 52 |
| Figura 4.25 – Média do valor x posição do ângulo mínimo de todos os sujeitos, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. .... | 52 |
| Figura 4.26 – Média da amplitude angular dos pedais, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....  | 53 |
| Figura 4.27 – Posição do ângulo mínimo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo. ....   | 53 |
| Figura 8.1 – Sujeito B – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé. ....        | 64 |
| Figura 8.2 – Sujeito C – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé. ....        | 65 |
| Figura 8.3 – Sujeito D – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé. ....        | 66 |
| Figura 8.4 – Sujeito E – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé. ....        | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Potência (W) total fornecida pela roda de inércia [Turra, 2008]..... | 31 |
| Tabela 2 – Resultados da cadência e potência média.....                         | 40 |
| Tabela 3 – Resultados numéricos do ângulo do pedal direito.....                 | 49 |
| Tabela 4 – Resultados numéricos do ângulo do pedal esquerdo.....                | 49 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|         |                                                                                             |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABCM    | Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas                                    |
| EPO     | Escritório Europeu de Patentes                                                              |
| IBTeC   | Instituto Brasileiro de Tecnologia do couro, calçados e artefatos                           |
| INPI    | Instituto Nacional da Propriedade Industrial                                                |
| IPC     | Classificação Internacional de Patentes                                                     |
| LCD     | <i>Liquid Crystal Display</i> (visor de cristal líquido)                                    |
| LPI     | Lei da Propriedade Industrial                                                               |
| OMPI    | Organização Mundial da Propriedade Intelectual                                              |
| PCT     | Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes                                                |
| PDV     | Pedivela                                                                                    |
| PMI     | Ponto Morto Inferior                                                                        |
| PMS     | Ponto Morto Superior                                                                        |
| PPGMEC  | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica                                            |
| PROMECC | Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica                                            |
| PWM     | <i>Pulse-Width Modulation</i> (modulação por largura de pulso)                              |
| RAM     | <i>Random Access Memory</i> (memória de acesso aleatório)                                   |
| RISC    | <i>Reduced Instruction Set Computer</i> (computador com um conjunto reduzido de instruções) |
| UFRGS   | Universidade Federal do Rio Grande do Sul                                                   |
| USPTO   | Escritório de Marcas e Patentes dos Estados Unidos                                          |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|          |                                          |
|----------|------------------------------------------|
| $\theta$ | Ângulo do pedivela, graus ( $^{\circ}$ ) |
| $\alpha$ | Ângulo relativo, graus ( $^{\circ}$ )    |
| $\beta$  | Ângulo do pedal, graus ( $^{\circ}$ )    |

# 1 INTRODUÇÃO

Na busca pela saúde e bem estar, conseqüentemente qualidade de vida das populações, o surgimento e o crescimento de inovações tecnológicas no mercado de *fitness*, cada vez mais atrai pessoas para academias e centros esportivos. Aliado a esse cenário mundial, temos a bicicleta como um dos meios de transporte mais utilizado, sendo também o que mais cresce em número de usuários [Carmo, 2002].

Segundo Silva et al., 2002, dentro do processo evolutivo da bicicleta, um dos maiores destaques foi a possibilidade de seu uso para avaliação orgânica e funcional, como também para treinamento específico da modalidade de ciclismo feito em ambiente fechado. Surge então a bicicleta ergométrica, posteriormente a bicicleta estacionária, e o ciclismo *indoor*.

O ciclismo *indoor* é uma modalidade de exercício específica, geralmente praticada por um grupo de pessoas ao comando de um instrutor, em bicicletas com características singulares, sendo estas identificadas, principalmente, por uma roda de inércia dotada de pinhão fixo, um freio mecânico que permite ajustar a carga da pedalada ao adequado nível de treino, e a regulagem de posicionamento vertical e horizontal do selim e do guidom.

Apesar de que, desde o surgimento da prática do ciclismo *indoor*, inventores como Augspurger et al. e Harabayashi, 1991, já iniciavam suas primeiras tentativas de obter uma bicicleta estacionária de chassi articulado, aproximadamente 18 anos depois, todas as bicicletas disponíveis no mercado para o exercício continuam sendo de chassi fixo (rígido). Irving et al. e Pinzon, 2009, disponibilizaram aos consumidores do ciclismo *indoor*, bicicletas estacionárias de chassi móvel, contendo graus de liberdade em chassis que eram tratados anteriormente como fixos. Estas apresentadas na Figura 1.1, como também a posição do eixo de giro para cada modelo de bicicleta.



Figura 1.1 – Bicicleta estacionária de chassi articulado: (a) RealRyder [adaptado de Irving et al., 2009], (b) Movebike [adaptado de Pinzon, 2009].

Bicicleta estacionária de chassi articulado é uma nova concepção de bicicleta estacionária, Figura 1.2. Esta possui uma rótula, situada entre dois elementos de uma estrutura, destinada a permitir deslocamentos angulares relativos ( $Da$ ), sensível a força aplicada no pedal ( $Fp$ ), a qual proporciona um momento ( $Mt$ ) sobre o eixo de giro, a fim de eliminar todo e qualquer impacto que ocorre na estrutura óssea e nervosa do corpo humano [Pinzon, 2009].

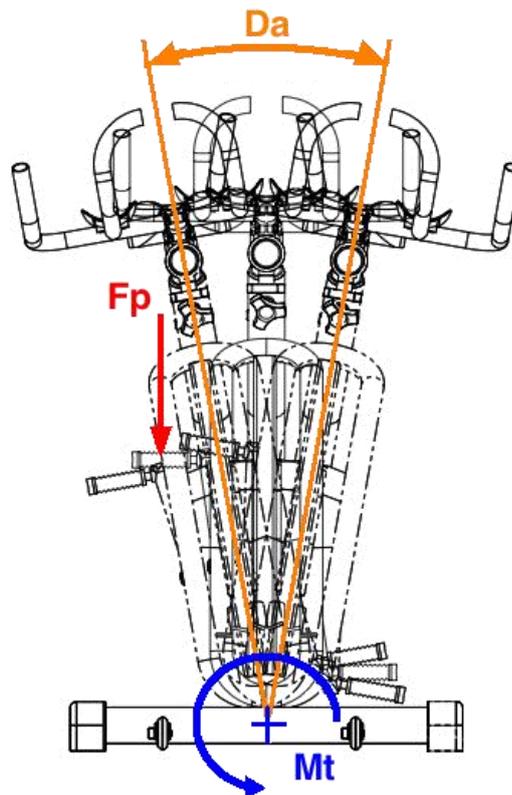


Figura 1.2 – Princípio básico de funcionamento da bicicleta estacionária de chassi articulada Movebike [adaptado de Pinzon, 2009].

Para realização de um teste ou exercício, pressupõe-se que a carga imposta ao ciclista seja conhecida, visto que, dessa forma será possível analisar a resposta fisiológica seguinte, o que facilmente pode ser feito com cicloergômetros [Jeukendrup, 2002].

Ergômetro é um aparelho que possibilita o exercício com a medição da quantidade de trabalho físico em uma determinada atividade. Há vários tipos de ergômetros, tais como esteiras rolantes, ergômetros para membros superiores, bicicletas ergométricas e até mesmo piscinas com turbilhonamento [Szmuchowski et al. 2004]. O cicloergômetro é um dos ergômetros mais utilizados, tanto em clínicas fisioterapêuticas, como em pesquisas e atividade física.

Atualmente algumas bicicletas de ciclismo *indoor* já permitem a realização de mensurações de trabalho, porém estas ainda não são produzidas em grande escala pela indústria, de forma a tornar fácil o acesso ao meio acadêmico científico. Dessa forma, Silva, 2006 e Turra, 2008, instrumentaram bicicletas de ciclismo *indoor*, possibilitando a graduação de trabalho e potencia produzida, podendo estas ser classificadas como cicloergômetros, além de que, suas geometrias, fiel às características das bicicletas de ciclismo *indoor*, acabaram por preencher uma lacuna existente nesta área.

Caria et. al., 2007 também desenvolveram a instrumentação de uma bicicleta de ciclismo *indoor*, porém esta possuía um potenciômetro utilizando-se de modelos matemáticos que predizem a potência, sem considerar a carga mecânica resistiva da roda.

Com a construção e validação de bicicletas de ciclismo *indoor* instrumentadas, torna-se possível a realização do monitoramento e alternância de cargas, e a investigação de parâmetros fisiológicos como: componentes rápido e lento do consumo de oxigênio de sedentários, ativos e atletas; respostas lactacidêmicas [Gomes et al., 2004] e glicêmicas de praticantes saudáveis e/ou portadores de doenças [Silva et al., 2006]; resposta pressórica de hipertensos e normotensos em diferentes tipos de aula de ciclismo *indoor* [Dangelo et al., 2004]. Pode também ser utilizado para avaliar o custo metabólico das sessões de ciclismo *indoor* [Lima et al., 2003], os limiares de transição aeróbio-anaeróbio e a resposta hormonal relacionada à intensidade de exercício.

Silva, 2006, diz que na área de biomecânica seriam focos de pesquisa pertinentes ao ciclismo *indoor*, a investigação dos torques gerados nos pedais, da atividade eletromiográfica e da variação angular em diferentes cadências de pedalada.

Além de todo esse campo vasto de pesquisa ainda em aberto no ciclismo *indoor*, pelas características atuais das bicicletas disponíveis, dificuldade de leitura e controle das muitas variáveis envolvidas, surge a bicicleta estacionária de chassi articulado, possibilitando uma nova linha de pesquisa a levantar as diferenças entre chassi fixo e chassi articulado.

A bicicleta estacionária articulada, por ser um equipamento disponibilizado recentemente ao mercado de *fitness* como também no meio acadêmico científico, problemas de pesquisa são inúmeros, desde o fato da instrumentação deste equipamento até a escolha de metodologias e variáveis a serem exploradas.

Como a grande novidade proposta pelo equipamento é o sistema de articulação, leva-se a este primeiro momento como parâmetro, estudar o ângulo do pedal durante a pedalada,

como também pelo fato de que o seu comportamento determina a posição do vetor força normal e tangencial no sistema de referencia local do pedal.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo descrever as diferenças quanto o padrão angular da pedalada do ciclista, utilizando uma bicicleta estacionária de ciclismo *indoor* na condição chassi fixo e articulado.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Instrumentar uma bicicleta de ciclismo *indoor*, chassi fixo e articulado, de forma a oferecer o controle de carga, cadência de pedalada e medição do ângulo de pedal (direito e esquerdo);
- Relacionar dados de ciclistas usuários da modalidade *indoor*, em diferentes condições (chassi fixo e articulado) e posições (pedalando do selim ou em pé);
- Comparar o ângulo de pedal descrevendo as diferenças entre o uso e o não uso do chassi articulado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são apresentadas informações relevantes para a dissertação, com o intuito de resgatar o que diversos cientistas já desenvolveram e que podem fundamentar o desenvolvimento desta.

### 2.1 Breve histórico sobre a bicicleta

A bicicleta é um dos meios de transporte mais utilizados no mundo, sendo também o que mais cresce em número de usuários, tanto com objetivo de lazer, treinamento físico, reabilitação ou prática competitiva [Carmo, 2002].

A bicicleta é uma máquina que transforma energia humana em propulsão, sendo, desde os tempos mais remotos, um meio de facilitar o transporte mais rápido se comparado com o caminhar. Pode-se dizer que o pedalar imprime facilmente uma velocidade entre 16 a 19 quilômetros por hora, quase quatro vezes a velocidade do caminhar [Pequini, 2005; Silva, 2008].

De acordo com Pequini, 2000, há dúvidas quanto à data de nascimento e o inventor da bicicleta. Leonardo Da Vinci e o Conde Sirvac são apontados como autores, além das representações nos baixos-relevos do Egito e Babilônia, como também em afrescos de Pompéia, tornando seu surgimento ainda mais impreciso.

Segundo Hinault, 1988, o francês Conde Sirvac em 1790, apresentou o Celerífero, Figura 2.1, que era um veículo com duas rodas, feito de madeira, composto por quatro traves e impulsionado pelo toque dos pés ao chão.



Figura 2.1 – Celerífero [Pequini, 2000].

Em 1816, um alemão, o Barão Karl Drais, apresentou um aperfeiçoamento do celerífero, a bicicleta Draisiana, Figura 2.2, que era dotada de um guidão que possibilitava a mudança de direção [Hinault, 1988].

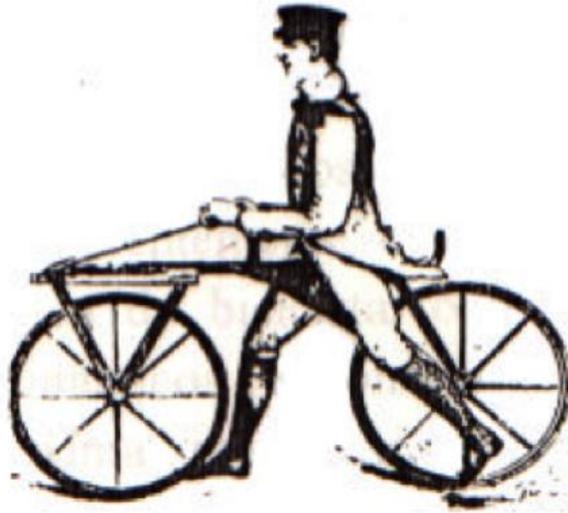


Figura 2.2 – Bicicleta Draisiana [Hinault, 1988].

Foram vários os modelos que surgiram a partir da bicicleta Draisiana, mas nenhum tendo destaque como a patente n° 59,915 de 20 de novembro de 1866 – EUA, [Lallement, 1866], onde o francês Pierre Lallement, apresentou o primeiro registro de aperfeiçoamento em uma bicicleta, Figura 2.3. Esta possuía pedais no mesmo eixo da roda dianteira, tendo uma relação de um para um entre a roda e os pedais.

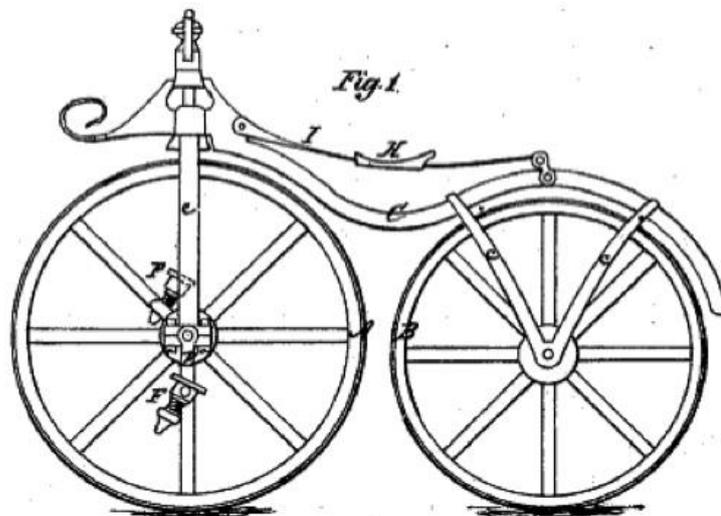


Figura 2.3 – Bicicleta com pedais [Lallement, 1866].

Logo após o surgimento da bicicleta de pedais, aparecem em 1870 as bicicletas com roda dianteira maior, Figura 2.4, ou seja, a necessidade de uma roda com maior diâmetro era fundamental para aumentar a distancia percorrida em uma pedalada, já que a relação entre pedais e roda continuava sendo a mesma [Hinault, 1988].



Figura 2.4 – Bicicleta com roda dianteira maior [Hinault, 1988].

Por volta de 1885, o inglês J. K. Starley produziu, com grande sucesso comercial, a primeira bicicleta similar às utilizadas atualmente, Figura 2.5. Tinha rodas do mesmo tamanho e pedais que acionavam a roda traseira por intermedio de uma corrente.



Figura 2.5 – Bicicleta comum [Hinault, 1988].

Pode-se observar que após mais de um século, a estrutura básica de uma bicicleta têm-se mantido inalterada, sendo que a maioria das mudanças de hoje estão ligadas a acessórios e aos materiais envolvidos na fabricação das peças, além da introdução de marchas que proporcionam a variação da relação de transmissão entre a pedalada e a ação da roda [Nabinger, 1997].

## 2.2 Estado da arte acerca de bicicletas estacionárias articuladas

Estado da arte, que segundo a Lei da Propriedade Industrial, LPI nº 9.279/96, é constituído por tudo aquilo tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio.

Os documentos que foram resgatados na pesquisa foram compostos por patentes, tanto pedido publicado como patente em vigor e ou patente extinta.

A busca se deu especificamente na IPC, Classificação Internacional de Patentes A63B 22/06 e A63B 22/08, com período estabelecido para as anterioridades de 20 anos, contados a partir de 1991 até 2011.

As informações foram encontradas em bancos de patentes gratuitos, tanto no Brasil como no exterior, em escritórios como: INPI, USPTO, EPO e OMPI. Após as buscas, foram selecionados alguns documentos, considerados de grande importância para o estudo, apresentando um breve resumo, citando os referidos autores e seus inventos.

Conforme Harabayashi, 1991, os equipamentos atléticos convencionais são construídos em posição estacionária, mas não para ambos os lados durante a pedalada. No entanto, no ciclismo real, não há apenas uma pista reta, mas também percurso ascendente e descendente. Sendo assim, o autor exibiu no objeto da sua invenção, Figura 2.6a, um tipo de equipamento atlético que pode inclinar o assento do usuário para qualquer ângulo, em qualquer direção durante a pedalada, fortalecendo a força das pernas. Na Figura 2.6b, têm-se os possíveis deslocamentos angulares da bicicleta proposta por Masao Harabayashi.

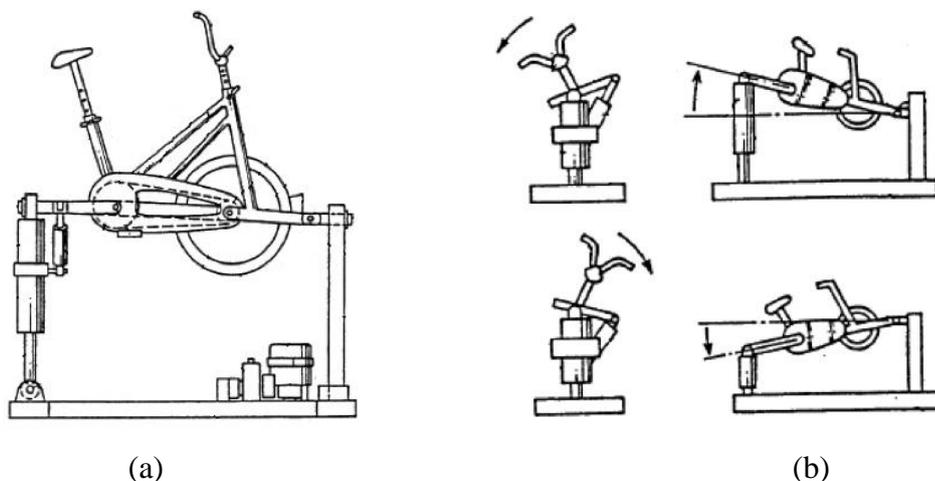


Figura 2.6 – Bicicleta do tipo equipamento atlético: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Harabayashi, 1991].

De acordo com Chang, 2000, existem uma série de dispositivos para exercícios físicos permitindo que as pessoas se exercitem em ambientes internos. Por exemplo, a bicicleta estacionária, como sendo uma das melhores máquinas para um programa de condicionamento cardiovascular. No entanto os modelos convencionais são rigidamente montados em uma posição fixa, tornando-se incapaz de simular movimentos angulares, causando ao usuário uma indisposição em um curto período de tempo. Baseado nestas considerações, o autor expôs que o principal objetivo de sua invenção era proporcionar um melhoramento do exercício para bicicletas estacionárias que pudesse ser balançada de um lado para o outro, Figura 2.7a. Na Figura 2.7b, têm-se os possíveis deslocamentos angulares da bicicleta proposta por Jeffery Chang.

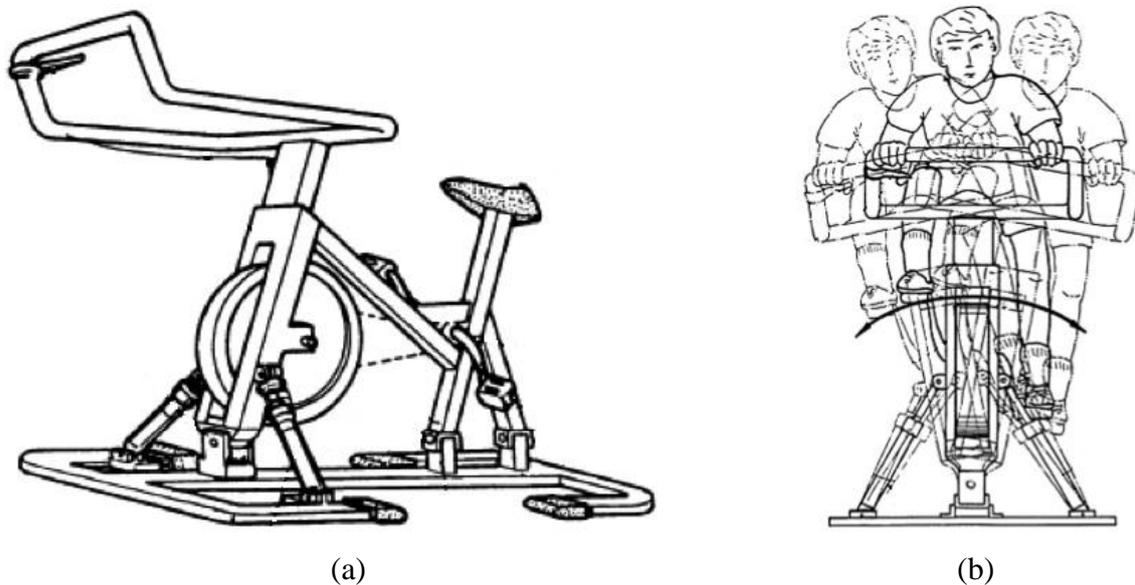


Figura 2.7 – Equipamento proposto pelo autor: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Chang, 2000].

Mais tarde Lim et al., 2001, afirma que uma bicicleta em recinto fechado se tornou um das ferramentas mais populares de fazer exercício sem gastar muito tempo, que estas bicicletas incluem uma base na qual o chassi está montado, e esta base é fixada ao chassi de forma que não pode se mover ou balançar durante a ação de pedalar. Então, quando uma pessoa se dispõe a andar em uma bicicleta deste modelo, não pode sentir as atividades oscilantes providas por bicicletas ao ar livre, se cansando facilmente deste tipo de bicicleta em recinto fechado. Deste modo o autor descreveu a melhoria de uma bicicleta de recinto fechado, Figura 2.8, a qual possui balanço, provendo atividades oscilantes semelhantes às bicicletas ao ar livre, cujo benefício é fazer com que o usuário não sinta dores nos músculos.

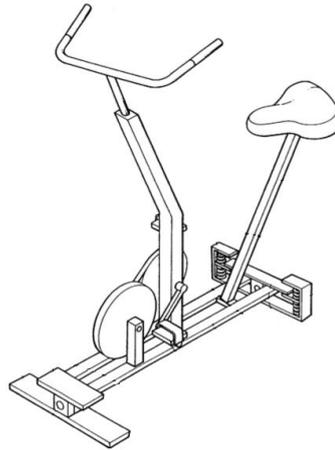


Figura 2.8 – Bicicleta *indoor* para exercício físico [adaptado de Lim et al., 2001].

Posteriormente Badarneh et al., 2005, publicação nos termos do PCT sob o n° WO 2005/046806, apresentou um novo *design* para bicicletas de exercício interior, sendo esta instável, possuindo um sistema para controlar a instabilidade, simulando um sentimento de estar pedalando em uma bicicleta móvel, Figura 2.9.

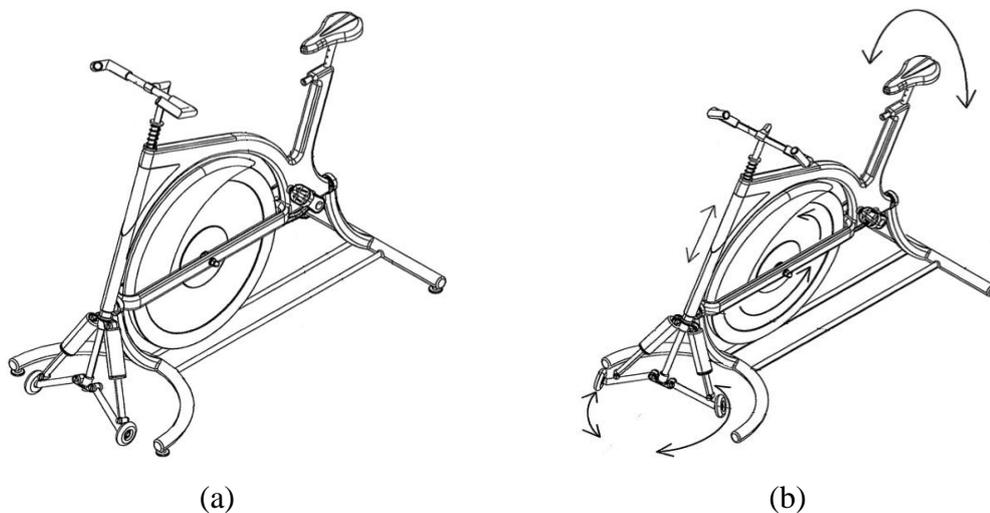


Figura 2.9 – Aparato de treinamento: (a) bicicleta, (b) possíveis deslocamentos [adaptado de Badarneh et al., 2005].

Recentemente Irving et al., 2009, apresentou aparelho que permite ao usuário executar um exercício de ciclismo simulado, Figura 2.10. O projeto possui uma armação e uma montagem, incluindo um elemento de múltiplos arranjos distribuídos para manter o quadro em equilíbrio (pêndulo), sendo balanceado por intermédio do direcionamento do guidom para os lados, originando-se uma bicicleta que inclui exercícios para membros

inferiores (pernas) e superiores (braços) ao mesmo tempo, além de proporcionar uma pedalada mais realística se comparada com o ciclismo *outdoor*.

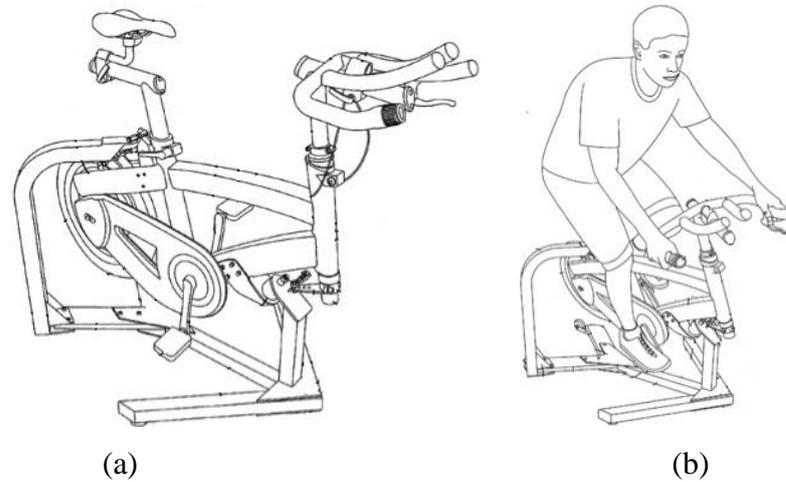


Figura 2.10 – Bicicleta de exercício para exercitar múltiplos elementos: (a) bicicleta, (b) deslocamentos angulares [adaptado de Irving et al., 2009].

