

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**GERSON DE BELLIS SILVA**

---

**PROJETO MULTICÊNTRICO EM  
FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO  
Etapa de calibração de  
cicloergômetros**

---

Campinas  
2008

**GERSON DE BELLIS SILVA**

---

---

**PROJETO MULTICÊNTRICO EM  
FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO**  
**Etapa de calibração de  
cicloergômetros**

---

---

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Pós-Graduação da Faculdade de  
Educação Física da Universidade  
Estadual de Campinas para obtenção do  
título de Mestre em Educação Física.

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins**

Campinas  
2008

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA  
PELA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

D34p

De Bellis Silva, Gerson.

Projeto multicentro em fisiologia do exercício / Gerson De Bellis Silva. -- Campinas, SP: [s.n], 2008.

Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Calibração por regressão. 2. Medição de erro. 3. Bicicleta ergométrica. 4. Consumo de oxigênio. I. Martins, Luiz Eduardo Barreto. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

(dilsa/fef)

**Título em inglês:** Physiology of exercise multicentre project: cycle ergometer calibration stage.

**Palavras-chave em inglês (Keywords):** Regression calibration; Measurement error; Cycle ergometer; Oxygen consumption.

**Área de Concentração:** Biodinâmica do Movimento Humano.

**Titulação:** Mestrado em Educação Física

**Banca Examinadora:** Aparecida Maria Catai. René Brenzikofer.

**Data da defesa:** 27/06/2008.

**GERSON DE BELLIS SILVA**

**PROJETO MULTICÊNTRICO EM FISIOLOGIA DO  
EXERCÍCIO**

**Etapa de calibração de cicloergômetros**

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Gerson De Bellis Silva e aprovada pela Comissão julgadora em: 27/06/2008.



Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins  
Orientador

Campinas  
2008

**COMISSÃO JULGADORA**

Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins  
Orientador



Profa. Dra. Aparecida Maria Catal



Prof. Dr. René Brenzikofer

# **Dedicatória**

---

---

*Concluir um mestrado é uma conquista.  
Desenvolvê-lo em três das mais respeitadas instituições  
de ensino do Brasil, é uma honra.  
Dedico este trabalho a todos os que tornaram esse  
trabalho possível.*

# Agradecimentos

*Agradeço ao amigo que me apresentou às idéias e às pessoas. Que me ensinou a manusear instrumentos e dados. Que tentou me ensinar a “escrever”, meu orientador Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins, o Barretão.*

*Agradeço ao meu filho Samuel. Ele ainda não entende isso, mas é por ele que cheguei até aqui.*

*Agradeço a minha esposa Rosana pela compreensão, pois durante muito tempo estive casado com meus estudos.*

*Agradeço meus pais Fernando e Cleuza, porque eles me possibilitaram adquirir a base do conhecimento para que eu pudesse atingir mais esse degrau na escada do conhecimento.*

*Agradeço ao Dr. Gallo e a Dra. Catai por me acolherem e apoiarem tão pacientemente no desenvolvimento deste trabalho.*

*Agradeço ao Julio, pelo auxílio na FMUSP e a Karla e Luciana pelo auxílio na UFSCar.*

*Aos amigos do Laboratório Dona Lair, Juliana, Luizinho, Priscila e Gabriela.*

*Agradeço a Giovana por toda ajuda que me deu. Obrigado Lilo.*

*A todos os colegas da UNICAMP.*

*E como todo mundo escreve... A todos que tornaram este trabalho possível, o meu mais sincero, OBRIGADO!*

DE BELLIS SILVA, Gerson. **Projeto Multicentrico em Fisiologia do Exercício: etapa de calibração de cicloergômetros**. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

## **RESUMO**

---

---

Nesse projeto multicêntrico em fisiologia do exercício - etapa de calibração de cicloergômetros foi desenvolvido um calibrador de cicloergômetros que pode ser utilizado com modelos diferentes de cicloergômetros. A partir de sua calibração estática constatou-se que o mesmo foi capaz de mensurar potencia em cicloergômetros com precisão de 0,85 W.

Foi realizada a calibração dinâmica de três cicloergômetros de mesmo modelo que são utilizados pelos laboratórios de fisiologia do exercício da Faculdade de Educação Física da UNICAMP, do Departamento de Fisioterapia da UFSCar e do Departamento de Clínica Médica da USP de Ribeirão Preto. O experimento de calibração testou a resistência, estabilidade e a robustez dos cicloergômetros, além de fornecer a equação que relaciona a potencia real e a potencia indicada pelos cicloergômetros nas rotações de 45, 60 e 75 rpm. As inclinações calculadas pelas regressões foram 0.992, 0.991 and 0.977 respectivamente.

Aplicaram-se testes ergoespirométricos em três voluntários nas potencias corrigidas de 60 e 120 W por 10 minutos em cada um dos laboratórios citados. Os valores de consumo de oxigênio, produção de CO<sub>2</sub>, ventilação e frequência cardíaca foram calculados no regime permanente e suas medianas comparadas. Os resultados foram diferentes ( $p < 0.05$ ) para as comparações diretas, porém suas variações entre os dois níveis de esforço foram semelhantes. Os testes possibilitaram a observação de que a magnitude da variabilidade biológica dos dados fisiológicos se sobrepõe a precisão mecânica dos ergômetros utilizados nestes testes. Conclui-se que os cicloergômetros calibrados estão adequados ao propósito de um projeto multicêntrico, porém os procedimentos experimentais que envolvem a variabilidade biológica ainda necessitam de padronização para tornar possível agrupar dados coletados nos diferentes Laboratórios.

1. PALAVRAS CHAVE: Calibração por regressão. 2. Medição de erro. 3. Bicicleta ergométrica. 4. Consumo de oxigênio



2. De Bellis Silva, Gerson. **Multicenter Exercise Physiology Project: cycle ergometer calibration phase**. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

## **ABSTRACT**

---

---

In the **Multicenter Exercise Physiology Project: cycle ergometer calibration phase** a multiple kind cycle ergometer calibrator was developed. The exercise physiology laboratories comprising the multicenter project were from Faculty of Physical Education- UNICAMP, Department of Physical Therapy UFSCar and Department of internal medicine- USPRP.

Its static calibration gave an accuracy of 0.85 W for cycle ergometer workload readout. An experimental setup for testing stability, resistance and robustness of cycles was carried out in three identical model cycle ergometers. The dynamical calibration was executed to provide the linear regression equation between actual and indicated workloads for 45, 60 and 77 rpm. The computed regressions slopes were 0.992, 0.991 and 0.977 respectively.

Ergospirometric tests with 60 and 120 W of workload were applied to three volunteers for 10 min in each laboratory. Oxygen uptake, CO<sub>2</sub> production, ventilation and heart rate were computed for steady state and their medians tested for statistical significance ( $P < 0.05$ ). The results were different for direct testing of variables, although their between exercise levels variations were equal. Though, the biological variability overlaps the mechanical accuracy of ergometers. In conclusion, the calibration procedure of ergometers allows the constitution of a multicenter project but biological variability associated with the ergospirometric tests needs standardization to permit the grouping of data from different Laboratories.

## **LISTA DE FIGURAS**

---

Figura 4.1	Calibrador de cicloergômetro. [A] unidade de potência, [B]estrutura, [C] unidade de medida.....	28
Figura 4.2	Calibrador de cicloergômetro instrumentado para procedimento de calibração estática do eixo de medidas.....	31
Figura 4.3	Leitura dos valores de inércia da flange de acoplamento nas 3 velocidades possíveis (75, 60 e 45rpm).....	33
Figura 4.4	aplicação do momento de força que gera um torque conhecido a estrutura.....	33
Figura 4.5	Resultado da regressão linear realizada com os dados da aplicação dos dois momentos torsores, sendo 10,2kg e 4,5 kg respectivamente, com objetivo de calcular as potências mensuradas pelo calibrador com o cicloergômetro acoplado.....	34
Figura 5.1	Gráfico da calibração estática do eixo de medidas e a respectiva regressão linear.....	41
Figura 5.2	Resultado da calibração mecânica do cocloergômetro da USPRP a 45rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.....	44
Figura 5.3	Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da USPRP nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um $\alpha = 0,05\%$ .....	45
Figura 5.4	Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da UFSCar nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um $\alpha = 0,05\%$ .....	46
Figura 5.5	Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da UNICAMP nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um $\alpha = 0,05\%$ .....	47
Figura 5.6	Coeficiente angular das quatro calibrações a 45 rpm nos diferentes locais	48

	comparando-se os três cicloergômetros com um $\alpha = 0,05\%$ .....	
Figura 5.7	Coeficiente angular das quatro calibrações a 60 rpm nos diferentes locais comparando-se os três cicloergômetros com um $\alpha = 0,05\%$ .....	49
Figura 5.8	Coeficiente angular das quatro calibrações a 75 rpm nos diferentes locais comparando-se os três cicloergômetros com um $\alpha = 0,05\%$ .....	49
Figura 5.9	Coeficiente angular nas três rotações agrupando-se os locais, comparando-se os coeficientes anulares a um $\alpha = 0,05\%$ .....	50
Figura 5.10	Coeficiente angular nas três rotações agrupando-se os locais, comparando-se os coeficientes angulares a um $\alpha = 0,05\%$ .....	51
Figura 5.11	Coeficiente angular de todas as calibrações, rotações e locais.....	51
Figura 5.12	Coeficiente angular nas três rotações em diferentes locais, comparando-se os coeficientes angulares a um $\alpha = 0,05\%$ .....	52
Figura 5.13	Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da USPRP.....	53
Figura 5.14	Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da UFSCar.....	54
Figura 5.15	Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da UNICAMP.....	55
Figura 5.16	Leitura do comportamento do sinal em milivolts com uma frequência de 100Hz, potência de 400W e 45 rpm, apresentando uma modulação cíclica...	56
Figura 5.17	Representação do comportamento do sinal em milivolts com cicloergômetro a 60 rpm e potência de 200W, sem a fixação do mesmo a bancada de calibração.....	57
Figura 5.18	Potências mensuradas no cicloergômetro da UNICAMP a uma velocidade de 60rpm, gráfico apresentando as alterações de mediana provocadas por vibrações da estrutura durante o procedimento de calibração.....	58
Figura5.2.1	Resultado do teste ergoespirometrico realizado com o voluntário 1 na potência de 120W no laboratório da USPRP. Apresentação gráfica do	60

	comportamento das variáveis analisadas.....	
Figura 5.2.2	Resultado gráfico para determinação do estado estável de repouso e de exercício para cada variável analisada: $VO_2$ , $VCO_2$ , VE, FC, respectivamente.....	60
Figura 5.2.3	Comportamento da FC do voluntário 03 durante o teste realizado com carga 120W, onde o gráfico linear apresenta a FC de repouso do voluntário nos três laboratórios onde o procedimento foi adotado. O gráfico tipo box plot da esquerda apresenta A FC de estado estável e o Box plot da direita apresenta o FC de estado estável subtraído da FC de repouso, apresentando a FC de estado estável corrigida pela basal.....	61
Figura 5.2.4	Diferença entre o consumo de $O_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.....	62
Figura 5.2.5	Diferença entre o consumo de $O_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.....	63
Figura 5.2.6	Diferença entre o consumo de $O_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.....	63
Figura 5.2.7	Diferença entre a produção de $CO_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.....	64
Figura 5.2.8	Diferença entre a produção de $CO_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.....	64
Figura 5.2.9	Diferença entre a produção de $CO_2$ em $ml/kg/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.....	65
Figura 5.2.10	Diferença entre a ventilação em $L/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.....	66
Figura 5.2.11	Diferença entre a ventilação em $L/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.....	66
Figura 5.2.12	Diferença entre a ventilação em $L/min^{-1}$ observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.....	67
Figura 5.2.13	Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.....	68

Figura 5.2.14	Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.....	68
Figura 5.2.15	Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.....	69
Figura 6.1	Apresenta conjuntos de dados de tamanho 50, sem reposição, estratificados de um vetor de tamanho 354 com dados de frequência cardíaca do voluntário 01, em potência de 60 W, com intervalo de confiança para 0,05%. Onde os valores não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre eles.....	76

## **LISTA DE TABELAS**

---

---

Tabela 5.1	Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.....	53
Tabela 5.2	Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.....	54
Tabela 5.3	Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.....	55

# SUMÁRIO

---



---

1 Introdução .....	16
1.1 Justificativa.....	17
1.2 Revisão da literatura.....	18
2 Hipóteses.....	24
3 Objetivos .....	26
4 Materiais e métodos .....	27
4.1. Calibração mecânica.....	27
4.1.1 Calibrador de cicloergômetro.....	27
4.1.2 Calibração estática.....	30
4.1.3 Procedimentos de Calibração dinâmica dos cicloergômetros.....	31
4.1.4 Experimento de calibração mecânica dos cicloergômetros.....	34
4.2 Calibração biológica.....	35
4.2.1 Indivíduos estudados.....	35
4.2.2 Equipamentos e protocolo de teste de esforço físico.....	36
4.2.3 Análise dos dados coletados na calibração biológica.....	37
5 Resultados.....	40
5.1 Resultados da calibração mecânica.....	40
5.1.1 Resultados da calibração estática do calibrador.....	41
5.1.2 Calibração dinâmica dos cicloergômetros.....	38
5.1.2.1 Comparações: resultados nos três laboratórios.....	47
5.1.2.2 Potencias calibradas finais.....	52
5.1.3 Resultados do ajuste da carga pelo cicloergômetro.....	56
5.2 Resultados da calibração biológica.....	59
6 Discussão.....	70

6.1 Ajuste da carga pelo cicloergômetro.....	70
6.2 Desenvolvimento do procedimento de calibração.....	71
6.3 Calibração mecânica.....	72
6.4 Análise dos dados coletados na calibração biológica.....	75
6.5 Calibração biológica.....	76
7 Conclusões.....	78
Referências.....	79
Apêndice A.....	81
Apêndice B.....	83
Anexo I .....	87
Anexo II.....	90



# 1 Introdução

Esta Dissertação tem como título “*Projeto Multicêntrico em Fisiologia do Exercício*”, pois participa da integração de três centros de pesquisa em Fisiologia do Exercício: Faculdade de Educação Física da UNICAMP (Campinas), Departamento de clínica médica da USPRP (Ribeirão Preto) e o Núcleo de pesquisa em exercício físico da UFSCar (São Carlos). Ele diz respeito a um estágio essencial no desenvolvimento desse Projeto mais amplo, ou seja, a “*etapa de calibração dos cicloergômetros*” dos Laboratórios envolvidos.

Cada um dos centros de pesquisa, envolvidos neste projeto multicêntrico, tem um enfoque principal, embora não exclusivo. O Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física da UNICAMP é direcionado à pesquisa com indivíduos saudáveis e em condições especiais (portadores de deficiências físicas, gestantes e outros); o Laboratório de Fisiologia do Exercício do Departamento de Clínica Médica da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP estuda também indivíduos portadores de patologias cardíacas em fase aguda ou crônica; o Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico do Departamento de Fisioterapia da UFSCar aborda aspectos da reabilitação cardíaca.

O conhecimento produzido por meio das pesquisas realizadas nos três centros poderá ficar disponível aos pesquisadores de cada um dos laboratórios, em um banco de dados web, os quais poderão acessar durante seus experimentos as informações coletadas em pesquisas dos outros laboratórios, e desta forma racionalizar (diminuir) a quantidade de experimentos realizados em voluntários.

## 1.1-Justificativa

A confiabilidade do conhecimento científico produzido em colaboração é decorrente da equivalência entre os procedimentos de coleta de dados realizados por cada um dos participantes, assim as informações coletadas em um Laboratório podem ser utilizadas por todos os membros do projeto multicêntrico.

A prática usual de coleta de dados científicos envolve um procedimento de aferição, antes e após a coleta, de todos os equipamentos utilizados, porém o desenvolvimento tecnológico proporcionou a construção de equipamentos suficientemente estáveis e robustos, de forma que esta aferição pode ser realizada em períodos de tempo maiores. Porém, mesmo neste estágio de desenvolvimento tecnológico cada equipamento produzido pode apresentar pequenas discrepâncias entre si, o que pode comprometer a equivalência entre dados coletados em Laboratórios diferentes.

Desta forma, este projeto se justifica por contribuir na qualidade dos experimentos realizados nos laboratórios, de maneira que os mesmos se tornem equivalentes, e desta forma permitir a troca de informações entre os mesmos evitando assim, a redundância na realização de experimentos em um mesmo grupo experimental, aspecto de grande importância na ética da pesquisa com seres humanos

## 1.2- Uma Revisão da Literatura

Um cicloergômetro é uma máquina, na qual uma força aplicada a um braço de alavanca (pé de vela) produz movimento de rotação em uma estrutura que pode ser submetida a algum tipo de frenagem (mecânica ou eletromagnética), desenvolvendo desta forma uma determinada potência (Martins, 1986)

O comprimento do braço de alavanca, associado à aplicação de um momento de força, produz o torque. Multiplicando-se o valor do torque pela velocidade angular, temos a potência.

$$\text{Potência [W]} = \text{Torque [Nxm]} \times \text{Velocidade angular [rad/s]}$$

A potência desenvolvida por um ciclista é resultado do número de rotações por minuto multiplicado pela resistência. Em cicloergômetros, a resistência é gerada por um dispositivo que pode ser de fricção, frenagem eletromagnética ou resistência do ar (Hopkins, Schabort *et al.*, 2001; Paton e Hopkins, 2001).

### **Origem e evolução dos cicloergômetros**

Pelo menos desde meados do século XIX aparelhos vêm sendo construídos para possibilitar a quantificação do exercício e determinar seus efeitos em organismos. Em 1866, VOIT, construiu uma “câmara respiratória” capaz de acomodar uma cama e um sistema de engrenagens. Ele e PETTENKOFER mediram o quociente respiratório (QR) de animais e seres humanos, em diferentes condições, estimando as frações utilizadas de carboidratos, gorduras e proteínas. Nestes experimentos, os voluntários necessitavam trabalhar dentro da câmara por um período de até 9 horas (Neder, 2003).