Logo após, Pinzon, 2009, apresentou uma bicicleta estacionária rotulada destinada para exercícios físicos, mais particularmente para interiores (*indoor*), Figura 2.11. Esta bicicleta possui uma rótula, situada entre dois elementos de uma estrutura, destinada a permitir seus deslocamentos angulares relativos, cuja intenção é proporcionar, ao mesmo tempo, uma combinação de equilíbrio e liberdade, sensível às forças aplicadas, a fim de eliminar todo e qualquer impacto que ocorre na estrutura óssea e nervosa do corpo humano, proporcionando conforto ao praticante.

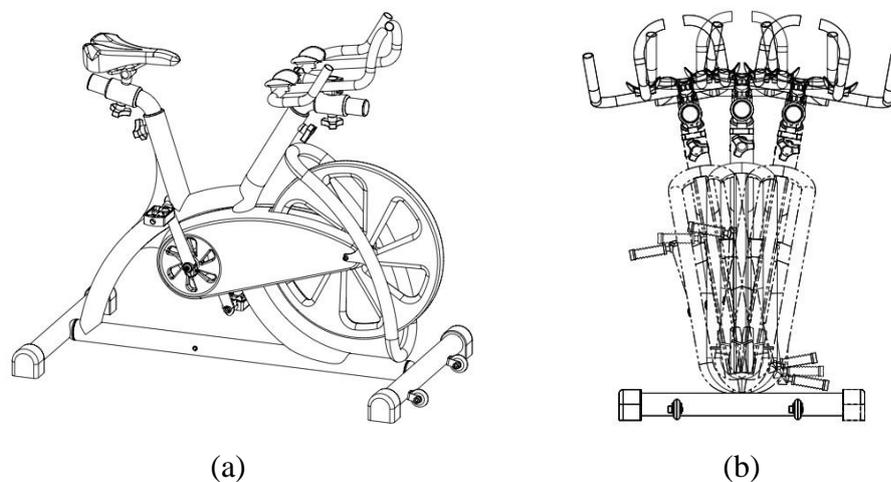


Figura 2.11 – Bicicleta estacionária rotulada: (a) bicicleta, (b) descolamentos angulares [Pinzon, 2009].

## 2.3 Ciclismo estacionário

De acordo com Nabinger, 1997, a atividade do ciclista pode ser exercida em bicicletas estacionárias ou em bicicletas comuns com acessórios apropriados. Como exemplo temos: na Figura 2.12a uma bicicleta estacionária de freio mecânico, na Figura 2.12b um sistema “*velodyne*” da marca Swin com freio eletromagnético acoplado a uma bicicleta de *speed*, e na Figura 2.12c uma bicicleta convencional sobre um rolo de treinamento.

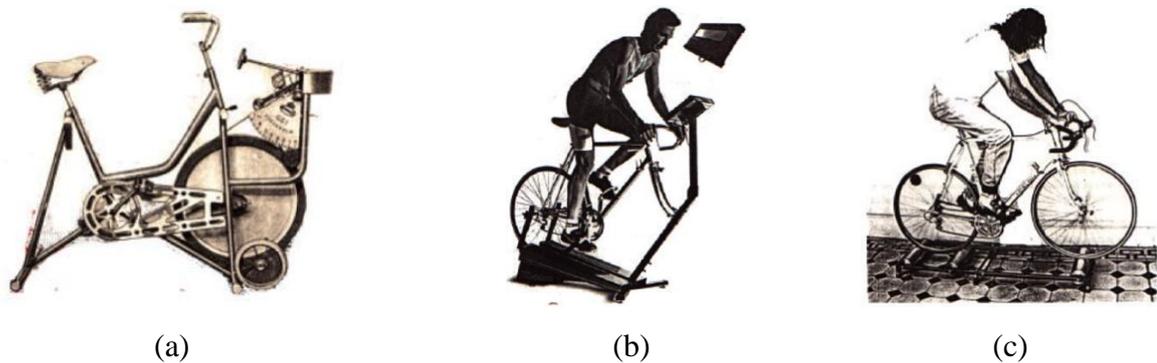


Figura 2.12 – Ciclismo estacionário: (a) bicicleta estacionária, (b) *Velodyne* da marca Swin, (c) simulador de três rolos [Nabinger, 1997].

Temos também os chamados ciclo ergômetros, os quais mensuram variáveis de controle de forma objetiva. Um dos mais atuais é o equipamento proposto por Mabey, 2010, um ciclo ergômetro chamado de Biobike, Figura 2.13a, o qual permite um ajuste dinâmico do tamanho do quadro ao ciclista, como também através de software específico, Figura 2.13b, disponibiliza variáveis biomecânicas diversas em tempo real.

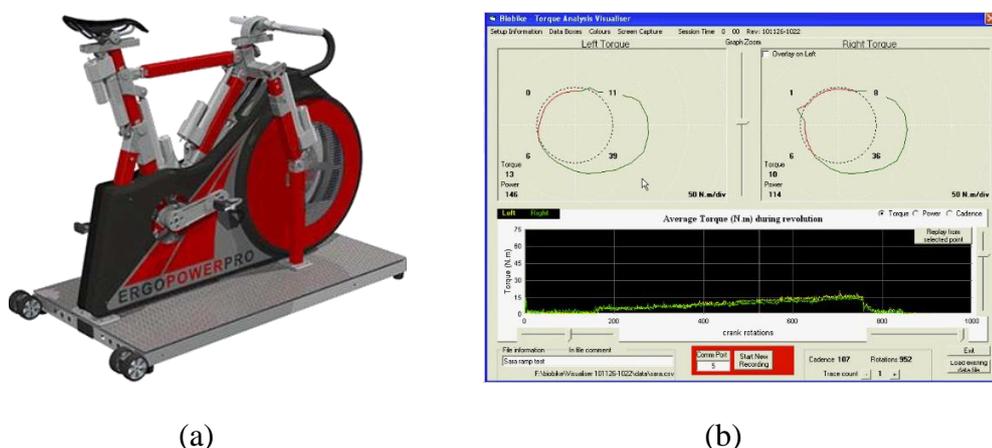


Figura 2.13 – Biobike: (a) ciclo ergômetro, (b) software [adaptado de Mabey et. al., 2010].

Dentro do ciclismo estacionário, uma das modalidades mais praticadas em centros esportivos e academias de ginásticas é o exercício conhecido popularmente por ciclismo *indoor*. Uma atividade ministrada por um profissional de Educação Física, para um grupo de pessoas que variam de idade, sexo e aptidão física, em uma bicicleta estacionária, com variação de treinamento de resistência aeróbica e anaeróbica. De um modo geral, a prática do ciclismo *indoor* é realizado em um local específico e tem fins de condicionamento vascular.

Domingues Filho, 2005, descreve a existência de confusão quando se refere a atividade de ciclismo *indoor*, pois para a maioria das pessoas, qualquer aula feita em bicicleta estacionária dentro de uma academia é considerada *spinning*. Porém o *spinning*® é um programa de treinamento, assim como outros divulgados em eventos de *fitness*.

### 2.3.1 Técnica de pedalar no ciclismo *indoor*

Ao pedalar em ambientes externos, os ciclistas e triatletas mudam constantemente de posição para que possa haver uma melhora na eficiência, na aplicação da força e no conforto. Muitas circunstâncias como chuva, vento, subidas descendidas e variação do terreno, são responsáveis pela mudança constante de posição e de marcha sobre a bicicleta, a fim de transpor os obstáculos com sucesso. Assim deve ser também no ciclismo *indoor*, com mudanças de posição e de carga pelos praticantes, porém sem vento, chuva e outras variáveis que são encontradas no ambiente externo. Quanto ao tipo de pedalada e cadência, algumas técnicas são descritas para a prática da modalidade ciclismo *indoor* [Domingues Filho, 2005].

#### **Pedalar sentado**

Além de ser mais confortável e de ter menor dispêndio energético, a posição sentada é a mais comum das técnicas de ciclismo *indoor*. Em geral a atividade é iniciada nessa posição, apenas fazendo os ajustes necessários na bicicleta e prestando atenção na maneira correta de pedalar e de manter a postura. Assim, realiza-se uma simulação de subidas, descendidas, planos, onde o praticante varia a carga de acordo com seu ritmo.

Segundo Domingues Filho, 2005, existem basicamente três maneiras de pedalar sentado na prática do ciclismo *indoor*:

**Pedalar sentado no plano:** nessa maneira usa-se um pedalar por longos períodos num mesmo ritmo, que varia de 70 a 90 RPM, podendo alcançar até 110 RPM.

**Pedalar sentado na subida:** essa maneira simula pequenas subidas e terrenos irregulares. Para isso aumenta-se a carga da bicicleta, o que leva à diminuição da velocidade. Essa carga depende da aptidão física de cada praticante, e apesar do aumento da carga, não pode haver perda no movimento correto da pedalada, mantendo um ritmo de 50 a 90 RM.

**Pedalar sentado na descida:** é um movimento mais rápido, acelerado, mas com pouca carga. É usado como trabalho de recuperação e às vezes difícil de equilibrar a rotação com a carga para um pedalar confortável. O ritmo varia de 80 a 110 RPM.

### **Pedalar em pé**

Pedalar em pé é uma técnica que necessita de equilíbrio, coordenação e estabilidade e é usada para simular terrenos irregulares. Utiliza-se essa posição para descansar da posição sentada, ou para aumentar a carga por um tempo. Existem duas maneiras de pedalar em pé:

**Pedalar em pé no plano:** nesse caso usa-se carga moderada e existe um movimento do corpo de um lado para outro. O ritmo varia de 70 a 90 RPM.

**Pedalar em pé na subida:** nesse caso simula-se uma subida bem difícil ou um terreno bem irregular, onde a carga é gradualmente aumentada, varia de 50 a 70 RPM.

Durante uma aula de ciclismo *indoor* varia-se a rotação de 50 a 110 RPM, diminuindo as RPMs com cargas mais elevadas e aumentando-as com cargas mais leves. Essa atividade é considerada uma aula de alta intensidade devido ao fato da quantidade de energia consumida por unidade de tempo ser bastante considerável. É importante, para um bom rendimento, que a forma de pedalar seja correta, ou seja, uniforme, com movimentos contínuos, a fim de realizar um exercício com qualidade [Domingues Filho, 2005].

### **2.3.2 Bicicletas no ciclismo *indoor***

No ciclismo estacionário, observam-se duas grandes categorias de bicicletas: as equipadas com pinhão livre e as com pinhão fixo. Em um par de rodas dentadas, o pinhão é aquele que possui o menor número de dentes e permite o movimento da roda pela propulsão humana no pedivela através de um sistema de transmissão. O pinhão livre é aquele que permite que a roda gire independente dos pedais, sendo que as bicicletas equipadas com esse dispositivo são mais adequadas aos iniciantes e pessoas com limitações ortopédicas. Já o pinhão fixo faz com que a roda gire concomitante ao pedais, o que é potencialmente perigoso

para os iniciantes, e demanda grande vivência prática para o alcance do total domínio do gesto motor [Silva, 2008].

O surgimento da bicicleta, especificamente dotada de características consideradas próprias para o ciclismo *indoor* foi idealizada no início da década de 90, por Jonathan Goldberg, também conhecido por Johnny G., natural da África do Sul e ex-atleta profissional, que treinava para competições de ciclismo de estrada. Ele adaptou uma bicicleta de estrada para o meio estacionário na necessidade de treinamentos *indoor* [Goldberg, 2000]. Com a ideia consolidada, Goldberg começou a colocar alguns alunos particulares para pedalar em sua garagem, obtendo assim muito rapidamente o sucesso de sua bicicleta, surgindo a modalidade *indoor*.

Posteriormente, vieram as empresas do mercado de *fitness* interessadas em industrializar esta nova bicicleta. Somente em 1995, foi criada uma empresa nos EUA chamada de *Mad Dogs Athletics*, a qual fechou acordo com o inventor, patenteando o método de treinamento em ciclismo *indoor* intitulado de “*Johnny G. Spinning Program*”, aliados a outra empresa americana, fabricante de bicicletas chamada *Schwinn*, a qual disponibiliza até hoje, bicicletas específicas para prática do ciclismo *indoor*, Figura 2.14.



Figura 2.14 – Bicicleta específica para prática do ciclismo *indoor* da marca *Schwinn*, modelo A.C.™ *Performance* [Schwinn Fitness, 2011].

Atualmente, a bicicleta estacionária de ciclismo *indoor* com chassi articulado, é um equipamento que possui em seu quadro a possibilidade de um movimento lateral, Figura 2.15a, mas continua sendo identificada, principalmente, pela roda de inércia dotada de seu pinhão fixo, um freio mecânico que permite ajustar a carga da pedalada ao adequado nível de treino, e a possibilidade de regulagem de altura e do selim e do guidom, permitindo ao usuário um ajuste ergonômico de acordo com suas medidas antropométricas [Pinzon, 2009].

O diferencial desta bicicleta está nos graus de liberdade do chassi, o qual permite deslocamento angular para ambos os lados, Figura 2.15c. Este movimento é provocado pela força aplicada no pedal gerando um momento em relação ao eixo de giro, sendo liberado por meio de uma trava mecânica, Figura 2.15b, dando ao usuário a opção de utilizar o ou não o sistema de articulação, [Movebike, 2011].

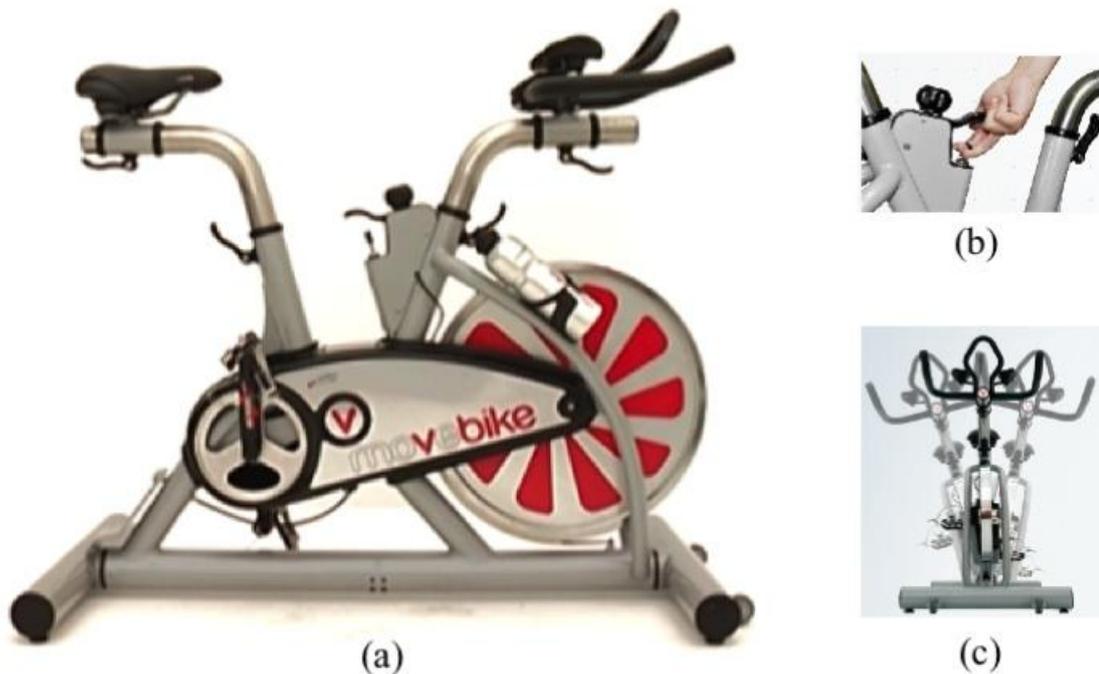


Figura 2.15 – Bicicleta estacionária articulada e seus graus de liberdade: (a) bicicleta, (b) trava de acionamento da articulação, (c) deslocamento angular permitido [Movebike, 2011].

Segundo Silva, 2008, o empenho dos pesquisadores para evidenciar cientificamente o ciclismo *indoor* vem sendo significativo nos últimos anos. Porém, muitas destas pesquisas, utilizaram bicicletas de ciclismo *indoor* convencionais, ou seja, os experimentos foram feitos sem a quantificação da carga utilizada [Robergs et al., 1998; Richey et al., 1999; John et al., 1999; Bradford et al., 1999; Smith et al., 2000; Baptista, 2002; Lima et al., 2003; Kang et al., 2005; Braga et al., 2005].

Sobre o ciclismo em bicicletas de chassi articulado, por ser algo recente, não foram encontradas evidências oriundas de pesquisas realizadas neste tipo de equipamento, já para o ciclismo convencional, são inúmeros os estudos feitos em laboratório com ciclo ergômetros estacionários, podendo estes contribuir para o embasamento teórico no desenvolvimento deste.

## **2.4 Biomecânica do ciclismo**

Gregor, 2000, expõe que a pesquisa científica no ciclismo tem seu foco em fatores como respostas fisiológicas e biomecânicas para as alterações na carga de trabalho e ou na produção de energia, bem como dos efeitos da posição do corpo, configuração do quadro e geometria de componentes da bicicleta sobre o desempenho.

Já, Candotti, 2003, diz que existem muitos fatores que afetam o bom desempenho no ciclismo, tais como: fatores do meio ambiente, mecânicos, fisiológicos e biomecânicos, fatores estes referenciados na literatura como: diferenças na posição do corpo; altura do selim; comprimento do pedivela; cadência de pedalada; gasto de energia; economia de movimento; aplicação e direção de forças no pedal; e fatores técnicos.

Nabinger, 2006, descreve que os estudos da biomecânica da pedalada de ciclistas tem por objetivo compreender e analisar o movimento do ciclista com a finalidade de aumentar o desempenho, a efetividade, evitar lesões de sobrecarga nas articulações e obter o máximo benefício em atividade de recuperação na fisioterapia.

De acordo com Fonda et al., 2010, os estudos de ciclismo em laboratório iniciaram-se no início do século 20, quando o primeiro ciclo ergômetro foi construído (Krogh & Lindhard, 1913). O equipamento permite estudo dos padrões de movimento, em condições laboratoriais, devido às suas cargas padronizados e controle preciso, uma característica que o torna altamente adequado para outros fins além de testes e diagnósticos, como o exercício.

### **2.4.1 Conceitos básicos da pedalada**

Ao pedalar em uma bicicleta o ciclista desenvolve um movimento cíclico de rotação do eixo do pedal em torno do eixo central da bicicleta, impulsionado pelo movimento de seus membros inferiores. O movimento da pedalada apresenta limitações geométricas de

movimento devido à trajetória circular do eixo do pedal e à restrição total ao movimento lateral [Nabinger, 2006].

De acordo com Carpes e Nabinger, 2006, para a avaliação biomecânica, um termo muito utilizado é chamado ciclo de pedalada, que compreende a trajetória do pedivela, desde o ponto morto superior (PMS,  $0^\circ$ ), até o ponto morto inferior (PMI,  $180^\circ$ ), chamada de fase de propulsão, e a trajetória do PMI até o PMS, chamada de fase de recuperação, onde a soma destes corresponde a uma revolução completa do pedivela. Observa-se também que o ciclo é dividido em quatro quadrantes, Figura 2.16.

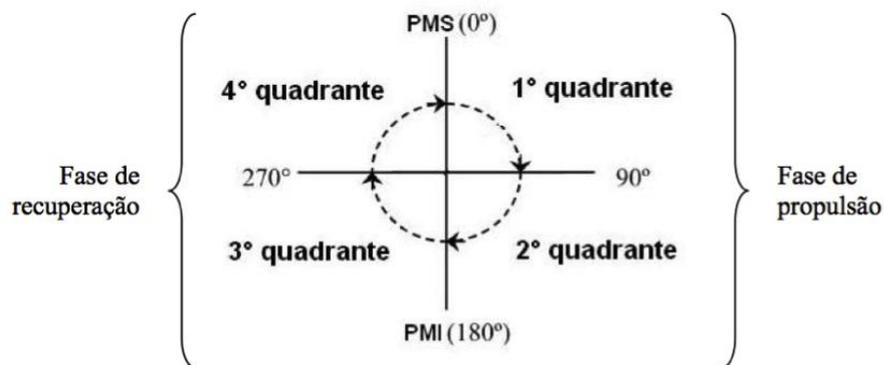


Figura 2.16 – Ciclo de pedivela ou ciclo de pedalada [Carpes, 2006].

As fases definidas por parâmetros funcionais são descritas em função da componente de força ou torque, ou pelo tipo de movimento articular (flexão ou extensão). As regiões produtiva e contraprodutiva são descritas pelo sentido do torque produzido pela força efetiva sobre o pedivela, Figura 2.17 [Gregor, 2000].

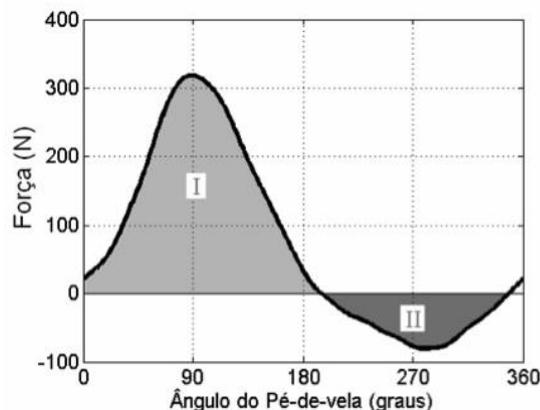


Figura 2.17 – Força efetiva sobre o pedivela, (I) região produtiva e (II) contraprodutiva [Nabinger, 2006; adaptado de Gregor, 2000].

## 2.4.2 Movimentos articulares e seus ângulos

De acordo com Burke, 1996, os movimentos articulares durante um ciclo da pedalada são descritos em função da sua posição de referência e em relação aos planos anatômicos, Figura 2.18a.

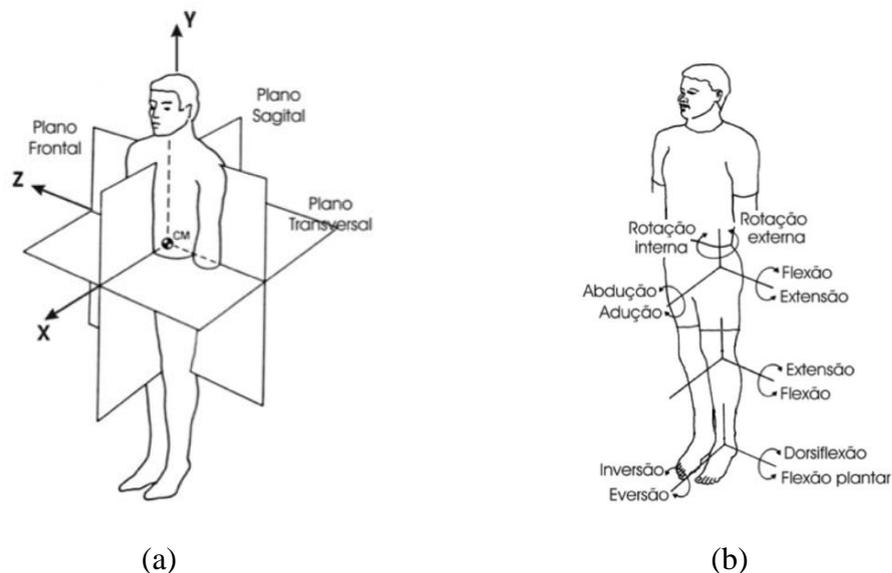


Figura 2.18 – Planos e movimentos: (a) planos anatômicos de referência, (b) movimentos articulares característicos [adaptado de Burke, 1996].

A Figura 2.18b ilustra os movimentos articulares característicos de cada plano anatômico de referência, durante um ciclo da pedalada. No plano sagital, as articulações do quadril e joelho apresentam dois movimentos: flexão e extensão; e a articulação do tornozelo apresentam os movimentos de dorsiflexão e flexão plantar. No plano frontal, a articulação do quadril apresenta os movimentos de abdução e adução, e a articulação do tornozelo apresenta inversão e eversão. No plano transversal, ocorre o movimento de rotação interna e externa da tibia.

Os membros inferiores de um ciclista podem ser representados através de um modelo simplificado, Figura 2.19, que apresenta quatro segmentos: coxa, perna, pé e pedivela. Cada segmento é descrito por vetores compostos por pontos anatômicos bem determinados, trocânter maior (quadril), epicôndilo lateral (joelho), maléolo lateral (tornozelo), centro de rotação do pedal e centro de rotação do pedivela. A descrição do movimento destes segmentos pode ser obtida pela técnica da cinemetria, onde ocorre a digitalização de marcadores reflexivos posicionados nos pontos anatômicos de referência, ou através de uma medição direta utilizando potenciômetros rotacionais [Nabinger, 2006].

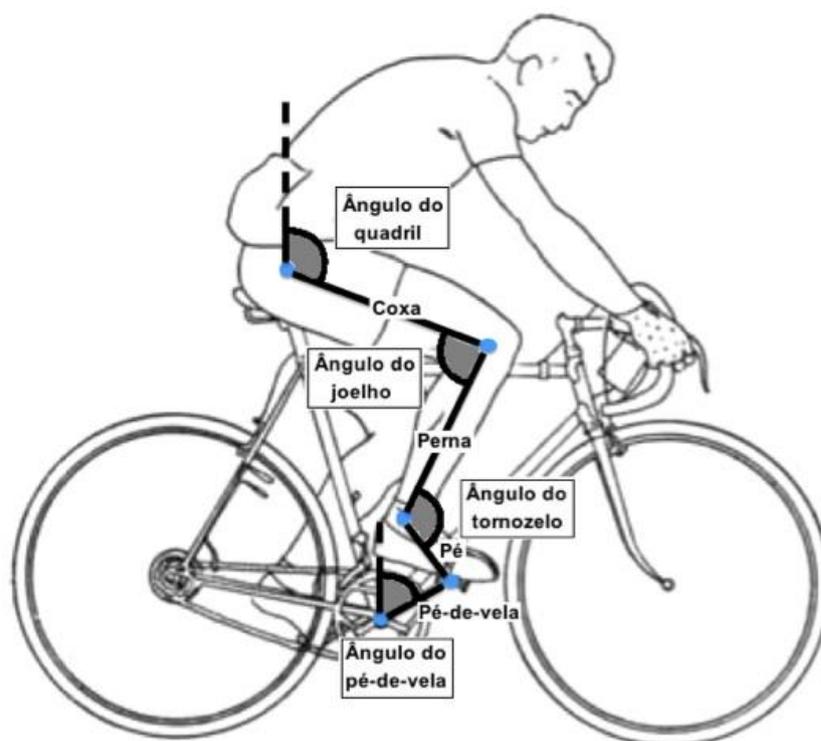


Figura 2.19 – Segmentos e seus ângulos articulares [adaptado de Ambrosini, 1990].

Com base na cinemetria, alguns modelos para análise do movimento em duas ou três dimensões têm sido desenvolvidos, com o propósito de explicar as características mecânicas do movimento cíclico realizados pelos membros inferiores durante a pedalada [Bailey et al., 2003; Gregersen et al., 2003 e Ruby, 1992].

Carpes et al., 2006, com objetivo de comparar a cinemática da pedalada em ciclistas de duas modalidades diferentes (estrada e *mountain-bike*), concluíram que para as articulações do quadril e joelho, o padrão de movimento é muito semelhante entre as duas modalidades. Por outro lado, a articulação do tornozelo demonstrou-se ser um fator determinante das diferenças da técnica de pedalada nas modalidades avaliadas.

Com o propósito de os efeitos do ciclismo extenuante, por uma hora, em intensidade de 80%  $VO_2$  máximo sobre a técnica da pedalada, Wiest et al, 2009, avaliaram por cinemática bidimensional quatro ciclistas experientes da modalidade *mountain-bike*. Como no estudo de Carpes et al., 2006, a articulação do tornozelo foi a qual apresentou maiores alterações durante o exercício. A amplitude do movimento angular do tornozelo apresentou aumento significativo, o que sugere esta articulação como a mais pertinente em relação à cinemática para a avaliação da fadiga no ciclismo.

### 2.4.3 Ângulo do pedal

O ângulo entre o pedal e o pedivela é chamado de ângulo relativo ( $\alpha$ ) e relaciona o pedivela com o sistema de coordenadas local do pedal, Figura 2.20b. Este é utilizado para a decomposição das forças normais e tangenciais do pedal nas componentes efetiva e não efetiva. O ângulo do pedal ( $\beta$ ) descreve a inclinação do pedal em relação ao sistema de coordenadas global. Define o ângulo entre os sistemas de coordenadas local ( $x, y$  e  $z$ ) e global ( $X, Y$  e  $Z$ ), Figura 2.20c. O ângulo do pedal ( $\beta$ ), é obtido através de uma relação direta pela subtração do ângulo relativo ( $\alpha$ ) e o ângulo do pedivela ( $\theta$ ), Figura 2.20a.

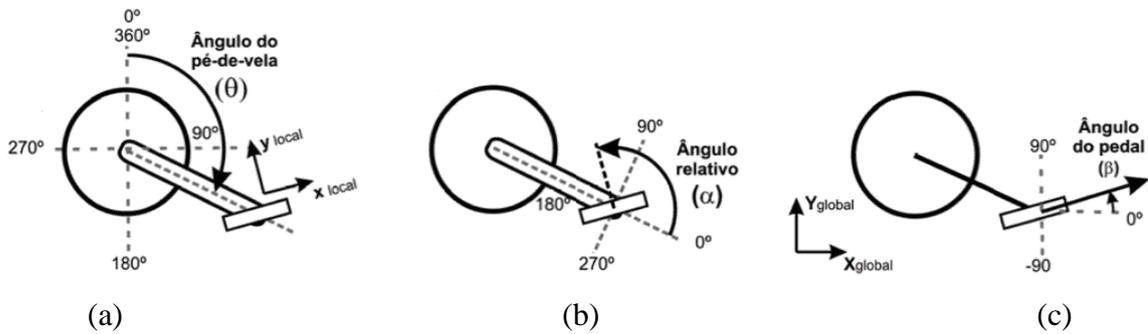


Figura 2.20 – Ângulos: (a) do pedivela, (b) relativo, (c) do pedal [Nabinger, 2006].

O ângulo do pedal em um ciclista, Figura 2.21, possui uma característica que pode ser considerada como a representação da técnica da pedalada, ou seja, o comportamento do pedal que por sua vez determina a posição do vetor força normal e tangencial no sistema de referencia local do pedal.

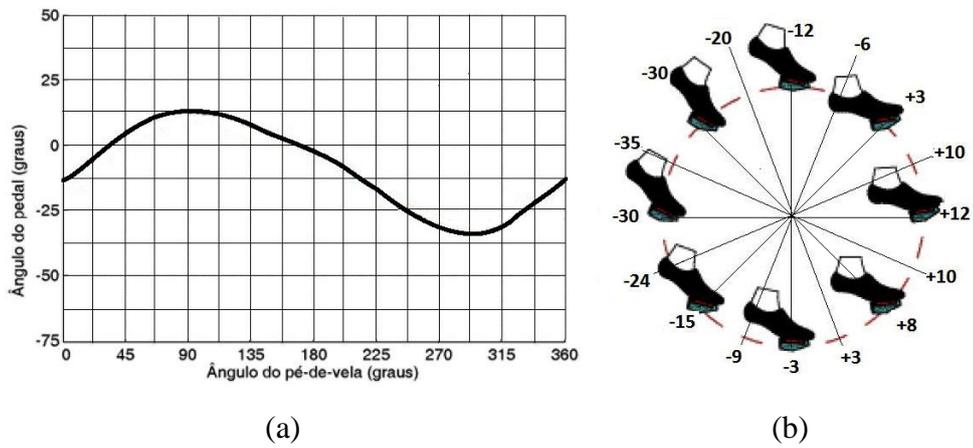


Figura 2.21 – Ângulo do pedal em um ciclista durante um ciclo de pedalada: (a) curva, (b) valores numéricos ilustrados com intervalos de 22,5° [adaptado de Nabinger, 2006].

#### 2.4.4 Forças exercidas sobre os pedais

Hoes et al., 1968, desenvolveram um dos primeiros estudos em forças exercidas sobre os pedais durante a pedalada, descobrindo que as mesmas são mais elevadas quando o pedivela está na posição horizontal ( $90^\circ$ ), e que a sua magnitude da força no pedal em uma única revolução era o dobro da carga de trabalho predeterminada no ciclo ergômetro. As medições foram realizadas com os pedais padrão que não permitiam "puxar" na segunda fase (recuperação) da revolução, no entanto eles ainda mostraram claramente as forças ativas na primeira fase (propulsão). Davis e Hull, 1981, entretanto procuraram formas de aumentar a eficiência das forças, e descobriram que ela aumenta quando se utiliza pedais com acessórios permitindo uma melhor fixação dos pés, como também com o incremento das cargas de trabalho.

Ericson e Nisell, 1988, reportaram que nas forças mecânicas envolvidas no ciclo da pedalada, somente a força tangencial ao pedivela ( $F_t$ ) é mecanicamente eficiente, enquanto que a força radial ( $F_r$ ) paralela ao pedivela, não contribui para fins de eficiência mecânica. Segue na Figura 2.22 uma ilustração com as devidas forças citadas.

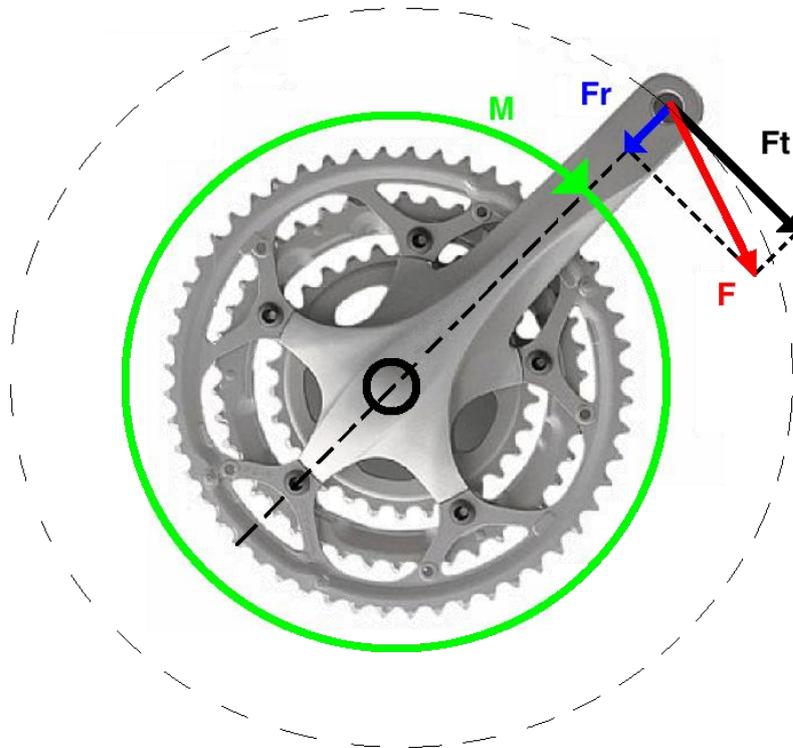


Figura 2.22 – Forças mecânicas envolvidas no ciclo da pedalada,  $F$ =Força resultante no pedal,  $F_r$ =Força radial,  $F_t$ =Força tangencial e  $M$ =Momento.

Bini et al., 2005, diz que, como propulsão no ciclismo depende do torque aplicado sobre o pedivela e este ocorre através das forças aplicadas no plano sagital (componentes normal e tangencial ao pedal), a componente médio-lateral passa a ser desperdiçada.

Nabinger, 2006, expõe as principais forças que atuam no ciclo da pedalada, Figura 2.23, são: força normal (FN), força tangencial (FT), força resultante (FR) e força efetiva (FE). Temos também a força inefetiva, com direção paralela ao pedivela, a qual não produz torque para o sistema. A direção destas forças depende dos ângulos apresentados anteriormente na Figura 2.20.



Figura 2.23 – Ilustração das forças que atuam no ciclo da pedalada: FN=Força normal, FT=Força tangencial, FR=Força resultante e FE=Força efetiva [Adaptado de Bini, 2011b].

Segundo Nabinger, 2006, nem toda a força aplicada no pedal é transmitida para o movimento, a força efetiva é a componente de força aplicada sobre o pedal perpendicular ao pedivela, responsável por transmitir o torque ao sistema responsável pelo movimento.

Diefenthaler, 2004, avaliou os efeitos da posição do selim na técnica da pedalada de ciclistas. A partir da posição adotada como referência, quatro novas posições foram ajustadas durante o protocolo, com variação de um centímetro para cima, para baixo, para frente e para trás. A análise demonstrou que ocorreram modificações na direção e na magnitude das forças

aplicadas no pedal quando a posição do selim foi alterada. Entretanto, os resultados obtidos sinalizaram que os ciclistas do estudo possuem melhor técnica de pedalada na posição que estão habituados a treinar. O autor diz que, tal fato possivelmente ocorre devido à adaptação funcional e a propriedade mecânica muscular força-comprimento. Com relação as limitações do estudo, destaca-se o fato de se dispor de apenas um pedal instrumentado, assumindo-se que os resultados seriam os mesmos para ambos os lados.

Com o objetivo de analisar os torques no ciclismo de subida em posição sentado sobre o selim usando diferentes cadências, Bertucci et al., 2005, compuseram seus estudos em quatro testes, inclinação zero (nível do solo) em 80 e 100 rpm, e inclinação para cima (9,25% graus) a 60 e 80 rpm. Os resultados, Figura 2.24, apontaram que a potência aeróbica máxima determinada pela relação entre o torque e o ângulo do pedivela, variam substancialmente de acordo com a cadência da pedalada e com efeito secundário de acordo com o terreno. Outro objetivo do estudo era encontrar a cadência ideal para ciclismo de subida, com a experiência de grandes competições levou a acreditar que deveria ser inferior ao andar em terreno plano.

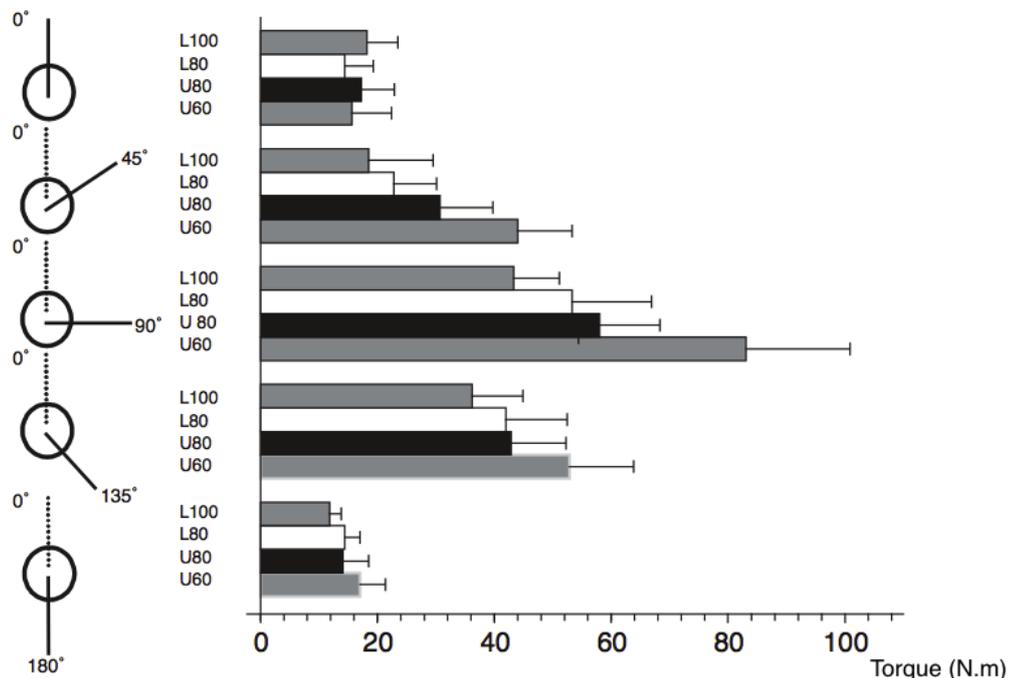


Figura 2.24 – Média de torque nas posições pedivela a 0°, 45°, 90°, 135° e 180° em potência aeróbica máxima, terreno plano (L) e subida (U), sentado sobre o selim, em diferentes cadências (80 e 100 rpm) [adaptado de Bertucci et al., 2005].

Bertucci et al., 2005, ao monitorar alterações de torque em diferentes posições sobre a bicicleta, descobriram que o torque aumenta em 26% quando se tem uma inclinação de

terreno com 8% para cima, na mesma cadência (80 rpm). O torque foi estatisticamente superior em cadência de 60 rpm se comparado com cadência de 80 rpm em terreno plano, como também foi estatisticamente significativamente maior do que a cadência 100 rpm observada em terreno plano. A maior diferença foi detectada quando se comparam ciclismo de terreno plano em cadência de 100 rpm e ciclismo de subida em cadência de 60 rpm.

Bini et al., 2009, com objetivo de comparar a força aplicada no pedal quando os ciclistas adotam a posição de pedalada com os joelhos tangenciando o quadro da bicicleta (adução) com a usualmente utilizada durante treinos e competições (referência), e também ainda com uma condição na qual o ciclista pedalava com os joelhos o mais afastado possível do quadro da bicicleta (abdução), concluíram que, na posição de Adução houve um aumento na capacidade de aplicação de força no pedal, capacitando o ciclista em aplicar mais força no pedal nesta posição. O treinamento na posição de Adução é sugerido para que ocorra uma adaptação muscular nessa posição e posterior melhora da técnica de pedalada, resultando, possivelmente, em um aproveitamento aumentado da força aplicada no pedal, visto que esta posição pode melhorar aspectos aerodinâmicos da pedalada.

Carpes et al., 2005, objetivando verificar a estratégia adotada por um triatleta submetido a uma simulação de 40 km contra-relógio, em laboratório, do ponto de vista da aplicação de força no pedal e efetividade, Figura 2.25b, das variáveis fisiológicas ( $VO_2$  e frequência cardíaca) e desempenho medido a partir do tempo para vencer o percurso, concluíram que a estratégia adotada pelo atleta possivelmente influencia o direcionamento das forças e o aproveitamento destas durante a pedalada, consequentemente influenciando sua técnica de pedalada.

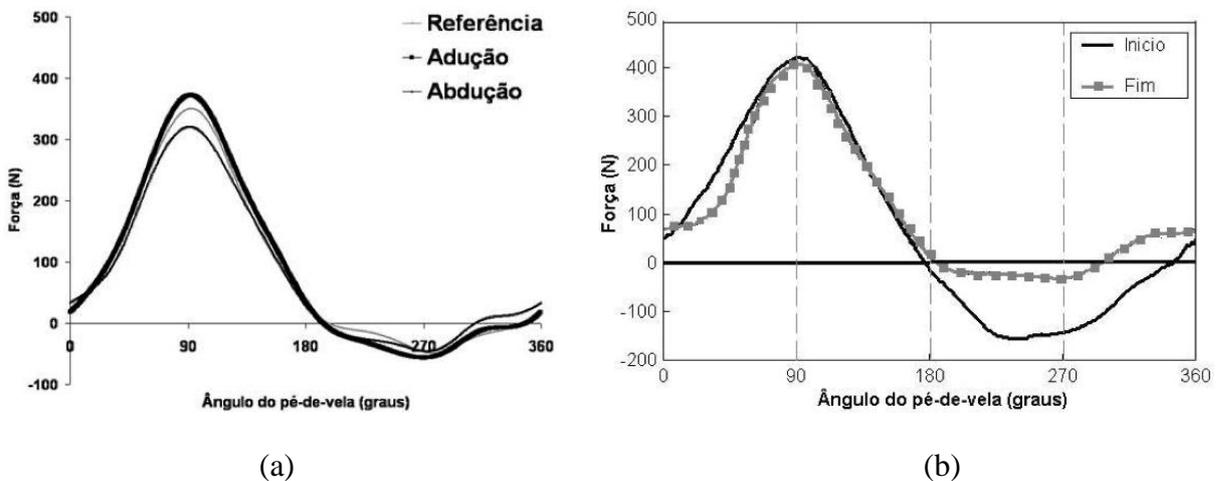


Figura 2.25 – Força efetiva em função do ângulo do pedivela: (a) com impulsos propulsivo e resistivo, [Bini et al., 2009], (b) no início e fim dos 40 km [Carpeles et al., 2005].

Diefenthaeler et al., 2005, com o objetivo de analisar os efeitos de diferentes posturas do ciclista durante a pedalada, no impulso da força efetiva, os autores concluíram que ocorreu modificações na direção e na magnitude das forças aplicadas no pedal quando a posição do selim foi alterada. Entretanto, a posição de referência foi a mais efetiva entre as testadas, Figura 2.26a.

Nabinger, 2006, estudou três ciclistas com objetivo avaliar a efetividade da força aplicada sobre o pedal, Figura 2.26b, durante o movimento da pedalada de ciclistas em função da utilização de acessórios medido por uma plataforma tridimensional. Baseado nos resultados do índice de efetividade, e do momento normal o melhor desempenho do ciclista A foi apresentado utilizando o anel afastador, o ciclista B apresentou melhor desempenho com a palmilha pronadora e o ciclista C apresentou o melhor desempenho com a palmilha neutra. O autor diz que estes resultados indicam que o sistema de medição permitiu identificar mudanças significativas nos ensaios, não tem por finalidade recomendar a utilização destes acessórios. Com o aumento da carga todos os ciclistas apresentaram um aumento do índice de efetividade, permitindo afirmar que ocorreu um aumento de força em regiões que transmitem mais torque para o movimento a normalização da cadência e da potência permitiu a comparação direta das forças relativas entre condições de ensaio com diferentes cargas.

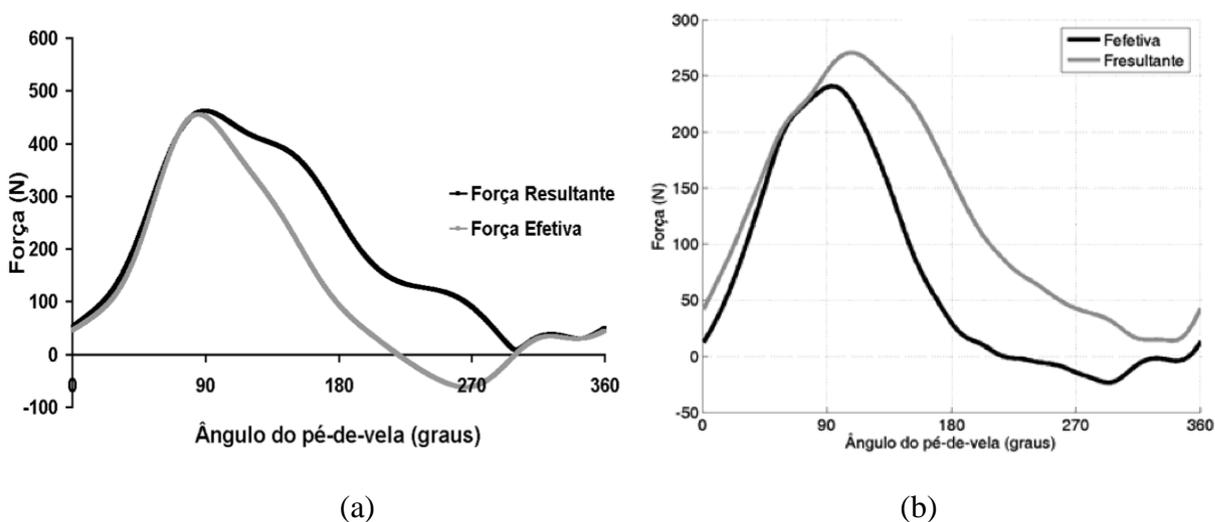


Figura 2.26 – Força resultante e força efetiva em função do ângulo do pedivela: (a) média de 10 ciclos com o selim na posição de referência [Diefenthaeler et al., 2005], (b) média de 40 ciclos pedalando sentado sobre o selim [Nabinger., 2006].

## 2.5 Instrumentação no ciclismo *indoor*

Como descrito anteriormente, há um crescimento significativo nos últimos anos, referente a pesquisas voltadas a modalidade ciclismo *indoor*, porém a maioria dos pesquisadores negligenciaram a quantificação da carga.

As pesquisas de Mello et al., 2003; Silva et al., 2006 e Silva et al., 2008, caracterizaram a mensuração de carga, porém foram utilizados cicloergômetros equipados com pinhão livre, que não refletem as reais características da modalidade em estudo, além de tratarem especificamente de investigações científicas voltadas à fisiologia do exercício.

O estudo de Caria et al., 2007, foi capaz de medir em tempo real a potência produzida durante o ato de pedalar em bicicletas de ciclismo *indoor*. Contudo, a carga não foi estabelecida para a prescrição e apenas foi registrada e apresentada em valores médios.

Silva, 2008, construiu e calibrou uma bicicleta de ciclismo *indoor*, comparando-a com o cicloergômetro Monark em amostra heterogênea de ciclistas, ignorando que o cicloergômetro possuía pinhão livre enquanto sua bicicleta era de pinhão fixo.

Com uma pesquisa voltada para o desenvolvimento futuro deste trabalho, Turra, 2008, desenvolveu e implementou um sistema para medir a potência imprimida por uma pessoa quando na realização de exercícios em uma bicicleta estacionária. O objetivo do trabalho referiu-se na substituição do freio mecânico, o qual proporciona um controle de forma empírica e sem precisão, por um freio eletromagnético, acionado por um gerador acoplado à roda de inércia por intermédio de uma correia, Figura 2.27.

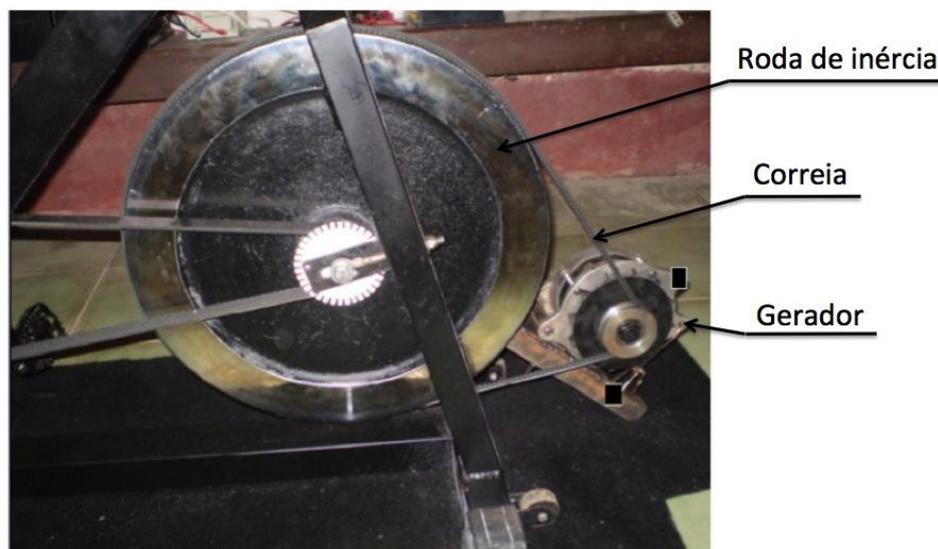


Figura 2.27 – Gerador acoplado a roda de inércia [adaptado de Turra, 2008].

Para o caso, ao pedalar o usuário movimenta a roda de inércia que por sua vez aciona um alternador automotivo, que alimenta uma carga fixa, onde o efeito do freio é controlado através da variação de tensão de campo. Apesar de possuir um gerador, a tensão de campo e a alimentação dos periféricos foram feitas externamente, observando que a tensão gerada pelo alternador era insuficiente para alimentar o próprio campo em baixas rotações [Turra, 2008].

Segundo o autor o sistema desenvolvido foi controlado por um microprocessador, o qual recebe os sinais dos sensores da bicicleta e os transforma em variáveis de interesse do praticante, tais como: quantidade de calorias, potência, distância percorrida e rotação. Possibilita também ao usuário ajustar o nível de carga desejado, através de um sinal de PWM que é aplicado ao sistema de freio, variando de 0 a 100%, com incremento de 10%, o nível de esforço requerido. Para melhor entendimento, é apresentado na Figura 2.28, o diagrama de blocos do sistema.