O autor Mellerowicz, em sua obra *Ergometry - Basics of medical exercise testing* de 1980, apresenta uma revisão histórica sobre o desenvolvimento de cicloergômetros mecânicos e eletromagnéticos que foi resumida e será apresentada no texto a seguir.

No ano de 1883, SPECK usou, em seus estudos sobre fisiologia do exercício e desempenho humano, uma espécie de manivela. Os sujeitos permaneciam sentados,

movimentando uma manivela de ferro, e seu ritmo de ciclagem era estabelecido através do aperto / soltura de um parafuso. Através da mensuração da resistência friccional, SPECK tentou calibrar seu dispositivo de manivela para as mãos. Ele pendurou pesos de forma gradativa, com o eixo da manivela na horizontal, até que a manivela começasse a descer. Contudo, este procedimento não foi capaz de determinar com exatidão a resistência friccional oferecida pela manivela, com alterações da velocidade. (Speck, 1883, apud (Mellerowicz, 1980).

Zuntz, próximo do final do século XIX, usou o “Gärtner’s ergostat” para mensurar o desempenho físico humano. Esta máquina pode ser considerada a precursora do atual cicloergômetro. Uma roda gira, movimentada por uma manivela, sendo freada por uma barra disposta sobre a roda, à qual pesos podem ser aplicados. A quantidade de resistência oferecida pelo atrito da barra, dependia da quantidade de peso aplicado e da distância entre o ponto de atrito da face inferior da barra e a face superior da roda. Com esse instrumento, várias cargas de trabalho podiam ser aplicadas. Contudo, o trabalho e a potência não podiam ser mensurados de forma acurada. Katzenstein, tempos mais tarde, conseguiu calibrar o “Gärtner’s ergostat” com a utilização de uma mola com escala (Mellerowicz, 1980)

Em 1891, um sistema simples de calibração para frenagem mecânica foi apresentado por Fick. Uma tira para frenagem foi aplicada em volta do perímetro da roda, que girava em um eixo. Essa tira estava elasticamente ligada à outra, por meio de uma mola de metal. Quando a roda era girada, as tiras brecavam sua rotação. O efeito de frenagem era igual à força aplicada à mola, que podia ser mensurada em kilogramas/metro. O exercício realizado no equipamento poderia ser mensurado através da multiplicação da força de frenagem em kilopounds (kp) pela distância percorrida, calculada pelo perímetro da roda, somando  $2\pi r$  por volta completa (Fick, 1891, apud (Mellerowicz, 1980).

Um cicloergômetro de frenagem mecânica foi construído por Holzer e Kalinka e descrito em 1935. Aplicava-se uma tira de aço em volta da circunferência do disco de frenagem. Uma extremidade da tira de aço era fixada a uma base, por meio de uma mola de metal com escala, e do outro lado da tira o peso era colocado. A quantidade de peso variava em função da performance desejada. Quando o sujeito girava o disco dos pedais, uma força friccional, que agora podia ser mensurada, fazia a frenagem do mesmo (Holzer and Kalinka, 1891, apud(Mellerowicz, 1980)

Completando essa etapa da evolução dos cicloergômetros mecânicos, Åstrand desenvolveu um cicloergômetro freado mecanicamente, em cooperação com a fábrica Monark, para uso em estudos ergométricos, que é até hoje o equipamento mais utilizado em avaliação do consumo de oxigênio em academias e clubes brasileiros. O mecanismo consiste em uma roda de tamanho conhecido, freada por uma cinta que a circunda quase inteiramente. A força de resistência é aplicada à cinta através da inclinação de um pêndulo, fornecendo uma graduação de carga em kilopounds.

Um novo conceito na construção de instrumentos médicos para mensuração da potência física foi introduzido por Atwater & Benedict em 1903. Eles foram os primeiros a utilizarem um cicloergômetro freado eletricamente por um pequeno dínamo. A roda traseira da bicicleta girava, impulsionando o dínamo, e a leitura da corrente gerada era feita por um amperímetro. Nesse dispositivo, porém, a resistência friccional inerente da bicicleta era ignorada. Além disso, o contato mecânico entre a roda traseira e o gerador não era constante, principalmente em rotações mais elevadas. Por essa razão, este aparato não era confiável para mensurar a performance humana (Atwater & Benedict, 1903, apud (Mellerowicz, 1980).

Benedict e Carpenter em 1909, e Benedict e Cady em 1912, substituíram a roda traseira da bicicleta por um disco de cobre que girava entre dois pólos eletromagnéticos. Por variação na corrente de excitação do magneto, eles controlavam o efeito de frenagem por um turbilhão de corrente no disco de cobre. Com as mudanças nas rotações por minuto (rpm), registradas por um contador, e a mudança de corrente, o nível de potência pode ser controlado (Benedict & Carpenter, 1909; Benedict & Cady, 1912, apud (Mellerowicz, 1980).

### **Cicloergômetros como instrumentos científicos**

Embora estudos sobre o exercício físico tenham florescido na década de 30, o uso do exercício como um procedimento para testes clínicos, prevenção de doenças ou reabilitação a longo prazo só iria ser reconhecido mais tarde. O interesse da comunidade médica pelo exercício aguçou-se na década de 60, quando foi apresentado o exercício graduado (escalonado) como uma poderosa ferramenta para intervenção, diagnóstico e tratamento (Mellerowicz, 1980).

No final do século XX, presenciamos um significativo crescimento no número de pessoas praticando atividade física regularmente como forma de se manterem saudáveis e/ou por recomendação médica e de atletas profissionais em busca de melhores marcas. Acompanhando a demanda dos adeptos do estilo de vida ativo e dos atletas, pesquisas vem sendo desenvolvidas no sentido de elucidar os mecanismos envolvidos na prática de atividades esportivas. Os cicloergômetros representam um dos instrumentos essenciais para a obtenção dos dados dessas pesquisas.

Quando o cicloergômetro é utilizado na pesquisa científica (ele é mais conhecido por seu uso no treinamento físico) torna-se imperativo o conhecimento exato dos valores de torque, de velocidade angular e seus consequentes resultados. Não seria adequado apenas pressupor que o cicloergômetro encontra-se calibrado para iniciarmos o estudo, nem que irá manter-se desta forma até o seu final (Wilmore, Constable *et al.*, 1982).

### **Calibração de Cicloergômetros**

Para que tenhamos testes acurados e precisos, necessitamos de referenciais válidos para nossos equipamentos, sejam eles mecânicos ou elétricos. Esses referenciais são obtidos através de procedimentos de calibração. Segundo o Dicionário Aurélio o ato ou efeito de calibrar é *“uma operação em que se estabelece uma correspondência entre as leituras de um instrumento e valores de uma grandeza física que é medida diretamente ou indiretamente pelo instrumento”*.

A calibração de cicloergômetros é assunto de discussão na literatura científica há pelo menos três décadas (Hamley e Thomas, 1967; U.S. Department of Health, 1967; Wilmore, Constable *et al.*, 1982; Martins, 1986; Russell e Dale, 1986; Van Praagh, Bedu *et al.*, 1992; Woods, Day *et al.*, 1994; Maxwell, Withers *et al.*, 1998; Serra, 1998; Reiser, Meyer *et al.*, 2000; Paton e Hopkins, 2001).

As formas de calibração variam de acordo com o sistema de frenagem do cicloergômetro, que pode ser mecânico (frenagem por atrito),(U.S. Department of Health, 1967; Wilmore, Constable *et al.*, 1982; Van Praagh, Bedu *et al.*, 1992); eletromagnético (produção de um campo eletromagnético, aumentando a resistência a movimentação) (Russell e Dale, 1986; Woods, Day

*et al.*, 1994; Paton e Hopkins, 2001) e freado pelo ar (aumento da resistência imposta pelo atrito com o ar) (Maxwell, Withers *et al.*, 1998; Balmer, Davison *et al.*, 2000).

A calibração dos ergômetros pelo fabricante é insuficiente para fins de pesquisa científica. Mensurar sua precisão com equipamentos especializados se faz necessário, para que possamos comparar resultados obtidos em bicicletas diferentes (Paton e Hopkins, 2001).

A calibração de um sistema mecânico, como o cicloergômetro Monark, é usualmente realizada de forma estática, através da observação do zero e suspensão do pêndulo por um peso conhecido, fixado no local da tira que oferece o atrito. O que este sistema ignora, é que a resistência do atrito da cinta com a roda oferecida aos pedais aumenta a força em aproximadamente 9% acima do calculado para a força de frenagem (inclinação do pêndulo) e cadência do pedal (Woods, Day *et al.*, 1994).

Ainda em sistemas mecânicos de calibração, Van Praagh (1992) em seu estudo apresenta um método barato de calibração mecânica e dinâmica de um novo tipo de cicloergômetro, também mecânico. A calibração dinâmica, (procedimento de mensuração realizado com o cicloergômetro em movimento) é realizada por equipamentos dotados de dispositivos eletrônicos capazes de fazer a leitura da velocidade angular do movimento de rotação e da quantidade de resistência imposta por algum mecanismo de frenagem. A literatura apresenta um interessante inventário deste tipo de sistema (Clark e Greenleaf, 1971; Martins, 1986; Russell e Dale, 1986). Alguns estudos provam que a calibração dinâmica é mais precisa (Wilmore, Constable *et al.*, 1982; Russell e Dale, 1986; Van Praagh, Bedu *et al.*, 1992; Woods, Day *et al.*, 1994; Serra, 1998; Paton e Hopkins, 2001). Outros estudos não obtiveram respostas precisas, em parte pela falta de um procedimento de calibração adequado para os cicloergômetros utilizados (U.S. Department of Health, 1967; Mocellin e Bastanier, 1976).

### **Verificação da Calibração**

De acordo com a literatura revisada, a verificação da calibração, deve ser feita regularmente (Van Praagh, Bedu *et al.*, 1992). Estudos recomendam que o procedimento seja realizado no início e ao final do projeto de pesquisa (Wilmore, Constable *et al.*, 1982).

Independente de sua utilização em pesquisas, o cicloergômetro deve ser periodicamente calibrado. A regularidade com que a calibração deve ser realizada depende das condições de uso e manutenção do cicloergômetro, assim como do local do seu armazenamento (Huszczuk). É recomendável que o cicloergômetro seja calibrado com um torquímetro (equipamento utilizado para quantificar o torque estaticamente) a cada seis meses ou sempre que for movido. Contudo, a utilização do torquímetro parece ser possível apenas em ergômetros mecânicos, tipo Monark<sup>®</sup>, onde o procedimento de calibração é realizado de forma estática, pois para mecanismos eletromagnéticos, a potência é calculada dinamicamente (Neder Ja, 2003).



## 2- Hipóteses

Partimos de três hipóteses:

- O equipamento calibrador de cicloergômetros é confiável para executar os protocolos de calibração
- Os cicloergômetros utilizados nos três centros de pesquisa são confiáveis, com precisão melhor que 2%, conforme especificação do fabricante.
- Alterações na potência aplicada pelo cicloergômetros dessa ordem de grandeza não apresentam respostas biológicas observáveis.

Para testá-las, desenvolvemos uma metodologia de calibração dessas bicicletas ergométricas, baseada em procedimentos mecânicos e biológicos que descrevemos em seguida.

Faremos uma calibração mecânica, por cicloergômetro, usando um equipamento desenvolvido por Martins (1986), e pertencente à Faculdade de Educação Física da UNICAMP. Trata-se de um calibrador dinâmico, que mensura o torque aplicado por um eixo dotado de *strain gauges* (sensores utilizados para quantificar a deformação do eixo de metal provocada pelo aumento do torque), movido por um conjunto de motor elétrico e redutor que fornece velocidades previamente estabelecidas. A mensuração do torque dinâmico (grandeza física) é realizada em milivolts [mv], posteriormente convertido a Watts[W]. Esse equipamento calibrador de cicloergômetros também será calibrado.

Por outro lado, estamos conscientes de que a calibração de um equipamento não precisa ser feita unicamente por um dispositivo mecânico. A mesma calibração pode ser realizada também

através da quantificação de variáveis biológicas, como frequência cardíaca ou consumo de oxigênio. Nesta modalidade de calibração, é realizado um protocolo de teste padronizado para um grupo de voluntários, submetidos a testes nos diferentes ergômetros que se pretende estudar (Hamley e Thomas, 1967; Wilmore, Constable *et al.*, 1982; Maxwell, Withers *et al.*, 1998; Balmer, Davison *et al.*, 2000; Reiser, Broker *et al.*, 2000).

Portanto, o presente estudo realizará, além da calibração mecânica, a calibração biológica dos cicloergômetros dos três centros de pesquisa, por meio da análise da resposta da Frequência Cardíaca (FC) e de variáveis ventilatórias e metabólicas de três sujeitos saudáveis, durante teste ergospirométrico.

Com esse trabalho pretendemos trazer contribuições ao desenvolvimento da pesquisa sobre fisiologia do exercício, por meio da apresentação de um procedimento que possibilita a diferentes centros de pesquisa verificar se os seus cicloergômetros estão adequadamente calibrados, e facultar aos interessados a troca dos dados coletados nesses equipamentos, com fidedignidade.

## **3 Objetivos**

O presente estudo tem por objetivo aferir a precisão do equipamento calibrador de cicloergômetros e realizar a calibração de três cicloergômetros utilizados nos Laboratórios da UNICAMP, UFSCar e USP. Além disso, realizar experimentos capazes de demonstrar a fidedignidade dos resultados obtidos por meio destes cicloergômetros.

*Objetivos específicos:*

- a) Demonstrar a estabilidade do equipamento calibrador de cicloergômetros
- b) Aferir os valores indicados das cargas dos cicloergômetros pela medida realizada com a bancada de calibração (protocolo de calibração).
- c) Observar as respostas cardiorrespiratórias de indivíduos saudáveis obtidas em testes ergoespiométricos com mesmo protocolo, com cicloergômetros similares, de mesma fabricação e previamente calibrados nos diferentes laboratórios.

## **4 Materiais e Métodos**

Em seguida, descreveremos os materiais e métodos utilizados na calibração mecânica e biológica realizada por meio desse estudo, onde **calibração** é definida como “um conjunto de procedimentos destinados a estabelecer uma correspondência entre uma grandeza física, biológica conhecida ou padronizada e as leituras de um instrumento no qual esta grandeza é medida (Martins, 1986).

Abordaremos em primeiro lugar os materiais e métodos implicados na Calibração Mecânica e, em seguida, aqueles relativos à Calibração Biológica.

### **4.1. CALIBRAÇÃO MECÂNICA: MATERIAIS E MÉTODOS**

Descreveremos, em seguida, o material e os procedimentos para o ajuste e utilização do calibrador de cicloergômetro, na realização da calibração estática e dinâmica.

#### **4.1.1. Material: o Calibrador de cicloergômetro**

Para a realização do presente estudo foi utilizado um calibrador de cicloergômetro, construído em 1986 na FMUSP-RP e foi modificado em 1992 no Laboratório de Instrumentação para Fisiologia do Exercício da FEF/UNICAMP. Por não se tratar de um equipamento comercial, segue uma descrição mais detalhada.

Este calibrador, ilustrado na figura 4.1 ,é constituído pelas seguintes partes:

- A) Unidade de potência: composta por um conjunto de motor-reductor e rodas dentadas que fornecem as rotações de 44,3, 56,7 e 76,7 rpm (rotações por minuto) (posteriormente os valores mencionados serão ilustrativamente tratados como 45, 60 e 75 rpm) projetado para fornecer potência de até 600W;

- B) Estrutura: responsável pelo assentamento dos subconjuntos anteriores, pela fixação da bicicleta em posição de calibração e pelo posicionamento dos seus subconjuntos;
- C) Unidade de medida: é composta por um eixo com extensômetro para medir o torque aplicado ao cicloergômetro via caixa de centro, e promover sua leitura por meio de um captador de sinais em eixo girantes;

A unidade de potência é constituída por um motor de corrente alternada trifásica de 220volts [ 56D1082 / WEG / BRASIL ] (figura 4.1 [1]), que desenvolve 1,5HP e é acionado por um inversor de frequência [2]. O motor é acoplado a um redutor primário [3], o qual apresenta em sua saída três polias dentadas [4] para o fornecimento das três rotações já especificadas.

A unidade de fixação é definida por dois subconjuntos: dispositivo de elevação com um grau de liberdade na coordenada vertical [5], e o dispositivo de fixação com dois graus de liberdade nas coordenadas do plano horizontal [6].

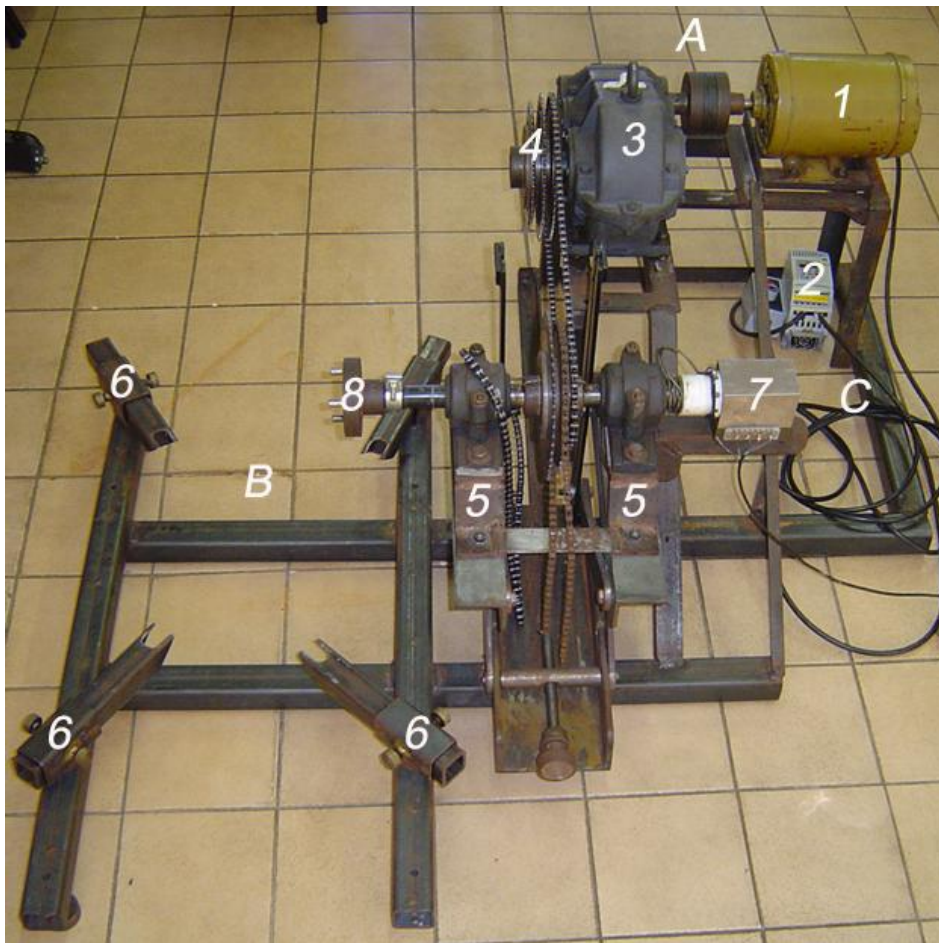


Figura 4.1 – Calibrador de cicloergômetro. [A] unidade de potência, [B] estrutura, [C] unidade de medida, para detalhes ver texto.