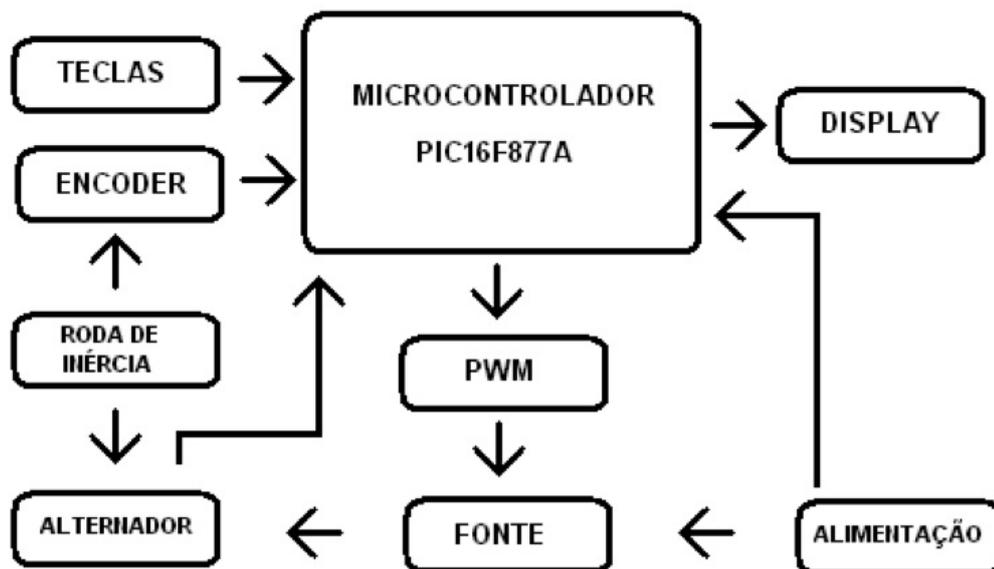


Figura 2.28 – Diagrama de blocos do sistema [Turra, 2008].

De acordo com o diagrama, o sistema possui uma fonte de alimentação para o campo do alternador e o microprocessador, este responsável por processar os sinais provenientes da saída do alternador e do encoder. Na fonte o sinal PWM foi amplificado e convertido a um nível contínuo onde a tensão de saída era proporcional a largura de pulso aplicado na entrada. Através de teclas é possível aumentar ou diminuir a largura de pulso do sinal de PWM, onde os dados coletados são tratados e em seguida mostrados em um display LCD fixado na placa do sistema, Figura 2.29.

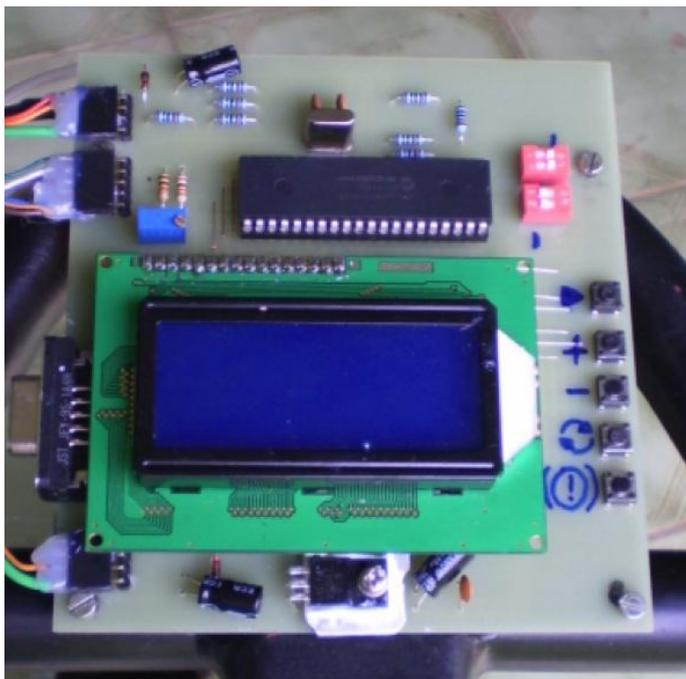


Figura 2.29 – Placa do sistema [Turra, 2008].

O gerador utilizado foi um alternador automotivo, com algumas características originais alteradas para adequar-se ao sistema, como a retirada do regulador de tensão, o qual é responsável por fornecer a energia para o campo magnético, mantendo na saída, um nível fixo de 14V diretamente conectado à uma resistência elétrica.

O autor diz que, ao se aumentar a tensão de campo do alternador, mantendo uma velocidade angular constante, há consequentemente uma elevação no nível de tensão de saída. Essa tensão aplicada sobre a carga aumenta o esforço que o praticante realiza, caracterizando um freio ou resistência. Portanto pode-se dizer que “aumentou ou diminuiu a carga da bicicleta”.

### 2.5.1 Calibração do sistema proposto por Turra

Para calibração do sistema de carga gerado pelo alternador, foi necessário o levantamento das curvas de rendimento do mesmo, a fim de poder medir toda a potência produzida pelo ciclista. Desta forma, foi instalado uma alavanca acoplada ao eixo da roda de inércia e em sua extremidade uma balança, Figura 2.30, esta responsável por medir uma força que multiplicada pelo seu comprimento resultou em torque, que por fim associado ao monitoramento da velocidade obteve-se a potência do sistema. As medições realizadas foram

feitas com variação na tensão de campo do alternador de 0 a 25 V e a rotação da roda de inércia de 50 a 310 rpm.

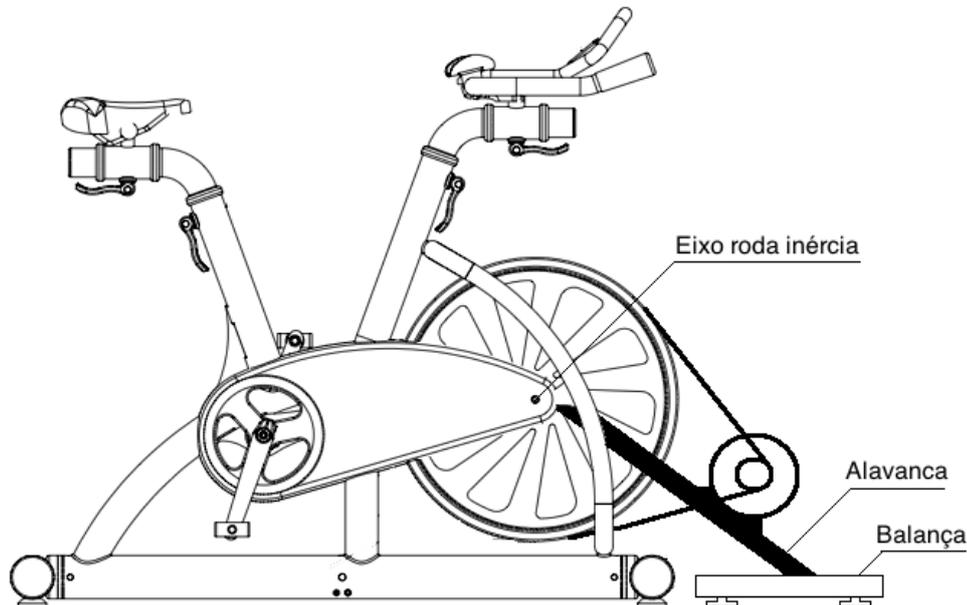


Figura 2.30 – Calibração do sistema [Turra, 2008].

Em análise à dinâmica do sistema, o autor concluiu que a potência total fornecida transforma-se em outras formas de potência. Estas formas são: potência elétrica, potência mecânica (atrito) e potência eletromagnética.

A **Potência elétrica** envolvida no sistema foi medida a partir da saída do alternador, onde foram obtidas as características elétricas do mesmo. O valor total da potência elétrica foi obtido através das seguintes medições: tensão de saída do alternador com a resistência de carga conectada, potência dissipada pela resistência de carga e a tensão de saída do alternador a vazio.

A **Potência mecânica por atrito** foi obtido com a medição do alternador sem carga e sem tensão de campo aplicada. Deduziu-se, portanto, a existência de uma potência sendo dissipada na forma de atrito mecânico em função da correa, rolamentos e escovas do alternador. Para medir esse esforço variou-se a velocidade da roda de inércia com a tensão de campo nula e com a resistência de carga desconectada.

A **Potência eletromagnética** obteve-se com a resistência de carga desconectada da saída do alternador. Nestas medições observou-se a existência de um esforço sobre a balança, proveniente da força eletromagnética que o rotor do alternador faz sobre o estator do mesmo.

Com base nas potências anteriormente citadas, segue na Tabela 1, os resultados calculados para a potência total fornecida pela roda de inércia.

Tabela 1 – Potência (W) total fornecida pela roda de inércia [Turra, 2008]

| RPM<br>Volts | 50   | 80   | 110   | 140   | 170   | 200   | 230   | 260   | 290   | 310   |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0          | 6,42 | 10,3 | 14,7  | 18,7  | 24,4  | 28,8  | 35,4  | 44,1  | 53,6  | 60,5  |
| 2,5          | 8,48 | 14,0 | 19,8  | 26,6  | 34,9  | 43,1  | 52,0  | 60,1  | 74,5  | 82,8  |
| 5,0          | 8,73 | 20,1 | 31,1  | 43,1  | 56,8  | 71,9  | 87,4  | 104,2 | 122,1 | 136,9 |
| 7,5          | 17,7 | 30,8 | 50,9  | 73,3  | 94,3  | 119,2 | 141,8 | 166,9 | 193,6 | 215,0 |
| 10,0         | 19,2 | 42,7 | 69,5  | 104,3 | 135,3 | 174,6 | 209,1 | 243,1 | 278,6 | 308,9 |
| 12,5         | 26,2 | 55,5 | 93,2  | 145,3 | 203,5 | 248,6 | 295,3 | 353,9 | 414,1 | 490,4 |
| 15,0         | 34,2 | 63,7 | 124,3 | 172,6 | 242,8 | 310,2 | 369,8 | 434,0 | 558,6 | 627,4 |
| 17,5         | 34,7 | 67,8 | 132,8 | 190,6 | 266,3 | 354,4 | 431,2 | 558,2 | 682,2 | 772,3 |
| 20,0         | 37,2 | 83,0 | 141,3 | 222,9 | 303,9 | 392,4 | 525,7 | 657,1 | 807,4 | 910,8 |
| 22,5         | 38,5 | 87,1 | 161,0 | 233,7 | 344,9 | 442,8 | 556,4 | 718,5 | 881,8 | 1000  |
| 25,0         | 43,3 | 92,5 | 176,3 | 248,1 | 381,6 | 492,1 | 628,5 | 781,3 | 977,2 | 1089  |

Através do gráfico apresentado na Figura 2.31, podemos observar os dados da Tabela 1 plotados de uma forma ilustrativa, com potência total fornecida em função das variações de tensão no campo do alternador e de rotação da roda de inércia.

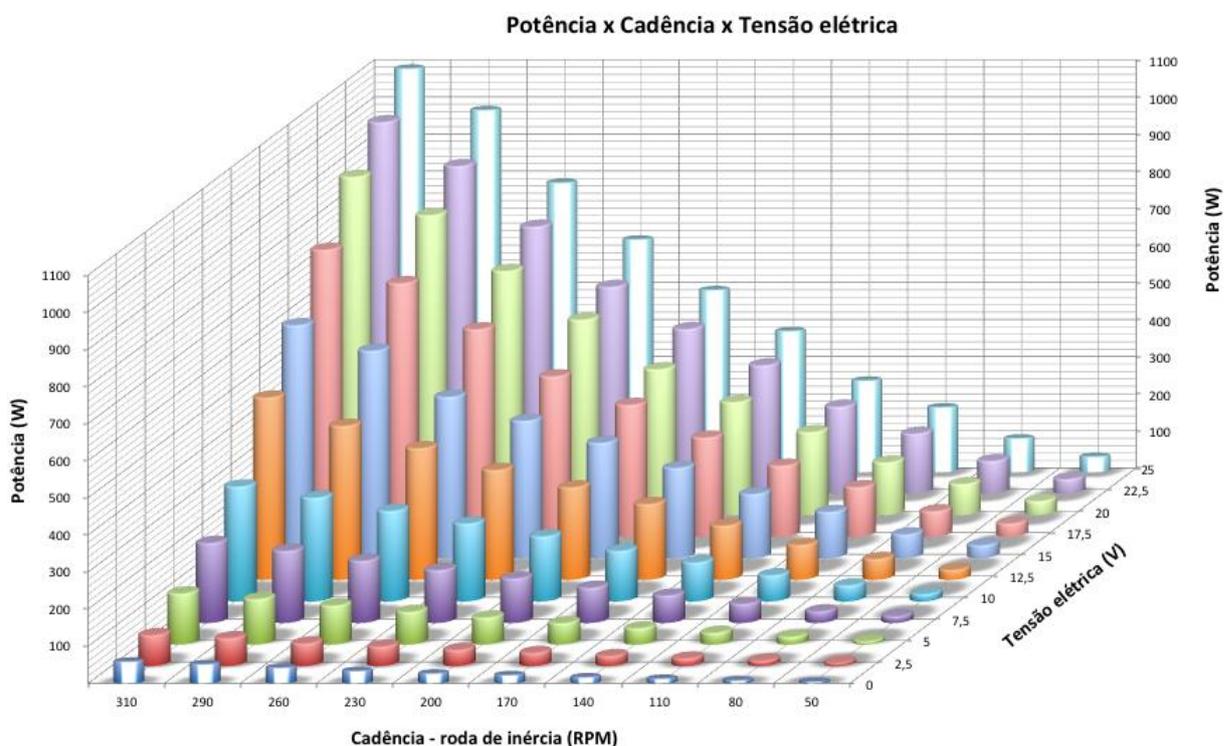


Figura 2.31 – Potência total fornecida pela roda de inércia.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão previstos os detalhes de todos os procedimentos metodológicos para descrever as diferenças quanto o padrão angular da pedalada do ciclista. Por vezes, a descrição ocorre a partir da instrumentação individualizada quanto a potência/cadência e ângulo dos pedais. Não foram sincronizadas as informações obtidas pelo fato de que a instrumentação foi desenvolvida em diferentes momentos, sendo esta focada na medição do ângulo do pedal, auxiliada pela anterior que se tem controle de carga e cadência, já que medir somente o ângulo do pedal sem controlar potência e frequência este estudo seria inválido.

#### 3.1 Instrumentação – potência e cadência

A primeira etapa da instrumentação da bicicleta estacionária de ciclismo *indoor*, chassi fixo e articulado, foi feita através da instalação do sistema proposto por Turra, 2008, adaptado para uma bicicleta da marca Movebike modelo 2010, Figura 3.1, permitindo o controle dos parâmetros propostos, carga e cadência, incluindo o movimento lateral proporcionado pelo chassi na posição articulado.



Figura 3.1 – Bicicleta Movebike instrumentada.

O microcontrolador utilizado foi o PIC16F877A, que possui as seguintes características: arquitetura RISC de alto desempenho; 35 instruções executadas em ciclo de

máquina, com exceção as de desvio; *clock* de até 20 MHz; memória de programa de 8K x 14 palavras (FLASH); memória de dados de 368 x 8 bytes (RAM); memória de dados de 256 x 8 bytes (EEPROM); três contadores / temporizadores; módulo de comparação, captura e PWM; e conversor A/D. Este foi responsável por processar os valores de potência e rotação do pedivela e apresentando-os em um display LCD de 16 colunas por 4 linhas.

O alternador instalado foi da marca BOSCH, Figura 3.2, especificações de 14V e 20 – 30A, onde a mínima e máxima corrente é especificada entre 1800 rpm a 6000 rpm.

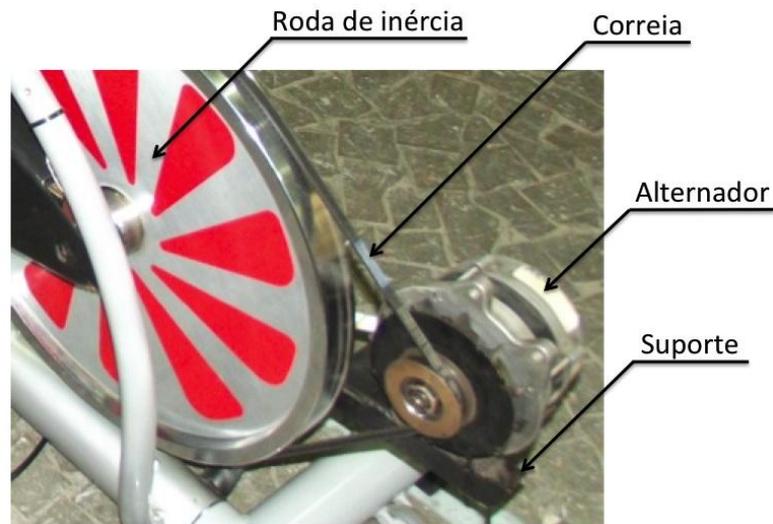


Figura 3.2 – Alternador da marca Bosch, 14V e 20 – 30A.

Devido ao fato de que cada pessoa possui um ritmo diferente de praticar o exercício, com cadências variáveis, não é possível que o alternador gere energia suficiente para alimentar o sistema. Assim, uma fonte de alimentação variável, Figura 3.3, alimenta uma tensão de campo no alternador, onde o nível de tensão do campo é controlado pelo PWM.



Figura 3.3 – Fonte de alimentação para a tensão de campo no alternador.

A variação de tensão no campo do alternador foi conectada a uma resistência de carga com valor fixo, sendo quatro resistores de fio de níquel-cromo em paralelo, Figura 3.4.



Figura 3.4 – Resistor de carga.

A potência total foi determinada pelo somatório das potências elétrica, eletromagnética e mecânica. A medição das potências foram feitas da seguinte forma: a elétrica pelo sinal de tensão sobre o resistor de carga, a eletromagnética pelo sinal de tensão de campo do alternador, e a mecânica através da variação de velocidade angular da roda de inércia com a tensão no campo nula e a resistência de carga desconectada.

A velocidade angular foi obtida a partir de um encoder de 36 ranhuras instalado na roda de inércia, Figura 3.5, em conjunto com um acoplador óptico PHCT104. Levando em consideração a relação entre a roda de inércia e o pedivela, obtêm-se o valor visual instantâneo de rotação dos pedais.



Figura 3.5 – Encoder para medição de velocidade angular.

### 3.2 Instrumentação – ângulo do pedal

Para aquisição dos dados referente a ângulo do pedal em função do pedivela, os pedais de uso comum da bicicleta foram substituídos por pedais instrumentados com potenciômetros, Figura 3.6, adaptados no eixo de ambos os pedais, direito e esquerdo.

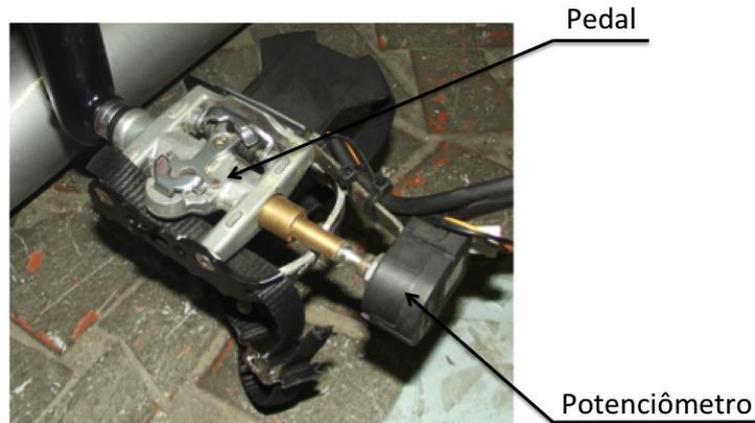


Figura 3.6 – Pedal instrumentado.

Os potenciômetros rotacionais contínuos que foram acoplados aos pedais são da marca Vishay Spectrol modelo 601 HE, medição rotacional de 360 graus, com tempo de transmissão igual a  $50\mu\text{s}$ , velocidade rotacional máxima de 120 rpm e alimentação de 5V. A instalação se deu com um potenciômetro no sentido horário e outro anti-horário

Como a cadência do pedivela foi somente para controle visual do sujeito, este não foi incorporado junto ao sistema de aquisição para o ângulo do pedal. Assim, para o registro do ângulo do pedivela, foi utilizado um sensor eletromagnético, do tipo *reed switch*, Figura 3.7, fixado na carenagem da bicicleta, próximo ao movimento central, e um ímã fixado no pedivela direito.

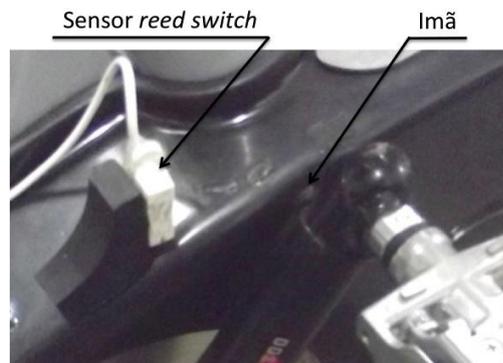


Figura 3.7 – Sensor eletromagnético do tipo *reed switch*.

A posição do sensor *reed switch* em relação ao ponto morto superior (PMS) do pedivela ( $0^\circ$ ) foi medida com o auxílio de um goniômetro manual. O sensor permitiu a determinação do início e o fim de cada ciclo da pedalada.

Antes do início de cada coleta, ambos os pedais foram calibrados com o pedivela no ponto morto superior, com o auxílio de um nível, Figura 3.8, a fim de garantir a posição zero graus dos mesmos.



Figura 3.8 – Calibração dos pedais.

Os sinais dos potenciômetros, pedal direito (PD), pedal esquerdo (PE), e do sensor *reed switch*, foram convertidos por uma placa analógico-digital (*MC - Measurement Computing, USB-1208LS*) com resolução de 12 bits para o sistema de aquisição e processamento de dados (*SADpedal*), onde posteriormente foram determinadas médias, desvios, amplitudes pelo software *Matlab, 2010*.

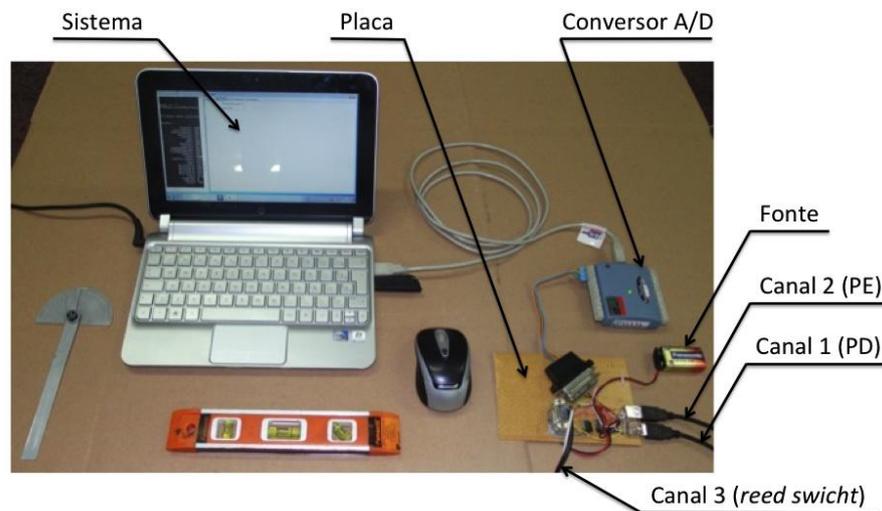


Figura 3.9 – Sistema de aquisição de dados.

### 3.3 Amostra e condições da coleta de dados

A amostra deste estudo foi composta por 5 praticantes, classificados como sujeito A, B, C, D e E, todos com experiência de, no mínimo, 2 anos na modalidade, ou seja, usuários já adaptados com bicicletas de chassi fixo e articulado. O grupo em análise, pratica em média cinco aulas semanais. Estes concordaram com os itens abordados no termo de consentimento proposto, apêndice A.

Apresenta-se na Figura 3.10 as condições adotadas como protocolo para coleta dos dados. A partir da posição de regulagem vertical e horizontal, referente a selim e guidom, adotados por cada ciclista, ajustes os quais o praticante está adaptado a usar em suas aulas e ou treinos, cada sujeito iniciou sua pedalada durante três minutos com intuito de obter um aquecimento. Nos primeiros noventa segundos em uma cadência entre  $90 \pm 3$  rpm, posição sentado com chassi fixo e carga de  $45 \pm 2$  Watts, reduzindo para  $60 \pm 3$  rpm, na posição em pé com chassi articulado, aumentando a carga para  $125 \pm 2$  Watts.

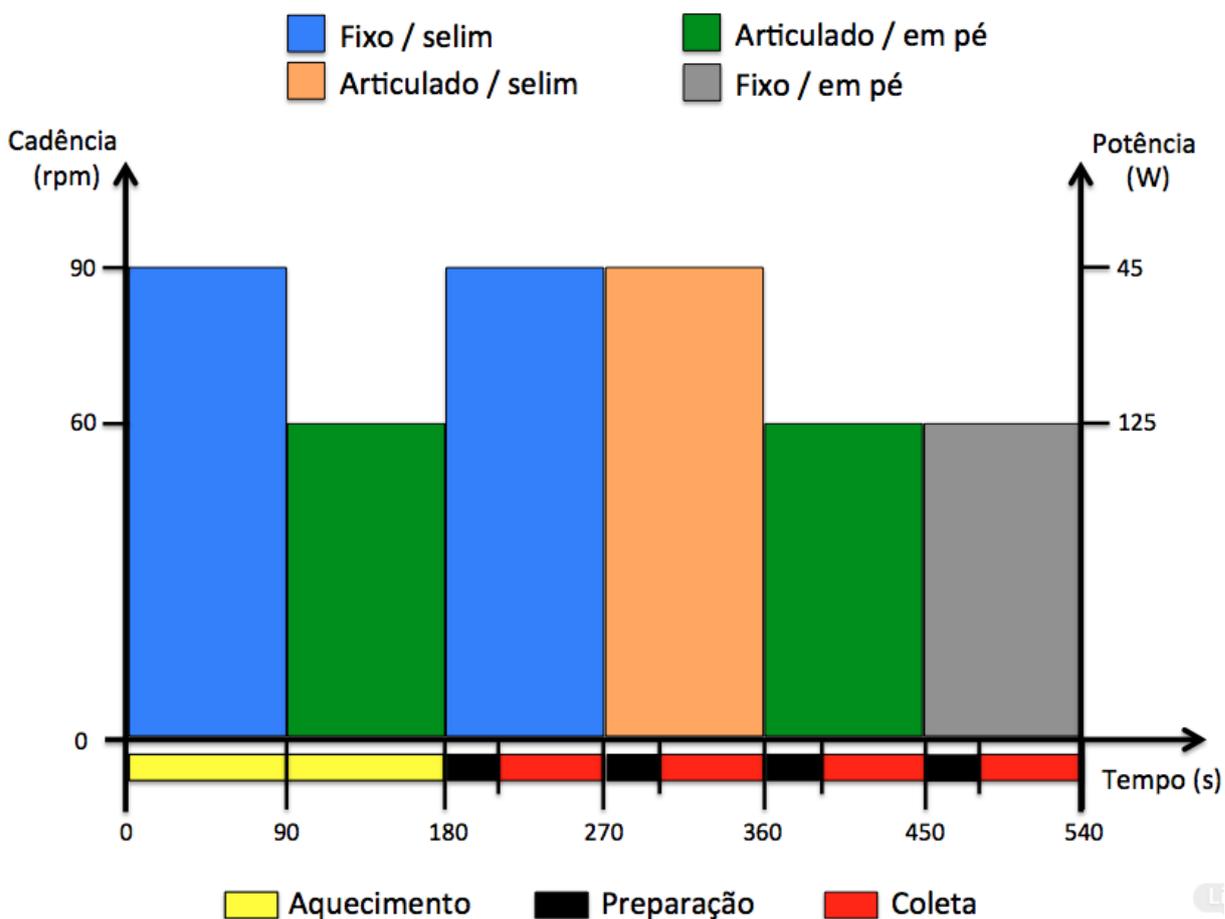


Figura 3.10 – Condições da coleta de dados.

Após o aquecimento e antes de cada coleta, fez-se uma preparação, destinando-se trinta segundos para que o sujeito se adaptasse a condição (chassi fixo ou articulado), posição (pedalando sentado no selim ou em pé), carga e cadência pré-determinada.

Para a carga foram fixados dois patamares referenciados pela cadência e posição ao mesmo tempo, um sendo carga de  $45 \pm 2$  Watts, cadência de  $90 \pm 3$  rpm, na posição sentado no selim, e outra com carga de  $125 \pm 2$  Watts, cadência de  $60 \pm 3$  rpm, na posição em pé, variando apenas a condição do chassi, fixo e articulado para ambos os casos. Estes valores, de carga e cadência foram baseados na prática do ciclismo *indoor* [Goldberg, 2000; Domingues Filho, 2005], como também as posições pedalando sentado no selim e em pé, propostas por Bertucci et al., 2005.

A cadência foi controlada visualmente por cada sujeito através do display do sistema. Toda a amostra foi devidamente orientada para ter a mínima variação possível, pois quaisquer alteração além dos limites afetariam o valor da carga, já que a velocidade angular é diretamente proporcional a potência.

É importante ressaltar que cada coleta foi composta por períodos de 60 s, com dados gravados separadamente, no intuito de processar e apresentar os resultados de uma forma esquematizada em diferentes condições do estudo.

Assim, para cada sujeito, obteve-se seis arquivos de dados, dois sendo de calibração e quatro de coletas em diferentes condições, distribuídos da seguinte forma:

- Arquivo 1 – calibração pedal direito;
- Arquivo 2 – calibração do pedal esquerdo;
- Arquivo 3 – chassi fixo / pedalando sentado no selim;
- Arquivo 4 – chassi articulado / pedalando sentado no selim;
- Arquivo 5 – chassi fixo / pedalando em pé;
- Arquivo 6 – chassi articulado / pedalando em pé.

## 4 RESULTADOS

Os resultados a seguir, são apresentados individualmente para cada ciclista, da seguinte forma: representação ilustrativa de como se comportavam os gráficos adquiridos durante a coleta antes do processamento, valores quanto a cadência e potência, gráficos das curvas sobrepostas, médias e seus desvios para cada posição e ou condição da coleta, comparações na condição chassi fixo e articulado.

### 4.1 Visão geral dos gráficos coletados

A Figura 4.1 apresenta os resultados, de uma forma ilustrativa, de um dos gráficos adquiridos na coleta de dados durante um período de sessenta segundos, em uma determinada condição e posição sobre a bicicleta. O gráfico é composto por três canais, sendo: canal(1) pedal direito, canal(2), pedal esquerdo e canal(3) *reed switch*.

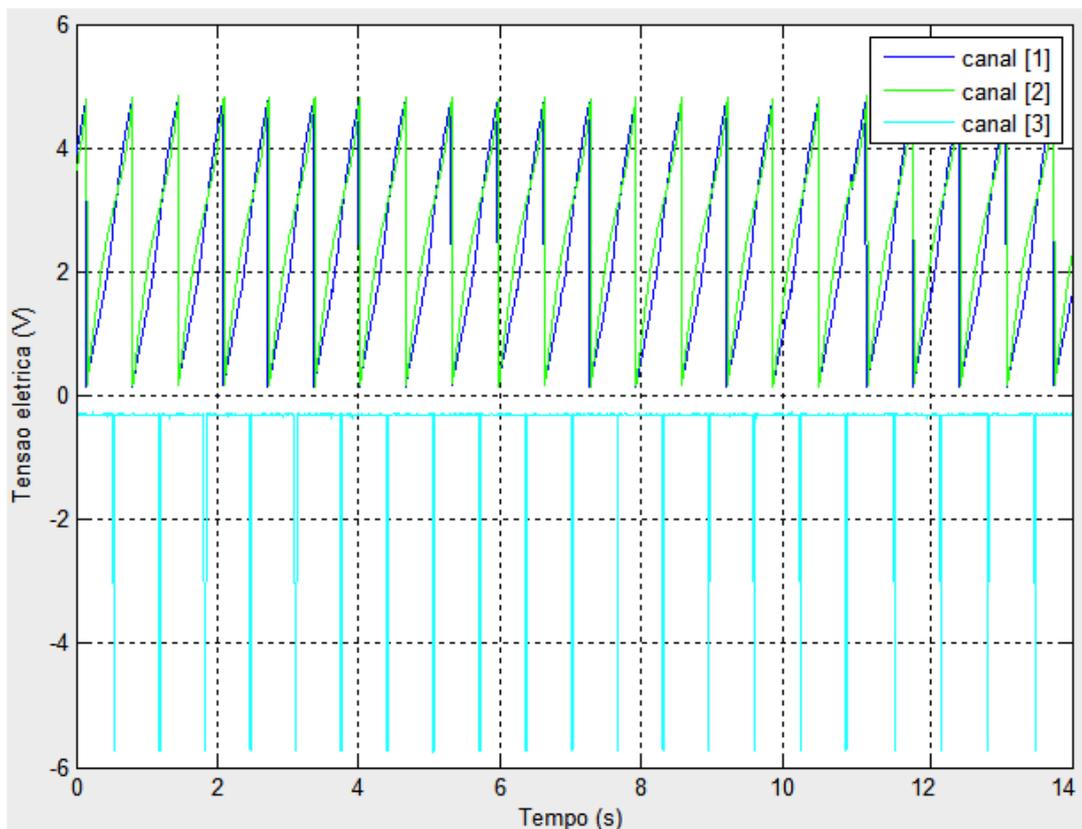


Figura 4.1 – Gráfico dos sinais adquiridos, onde: canal 1 (ângulo do pedal direito), canal 2 (ângulo do pedal esquerdo) e canal 3 (reed switch).

## 4.2 Cadência e potência

Os valores da Tabela 2, mostram o resultado referente a cadência e potência média adquirida, durante cada período, condição e posição adotada, para cada sujeito estudado, como também na Figura 4.2 os resultados apresentados em um gráfico.

Tabela 2 – Resultados da cadência e potência média.

| AMOSTRA               | A              |                 | B              |                 | C              |                 | D              |                 | E              |                 |
|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| CONDIÇÃO              | Cadência (rpm) | Potência (watt) |
| Fixo / no selim       | 90,8           | 45,4            | 92,3           | 46,2            | 89,6           | 44,8            | 90,2           | 45,1            | 90,3           | 45,2            |
| Articulado / no selim | 90,6           | 45,3            | 90,7           | 45,4            | 90,7           | 45,4            | 91,2           | 45,6            | 88,6           | 44,3            |
| Fixo / em pé          | 60,1           | 125,2           | 59,9           | 124,8           | 59,9           | 124,8           | 61,5           | 128,1           | 62,4           | 130,0           |
| Articulado / em pé    | 62,2           | 129,6           | 62,6           | 130,4           | 58,4           | 121,7           | 60,4           | 125,8           | 63,8           | 132,9           |

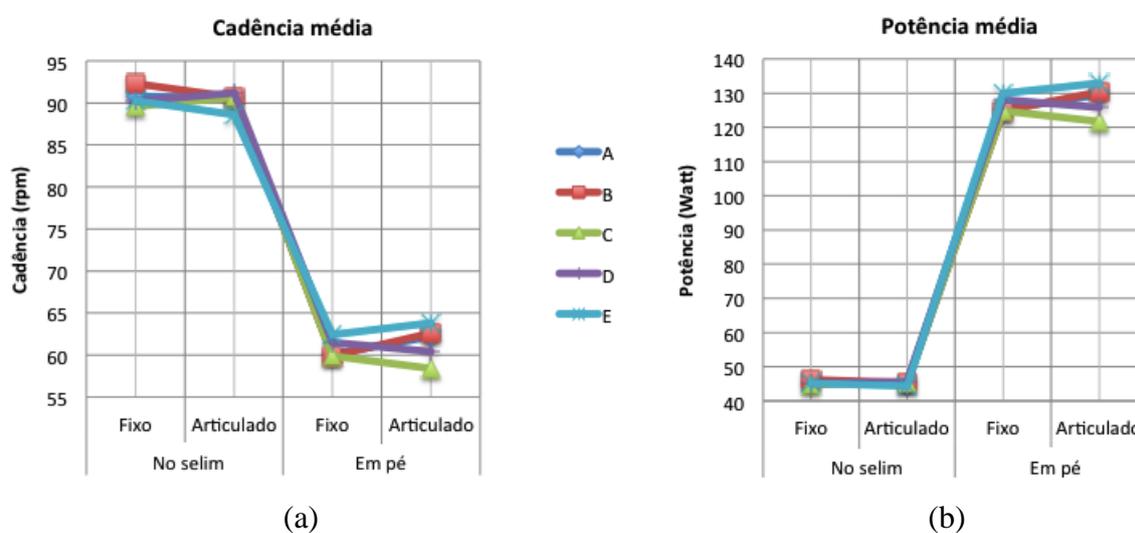


Figura 4.2 – Cadência e potência média, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) cadência, (b) potência.

## 4.3 Ângulo do pedal relativo ao pedivela

Na Figura 4.3, apresenta-se os gráficos do sujeito A, contendo curvas e médias com um desvio padrão, para cada condição e posição adotada: chassi fixo ou articulado, sentado no selim ou em pé. Demais sujeitos são apresentados no apêndice B.

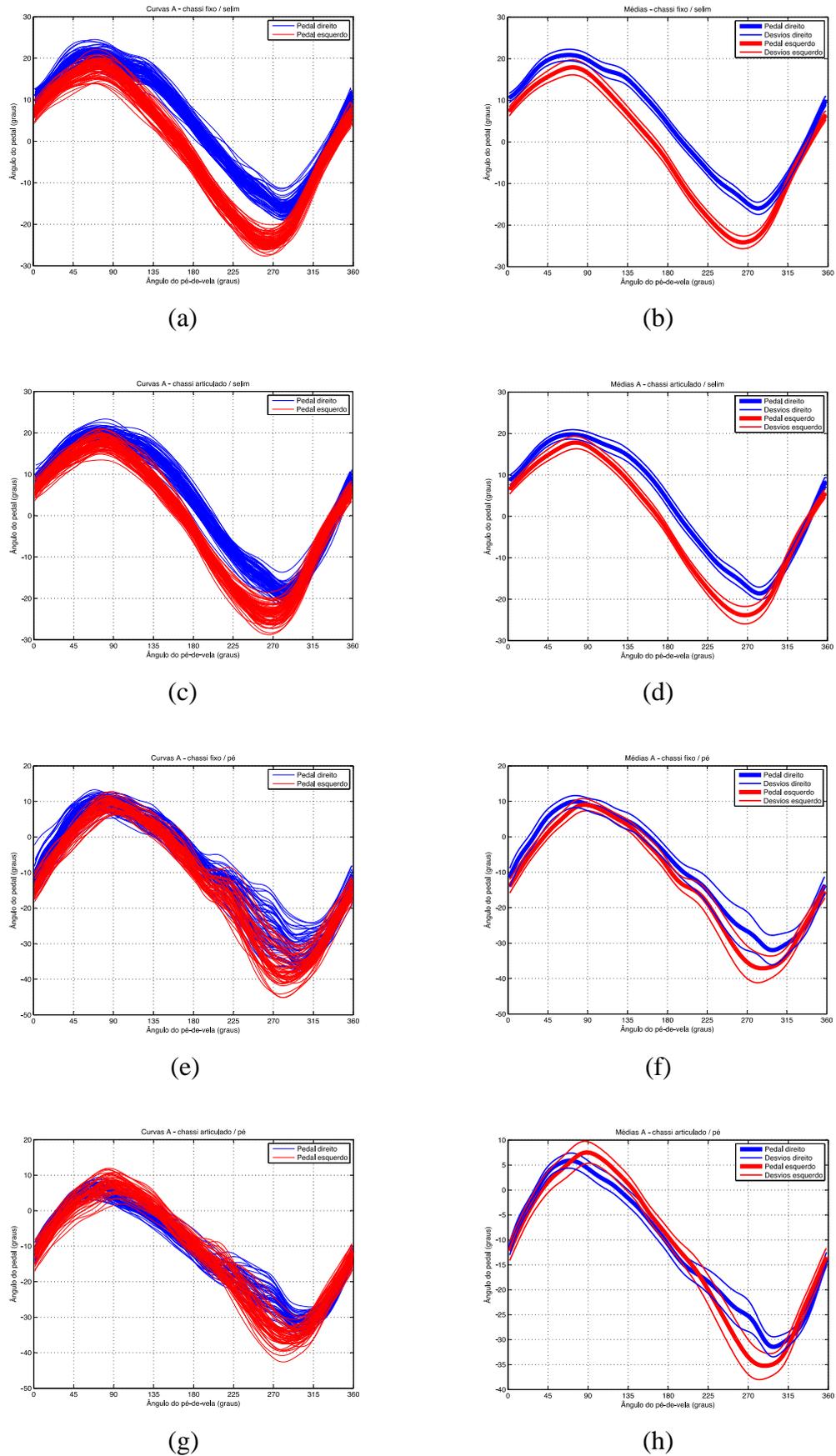


Figura 4.3 – Sujeito A – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.

#### 4.4 Comparações entre chassi fixo e chassi articulado

Os gráficos a seguir apresentam os resultados das médias dos ângulos do pedal com cada sujeito (A,B,C,D e E), quanto a condição de uso do chassi (fixo e articulado), para a mesma posição sobre a bicicleta (sentado no selim ou em pé), pedal direito e esquerdo.

Observa-se que, todas os sujeitos em algum momento durante o ciclo da pedalada, apresentam diferenças se comparadas entre as condições fixo e articulado. Estas diferenças são menos acentuadas quando utiliza-se a posição sentado no selim, e mais acentuadas quando se está pedalando em pé. Pode-se também verificar que, o pedal direito possui diferenças maiores que o pedal esquerdo.

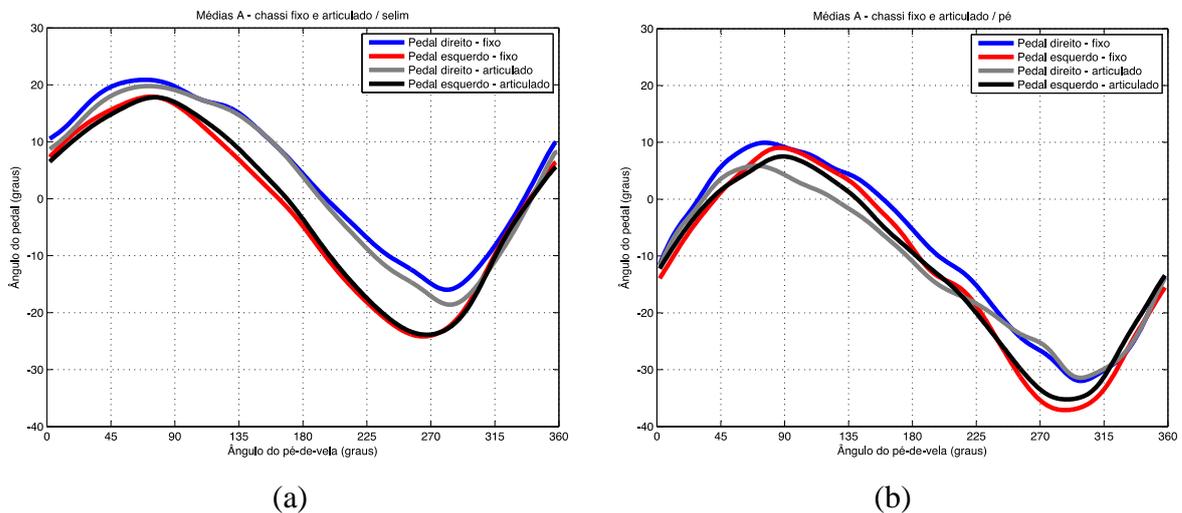


Figura 4.4 – Sujeito A – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.

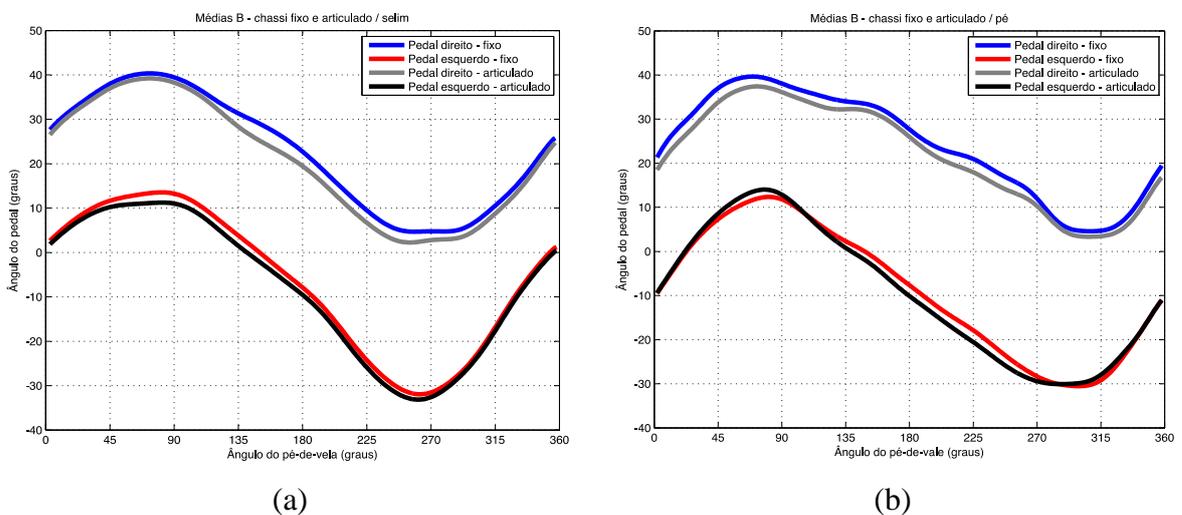
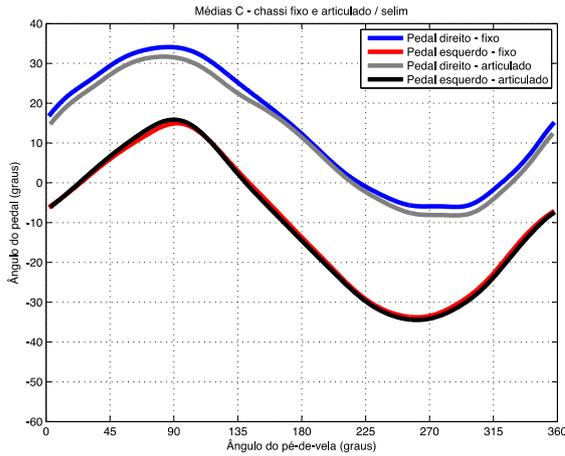
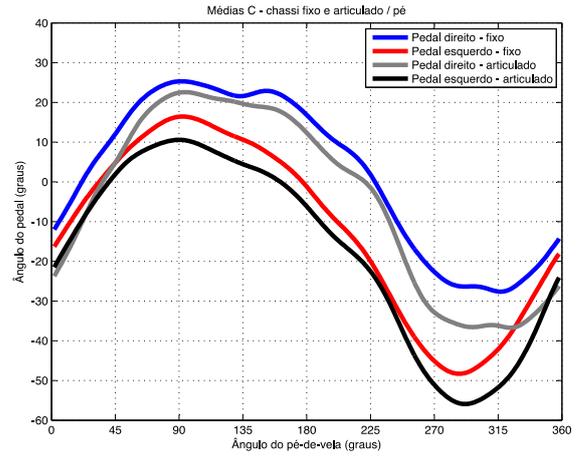


Figura 4.5 – Sujeito B – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.

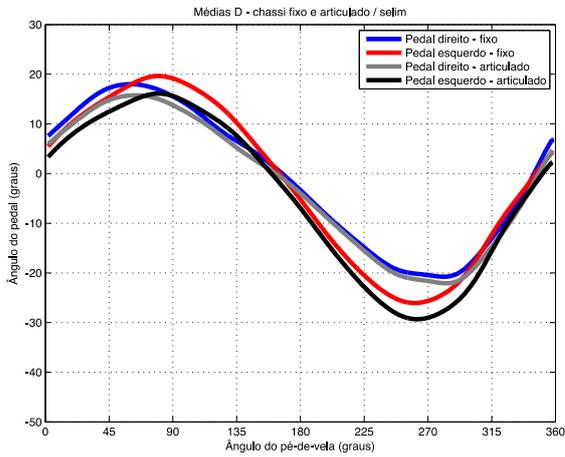


(a)

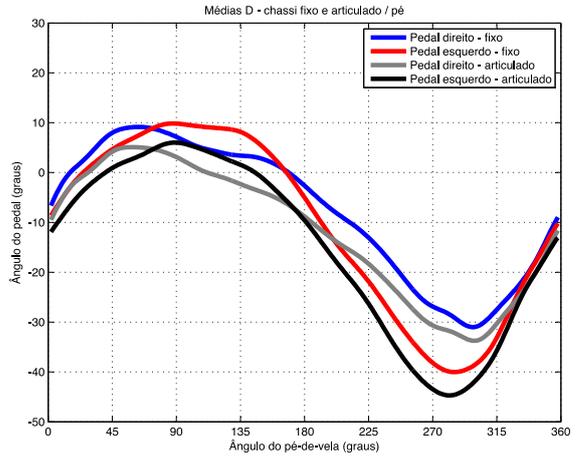


(b)

Figura 4.6 – Sujeito C – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.

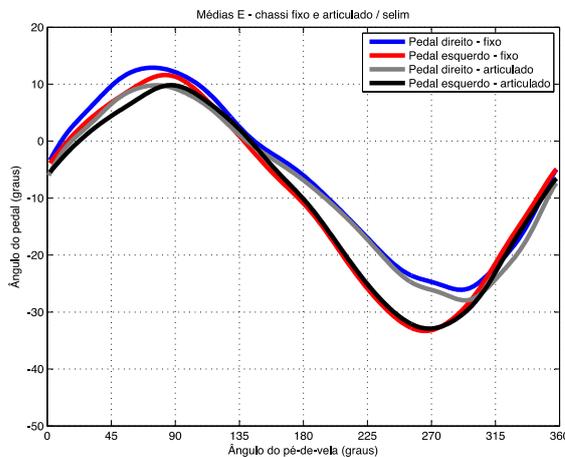


(a)

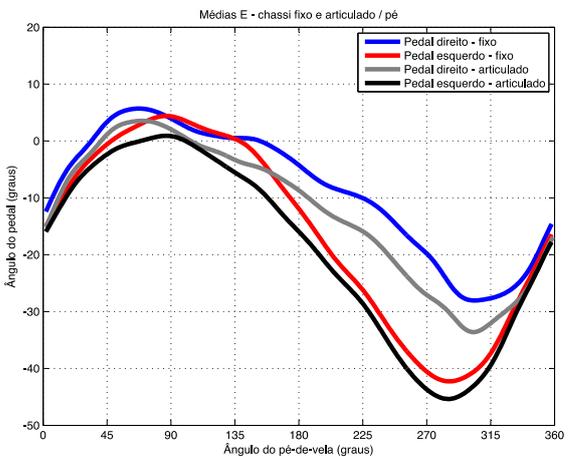


(b)

Figura 4.7 – Sujeito D – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.



(a)



(b)

Figura 4.8 – Sujeito E – médias, chassi fixo e articulado: (a) no selim, (b) em pé.

#### 4.4.1 Posição onde ocorrem as diferenças

A seguir apresenta-se gráficos de resultados das médias e seus respectivos desvios (quadro “a”), com ênfase na posição do pedivela onde ocorreram as diferenças. A área plotada (quadro “b”) representa a diferença entre a curva do desvio no chassi fixo e a curva do desvio do chassi articulado, estas somente para a posição durante o ciclo da pedalada que apresentaram valores positivos, como também o seu valor máximo atingido.

As diferenças aparecem em todos os sujeitos, porém dependendo da posição e pedal são diferenciadas, ocorrem em: C, D e E pedalando em pé ambos pedais; A e B pedalando em pé no pedal direito; e somente em E pedalando no selim ambos pedais.