O dispositivo de elevação é caracterizado por dois mecanismos de quatro barras paralelas e acionados por um parafuso. O curso de funcionamento foi determinado segundo a faixa de valores das alturas de centro do pé de vela de quatro bicicletas ergométricas.

O dispositivo de fixação é caracterizado por quatro conjuntos tipo carrossel, e formado por um braço com grau de liberdade de giro e regulagem telescópica no comprimento (direção radial). Para o seu dimensionamento, foram tomados quatro pontos de fixação dos cicloergômetros já mencionados. Desta forma foram definidas as maiores e menores distâncias entre os pés, considerando como referência a caixa de centro da bicicleta.

A unidade de medida é dividida em duas sub-unidades: captador de sinais em eixo girante [7] e eixo de medida de torque [8].

O captador de sinais em eixo girante é baseado em captadores do tipo anel / escova, que funcionam segundo um mecanismo de quatro barras, sendo que uma das barras tem a função de mola, com constante de mola de nível suficiente para manter a pressão dos anéis e escovas adequados. Este mecanismo de quatro barras apresenta a possibilidade de afastar dos anéis quando não estão em uso, de maneira a eliminar o desgaste da escova.

O eixo de medida de torque é apoiado em dois mancais com três rodas dentadas entre os mesmos, e em sua extremidade próxima à bicicleta, antes da flange de acoplamento, possui a ponte de extensômetros - transdutores que transformam a deformação superficial do eixo em variações de resistência elétrica (“*strain gauges*”). Assim, estes transdutores quantificam o torque a que o eixo está sendo submetido segundo as deformações sofridas pelo mesmo. Neste caso foi adotada a configuração de quatro extensômetros em ponte de Wheatstone, que fornece compensação de temperatura e momento fletor.

O captador de sinais em eixo girante está conectado a um amplificador de sinais [ SCXI 1000 / NATIONAL INSTRUMENTS / EUA] que envia os sinais amplificados a uma placa conversora de sinais analógicos à digitais [ 6032E / NATIONAL INSTRUMENTS / EUA ].

Este sinal digitalizado é captado e arquivado por um instrumento virtual (IV) (gerenciador de informações digitais desenvolvido na plataforma de programação **Labview**). O IV apresenta um gráfico instantâneo do comportamento do torque apresentado pelo cicloergômetro ao eixo de medidas do calibrador e traz a possibilidade de determinar o número de amostras por segundo, o que para esse trabalho foi definida como 100 Hz (hertz é a unidade derivada do Sistema

Internacional de Unidades (SI) para frequência), assim como o armazenamento dos dados em um arquivo de formato \*.brt, que posteriormente é gerenciado pelo software MATLAB.

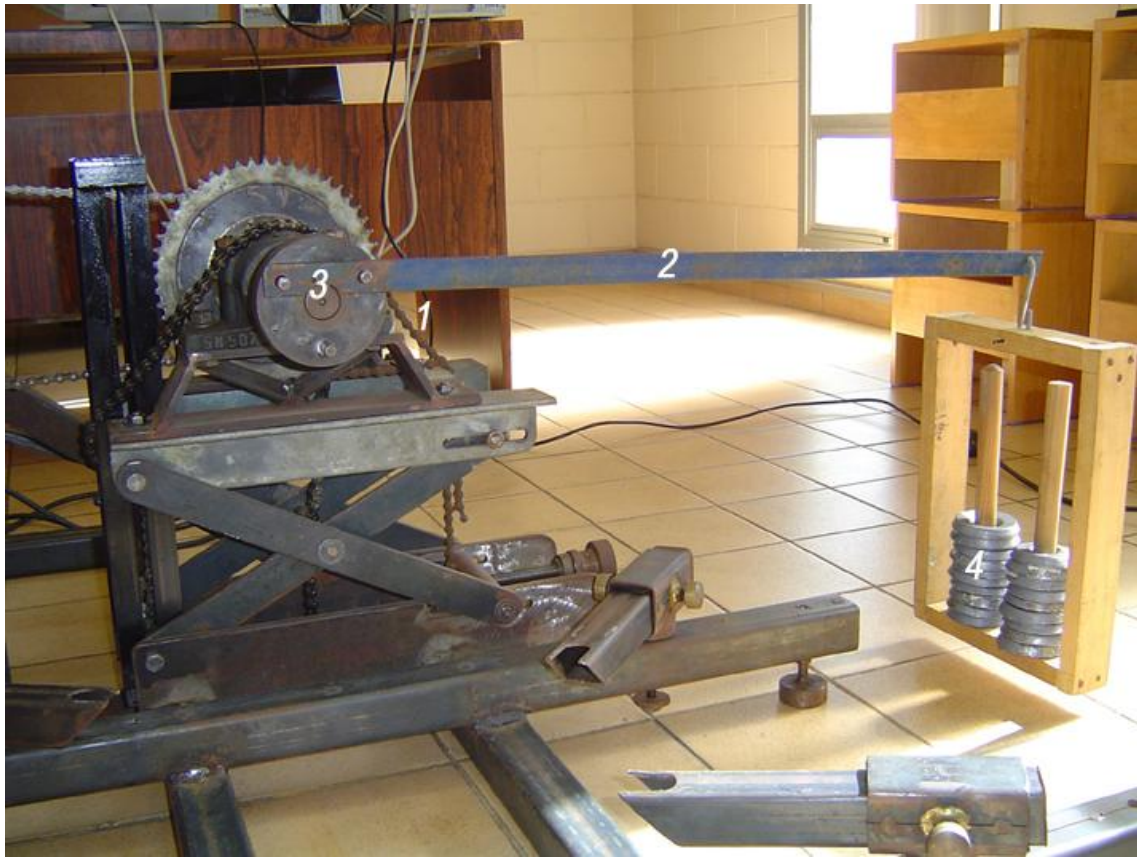
#### 4.1.2 – Procedimentos de Calibração Estática dos cicloergômetros

A calibração estática da ponte dos extensômetros foi realizada por meio da fixação do eixo de medidas. Na extremidade que contém a ponte de extensometria, fixou-se uma barra para aplicação de massas que forneceram os valores de torque conhecidos.

A fixação do eixo de medidas (figura 4.2 [3]) ocorreu por meio da colocação de uma corrente[1] fixada a estrutura do calibrador e na sua polia intermediária do eixo de medidas. A alavanca utilizada para aplicação dos momentos torsores [2] tem 70 cm de comprimento e fica acoplada à extremidade do eixo de medidas através de um sistema de encaixe que não permite deslizamento.

As anilhas , em número de 24, com aproximadamente 350g cada , foram confeccionadas em chumbo e pesadas em balança com precisão de 0,05g. Um suporte para as anilhas foi confeccionado e permanece na outra extremidade da alavanca [4].

O procedimento de calibração inicia-se com valor nulo. Os pesos são adicionados até o valor máximo, quando se provoca uma pequena sobrecarga (visando provocar histerese- *stress*-no sistema de medidas). Logo após os pesos são cuidadosamente retirados até se alcançar o valor nulo. É nessa situação experimental desfavorável (aumento gradual seguido de uma sobrecarga e retirada dos pesos) que são colhidos os dados de Torque (comprimento da alavanca \* peso) x Tensão (*microstrains* (leitura da ponte de extensômetros)) para a regressão da reta de calibração.



**Figura 4.2** – Calibrador de cicloergômetro instrumentado para procedimento de calibração estática do eixo de medidas. Para detalhes, ver texto.

#### **4.1.3– Procedimentos de Calibração Dinâmica dos cicloergômetros.**

##### **Ajuste do equipamento de calibração ao cicloergômetro.**

Para o procedimento de calibração mecânica dinâmica, são necessárias as seguintes etapas de ajuste do equipamento e cicloergômetro:

1. Substituição dos pés de apoio do cicloergômetro por adaptadores que são acoplados ao calibrador.
2. Substituição do braço de alavanca esquerdo do pé de vela por uma flange de acoplamento.



3. Substituição do pedal direito por uma haste de metal, utilizada para sustentação de pesos conhecidos.
4. Balanceamento da ponte de extensimetria no amplificador de sinais.
5. Aferição da ponte de extensimetria, com aplicação de 3 momentos torsores conhecidos (figura 4.4)
6. Acionamento do motor do calibrador de cicloergômetros para as leituras dos valores de inércia da flange de acoplamento nas 3 velocidades possíveis (figura 4.3)
7. Posicionamento do cicloergômetro sobre o calibrador.
8. Acoplamento dos eixos (eixo de medidas com o eixo central do cicloergômetro).
9. Alinhamento dos eixos.
10. O calibrador é acionado com o inversor de frequência a 15Hz e elevada gradativamente até 60Hz ,até que o mesmo atinja uma velocidade angular de 45 rpm .O cicloergômetro impõe uma carga de 300w durante 30s, (procedimento que tem como objetivo acomodar as estruturas móveis),e logo após a carga é retirada e o motor é desligado.
11. Imobilização do eixo de medidas por meio de uma corrente fixada a estrutura do calibrador.
12. Colocação de um peso de 10.2kg na haste que substituiu o pedal direito ,durante 60s seguido de um intervalo de 60s.
13. Aplicação de 02 momentos torsores, com braço de alavanca de 17,5cm (10.2kg e 4.5kg respectivamente), gerando um torque conhecido ao eixo de medidas. Cada torque é medido durante 20s após 60s de sua colocação. A mediana do valor é utilizada em um procedimento de regressão linear, que fornece a equação da reta necessária para cálculo da potência com o cicloergômetro acionado (figura 4.4 e 4.5)
14. Retirada dos pesos e liberação do eixo de extensimetria.
15. Equipamento pronto para coleta de dados.

Fator de correção para cálculo dos valores do Torque devido a flange de acoplamento nas 3 velocidades possíveis

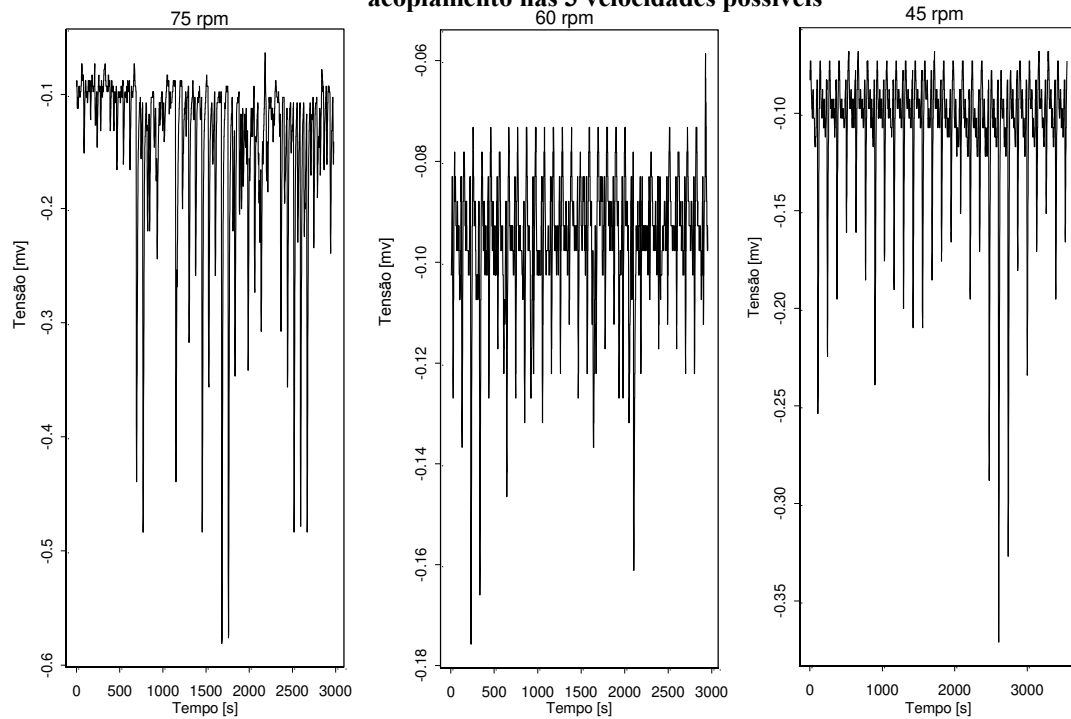
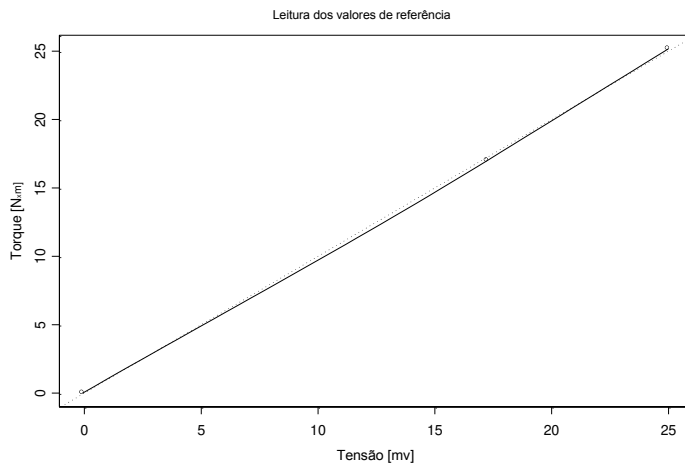


Figura 4.3 – Leitura dos valores de inércia da flange de acoplamento nas 3 velocidades possíveis (75, 60 e 45rpm).



Figura 4.4 – Fotografia da aplicação do momento de força que gera um torque conhecido à estrutura.



```

*** Linear Model ***
Call:lm(formula = torque.acum ~ mv, data =
estatica2, na.action = na.exclude)
Residuals:
    1     2     3
0.07531 -0.2435 0.1682

Coefficients:
            Value Std. Error t value Pr(>|t|)
(Inter) -0.0753   0.2960  -0.2545  0.8414
mv       52.9180   0.8905  59.4251  0.0107

Residual standard error: 0.3054 on 1 degrees of
freedom
Multiple R-Squared: 0.9997
F-statistic: 3531 on 1 and 1 degrees of
freedom, the p-value is 0.01071

```

Figura 4.5 - Resultado da regressão linear realizada com os dados da aplicação dos dois momentos torsores, sendo 10,2kg e 4,5 kg respectivamente, com objetivo de calcular as potências mensuradas pelo calibrador com o cicloergômetro acoplado.

**Observação:** Para análise estatística e apresentação gráfica dos dados coletados, foi utilizado o software S-Plus [ 2000 / LUCENT TECHNOLOGIES]. Veja, também, pg 39

#### 4.1.4 - Experimento de Calibração Mecânica dos Cicloergômetros.

Cada procedimento de calibração foi realizado através da aplicação de carga de 0 a 400W nas rotações de 44,3, 56,7 e 76,7 rpm, com acréscimos do tipo degrau de 25W e duração de 50 segundos, sendo 20 segundos para estabilização da carga e 30 segundos para medida. Abaixo, descrevemos o protocolo utilizado.

##### Protocolo de Calibração Mecânica

##### Período da Manhã:

Primeiro **procedimento de calibração**, seguido de um período de 20 minutos de aplicação de carga a 150W a 75 rpm, seguido do segundo procedimento de calibração.

Intervalo de duas horas entre os períodos.

**Período da tarde:**

Terceiro **procedimento de calibração**, seguido de um período de 20 minutos de aplicação de carga a 150W a 75 rpm, seguido do quarto **procedimento de calibração**.

## **4.2 - CALIBRAÇÃO BIOLÓGICA: MATERIAIS E MÉTODOS**

A calibração biológica refere-se à comparação das respostas de frequência cardíaca (FC) e variáveis ventilatórias e metabólicas durante um teste ergoespirométrico em cicloergômetro, realizado por um grupo de voluntários em cicloergômetros similares, de mesma fabricação, adquiridos em diferentes anos .

### **4.2.1 – Indivíduos estudados**

De acordo com o Comitê de Ética em Pesquisa da UNICAMP, que aprovou esse projeto, os três voluntários foram informados previamente a respeito dos testes e procedimentos a serem realizados, bem como dos riscos e benefícios existentes, antes de assinar o *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido* (apêndice A).

Os voluntários submeteram-se à anamnese e ao exame físico, realizados por um médico, com objetivo de detectar a existência de qualquer doença ou problema ortopédico que viesse a

contra-indicar sua participação no estudo. Todos eles também realizaram eletrocardiograma de repouso.

Foram estudados 3 indivíduos saudáveis, do sexo masculino, com idades de 21 e 22 anos (média  $21,3 \pm 0,58$ ), fisicamente ativos. Consideramos fisicamente ativos indivíduos que realizassem atividades aeróbias e localizadas em sala de musculação, no mínimo de 3 vezes por semana, com característica de resistência muscular localizada. Os dados pessoais, as características antropométricas e hábitos de vida de cada voluntário foram obtidos por meio de entrevista prévia com preenchimento de uma ficha de avaliação individual.