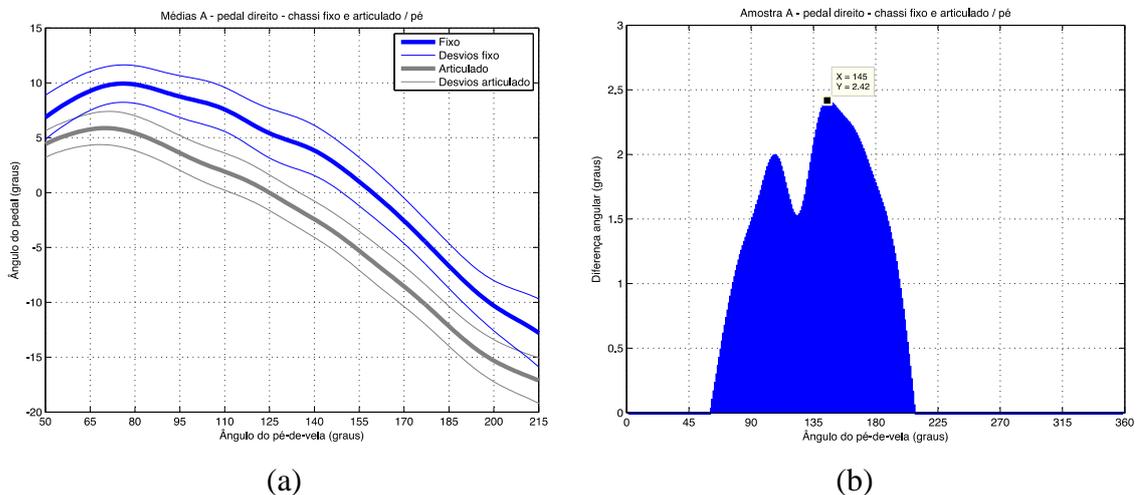


Figura 4.9 – Sujeito A – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

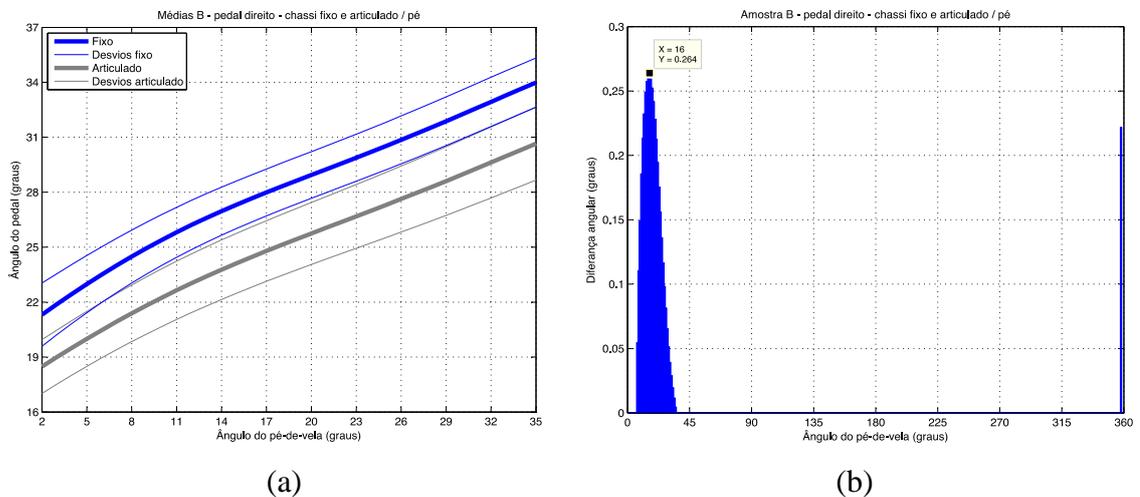


Figura 4.10 – Sujeito B – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

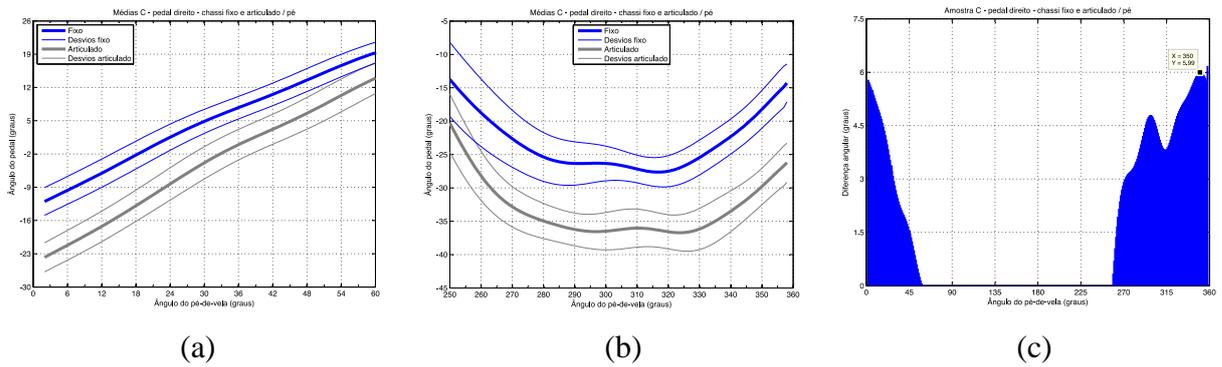


Figura 4.11 – Sujeito C – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a)(b) médias com desvios, (c) área da diferença.

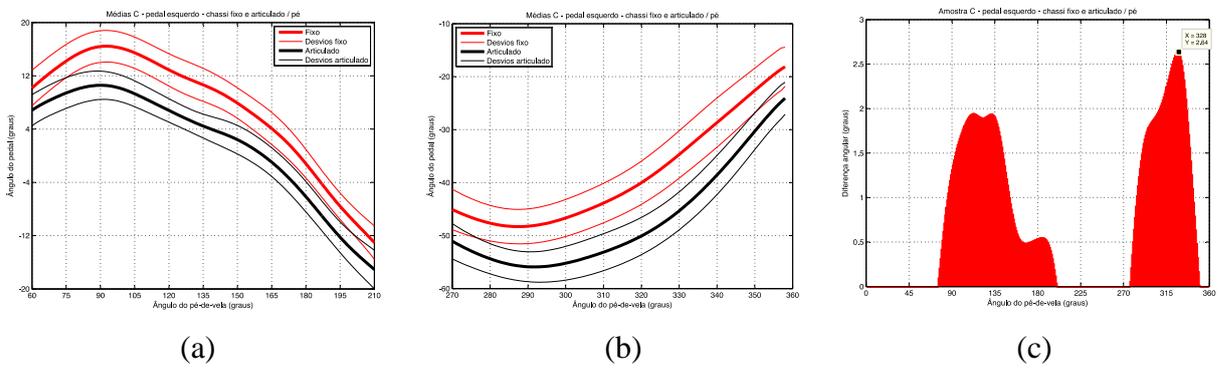


Figura 4.12 – Sujeito C – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a)(b) médias com desvios, (c) área da diferença.

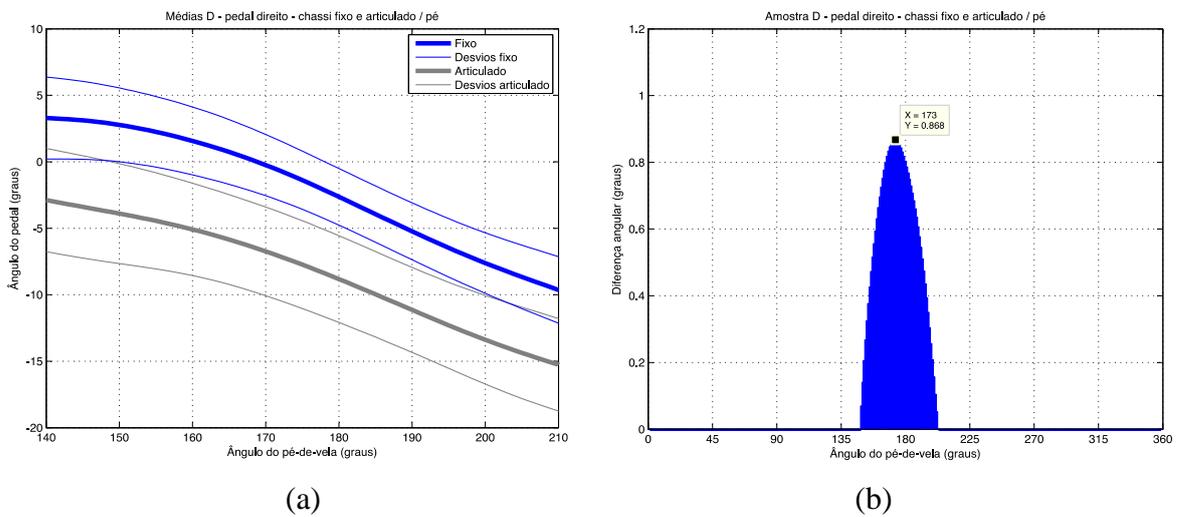
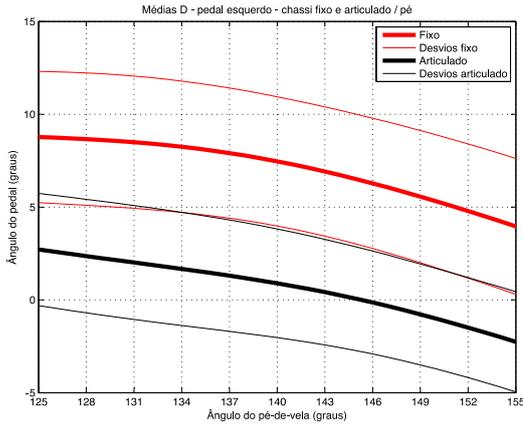
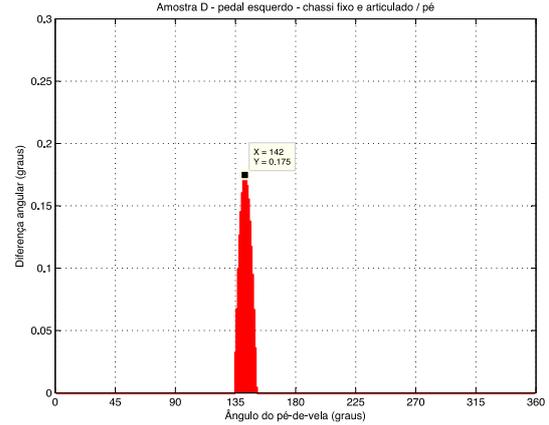


Figura 4.13 – Sujeito D – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

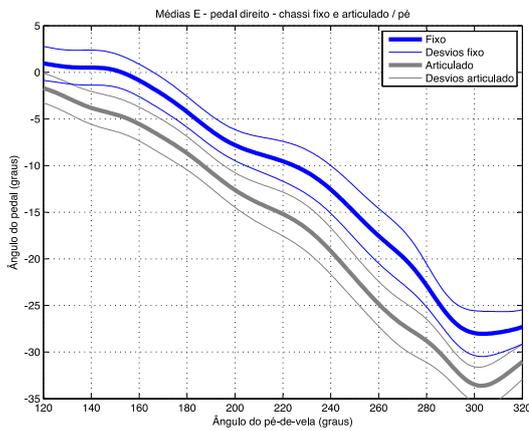


(a)

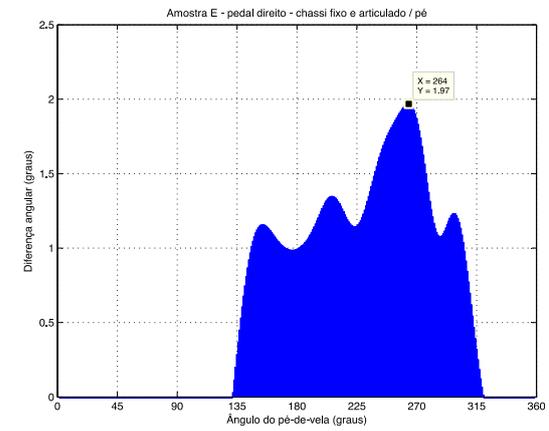


(b)

Figura 4.14 – Sujeito D – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

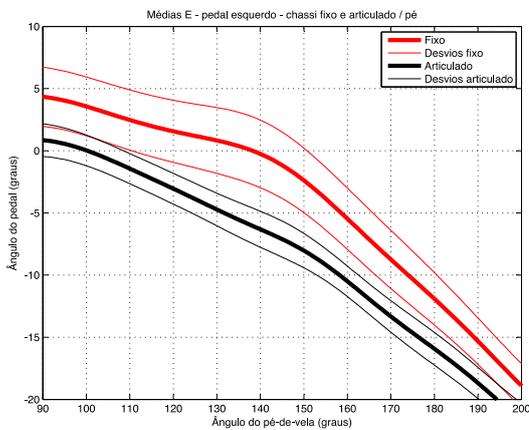


(a)

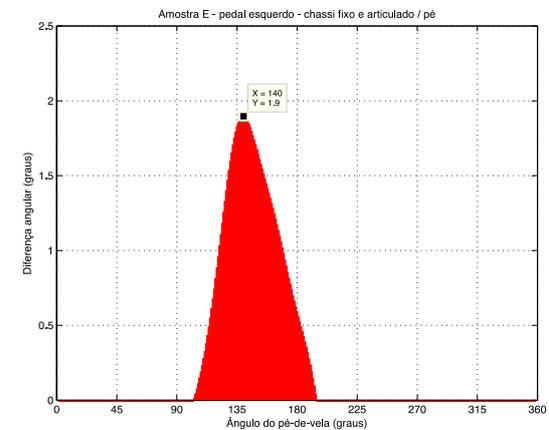


(b)

Figura 4.15 – Sujeito E – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.



(a)



(b)

Figura 4.16 – Sujeito E – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando em pé: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

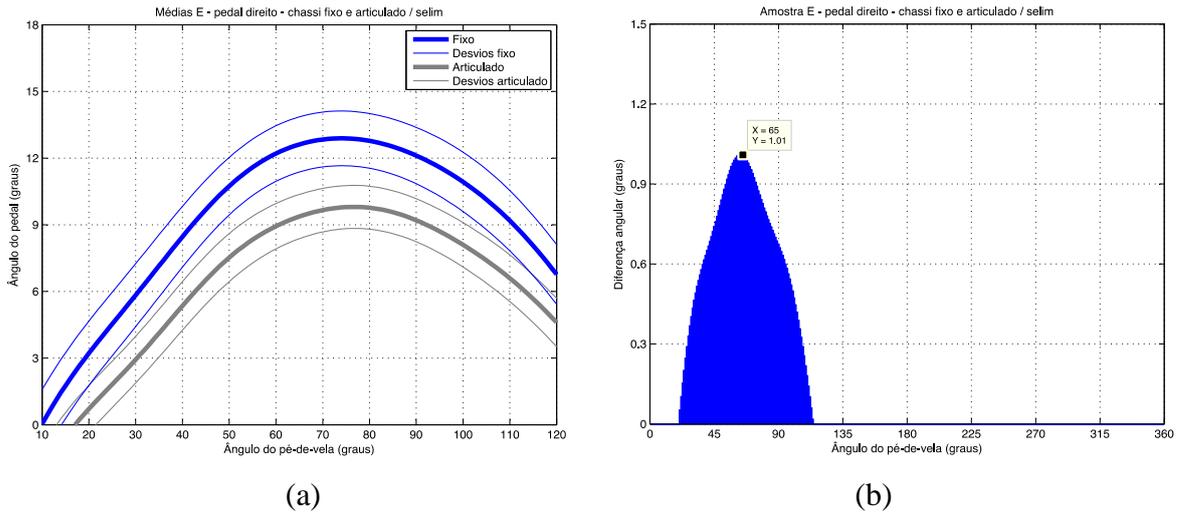


Figura 4.17 – Sujeito E – Diferença no pedal direito entre chassi fixo e articulado, pedalando no selim: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

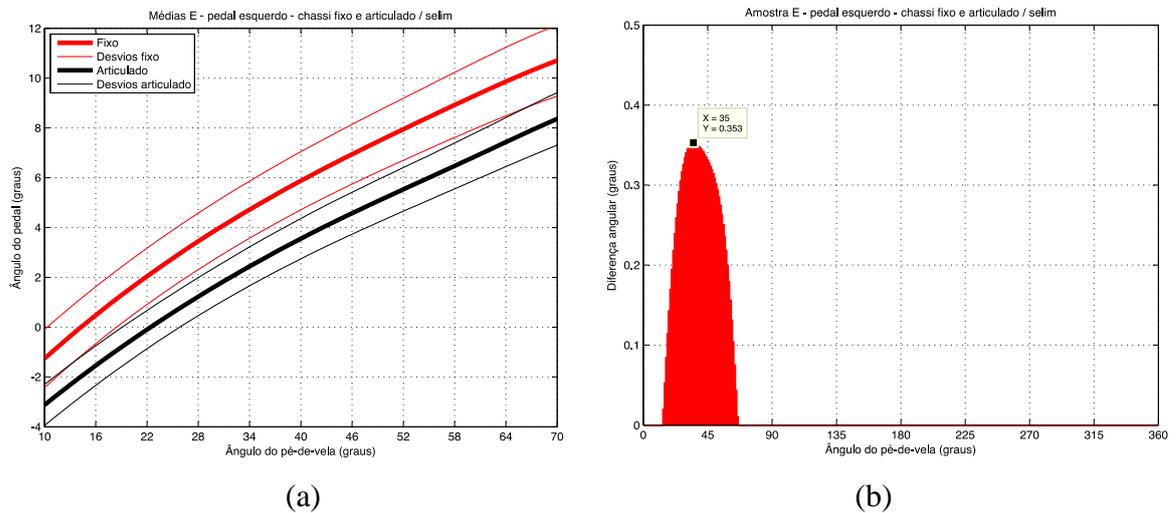


Figura 4.18 – Sujeito E – Diferença no pedal esquerdo entre chassi fixo e articulado, pedalando no selim: (a) médias com desvios, (b) área da diferença.

Têm-se na Figura 4.19 um resumo dos resultados referentes a posição no pedivela onde ocorrem as diferenças, expressos através de um gráfico polar que representa o ciclo da pedalada.

Das dez ocorrências que apresentam diferenças, os resultados apontam que oito destas se concentram na parte produtiva da pedalada, de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , podendo chegar até os  $210^\circ$  em quatro ocorrências. O ângulo de  $150^\circ$  no pedivela é a posição que concentra o maior número de ocorrências, seis.

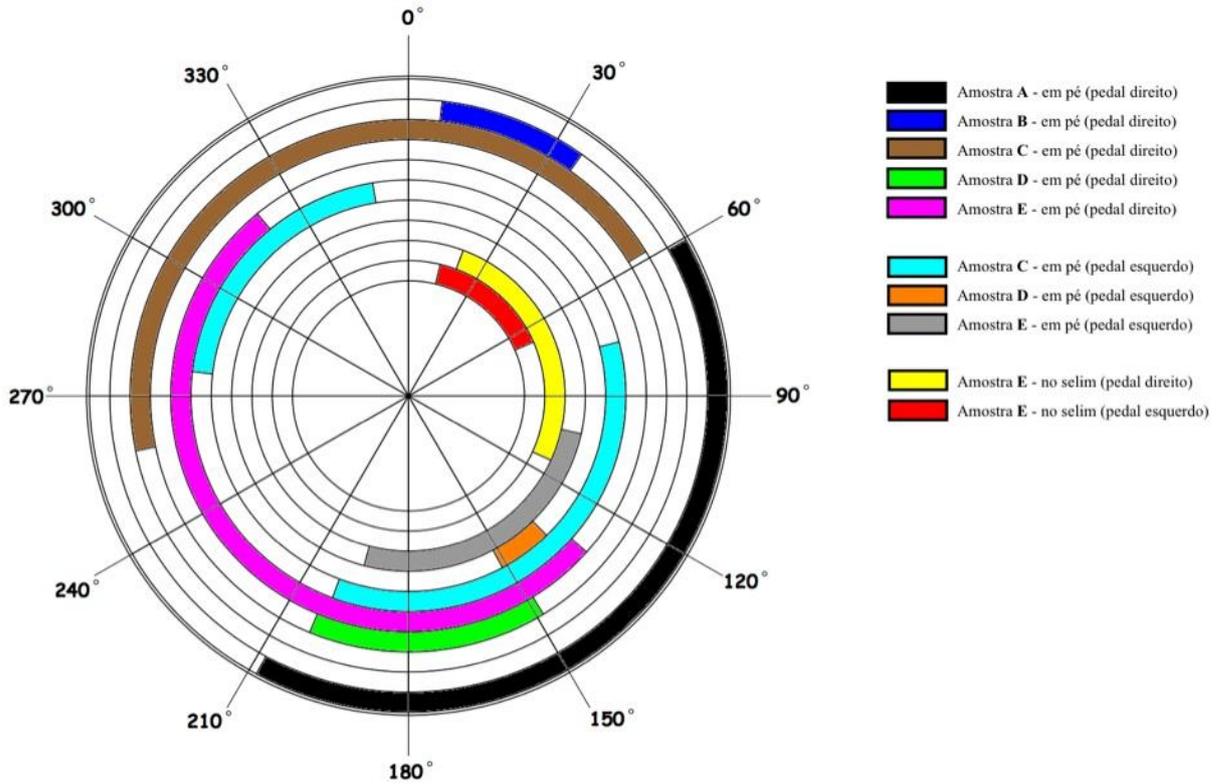


Figura 4.19 – Posição no pedivela onde ocorrem as diferenças.

#### 4.4.2 Ângulo máximo e mínimo

A Tabela 3 e 4, apresenta respectivamente, os resultados numéricos para cada pedal, direito e esquerdo, referente ao ângulo máximo e  $\triangle$  mínimo (  $\overset{A}{\triangle}$  ), posição de ocorrência deste ângulo relativo ao pedivela (PDV), amplitude ( ), e ângulo dos pedais quando o pedivela encontra-se na posição 90°. Todos os valores estão representados com desvios (STD) nas condições fixo e articulado, posições sentado no selim ou em pé, para cada sujeito em estudo.

Tabela 3 – Resultados numéricos do ângulo do pedal direito.

| SUJEITO      | CONDIÇÃO   | POSIÇÃO    | ÂNGULO PEDAL DIREITO (graus) |     |     |     |        |     |     |     |           |     |         |     |
|--------------|------------|------------|------------------------------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----------|-----|---------|-----|
|              |            |            | MÁXIMO                       |     |     |     | MÍNIMO |     |     |     | AMPLITUDE |     | PDV 90° |     |
|              |            |            | ◁                            | STD | PDV | STD | ◁      | STD | PDV | STD | △         | STD | ◁       | STD |
| <b>A</b>     | No selim   | Fixo       | 21                           | 1,3 | 69  | 1,4 | -16    | 1,5 | 281 | 1,5 | 37        | 1,4 | 20      | 1,4 |
|              | No selim   | Articulado | 20                           | 1,1 | 72  | 1,2 | -19    | 1,6 | 284 | 1,5 | 39        | 1,3 | 19      | 1,3 |
|              | Em pé      | Fixo       | 10                           | 1,6 | 76  | 2,2 | -32    | 4,3 | 300 | 2,2 | 42        | 2,9 | 9       | 1,8 |
|              | Em pé      | Articulado | 6                            | 1,4 | 70  | 1,9 | -31    | 2,1 | 299 | 2,2 | 37        | 1,7 | 4       | 1,6 |
| <b>B</b>     | Fixo       | no selim   | 30                           | 1,2 | 73  | 1,4 | -6     | 1,1 | 278 | 1,4 | 37        | 1,2 | 29      | 1,4 |
|              | Articulado | no selim   | 29                           | 1,3 | 73  | 1,4 | -9     | 1,3 | 272 | 2,9 | 38        | 1,3 | 28      | 1,6 |
|              | Fixo       | em pé      | 26                           | 1,1 | 70  | 1,0 | -16    | 1,4 | 306 | 1,8 | 42        | 1,2 | 24      | 1,1 |
|              | Articulado | em pé      | 23                           | 1,7 | 73  | 1,8 | -19    | 1,4 | 310 | 1,9 | 41        | 1,5 | 15      | 1,8 |
| <b>C</b>     | Fixo       | No selim   | 34                           | 2,1 | 86  | 2,3 | -7     | 1,7 | 278 | 2,3 | 41        | 1,9 | 30      | 2,4 |
|              | Articulado |            | 32                           | 2,3 | 82  | 4,7 | -9     | 2,7 | 279 | 3,7 | 41        | 2,5 | 28      | 4,6 |
|              | Fixo       | Em pé      | 29                           | 1,4 | 84  | 1,9 | -28    | 1,7 | 307 | 2,1 | 57        | 1,5 | 20      | 1,8 |
|              | Articulado |            | 25                           | 1,9 | 81  | 2,0 | -37    | 2,0 | 313 | 2,2 | 62        | 2,0 | 17      | 1,9 |
| <b>D</b>     | Fixo       | No selim   | 18                           | 1,8 | 60  | 1,9 | -21    | 1,7 | 278 | 1,5 | 39        | 1,8 | 16      | 2,1 |
|              | Articulado |            | 16                           | 1,3 | 64  | 1,3 | -22    | 1,7 | 282 | 1,8 | 38        | 1,5 | 14      | 1,3 |
|              | Fixo       | Em pé      | 9                            | 2,5 | 64  | 2,6 | -31    | 3,2 | 298 | 2,3 | 40        | 2,9 | 7       | 2,6 |
|              | Articulado |            | 5                            | 1,7 | 61  | 2,9 | -34    | 3,4 | 299 | 2,3 | 39        | 2,5 | 3       | 2,7 |
| <b>E</b>     | Fixo       | No selim   | 13                           | 1,2 | 74  | 1,2 | -26    | 1,8 | 291 | 1,7 | 39        | 1,5 | 12      | 1,3 |
|              | Articulado |            | 10                           | 0,9 | 77  | 1,0 | -28    | 1,6 | 293 | 1,6 | 38        | 1,3 | 9       | 1,0 |
|              | Fixo       | Em pé      | 6                            | 1,8 | 69  | 1,9 | -28    | 2,5 | 307 | 2,4 | 34        | 2,2 | 4       | 1,8 |
|              | Articulado |            | 4                            | 1,0 | 69  | 1,1 | -34    | 2,1 | 303 | 2,0 | 37        | 1,5 | 2       | 1,2 |
| <b>Média</b> | Fixo       | No selim   | 23                           | 7,9 | 73  | 8,4 | -15    | 7,8 | 281 | 5,0 | 39        | 1,5 | 21      | 7,3 |
|              | Articulado |            | 21                           | 8,3 | 73  | 5,9 | -17    | 7,5 | 282 | 7,0 | 39        | 1,2 | 20      | 7,5 |
|              | Fixo       | Em pé      | 16                           | 9,4 | 73  | 6,8 | -27    | 5,7 | 304 | 3,9 | 43        | 7,5 | 13      | 7,8 |
|              | Articulado |            | 12                           | 9,2 | 71  | 6,4 | -31    | 6,4 | 305 | 5,6 | 43        | 9,4 | 8       | 6,5 |

Tabela 4 – Resultados numéricos do ângulo do pedal esquerdo.

| SUJEITO      | CONDIÇÃO   | POSIÇÃO    | ÂNGULO PEDAL ESQUERDO (graus) |     |     |     |        |     |     |     |           |     |         |     |
|--------------|------------|------------|-------------------------------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----------|-----|---------|-----|
|              |            |            | MÁXIMO                        |     |     |     | MÍNIMO |     |     |     | AMPLITUDE |     | PDV 90° |     |
|              |            |            | ◁                             | STD | PDV | STD | ◁      | STD | PDV | STD | △         | STD | ◁       | STD |
| <b>A</b>     | No selim   | Fixo       | 18                            | 1,8 | 73  | 1,8 | -24    | 1,5 | 265 | 1,5 | 42        | 1,6 | 17      | 1,8 |
|              | No selim   | Articulado | 18                            | 1,6 | 76  | 1,5 | -24    | 2,0 | 267 | 2,9 | 42        | 1,8 | 17      | 1,4 |
|              | Em pé      | Fixo       | 9                             | 1,8 | 88  | 1,8 | -38    | 3,3 | 288 | 3,9 | 47        | 2,6 | 9       | 1,6 |
|              | Em pé      | Articulado | 8                             | 2,1 | 89  | 2,3 | -36    | 2,3 | 288 | 2,6 | 43        | 2,2 | 8       | 2,2 |
| <b>B</b>     | Fixo       | no selim   | 14                            | 1,6 | 79  | 1,7 | -32    | 2,1 | 262 | 2,2 | 46        | 1,9 | 13      | 1,7 |
|              | Articulado | no selim   | 11                            | 1,3 | 77  | 1,5 | -33    | 2,6 | 261 | 2,7 | 45        | 2,0 | 11      | 1,4 |
|              | Fixo       | em pé      | 12                            | 1,4 | 81  | 1,3 | -31    | 3,7 | 296 | 4,2 | 43        | 2,5 | 12      | 1,1 |
|              | Articulado | em pé      | 14                            | 1,3 | 78  | 1,3 | -31    | 3,0 | 288 | 3,6 | 45        | 2,1 | 13      | 1,1 |
| <b>C</b>     | Fixo       | No selim   | 15                            | 4,3 | 92  | 4,4 | -34    | 4,1 | 261 | 3,7 | 49        | 4,2 | 15      | 4,4 |
|              | Articulado |            | 16                            | 5,3 | 90  | 5,5 | -35    | 5,8 | 261 | 5,5 | 51        | 5,5 | 16      | 4,6 |
|              | Fixo       | Em pé      | 12                            | 2,3 | 92  | 2,4 | -44    | 3,6 | 288 | 3,1 | 55        | 2,9 | 11      | 2,4 |
|              | Articulado |            | 11                            | 1,8 | 89  | 2,1 | -46    | 3,1 | 292 | 2,9 | 57        | 2,5 | 10      | 2,1 |
| <b>D</b>     | Fixo       | No selim   | 20                            | 3,0 | 81  | 3,1 | -26    | 3,2 | 261 | 3,2 | 46        | 3,1 | 19      | 3,3 |
|              | Articulado |            | 16                            | 1,3 | 80  | 1,3 | -29    | 2,4 | 262 | 2,4 | 46        | 1,8 | 16      | 1,4 |
|              | Fixo       | Em pé      | 10                            | 2,3 | 95  | 2,7 | -40    | 3,4 | 285 | 3,3 | 50        | 2,8 | 9       | 2,3 |
|              | Articulado |            | 6                             | 1,6 | 90  | 2,7 | -45    | 3,5 | 282 | 3,4 | 51        | 2,5 | 6       | 2,7 |
| <b>E</b>     | Fixo       | No selim   | 12                            | 1,4 | 83  | 1,5 | -33    | 1,6 | 265 | 1,6 | 45        | 1,5 | 11      | 1,4 |
|              | Articulado |            | 10                            | 1,1 | 87  | 1,1 | -33    | 1,8 | 268 | 1,8 | 43        | 1,4 | 10      | 1,1 |
|              | Fixo       | Em pé      | 5                             | 2,3 | 87  | 2,4 | -42    | 4,7 | 286 | 4,6 | 47        | 3,5 | 4       | 2,4 |
|              | Articulado |            | 1                             | 1,5 | 86  | 1,3 | -45    | 4,4 | 285 | 4,3 | 46        | 3,0 | 1       | 0,4 |
| <b>Média</b> | Fixo       | No selim   | 16                            | 2,9 | 82  | 6,2 | -30    | 4,1 | 263 | 1,9 | 46        | 2,3 | 15      | 2,7 |
|              | Articulado |            | 14                            | 3,1 | 82  | 5,6 | -31    | 3,9 | 264 | 3,1 | 45        | 3,2 | 14      | 2,9 |
|              | Fixo       | Em pé      | 10                            | 2,8 | 89  | 4,9 | -39    | 4,5 | 289 | 3,9 | 48        | 4,0 | 9       | 2,7 |
|              | Articulado |            | 8                             | 4,4 | 86  | 4,5 | -41    | 6,3 | 287 | 3,4 | 48        | 5,0 | 7       | 4,0 |

O pedal direito e esquerdo, nos sujeitos A, C, D e E, e o pedal direito no sujeito B, apresentam ângulo máximo menor quando se utilizou o chassi articulado, somente o pedal esquerdo do sujeito B o valor do ângulo máximo foi maior para essa condição, Figura 4.20.