#### **4.2.2 – Equipamentos e Protocolo dos Testes de Esforço Físico**

##### **Equipamentos para coleta das variáveis VE, VO<sub>2</sub> e VCO<sub>2</sub>**

- *Laboratório de Fisiologia do Exercício / Departamento de Clínica Médica / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / USPRP e Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico do Departamento de Fisioterapia da UFScar:* equipamentos [CPX/D / MedGraphics/ USA] um sistema computadorizado de análise ergoespirométrica, utilizando o software Breeze, para captação (conversor analógico/digital), armazenamento, processamento e impressão, na forma de tabelas e gráficos, das variáveis cardiorespiratórias e metabólicas em repouso e exercício físico.
- UNICAMP: sistema ergoespirométrico [VMAX29 / SENSORMEDICS / EUA] acoplado a um laptop Dell Computers, responsável pelo armazenamento, processamento e impressão, na forma de tabelas e gráficos, das variáveis cardiorespiratórias e metabólicas em repouso e exercício físico.

##### **Equipamentos para captação da FC**

- **USPRP:** sinal eletrocardiográfico (ECG) a partir da derivação MC5 modificada (usando-se 5 eletrodos: braço direito (RA), no manúbrio esternal; braço esquerdo (LA), próximo à clavícula esquerda; C, próximo à clavícula direita; perna esquerda (LL), no quinto espaço intercostal esquerdo e perna direita (RL), no hemitórax direito).
- **UFSCar:** monitor cardíaco Ecafix de 01 canal com um cabo com configuração de 3 eletrodos fixados no manúbrio esternal; LL, quinto espaço intercostal esquerdo e RL, no hemitórax direito
- **.UNICAMP:** monitor de FC (S810i, POLAR ELECTRO S.A., FINLAND), que registrou os intervalos RR durante todos os testes, sendo os dados transmitidos ao software Polar Precision Performance SW3 através de uma interface infravermelho.

### **PROTOCOLO de Calibração biológica**

A coleta das variáveis tinha início com 1 min de repouso, com o voluntário sentado sobre o cicloergômetro. A carga<sup>1</sup> corrigida de 20W era ajustada manualmente e logo após o voluntário recebia o comando verbal para iniciar o teste, mantendo uma velocidade em torno de 60 rotações por minuto. Após os 2 minutos iniciais, a carga foi novamente ajustada manualmente para 60W ou 120W, sendo que o voluntário permanecia pedalando por 10 minutos. Na seqüência, reduzia-se para o estágio inicial e, após 2 minutos, o teste era interrompido.

---

<sup>1</sup> Definimos carga como a resistência que um cicloergômetro oferece à pessoa. Potência é a resistência que o cicloergômetro desenvolve quando é movido por uma pessoa

#### 4.2.3 – Experimento de calibração biológica do cicloergômetro.

O teste de esforço físico dinâmico descontínuo do tipo degrau foi efetuado nos cicloergômetros [CORIVAL 400, QUINTON, GRONINGEN, HOLANDA], previamente submetidos ao procedimento de calibração mecânica nas potências corrigidas de 60 e 120W. Os dois testes de esforço (60 e 120W) foram realizados nos três laboratórios.

O protocolo iniciou-se com a coleta das variáveis de frequência cardíaca (FC), ventilação (VE), e metabólicas, sendo, consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e produção de gás carbônico ( $VCO_2$ ) do voluntário na posição sentada, em repouso no cicloergômetro, durante 1 minuto. Após a coleta das variáveis em repouso, o teste teve início com a aplicação de um degrau com a potência corrigida de 20W e duração de 2 minutos, com objetivo de aquecimento. Em seguida foi aplicado um degrau de 10 minutos, na potência corrigida de 60W, finalizando com 2 minutos de recuperação na potência de 20W, para o primeiro teste.

Após um intervalo de duração variável (até que o avaliado retorna à condição inicial pré-esforço) foi aplicado um segundo teste, com o mesmo protocolo previamente descrito, com aquecimento de 2 minutos, a 20W, mas seguido de um degrau agora com 120W e com recuperação final a 20W ,por 2 minutos.

Para análise dos dados metabólicos, ventilatórios e de FC coletados na calibração biológica, foram gerados gráficos lineares a partir de cada variável e através de inspeção visual foram delimitados os conjuntos de dados referentes a valores de estado estável basal e exercício.

Como padrão para análise dos dados foi adotado o gráfico tipo *Box Plot* , com intervalo de confiança para mediana em  $p = 0,05$ .

Os dados foram divididos e comparados por voluntário, local e teste apresentando a subdivisão de valores basais , valores de estado estável<sup>2</sup> em exercício.

Foram realizadas três comparações intra-indivíduo.

- valores medianos basais e de estado estável em exercício

---

<sup>2</sup> O estado estável do indivíduo durante o teste ergoespiométrico foi determinado arbitrariamente, através da inspeção visual de gráficos lineares das variáveis analisadas, sem que fosse utilizado qualquer fórmula ou procedimento descrito na literatura.

- valores de estado estável subtraídos do valor mediano do metabolismo basal e
- subtração dos valores obtidos no teste a 120W pelos valores obtidos no teste a 60W ( $\Delta$  Teste 2 – Teste 1)

Para essa última comparação, como os conjuntos de dados eram de tamanhos diferentes, a simples subtração de um pelo outro não podia ser realizada. Como solução, foram realizadas subamostragens dos conjuntos de dados.

A determinação do tamanho das sub-amostras deu-se por meio da observação do tamanho dos conjuntos de dados de estado estável, tomando arbitrariamente como referência cerca de 60% do tamanho do menor conjunto de dados. Aplicando-se essa metodologia, o tamanho das sub-amostras foi de 50.

Para a estratificação das sub-amostras utilizou-se a função *Sample* do software *S-Plus*, que extrai um conjunto de dados de uma matriz, sendo que, neste caso, foi realizado sem reposição.



# 5 Resultados

---



---

A calibração mecânica e biológica dos 03 cicloergômetros, cujos materiais e métodos descrevemos no Capítulo 4, obteve os resultados que passamos a detalhar.

## 5.1 – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO MECÂNICA

Apresentaremos, em seguida, em gráficos e fórmulas, os resultados obtidos por meio dos procedimentos de calibração estática e dinâmica e que serão discutidos no Capítulo 6.

### 5.1.1 - Calibração Estática do calibrador de cicloergômetros

O gráfico 5.1 apresenta os resultados da calibração estática com a respectiva reta de regressão. A equação da reta obtida foi:

$$\text{Tensão [mv]} = 0,019073 * \tau \text{ [gf*m]} + (-0,04938)$$

onde  $\tau$  representa o Torque

A partir desta reta de calibração estática, foi estimada a variância do torque, a partir do coeficiente entre a soma de quadrados de resíduos da regressão e o quadrado do coeficiente angular da reta. A estimativa dos parâmetros de erro estão expressos abaixo:

$$\text{Variância dos resíduos} = 1,72 \text{ mv}^2.$$

$$\text{Estimativa do desvio padrão do Torque a partir da leitura} = 23,69 \text{ gf.cm}$$

O interesse principal nesse caso é ter uma estimativa da precisão do calibrador, obtida pelo cálculo da potência ( $\tau \times \omega$ ) fornecida por um desvio padrão da leitura do torque, onde  $\omega$  é a velocidade angular em rad/s.

O valor do desvio padrão acima refere-se à leitura inversa de 23,69gf.cm, que na faixa de rotações específicas do projeto 45 – 75 rpm, representará um desvio padrão da potência lida:

$$\text{Desvio padrão da leitura inversa} = 23,69 \times 0,0098 \times 70 \times \pi / 60 = 0,85W.$$

Assim a calibração estática do eixo de medidas resultou em um sistema de extensimetria com precisão de 0,85W caracterizado pelo desvio padrão da potência calculada a partir da reta de calibração.

### Calibração Estática do Eixo de Medidas

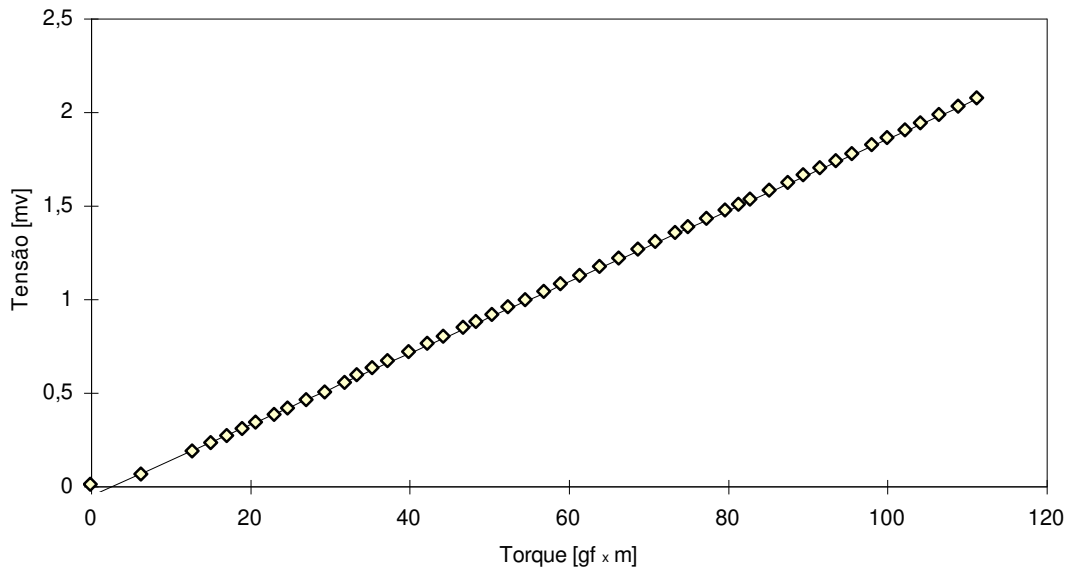


Figura 5.1 – Gráfico da calibração estática do eixo de medidas e a respectiva regressão linear. Ver também Figura 4.5, à pg 32, para encontrar o cálculo da potência.

### Cálculo da potência e unidades nas situações estática e dinâmica

*Potência* é definida como o produto da força pela velocidade, para sistemas mecânicos de translação- e como produto do torque pela velocidade angular para sistemas mecânicos rotacionais.

$$P[W] = \tau[N \times m] \times \omega[rad/s] \quad (5.1)$$

onde  $\tau$  é o Torque,  $\omega$  é a velocidade angular.

Na situação estática o momento tursor foi determinado por aplicação de massas a um braço de alavanca.

$$\tau[N \times m] = M[kg] \times g[m/s^2] \times d[m] \quad (5.2)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade.

Na situação dinâmica o torque foi calculado por uma relação linear entre torque e tensão de saída na ponte de extensimetria. Os coeficientes foram calculados por um procedimento de regressão linear entre três pares de valores destas variáveis.

$$\tau = a(U[mv]) + b \quad (5.3)$$

A velocidade angular medida em rotações por minuto [ rpm ] foi transformada a velocidade angular em radianos por segundo [ rad/s ] (5.4).

$$\omega[rad/s] = \frac{\pi}{30} \times \omega[rpm] \quad (5.4)$$

Substituindo-se a equação 7.3 e 7.4 em 7.1 temos:

$$P[W] = M[kg] \times g[m/s^2] \times d[m] \times \omega[m/s^2] \quad (5.5)$$

O valor mediano de  $U [ mv ]$  é subtraído do valor de mediana do conjunto de dados de inércia do eixo em movimento, gerando a equação:

$$\tau = a(U[mv] - U_i[mv]) + b$$

onde  $U_i[mv]$  é o valor da leitura na ponte de extensimetria na situação do calibrador em funcionamento, ou seja da inércia do eixo de medidas e flange.

Finalmente, a potência é definida através da equação:

$$P[W] = (a(U[mv] - U_i[mv]) + b) \times \omega[rad/s]$$

### 5.1.2 - Calibração Dinâmica dos cicloergômetros

Nesse item, descreveremos o valor encontrado para o cálculo das potências nas três rotações trabalhadas, apresentando, por meio de gráficos, os resultados da calibração dinâmica de cada cicloergômetro, bem como as comparações entre eles, as rotações e procedimentos, agrupados em *boxplots*. Também vamos mostrar as potências calibradas finais obtidas nas bicicletas ergométricas e os resultados do ajuste de carga pelos cicloergômetros.

#### **Cálculo da potência desenvolvida pelos cicloergômetros**

Para cálculo da potência desenvolvida pelos cicloergômetros, foi realizado um procedimento de regressão linear entre os valores calculados e esperados que gerou os coeficientes necessários para estimar a potência desenvolvida por cada cicloergômetro nas 3 rotações trabalhadas. Com o objetivo de comparar os cicloergômetros nas potências, rotações e locais, foi adotado como referência o valor do coeficiente angular da regressão linear entre os valores previstos e valores medidos, onde o valor previsto ótimo é sempre 1.

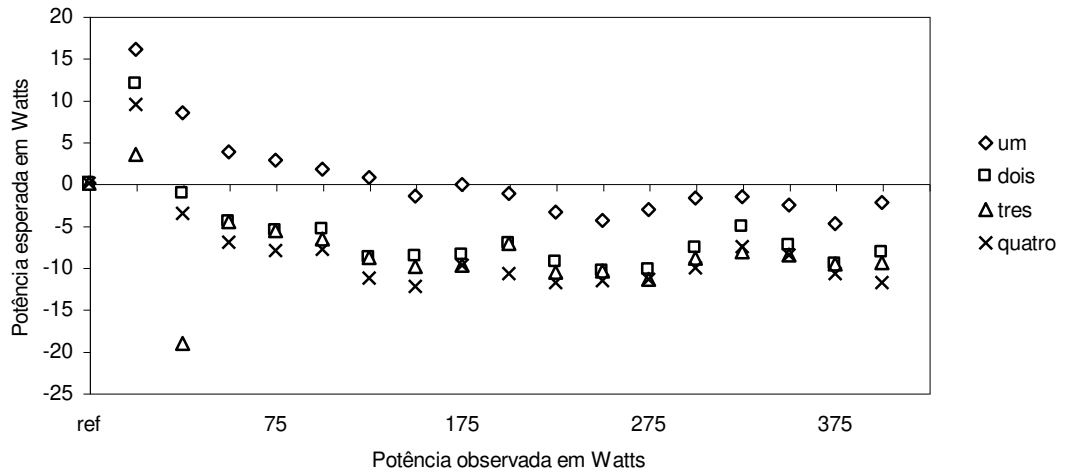
$$P[W] = ((52,9180(U[mv] - U_i [mv]) + (-0,0753)) \times \omega [rad/s]) \times -1$$

onde,  $\omega = 44,3$  ou  $56,7$  ou  $76,7$ .

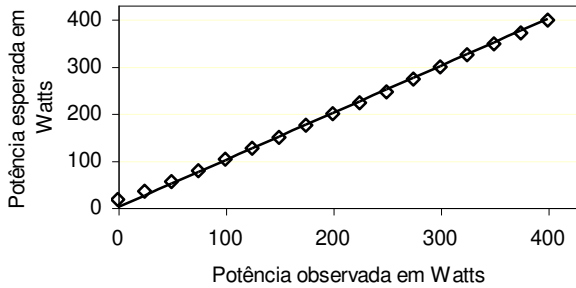
#### **► Cicloergômetro da USPRP**

Na figura 5.2 são apresentados os resultados da calibração mecânica dinâmica do cicloergômetro da USPRP em 45 rpm.

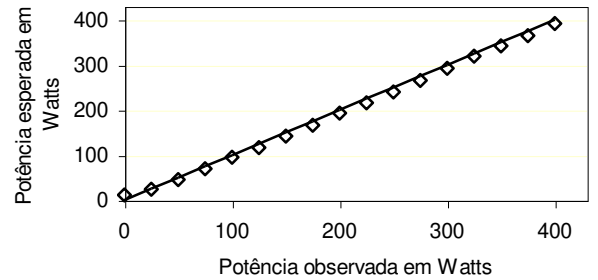
**Resíduos observados a 45rpm - USPRP**



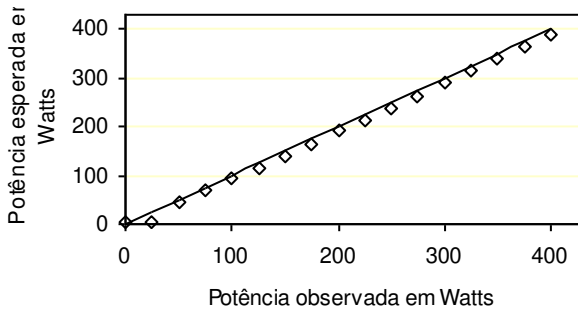
Potência calibrada USPRP  
45 rpm - Calibração 01



Potência calibrada USPRP  
45 rpm - Calibração 02



Potência calibrada USPRP  
45 rpm - Calibração 03



Potência calibrada USPRP  
45 rpm - Calibração 04

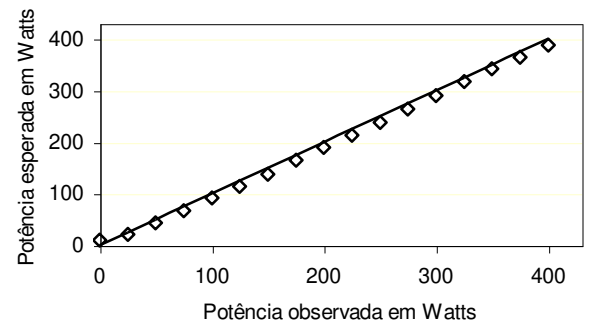


Figura 5.2 - Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da USPRP a 45rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

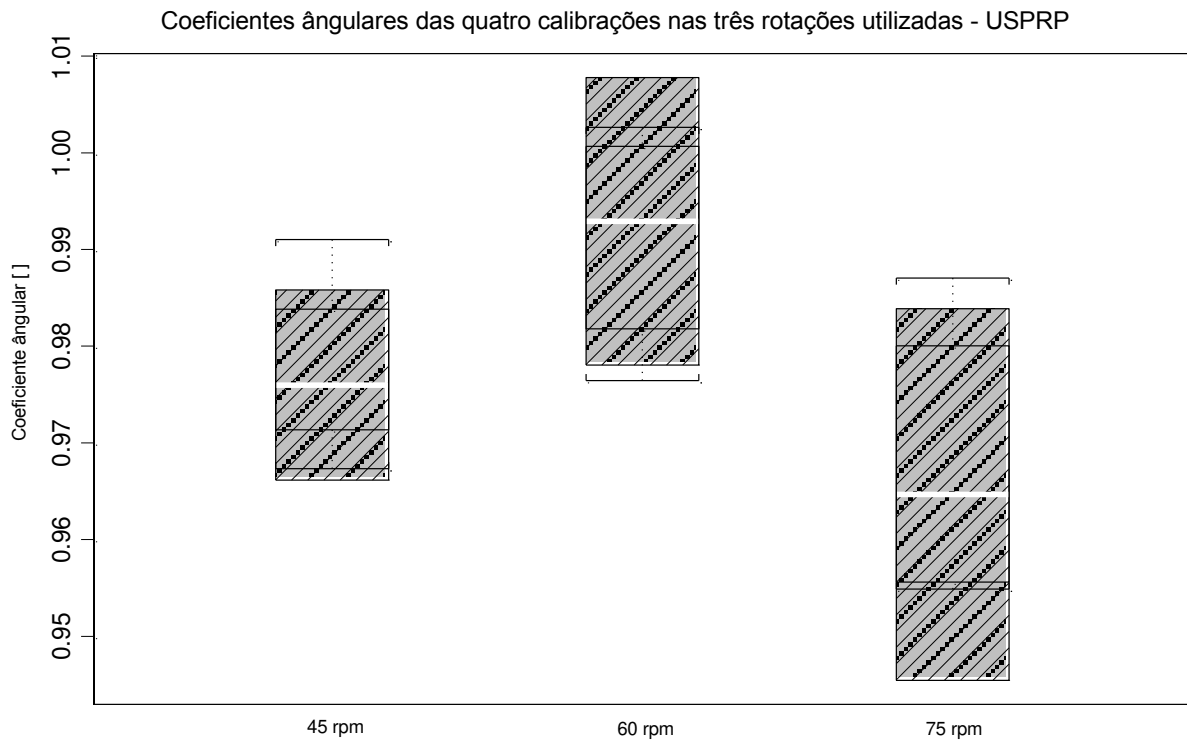


Figura 5.3 – Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da USPRP nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um  $\alpha = 0,05\%$

Os coeficientes angulares referentes a potência do cicloergômetro do Laboratório da USPRP para as rotações de 45rpm, 60rpm e 75rpm, respectivamente, podem ser observados na figura 5.3.

### ► Cicloergômetro da UFSCar

Foram os seguintes os valores encontrados para o cálculo da potência do cicloergômetro da UFSCar ,para as rotações de 44,3rpm , 56,7rpm e 76,7 respectivamente.

$$P[W] = ((54,3190(U[mv] - U_t[mv]) + (-0,0885)) \times \omega[rad / s]) \times -1$$

onde,  $\omega = 44,3$  ou  $56,7$  ou  $76,7$ .

Na figura 5.4 são apresentados os resultados obtidos da calibração mecânica do cicloergômetro da UFSCar para as três rotações trabalhadas, respectivamente.

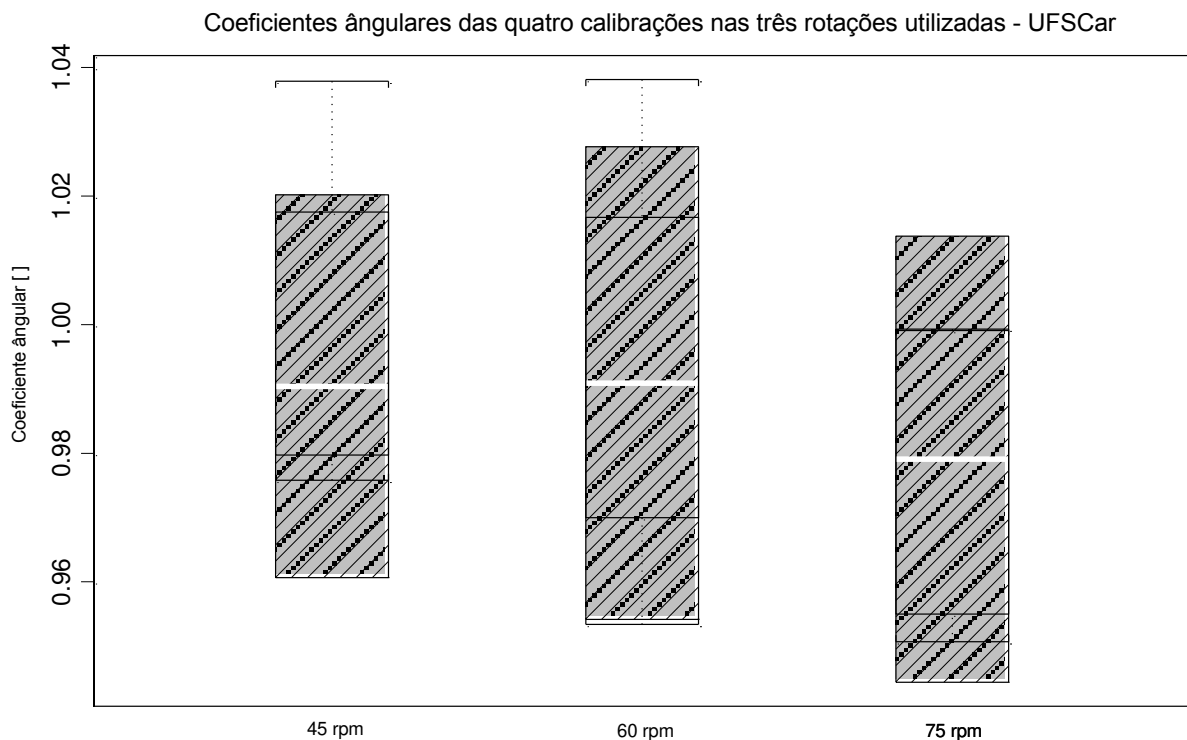


Figura 5.4 – Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da UFSCar nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um  $\alpha = 0,05\%$ .

#### ► Cicloergômetro da UNICAMP

Na figura 5.5 estão os valores encontrados para o cálculo da potência do cicloergômetro da UNICAMP para as três rotações trabalhadas respectivamente

$$P[W] = ((54,2264(U[mv] - U_1[mv]) + (-0,4422)) \times \omega[rad/s]) \times -1$$

onde,  $\omega = 44,3$  ou  $56,7$  ou  $76,7$ .

Resultados obtidos com a calibração mecânica do cicloergômetro da UNICAMP para as três rotações trabalhadas respectivamente

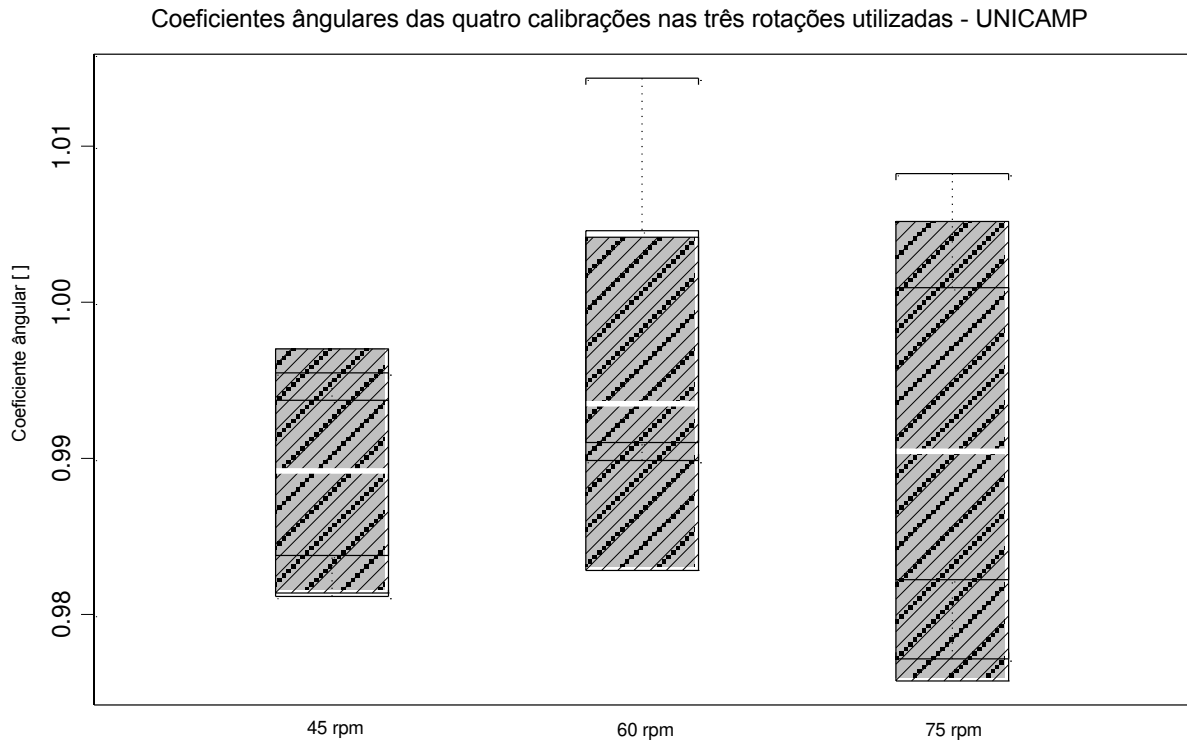


Figura 5.5 – Coeficientes angulares dos quatro procedimentos de calibração no cicloergômetro da UNICAMP nas três velocidades possíveis. Gráfico apresentando a igualdade dos coeficientes a um  $\alpha = 0,05\%$ .

#### 5.1.2.1- COMPARAÇÕES: RESULTADOS NOS TRÊS LABORATÓRIOS

Como já se pôde observar nas figuras anteriores- 5.3, 5.4 e 5.5- não há diferenças estatisticamente significativas entre as três rotações trabalhadas para cada local. Os gráficos apresentam resultados mais próximos dos valores esperados em 60rpm, sendo indicativo de uma potência desenvolvida mais próxima da real nesta faixa de trabalho (Os demais gráficos relativos a esse aspecto podem ser encontrados no Anexo I)

As figuras 5.6, 5.7, 5.8, a seguir, apresentam uma comparação entre as calibrações dos diferentes cicloergômetros nas diferentes rotações utilizadas. Elas mostram que não existe



diferença estatisticamente significativa entre os ergômetros nas três rotações trabalhadas, comparando-se a velocidade e local.

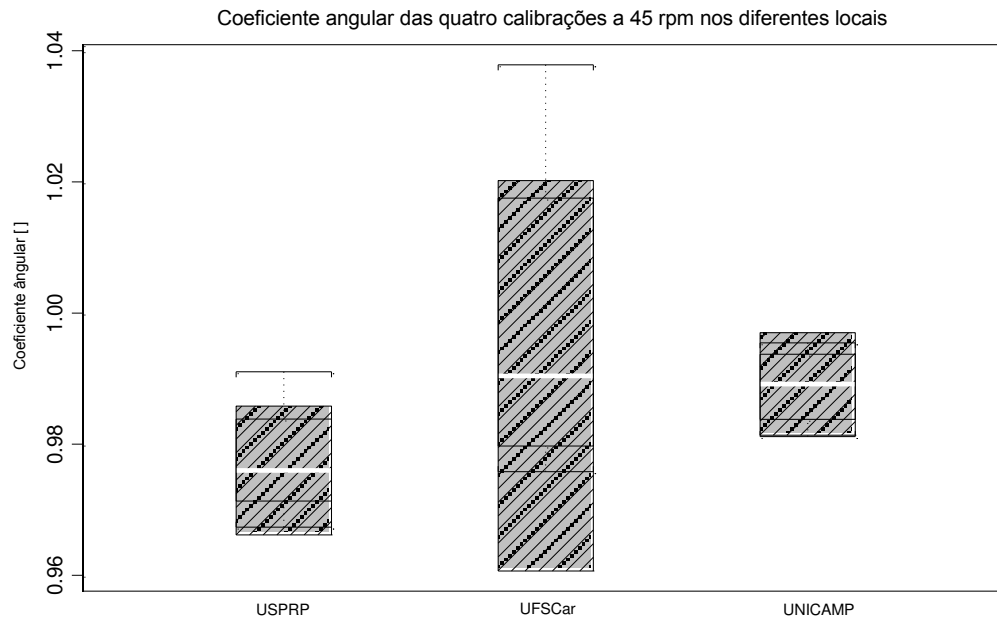


Figura 5.6 – Coeficiente angular das quatro calibrações a 45 rpm nos diferentes locais comparando-se os três cicloergômetros com um  $\alpha = 0,05\%$ .

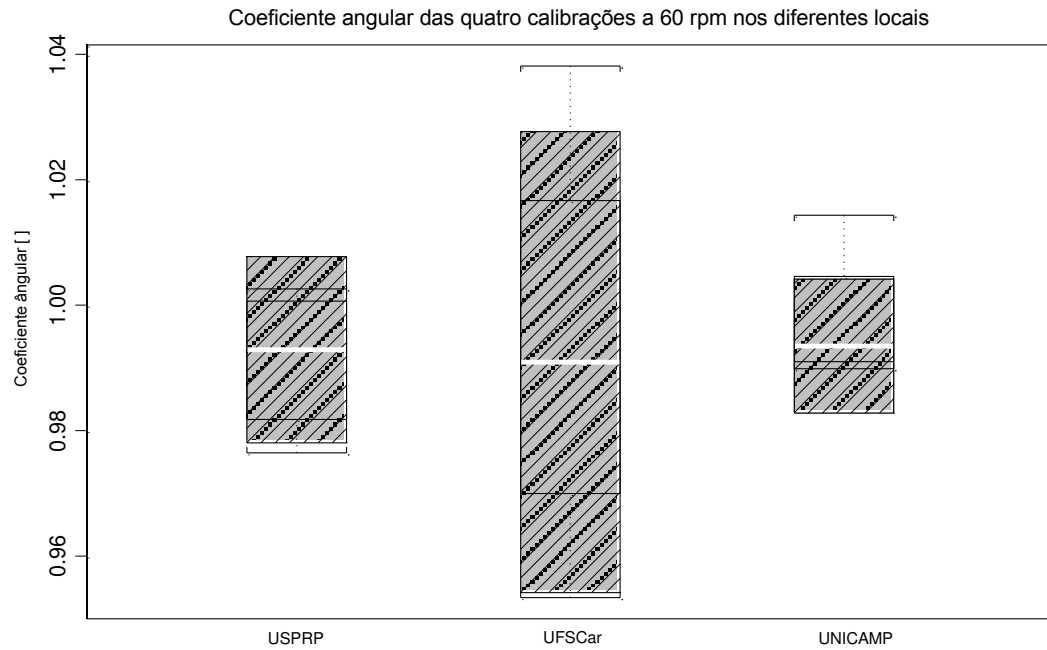


Figura 5.7 – Coeficiente angular das quatro calibrações a 60 rpm nos diferentes locais comparando-se os três cicloergômetros com um  $\alpha = 0,05\%$ .

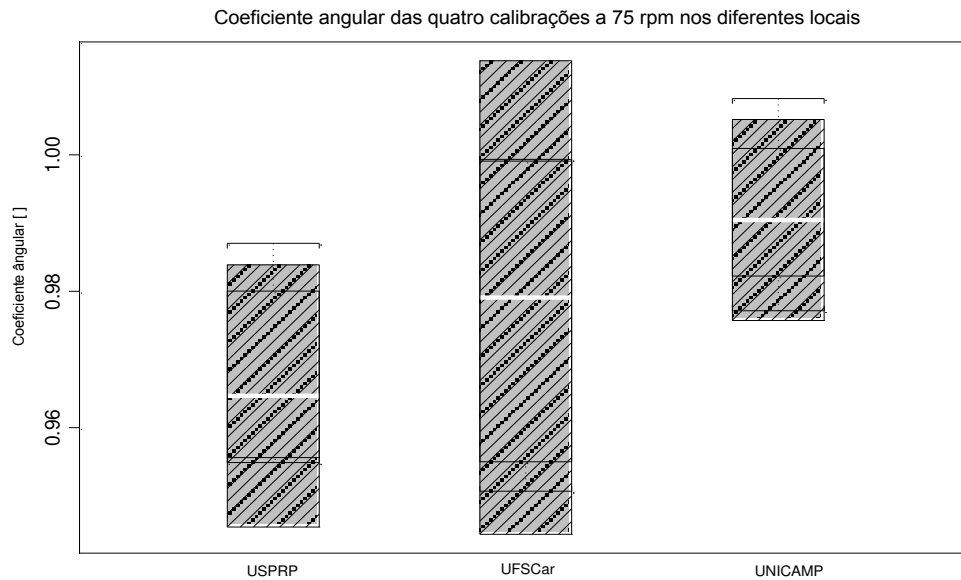


Figura 5.8 – Coeficiente angular das quatro calibrações a 75 rpm nos diferentes locais comparando-se os três cicloergômetros com um  $\alpha = 0,05\%$ .

A figura 5.9 agrupa a calibração dos cicloergômetros dos três locais, dividindo os resultados de calibração por velocidade angular e fazendo uma comparação dos coeficientes angulares nas rotações possíveis, sem discriminação do cicloergômetro. Ela mostra que não existem diferenças entre resultados procedimentos de calibração nas 3 velocidades trabalhadas quando analisados individualmente.