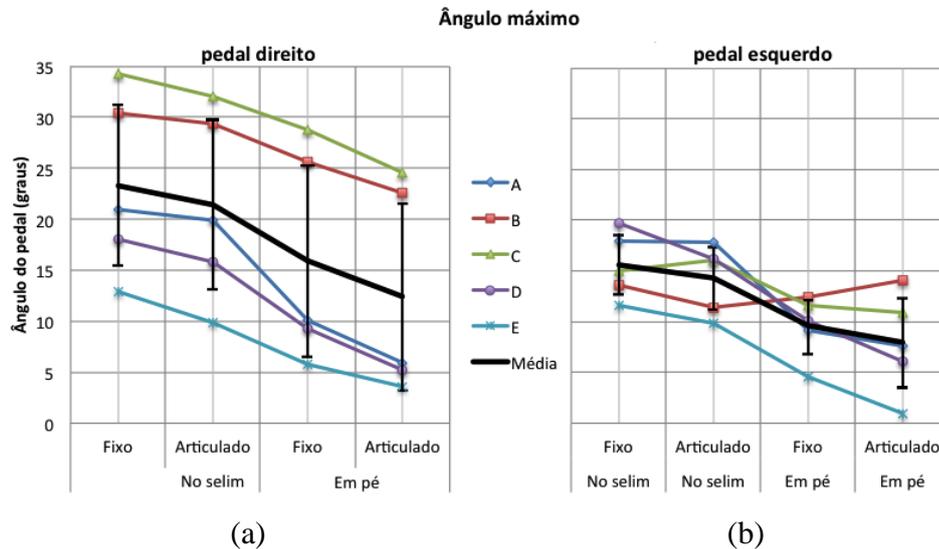


Figura 4.20 – Ângulo máximo do pedal, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

O ângulo mínimo, Figura 4.21, comportou-se da seguinte forma: pedal direito e esquerdo, nos sujeitos C, D e E, e o pedal direito no sujeito B, apresentam valores menores quando se utilizou o chassi articulado, demais e mantêm o mesmo valor nas duas condições, com exceção do sujeito A, pedalando em pé, que o valor é maior no chassi articulado.

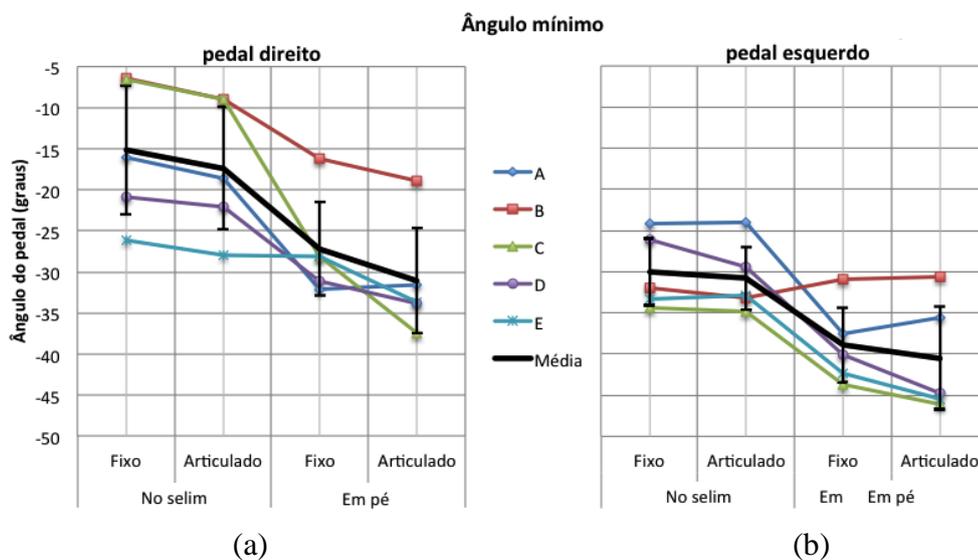


Figura 4.21 – Ângulo mínimo do pedal, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

Nas Figuras 4.22 e 4.23, têm-se respectivamente a posição de ocorrência do ângulo máximo e mínimo no pedivela. Pode-se dizer que na posição máximo não temos uma tendência definida na posição selim, enquanto alguns sujeitos diminuem, outras aumentam, como também têm-se aquelas que se mantêm no mesmo ângulo.

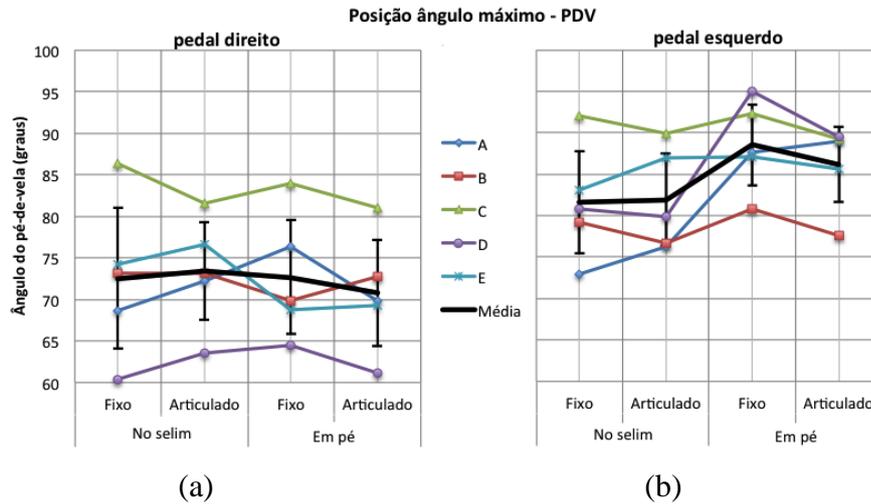


Figura 4.22 – Posição do ângulo máximo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

No mínimo, a posição angular comportou-se da seguinte forma: no selim, pedal direito e esquerdo, todos os sujeitos aumentam com exceção de B; em pé temos alguns conflitos, A se mantêm e C aumenta em ambos pedais, enquanto B e D aumentam no direito e diminuem no esquerdo.

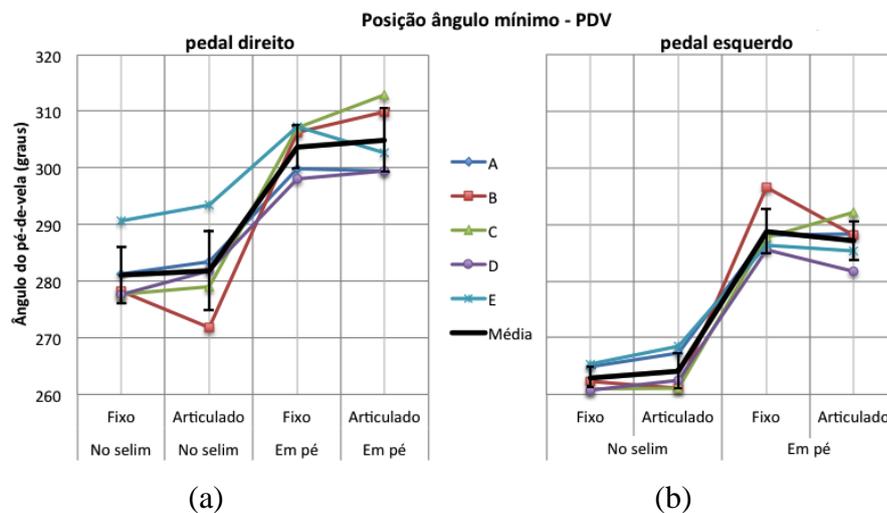
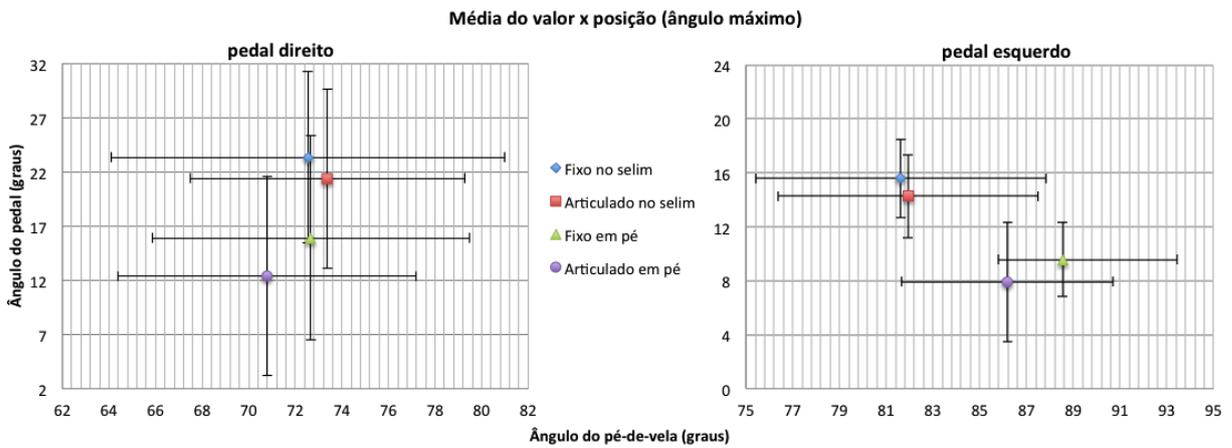


Figura 4.23 – Posição do ângulo mínimo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

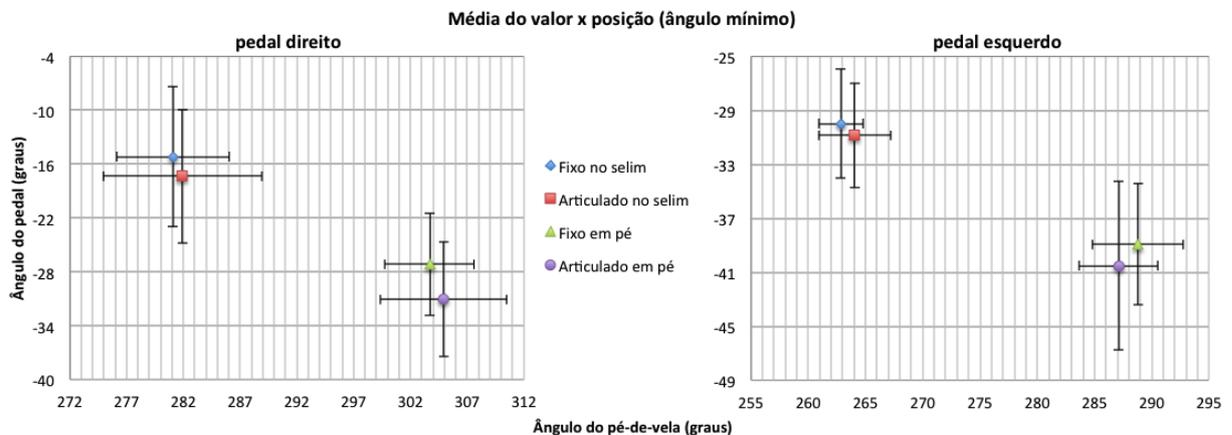
A média do valor  $x$  posição para o ângulo máximo e mínimo, Figura 4.24 e 4.25, respectivamente, independente para pedal direito e esquerdo, representa o quanto os valores deslocaram-se comparando a condição fixo e articulado para a mesma posição sobre a bicicleta. Observe que, tanto para o ângulo máximo quanto para o ângulo mínimo do pedal, os mesmos comportam-se da mesma forma. Comparando a condição posição fixo no selim com articulado no selim, o ângulo do pedal diminui e a posição angular no pedivela aumenta, já entre fixo em pé e articulado em pé, ambos os ângulos do pedal e pedivela diminuem, com exceção do ângulo mínimo para o pedivela no pedal direito.



(a)

(b)

Figura 4.24 – Média do valor  $x$  posição do ângulo máximo de todos os sujeitos, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.



(a)

(b)

Figura 4.25 – Média do valor  $x$  posição do ângulo mínimo de todos os sujeitos, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

Baseado nos resultados de ângulos máximos e mínimos, a amplitude, Figura 4.26, permanece a mesma, apresentando um valor médio igual entre chassi fixo e articulado.

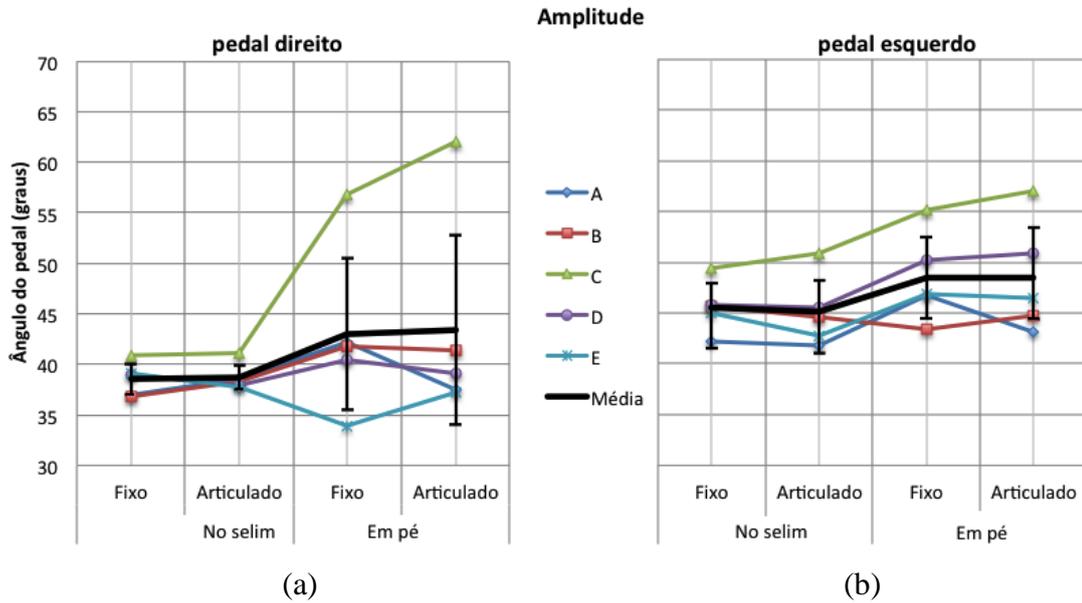


Figura 4.26 – Média da amplitude angular dos pedais, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

Segue na Figura 4.27, a média do ângulo do pedal, quando o pedivela encontra-se na posição  $90^\circ$ , apresenta-se os valores desta variável em função de uma futura discussão acerca do índice de efetividade.

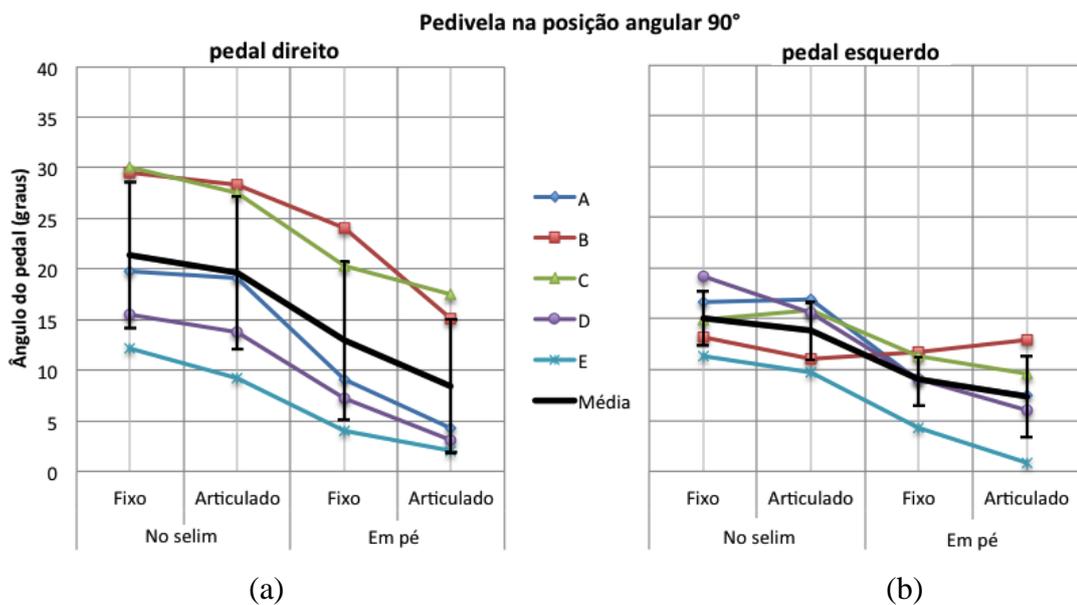


Figura 4.27 – Posição do ângulo mínimo no pedivela, chassi fixo e articulado, pedalando no selim e em pé, para todos os sujeitos: (a) pedal direito, (b) pedal esquerdo.

## 5 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi descrever as diferenças no padrão angular do pedal quando os ciclistas pedalarão sobre uma bicicleta estacionária (ciclismo *indoor*) comparando o uso de chassi fixo com articulado, na posição sentado no selim como em pé.

Os resultados encontrados no presente estudo apontam que, todos os sujeitos em algum momento durante o ciclo da pedalada apresentaram diferenças no uso entre os dois tipos de chassi, menos acentuadas quando utilizou-se a posição sentado no selim, e mais acentuadas quando estavam pedalando em pé. Isto caracterizou-se porque quando se está pedalando em pé, o peso do sujeito contribui para aplicação da força sobre os pedais, a qual incrementa o momento sobre o eixo de giro do chassi, aumentando também a amplitude angular do mesmo. Outro limiar é que quando se está pedalando sentado sobre o selim, cria-se uma espécie de restrição ao movimento lateral, contraindo de alguma forma os graus de liberdade do chassi, implicando em um pedalar muito semelhante entre chassi fixo e articulado.

As diferenças sempre foram maiores no pedal direito, este pelo fato de que todos eram destros, apresentando concordância com estudos feitos com pedal instrumentado para ambos os lados, principalmente na simetria de forças durante a pedalada [Bini et al., 2011a].

Quanto a posição do pedivela onde ocorreram as diferenças angulares, 80% foram na parte produtiva da pedalada, e o ângulo de 150° concentrou 60% destas ocorrências. Pode-se afirmar que, como o próprio nome já identifica, setor produtivo, aquele onde o ciclista imprime as maiores forças durante o ciclo da pedalada, o ângulo do pedal fica condicionado a variações diferenciais entre chassi fixo e articulado mais acentuadas nesta fase, principalmente no segundo quadrante, pois o movimento cíclico harmônico entre o pedivela e o chassi articulado, não podem apresentar defasagem acentuada entre o ponto morto inferior e a posição angular máxima de inclinação do chassi, isto implicaria em forças dinâmicas contrárias ao movimento, fazendo com que o ciclista tenha dificuldade de adaptação, tornando o pedalar desconfortável.

Com relação ao ângulo e a posição de ocorrência (máximo e mínimo), ambos os pedais, direito e esquerdo, comportaram-se da mesma forma, apresentando um offset com intensidade e direção semelhante. Em função disto, pode-se afirmar que a amplitude de movimento não apresentou diferenças. Provavelmente isso veio à ocorrer pelo fato de ter se

utilizado cargas consideradas baixas para um experimento nestas condições, onde o chassi necessita de maior força no pedal para proporcionar maiores inclinações laterais.

Dentre as limitações do presente estudo, destaca-se a impossibilidade de mensurar as forças aplicadas no pedal, permitindo apenas a medição dos ângulos que compõem a direção de tais forças. Estas, com certeza, contribuiriam para uma análise detalhada quanto ao índice de efetividade, variável da qual é referência para muitos estudos no ciclismo. Entretanto, fica aqui uma estimativa de que, em análise da média do ângulo do pedal, quando o pedivela encontra-se na posição  $90^\circ$ , apresentado em alguns estudos como ângulo aproximado onde se tem a maior efetividade [Bini et al., 2005, Carpes et al., 2005, Diefenthaler et al., 2005 e Nabinger, 2006], o uso do chassi articulado será mais eficiente do que o chassi fixo, pois com ângulo do pedal menor (mais próximo de zero), a decomposição das forças implicará em uma força tangencial ao pedivela de maior grandeza, podendo chegar ao valor da própria força normal.

Outra limitação foi em questão do uso de cargas muito pequenas, refletindo diretamente nos resultados, pois mais tarde foram encontradas evidências de que o uso de cargas maiores reduz significativamente o desvio [Hug et al., 2008]. Acredita-se que, isso faria com que as diferenças se tornassem mais visíveis, permitindo-se uma melhor compreensão do uso entre chassi fixo e articulado.

Com isto, sugere-se que estudos futuros devem ser conduzidos associando além do padrão angular do pedal, as forças envolvidas durante a pedalada, como também a análise de variáveis cinemáticas quanto ao uso do sistema articulado. Para fins de descrição do comportamento do ângulo do pedal durante o ciclo da pedalada, utilizando um chassi que proporciona movimento lateral, o modelo de estudo adotado foi satisfatório.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi atingido, ou seja, a descrição acerca das diferenças quanto ao padrão angular da pedalada do ciclista, utilizando uma bicicleta estacionária de ciclismo *indoor* na condição chassi fixo e articulado, bem como a apresentação dos resultados em um experimento.

Em uma análise aos resultados apresentados, comparando o uso do chassi fixo com o chassi articulado, pode-se descrever que:

- O uso do chassi articulado afeta o padrão angular do pedal durante o ciclo da pedalada, menos acentuado quando utilizou-se a posição sentado no selim, e mais acentuado quando estavam pedalando em pé.
- A posição do pedivela que apresentaram as diferenças no padrão angular durante o uso do chassi articulado, 80% foram na parte produtiva da pedalada, e o ângulo de 150° concentrou 60% destas ocorrências;
  - A amplitude de movimento para ambos os pedais não apresentaram diferenças;
  - O chassi articulado apresenta evidência de ser mais eficiente do que o chassi fixo.
- E a instrumentação da bicicleta com mensuração de carga e cadência, foi de extrema importância para o controle destas variáveis, dando confiabilidade aos resultados da medição do ângulo de pedal em função do pedivela.

### 6.1 Trabalhos futuros

Como se tratou de um estudo em uma nova concepção de bicicleta para interiores, ainda desconhecida no meio acadêmico científico, as sugestões de trabalhos futuros são todas aquelas metodologias possíveis que estudam o ciclismo, como por exemplo, dinamometria, cinemetria e eletromiografia, como também a medição do ângulo do chassi durante a pedalada.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrosini, C.; **La técnica del ciclismo**. Barcelona, Ed. Hispano Europea, 1990.

Augspurger, Q. et al., 1991, **patente US 5050865**, publicada em 24/09/1991.

Badarneh, Z. et al., 2005, **Patente** publicada nos termos do PCT sob o n° WO 2005/046806, em 26/05/2005.

Bailey MP, Maillardet FJ, Messenger N, Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendonitis. **Journal Sports Sci** 12:649-657, 2003.

Baptista, M. G. S. Caracterização da intensidade do esforço numa modalidade de academia: um estudo efetuado em indoor cycling. 2002. 70 f. **Dissertação de Mestrado**. Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2002.

Bertucci, W., Grappe, F., Girard, A., Betik, A., & Rouillon, J. D., Effects on the crank torque profile when changing pedalling cadence in level ground and uphill road cycling. **Journal of Biomechanics**, 38(5), 1003- 1010, 2005.

Bini, R. R. et al. Implicações da pedalada em posição aerodinâmica sobre o impulso da força efetiva de ciclistas: estudo de caso: **Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Sociedade Brasileira de Biomecânica, João Pessoa, 2005.

Bini, R.R.; Carpes, F.P.; Diefenthaler, F. Efeitos da posição dos joelhos no plano frontal sobre as forças aplicadas no ciclismo: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Florianópolis, v.11, n.2, p.142-50, 2009.