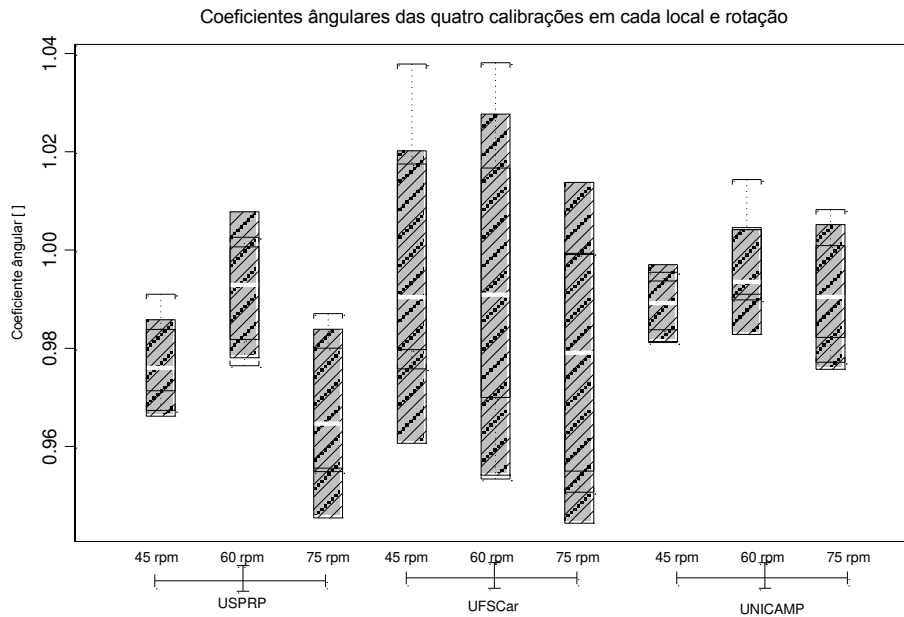


Figura 5.9 – Coeficiente angular nas três rotações agrupando-se os locais, comparando-se os coeficientes angulares a um  $\alpha = 0,05\%$ .

Comparação dos coeficientes angulares obtidos em cada procedimento de calibração, nas três rotações possíveis e sem discriminação do local

A figura 5.10 apresenta uma comparação dos coeficientes angulares obtidos em cada procedimento de calibração, nas três rotações possíveis e sem discriminação do local, mostrando que o aquecimento prévio do equipamento e horário não interferem no resultado. Ou seja: os cicloergômetros não variam em função de horário do dia ou estado de aquecimento prévio.

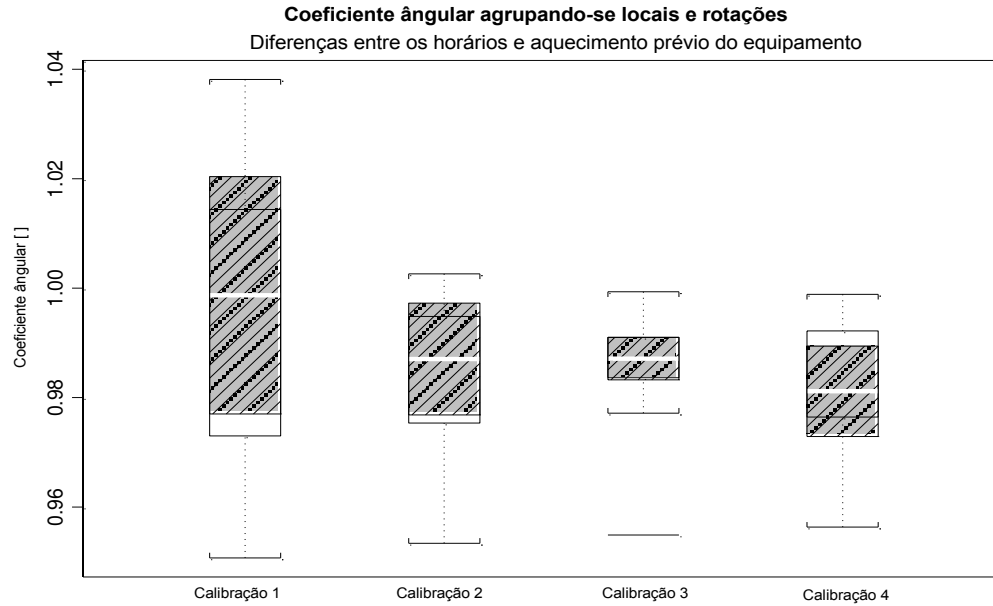


Figura 5.10 – Coeficiente angular nas três rotações agrupando-se os locais, comparando-se os coeficientes angulares a um  $\alpha = 0,05\%$ .

#### Comparação entre todos os locais, rotações e procedimentos

A figura 5.11 agrupa todos os locais, rotações e procedimentos comprovando a qualidade dos cicloergômetros utilizados nos três locais.

A figura 5.11 apresenta todos os resultados agrupados dentro do mesmo boxplot.

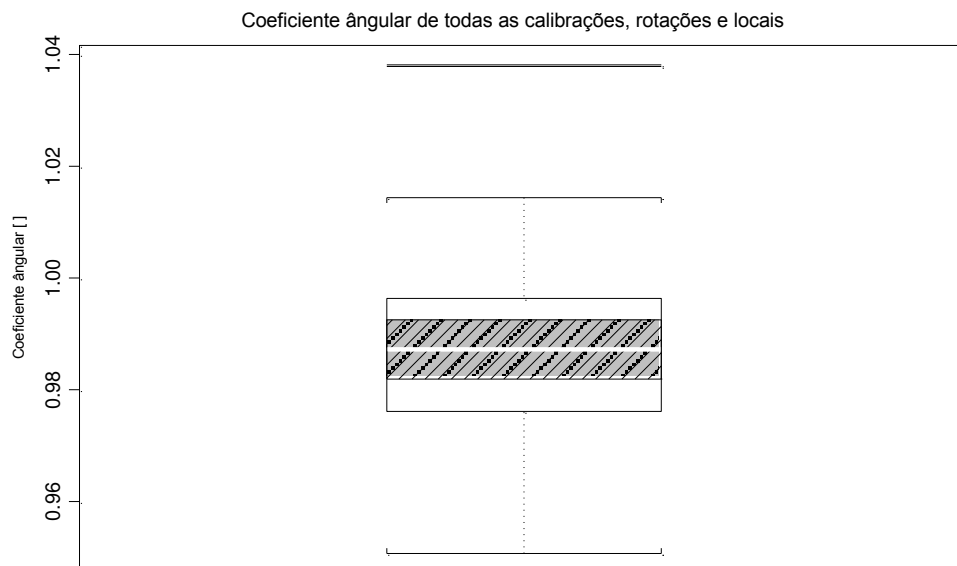


Figura 5.11 – Coeficiente angular de todas as calibrações, rotações e locais.

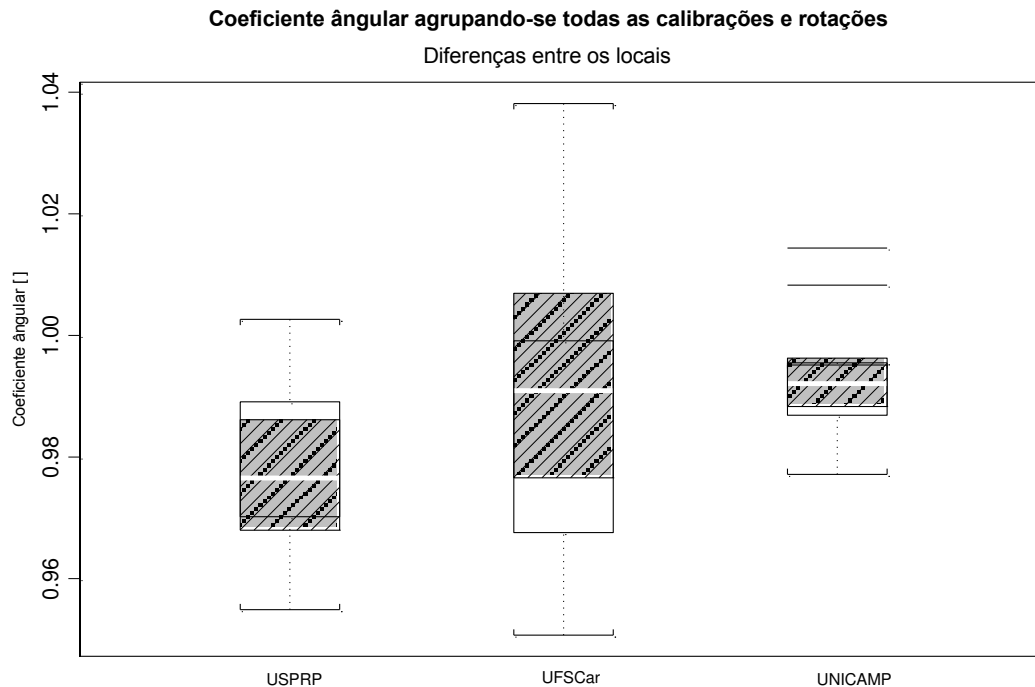


Figura 5.12 – Coeficiente angular nas três rotações em diferentes locais, comparando-se os coeficientes angulares a um  $\alpha = 0,05\%$ .

Essa figura mostra que não existe diferença entre os cicloergômetros, agrupando-se as rotações e calibrações de um mesmo local, sendo que existe uma tendência de que o cicloergômetro da UNICAMP apresente resultados com uma amplitude de variações menores e valores mais próximos de 1.

#### 5.1.2.2 - POTÊNCIAS CALIBRADAS FINAIS

As Figuras a seguir apresentam na forma de gráficos lineares e tabelas as potências calibradas finais para cada laboratório e em cada velocidade estudada.

► Potência calibrada final: USP-RP

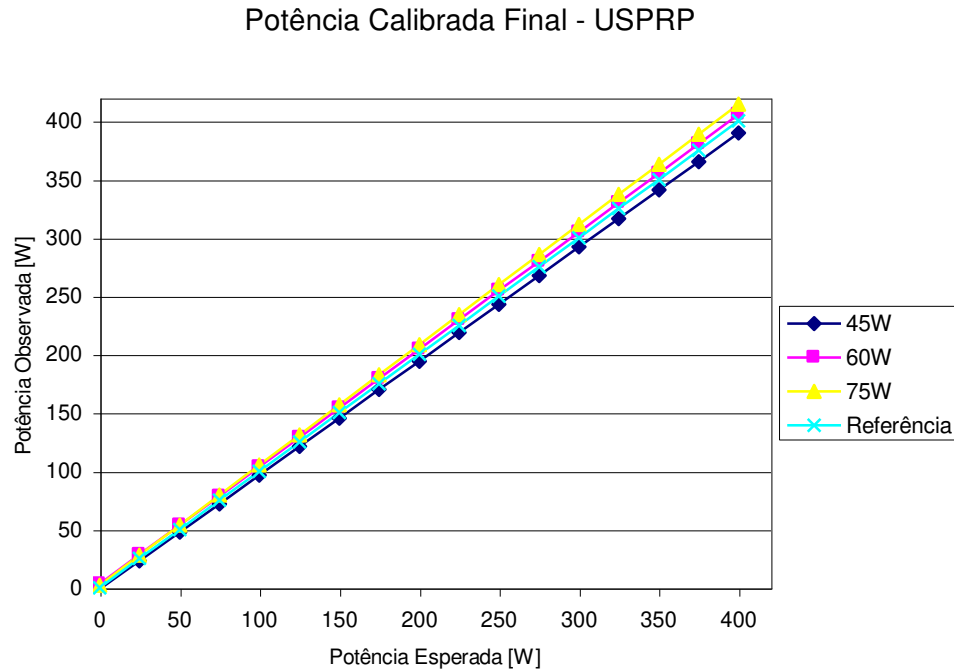


Figura 5.13 – Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da USPRP.

Referência	45 rpm	60rpm	75rpm
0	-1,25345	3,179365	1,979656
25	23,18613	28,33458	27,75415
50	47,6257	53,48979	53,52864
75	72,06528	78,64501	79,30314
100	96,50485	103,8002	105,0776
125	120,9444	128,9554	130,8521
150	145,384	154,1107	156,6266
175	169,8236	179,2659	182,4011
200	194,2632	204,4211	208,1756
225	218,7027	229,5763	233,9501
250	243,1423	254,7315	259,7246
275	267,5819	279,8867	285,4991
300	292,0215	305,0419	311,2736
325	316,461	330,1972	337,0481
350	340,9006	355,3524	362,8226
375	365,3402	380,5076	388,5971
400	389,7798	405,6628	414,3716

Tabela 5.1 – Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.

► Potência calibrada final: UFSCAr

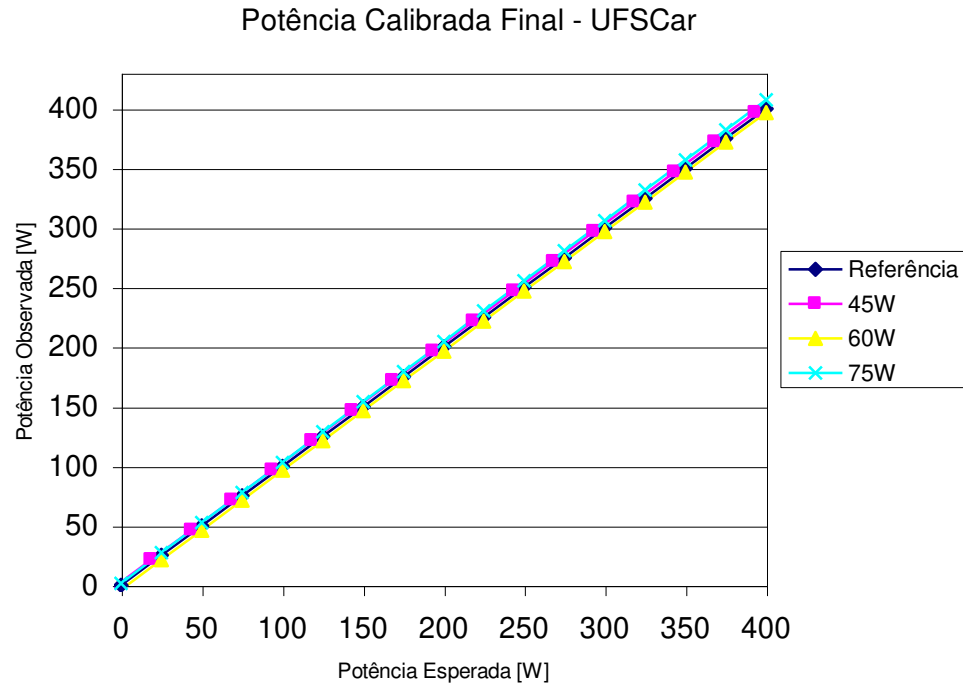


Figura 5.14 – Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da UFSCAr.

Referência	45rpm	60rpm	75rpm
0	-6,2703	-3,78104	1,811134
25	18,6906	21,26512	27,18012
50	43,65149	46,31127	52,54912
75	68,61239	71,35743	77,91811
100	93,57328	96,40358	103,2871
125	118,5342	121,4497	128,6561
150	143,4951	146,4959	154,0251
175	168,456	171,542	179,3941
200	193,4169	196,5882	204,7631
225	218,3778	221,6344	230,1321
250	243,3386	246,6805	255,501
275	268,2995	271,7267	280,87
300	293,2604	296,7728	306,239
325	318,2213	321,819	331,608
350	343,1822	346,8651	356,977
375	368,1431	371,9113	382,346
400	393,104	396,9574	407,715

Tabela 5.2 – Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.

► Potência calibrada final: UNICAMP

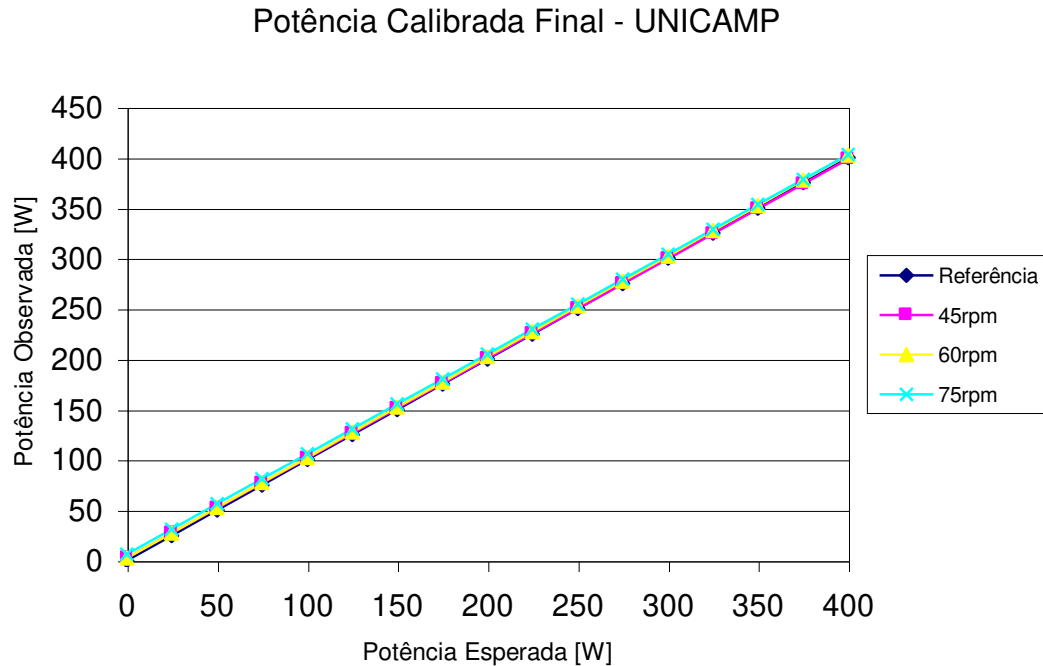


Figura 5.15 – Gráfico que apresenta a potencia calibrada final, que é o resultado da regressão linear dos dados obtidos dentro do protocolo de calibração da UNICAMP.

Referência	45rpm	60rpm	75rpm
0	2,816849	2,354578	6,595621
25	27,53548	27,35988	31,38491
50	52,25412	52,36517	56,1742
75	76,97275	77,37047	80,96349
100	101,6914	102,3758	105,7528
125	126,41	127,3811	130,5421
150	151,1287	152,3864	155,3314
175	175,8473	177,3917	180,1207
200	200,5659	202,397	204,9099
225	225,2846	227,4023	229,6992
250	250,0032	252,4076	254,4885
275	274,7218	277,4129	279,2778
300	299,4405	302,4181	304,0671
325	324,1591	327,4234	328,8564
350	348,8777	352,4287	353,6457
375	373,5964	377,434	378,435
400	398,315	402,4393	403,2243

Tabela 5.3 – Tabela com a representação numérica dos dados apresentados em forma de gráfico, onde observamos a coluna da esquerda como sendo os valores de referência e nas três colunas seguintes os valores calculados por meio de regressão linear dos dados obtidos com a aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro.



### 5.1.3.– Resultados do ajuste da carga pelos cicloergômetros.

Para o ajuste da potência [W] é necessário que o cicloergômetro faça uma “leitura” da velocidade angular [ $\omega$ ] e dinamicamente ajuste o Torque [Nxm].

$$P[W] = \tau[Nxm] \times \omega[\text{rad/s}]$$

O gráfico abaixo apresenta o comportamento do sinal [mv] a 45rpm com uma potência de 400W, com o cicloergômetro fixado a estrutura do calibrador.

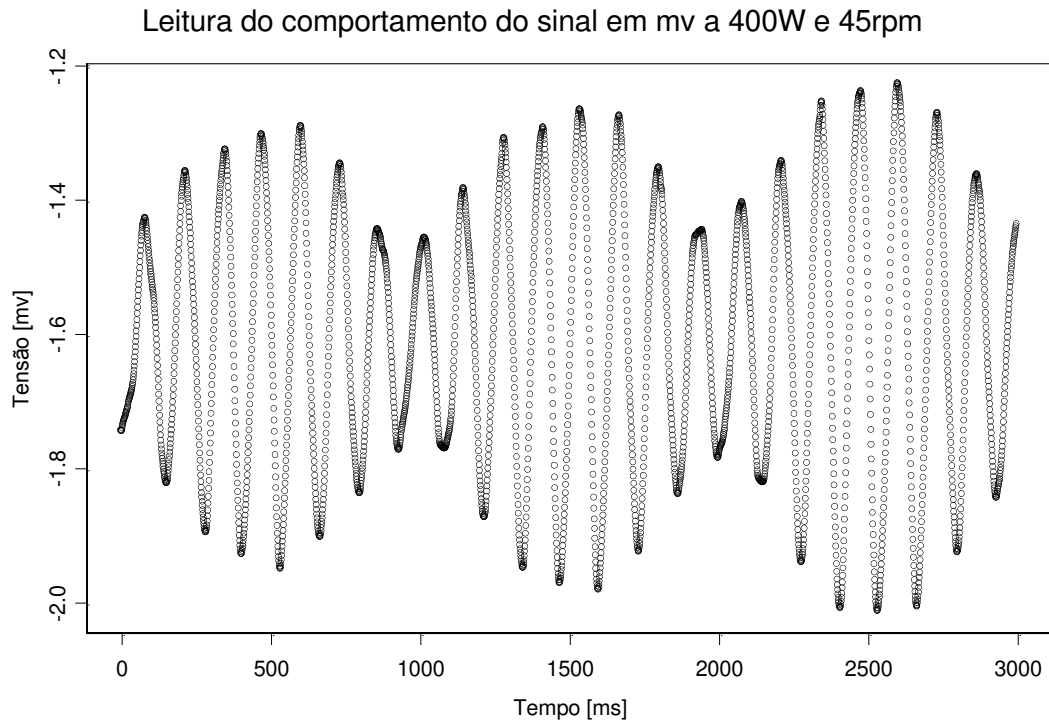


Figura 5.16 – Leitura do comportamento do sinal em milivolts com uma frequência de 100Hz, potência de 400W e 45 rpm, apresentando uma modulação cíclica.

A figura 5.17 apresenta o comportamento do sinal [mv] a 60rpm com uma potência de 200W, sem a fixação do cicloergômetro a estrutura do calibrador.

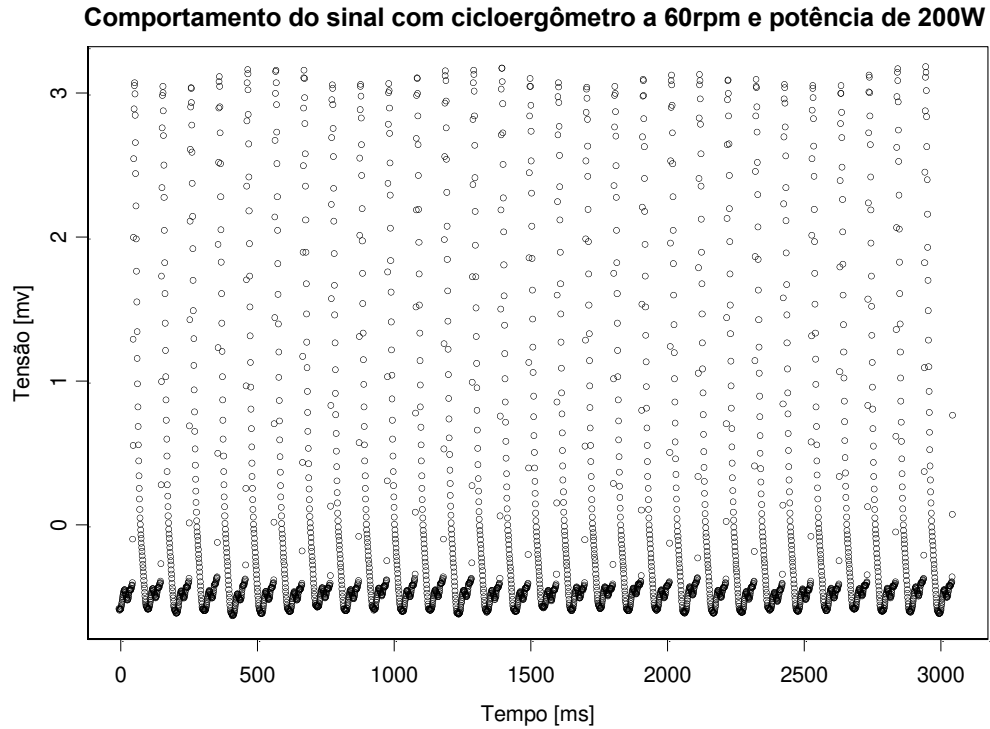


Figura 5.17 – Representação do comportamento do sinal em milivolts com cicloergômetro a 60 rpm e potência de 200W, sem a fixação do mesmo a bancada de calibração.

O gráfico abaixo apresenta a potência [W] desenvolvida pelo cicloergômetro da Unicamp a 60rpm, devidamente fixado a estrutura.

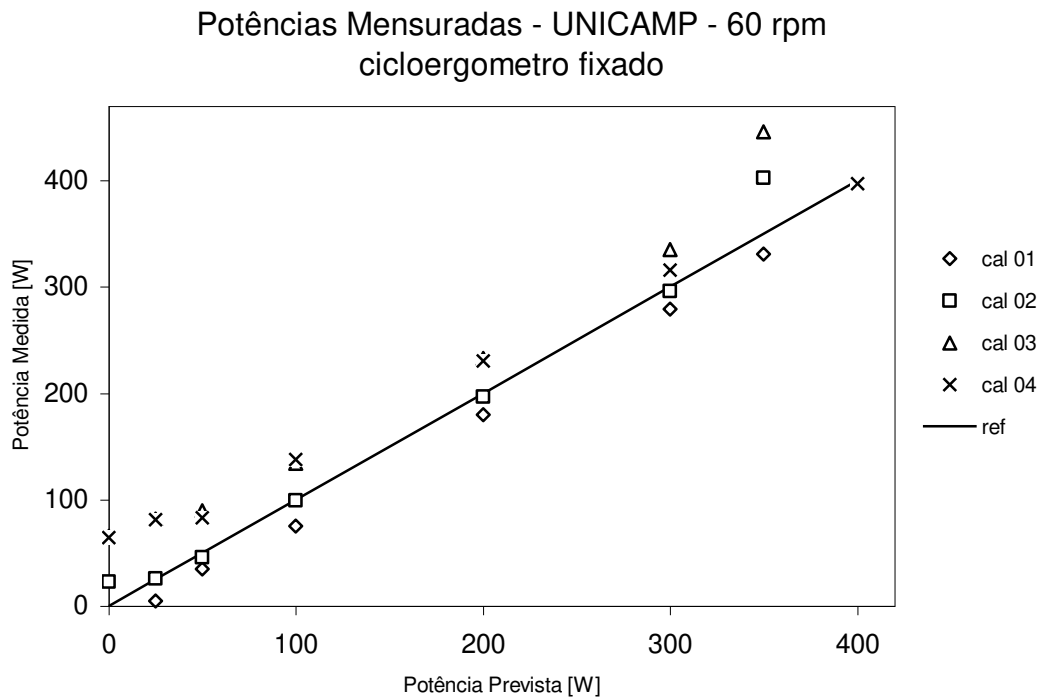


Figura 5.18 – Potências mensuradas no cicloergômetro da UNICAMP a uma velocidade de 60rpm, gráfico apresentando as alterações de mediana provocadas por vibrações da estrutura durante o procedimento de calibração.

## 5.2 – RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO BIOLÓGICA

Apresentaremos os resultados da calibração biológica dos cicloergômetros de acordo com o modelo de gráficos lineares, onde foram realizadas:

- Comparações entre os valores medianos de exercício e de estado estável de exercício subtraído do basal
- Consumo de O<sub>2</sub>
- Produção de CO<sub>2</sub>
- Ventilação
- Frequência Cardíaca -FC

### 5.2.1-Comparações entre os valores medianos de exercício e de estado estável de exercício subtraído do basal

Foram observadas as variáveis metabólicas, ventilatórias e de frequência cardíaca (Figuras 5.2.1 e 5.2.2).A delimitação dos conjuntos de dados referentes a valores no estado de repouso e exercício, foi feita por meio de inspeção visual conforme apresentado no Capítulo Materiais e métodos

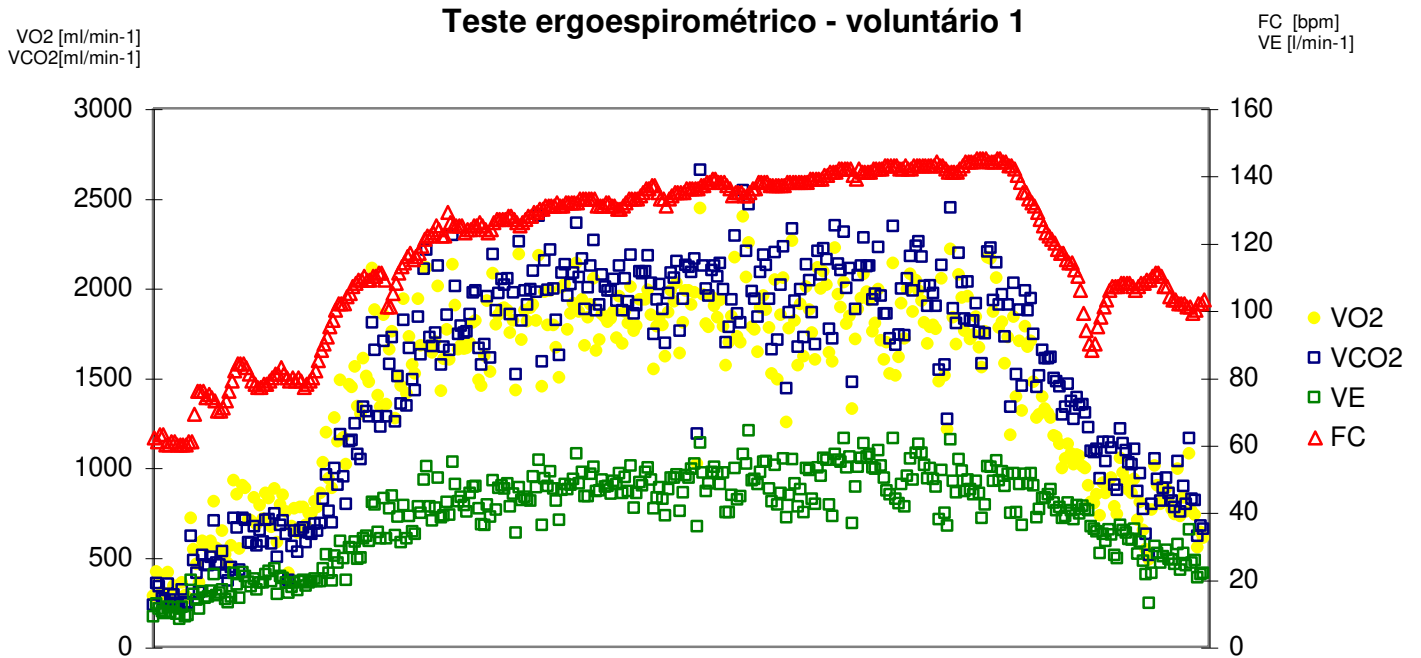


Figura5.2.1 – Resultado do teste ergoespirométrico realizado com o voluntário 1 na potência de 120W no laboratório da USPRP. Apresentação gráfica do comportamento das variáveis analisadas.

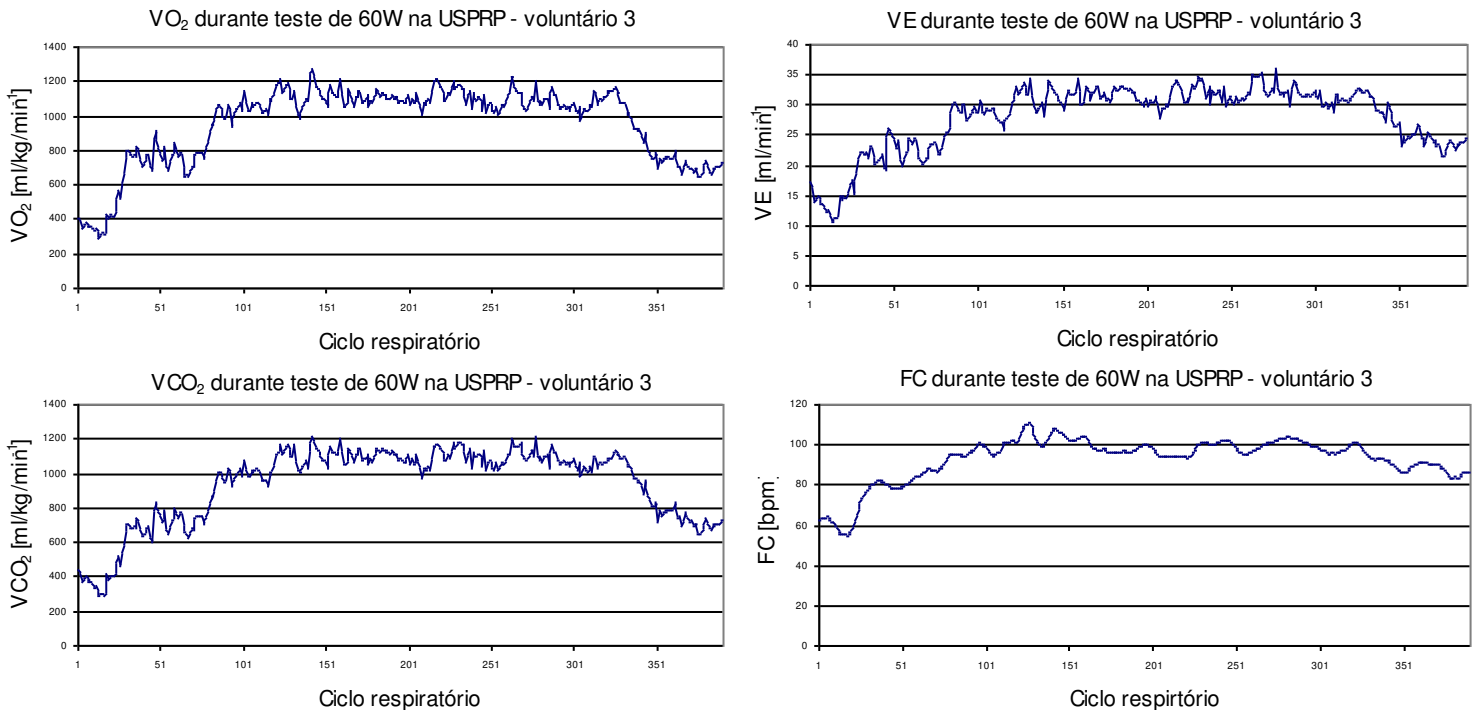


Figura 5.2.2 – Resultado gráfico para determinação do estado estável de repouso e de exercício para cada variável analisada: VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, VE, FC, respectivamente.

As figuras 5.2.3 apresentam os resultados de cada variável mensurada, onde o primeiro gráfico retangular (superior) apresenta o comportamento das variáveis obtidas em controle basal, o segundo gráfico (inferior – esquerdo) apresenta os valores de estabilização da variável mensurada para potência aplicada e o terceiro gráfico (inferior – direito) apresenta os valores de estabilização da variável mensurada subtraído dos valores medianos do comportamento basal (correção pelo basal).