Bini, R. R., P. A. Hume, et al. A comparison of cycling SRM crank and strain gauge instrumented pedal measures of peak torque, crank angle at peak torque and power output. **Procedia Engineering**, v.13, p.56-61. 2011a.

Bini, R. R. Effects of saddle position on pedalling technique and methods to assess pedalling kinetics and kinematics of cyclists and triathletes. **Tese de Doutorado**. Auckland University of Technology Faculty of Health and Environmental Sciences, Auckland, 2011b.

Bradford, A. et al. Cardiorespiratory responses to traditional and advanced group cycling techniques. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 31, n. 5, p. S113, 1999.

Braga, A. et al. Respostas fisiológicas e metabólicas durante uma aula de ciclismo indoor. **Rev. Bras. Ativ. Fis. Desempenho Hum.**, v. 1, n. 1, 2005.

Burke, E. R. 1996, **High-Tech Cycling**, Human Kinetics

Candotti, Cláudia T.; Características Biomecânicas e Fisiológicas da Técnica de Pedalada de Ciclistas e Triatletas. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Ciencia do Movimento Humano da UFRGS , Porto Alegre, 2003.

Caria, M. A. et al. Quantification of Spinning® bike performance during a standart 50-minutes class. **J. Sports Sci.**, v. 25, n. 4, p. 421-129, 2007.

Carmo JC, Nascimento FAO, Costa JC, Rocha AF. Instrumentação para aquisição e avaliação das forças exercidas nos pedais por ciclistas. **Braz J Biomech** 2002; 2(3):31-39.

Carpes, F. P. et al. Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40km contra-relógio simulada: estudo preliminar. **Rev. Bras. Educ. Fís. Esp.**, v.19, n.2, p.105-13, 2005.

Carpes, F. P.: Desenvolvimento de um sistema de pedais dinamométricos para avaliação biomecânica no ciclismo. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção UFSM, Santa Maria, 2006.

Carpes F. P., Dagnese F, Bini RR, Diefenthaler F, Ros- sato M, Mota CB, et al. Características cinemáticas em ciclistas competitivos de diferentes modalidades. **Revista Portuguesa Ciencia Desporto** 6(1):7-14, 2006.

Chang, J., 2000, **patente US 6126577**, publicada em 03/10/2000.

Davis, R. R., & Hull, M. L., Measurement of pedal workloading in bicycling: II. Analysis and results. **Journal of Biomechanics**, 14(12), 857-872, 1982.

Domingues Filho, L. A. (Org.). **Ciclismo Indoor: guia teórico prático**. Jundiaí, SP: Editora Fontoura, 2005.

Di Alencar TAM, Matias KFS. Efeitos de Diferentes Tipos de Pedais sobre Variáveis Biomecânicas e Fisiológicas no Ciclismo. **Revista Movimenta**; 3(1): 29-39, 2010.

Diefenthaler, F. Proposta metodológica para avaliação de diferentes posições do selim sobre a técnica de pedalada de ciclistas. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

Diefenthaler, F. et al. A influência da posição do selim na aplicação da força durante a pedalada: estudo de casos. **Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Sociedade Brasileira de Biomecânica, João Pessoa, 2005.

Ericson, M. O., Nisell, R., & Nemeth, G., Joint Motions of the Lower Limb during Ergometer Cycling. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, 9(8), 273-278, 1988.

Fonda, B., & Sarabon, N., Biomechanics of Cycling: Literature review. **Sport Science Review**, 19(1/2), 131–163, 2010.

Goldberg, J. **Manual do Instrutor do Johnny G. Spinning Program**. Parte integrante do material didático-pedagógico utilizado para formação de instrutores. Vip Athletics representante da MAD DOGG ATHLETICS (MDA), 2000.

Gregersen CS, Hull ML, Non-driving intersegmental knee moments in cycling computed using a model that includes three-dimensional kinematics of the shank/foot and the effect of simplifying assumptions. **Journal Biomechanics** 36:803-813, 2003.

Gregor, R.G. Biomechanics of cycling. In: GARRET, W. E.; KIRKENDALL, D. T. **Exercise, sports and science**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2000.

Harabayashi, M., 1991, **patente US 5035418**, publicada em 30/07/1991.

Hinault, B., “**Ciclismo de Estrada**” Ed. Presença. Lisboa, 1988.

Hoes, M. J., Binkhorst, R. A., Smeekes-Kuyl, A. E., & Vissers, A. C., Measurement of forces exerted on pedal and crank during work on a bicycle ergometer at different workloads. **Internationale Zeitschrift Für Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie**, 26(1), 33-42, 1968.

Hug F, Drouet JM, Champoux Y, Couturier A, Dorel S. Interindividual variability of electromyographic patterns and pedal force profiles in trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, 104:667–678, 2008

Jeukendrup, A. E. **High-performance cycling**. Champaign, IL: Humans Kinetics, 2002.

Irving, C. et al., 2009, **patente US 20090170667**, publicada em 02/07/2009.

John, D. H.; Schuler, P. Accuracy of using RPE to monitor intensity of group indoor stationary cycling. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 31, n. 5, p. S152, 1999.

Kang, J. et al. Metabolic and perceptual responses during spinning® cycle exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 37, n. 5, p. 853-859, 2005.

Krogh, A., & Lindhard, J., The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. **The Journal of Physiology**, 47(1-2), 112-136, 1913.

Lallement, P., **patente US 59915**, publicada em 20/11/1986,

Lim, J.S. et al., 2001, **patente US 6322480**, publicada em 27/11/2001.

Lima, J. et al. Calibração indireta de cicloergômetro pelo consumo de oxigênio. **Rev. Bras. Ciênc. Mov.**, v. 11, n. 3, p. 33-36, 2003.

LPI - **Lei da Propriedade Industrial, no 9.279** de 14/05/1996.

Mabey, P. et. al. **Patente** publicada nos termos PCT sob o n° **WO 034078** em 01/04/2010.

Movebike; **Manual do proprietário**. Solidtech 3D Engenharia e Industria Ltda, Passo Fundo, 2011.

Nabinger, E.; Desenvolvimento de um Sistema de Medição para Análise Biomecânica da Pedalada de um Ciclista. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS, Porto Alegre, 1997.

Nabinger, E.; Análise Dinamométrica Tridimensional da Pedalada de Ciclistas. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Pinzon, C. Patente publicada nos termos PCT sob o n° **WO 149528** em 17/12/2009.

RealRyder. **Real Ryder Cycling Certified Instructor Training Manual**. Coaches Choice, 2011.

Richey, R. M., Zabik, R. M., Dawson, M. L. Effect of bicycle spinning on heart rate, oxygen consumption, respiratory exchange ratio, and caloric expenditure. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 31, n. 5, p. S160, 1999.

Robergs, R. A.; Bereket, S.; Knight, M. A. Video-assisted cycling alters perception of effort and increases self-select exercise intensity. **Percept. Mot. Skill.**, v. 86, p. 915-927, 1998.

Ruby P, Hull ML, Hawkins D., Three dimensional knee loading during seated cycling. **Journal Biomechanics** 25:41-53, 1992.

Rugg, S.G., Gregor, R.J. The effect of seat height on muscle lengths, velocities and moment arm lengths during cycling. **Journal of Biomechanics** 20:899, 1987.

Silva, R. A. S.; Oliveira, H. B. Prevenção de lesões no ciclismo indoor: uma proposta metodológica. **Rev. Bras. Ciênc. Mov.**, v. 10, n. 4, p. 7-18, 2002.

Silva, R. A. S. Construção e calibração de uma bicicleta de ciclismo indoor com graduação de carga. **Rev. Bras. Cineantropometria e Desempenho humano**, v. 8, n. 2, p. 85-91, 2006.

Silva, Renato A. S. da; Validação de uma bicicleta ergométrica de ciclismo indoor. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade , Brasília, 2008.

Schwinn Fitness, **Manual de serviços**, disponível em: [http://www.gopherperformance.com/files/pdf/SchwinnBikes\\_servicemanual.pdf](http://www.gopherperformance.com/files/pdf/SchwinnBikes_servicemanual.pdf), acesso em 25/04/2012, 2009.

Smith, K. I. et al. Physiological outcomes of a ten week “Spin” cycle intervention. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v. 32, n. 5, p. S311, 2000.

Szmuchrowski, L. A. ; Cardoso, J. R. ; Carvalho, R.G.S. Comparação da atividade eletromiográfica durante o movimento padrão do ciclismo em cicloergômetro padrão e aquático. **Fisioterapia Brasil**, v. 5, p. 337-343, 2004.

Turra, Gustavo F.; Instrumentação de uma bicicleta estacionária. **Projeto de Graduação**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura da UPF, Passoan Fundo, 2008.

Wiest, Matheus J. et al. Efeito de um exercício extenuante sobre o padrão angular de pedalada: estudo preliminar. **Rev Bras Cineant Desemp Hum**, 11(4):386-391, 2009.

## 8 APÊNDICES

### 8.1 Apêndice A - Termo de consentimento livre

Eu, \_\_\_\_\_ de livre e espontânea vontade, sem ser forçado ou coagido, aceito participar da pesquisa, intitulada “AVALIAÇÃO COMPARATIVA EM BICICLETA ESTACIONÁRIA, MODALIDADE INDOOR, CHASSI FIXO E ARTICULADO”.

Este estudo será realizado nas dependências da academia Simbiose – Passo Fundo, em parceria com o Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PROMEC da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, sendo responsável o mestrando Cassiano Pinzon, sob orientação do Prof Dr. Ney Francisco Ferreira .

Estou ciente de que todas as informações obtidas durante o estudo permanecerão confidenciais, sendo que todos os voluntários serão identificados através de letras e ou números, de forma que só o investigador principal saberá minha identidade. O investigador principal será a única pessoa que manterá informações sobre o assunto. As informações que unem o nome do voluntário ao seu respectivo número serão mantidas em segredo pelo investigador.

Nenhum benefício especial será concedido para a compensação ou para pagamento de algum tratamento só por causa de minha participação nessa pesquisa.

Terei o direito de perguntar sobre quaisquer investigações relativas ao estudo. Todas as possíveis dúvidas serão respondidas com satisfação pelos envolvidos.

Eu li e entendi todas as informações contidas neste termo de consentimento e, assino abaixo, e confirmo através deste documento a minha participação legal de livre e espontânea vontade e autorizo a utilização destes dados em publicações científicas.

Passo Fundo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2011.

\_\_\_\_\_ Assinatura do voluntário

\_\_\_\_\_ Cassiano Pinzon

\_\_\_\_\_ Testemunha

## **8.2 Apêndice B - Curvas e médias, sujeitos B, C, D e E**

Segue a partir da Figura 7.1 os gráficos dos sujeitos B, C, D e E, contendo curvas e médias com um desvio padrão, para cada condição e posição adotada: chassi fixo ou articulado, sentado no selim ou em pé.

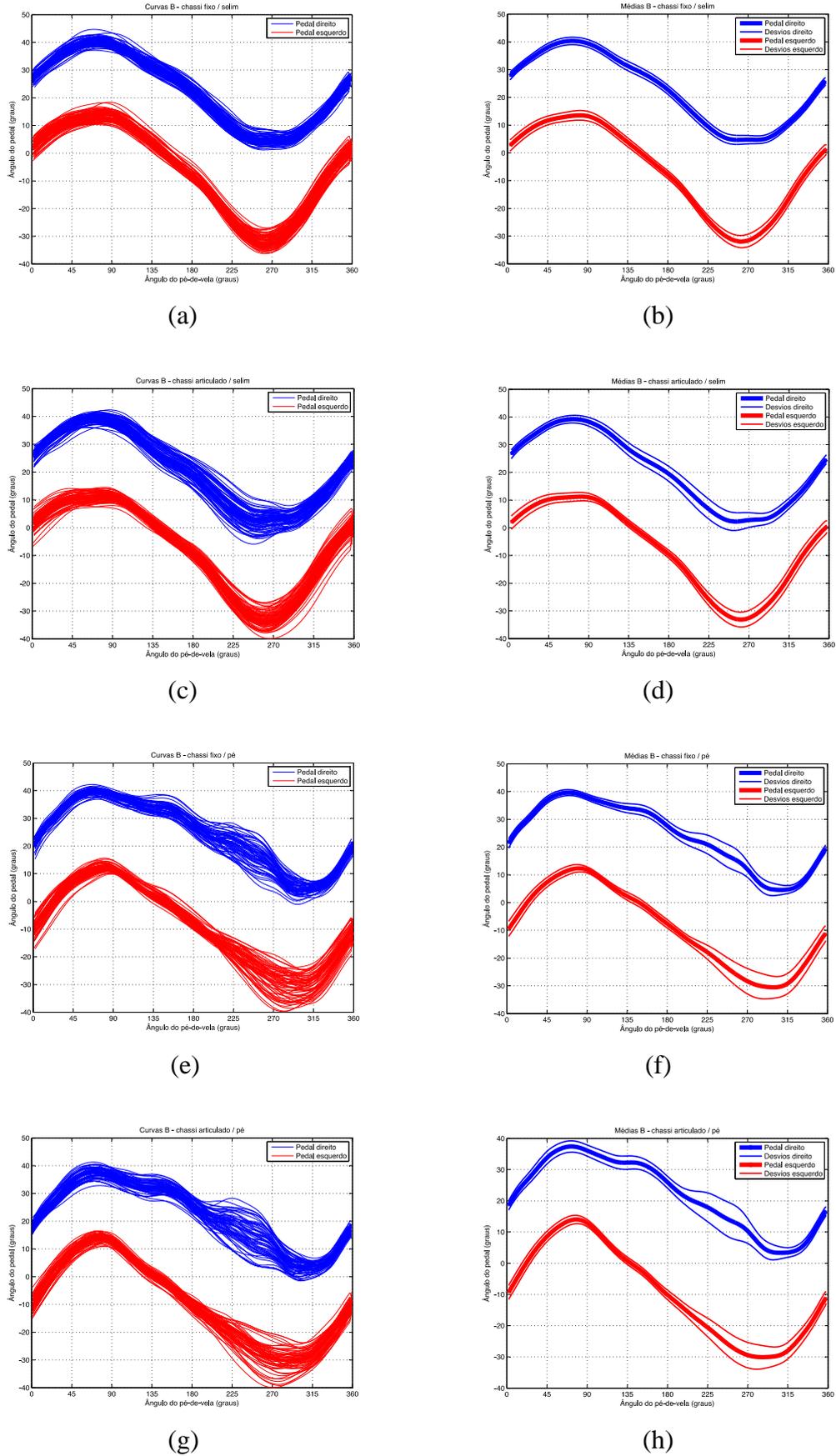
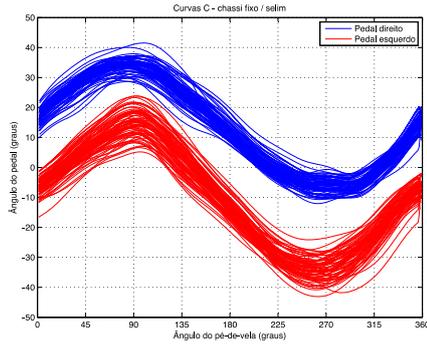
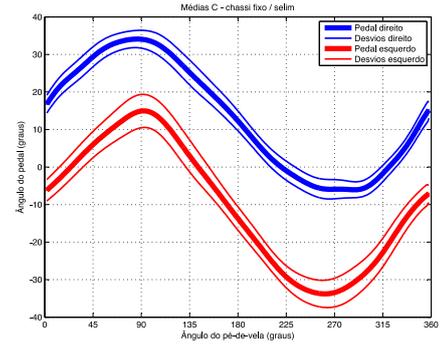


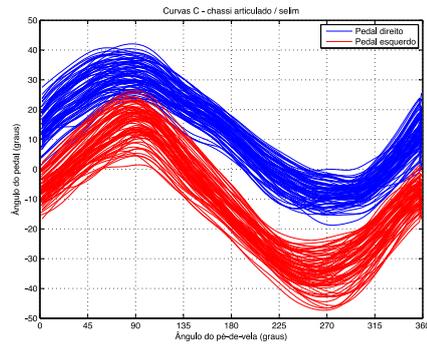
Figura 8.1 – Sujeito B – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.



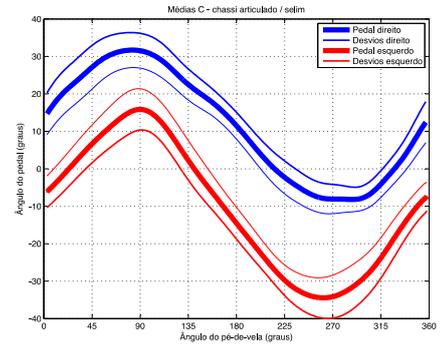
(a)



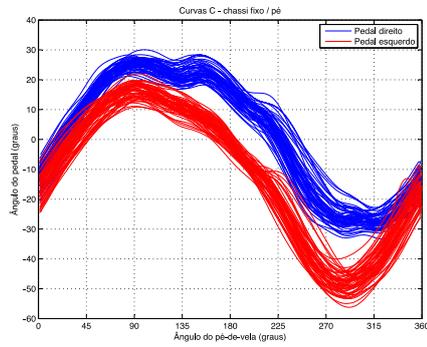
(b)



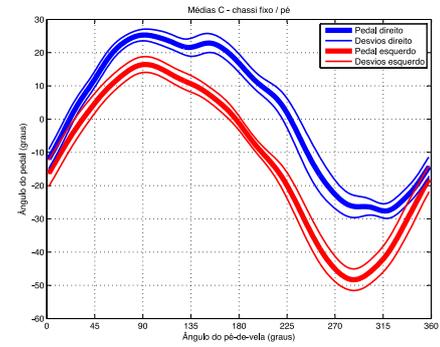
(c)



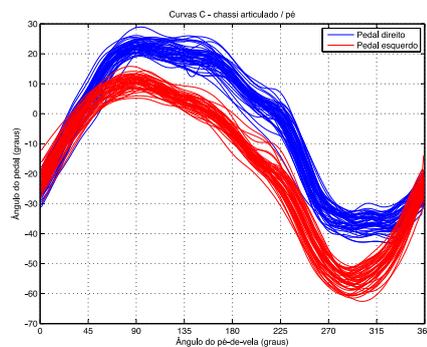
(d)



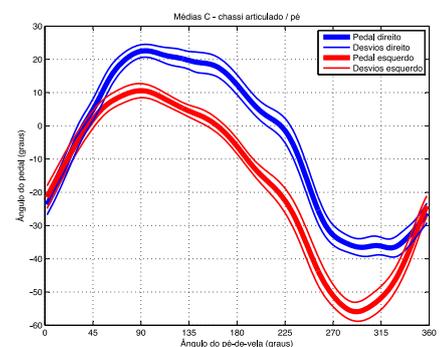
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 8.2 – Sujeito C – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.

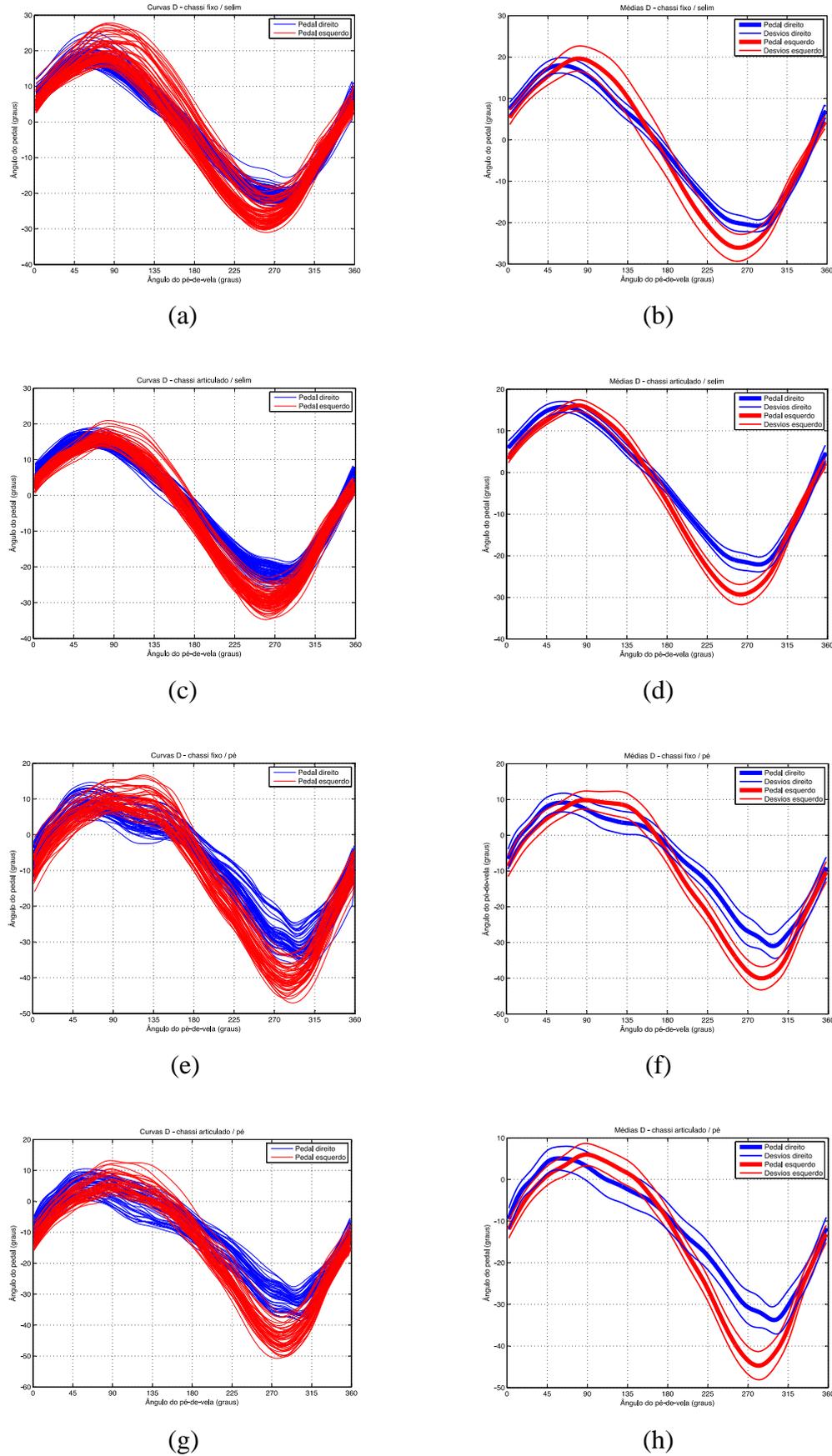
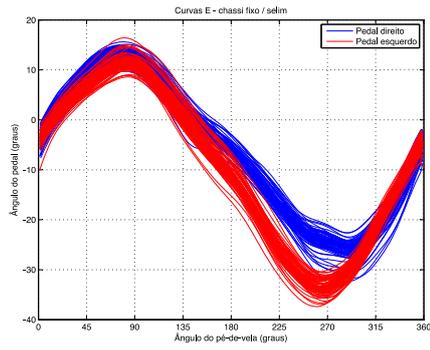
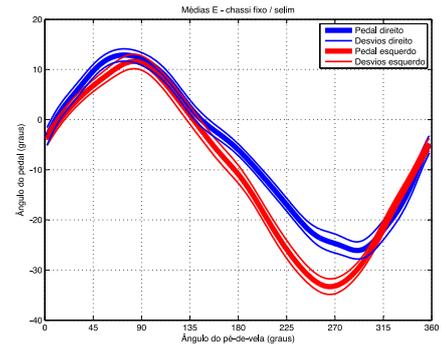


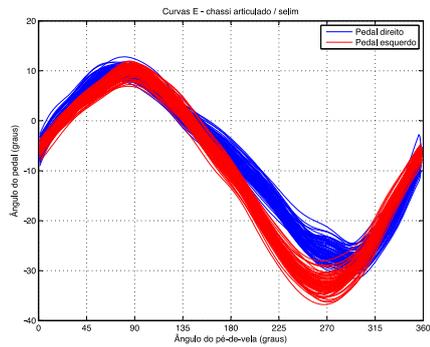
Figura 8.3 – Sujeito D – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.



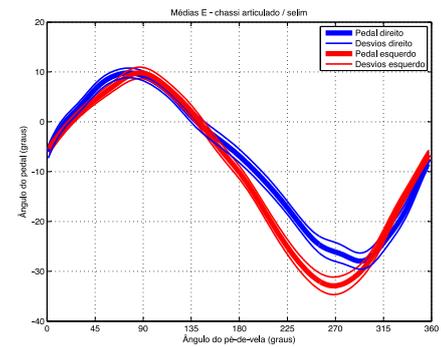
(a)



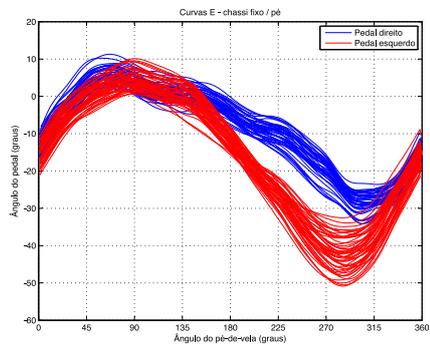
(b)



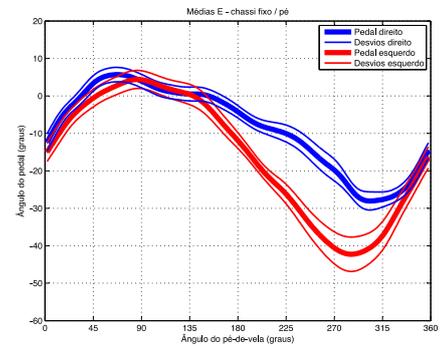
(c)



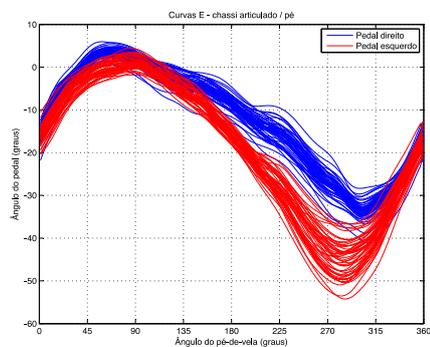
(d)



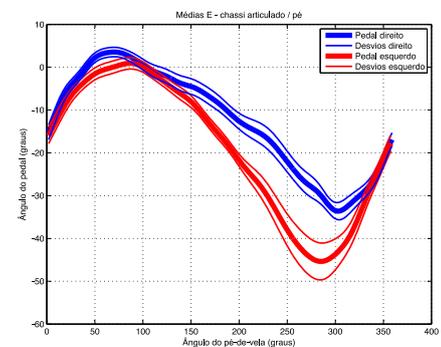
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 8.4 – Sujeito E – Curvas e médias com desvios: (a)(b) chassi fixo/selim, (c)(d) chassi articulado/selim, (e)(f) chassi fixo/pé, (g)(h) chassi articulado/pé.