### Resultados da FC – Voluntário 03 – Carga 120W

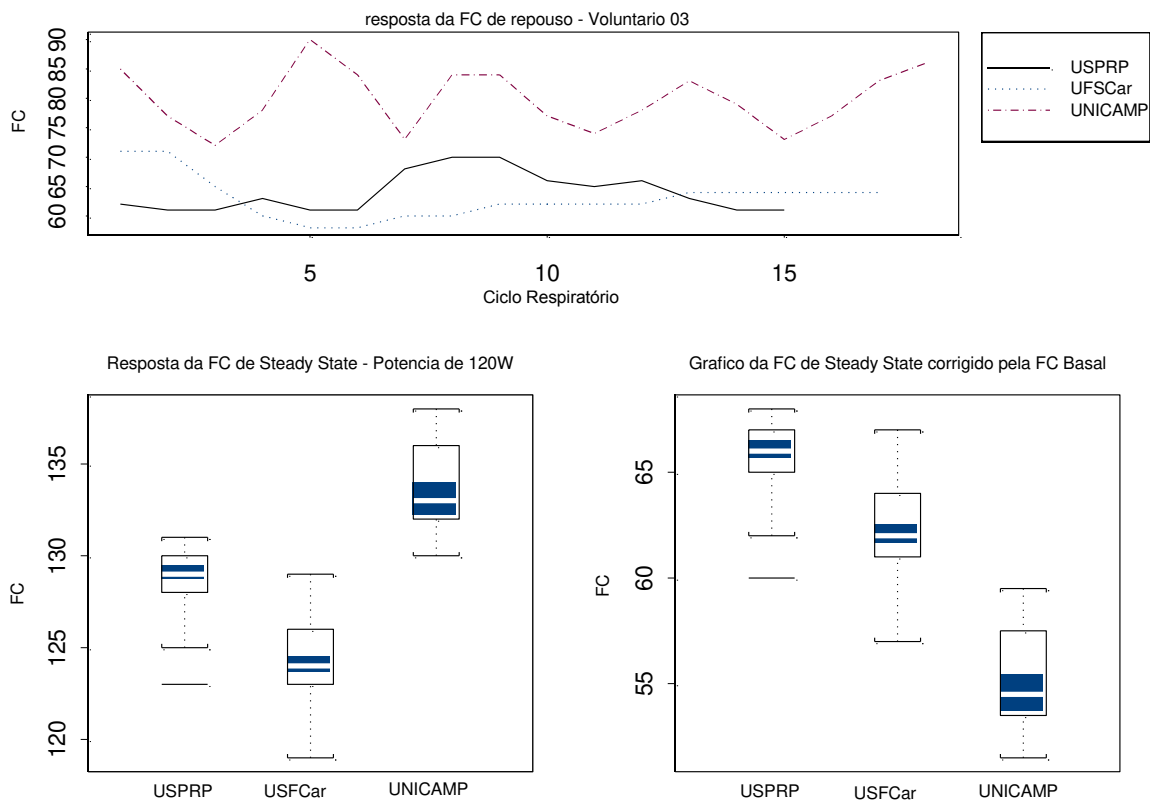


Figura 5.2.3: Comportamento da FC do voluntário 03 durante o teste realizado com carga 120W, onde o gráfico linear apresenta a FC de repouso do voluntário nos três laboratórios onde o procedimento foi adotado. O gráfico tipo box plot da esquerda apresenta a FC de estado estável e o Box plot da direita apresenta o FC de estado estável subtraído da FC de repouso, apresentando a FC de estado estável corrigida pela basal.

Nos itens seguintes, os gráficos foram agrupados por variável analisada e voluntário.

### 5.2.2 Resultados observados para Consumo de O<sub>2</sub>.

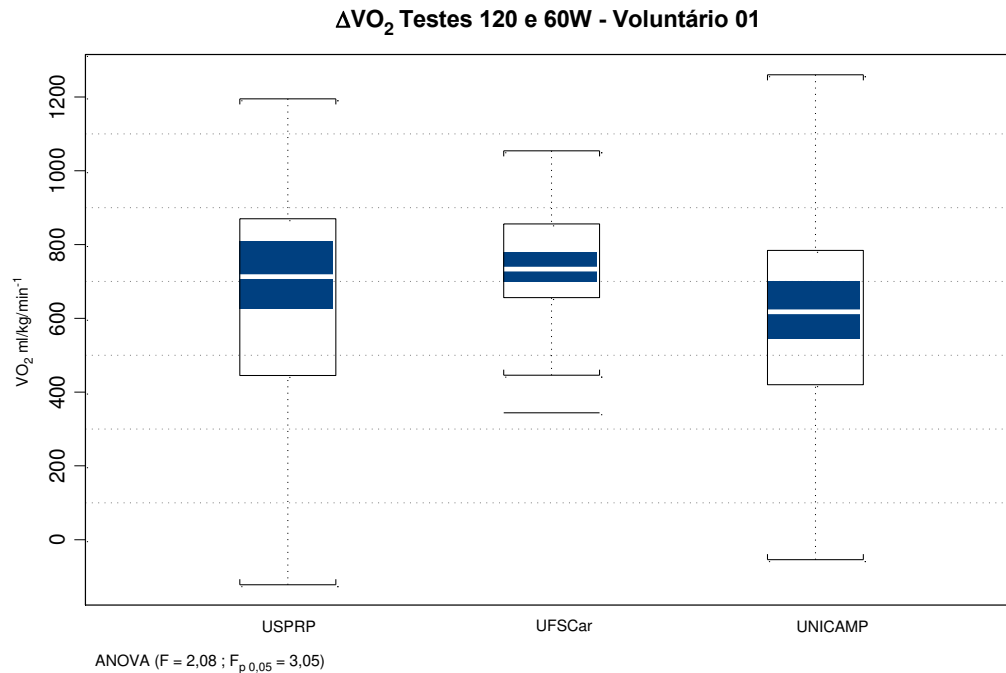


Figura 5.2.4: Diferença entre o consumo de O<sub>2</sub> em ml/kg/min<sup>-1</sup> observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.

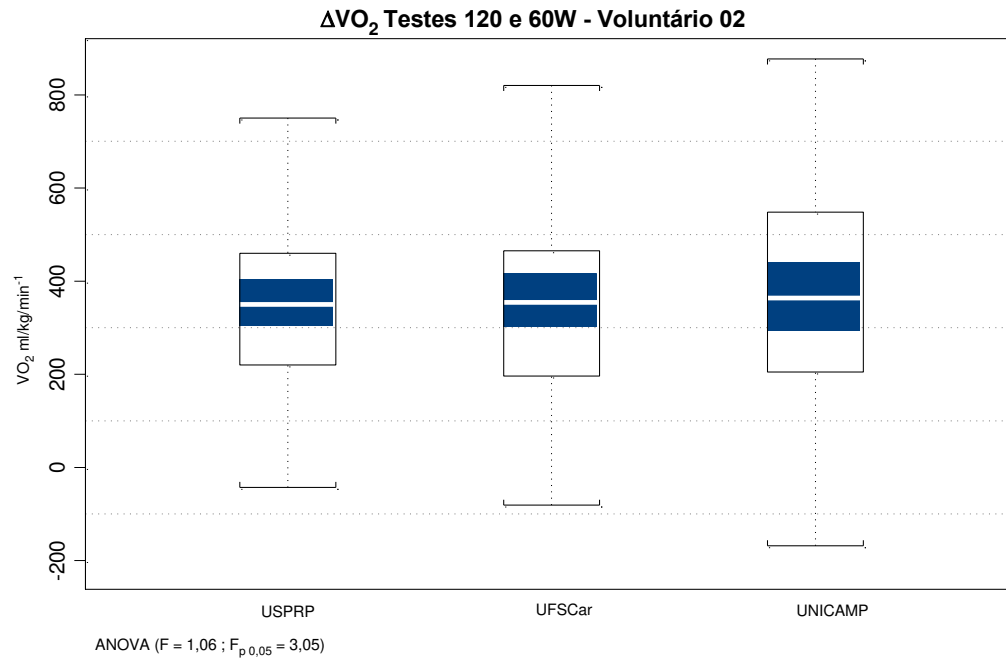


Figura 5.2.5: Diferença entre o consumo de  $O_2$  em  $ml/kg/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.

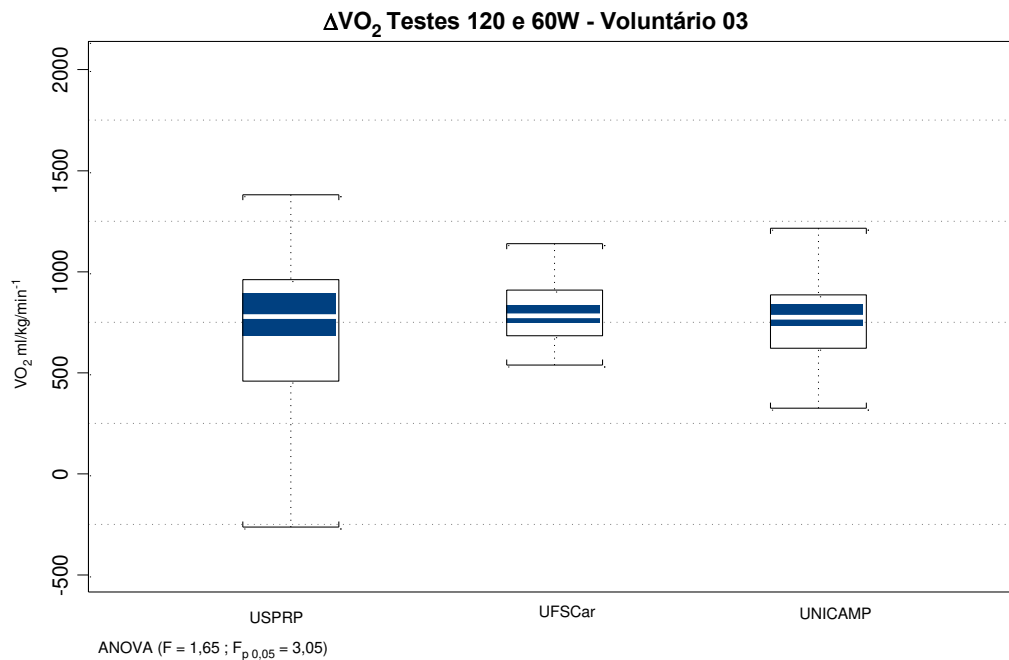


Figura 5.2.6: Diferença entre o consumo de  $O_2$  em  $ml/kg/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.



### 5.2.3-Resultados Observados para produção de CO<sub>2</sub>.

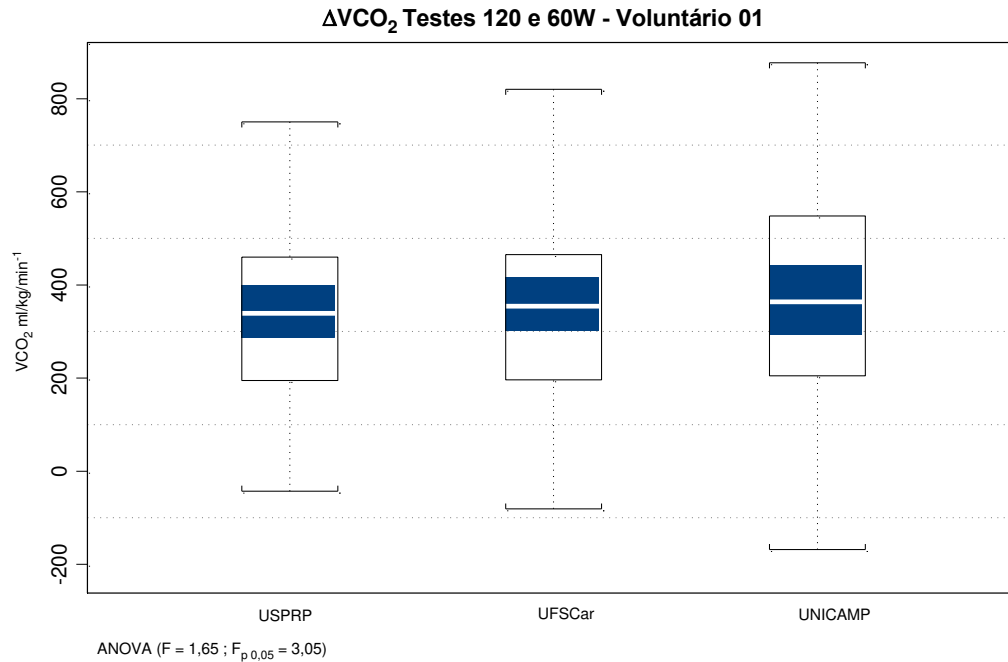


Figura 5.2.7: Diferença entre a produção de CO<sub>2</sub> em ml/kg/min<sup>-1</sup> observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.

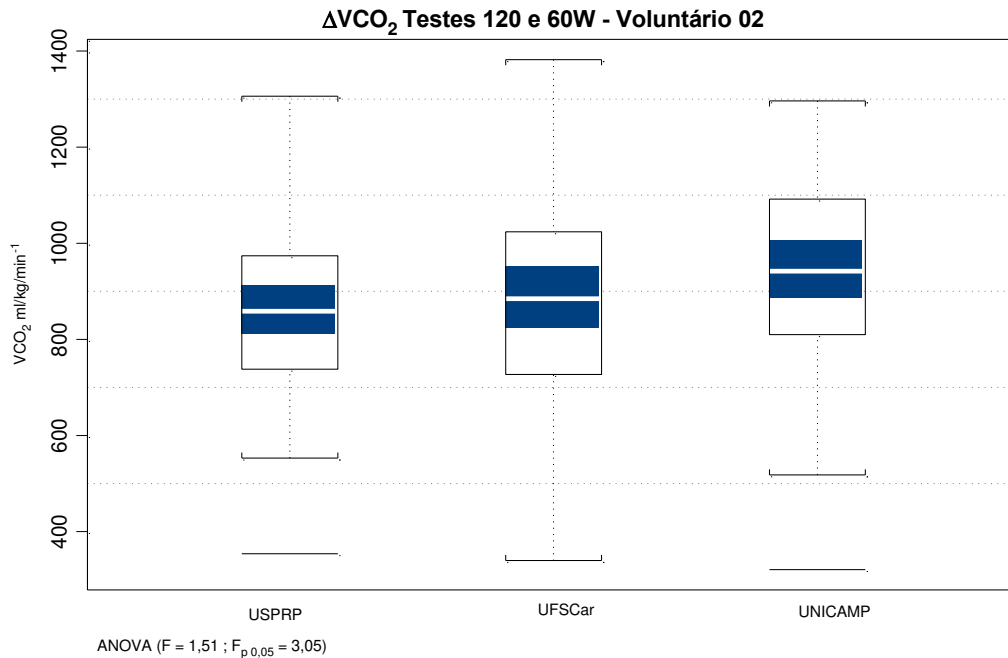


Figura 5.2.8: Diferença entre a produção de CO<sub>2</sub> em ml/kg/min<sup>-1</sup> observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.

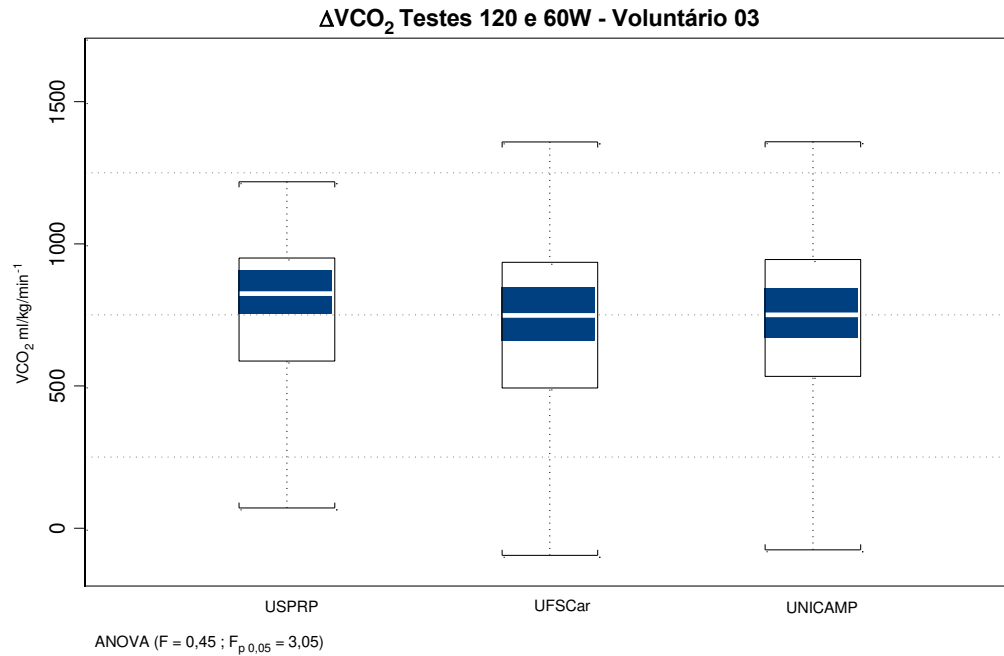


Figura 5.2.9: Diferença entre a produção de  $CO_2$  em  $ml/kg/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.

#### 5.2.4-Resultados Observados para Ventilação

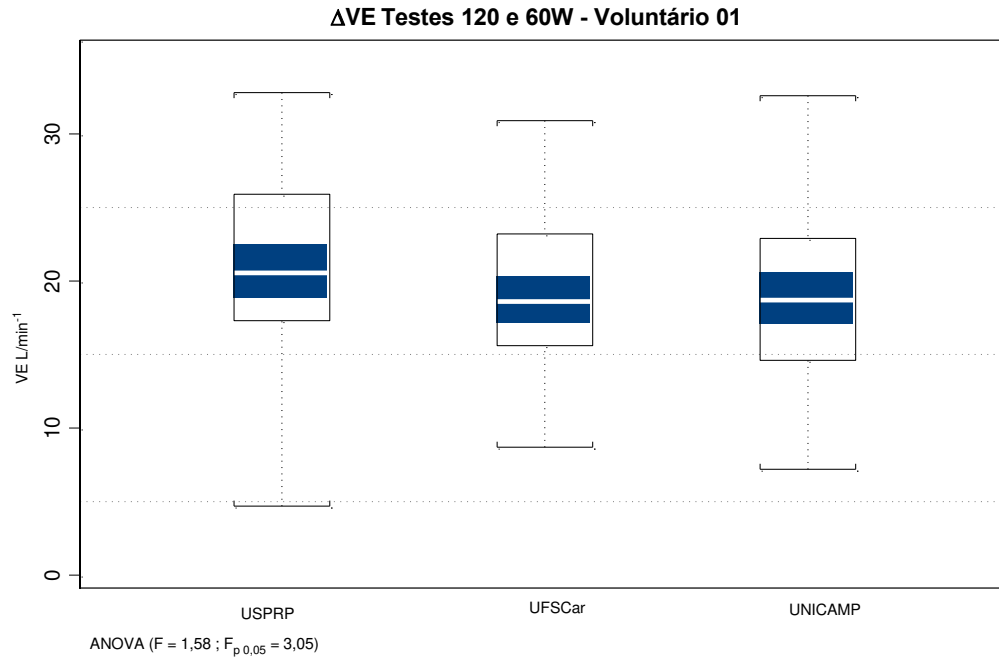


Figura 5.2.10: Diferença entre a ventilação em  $L/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.

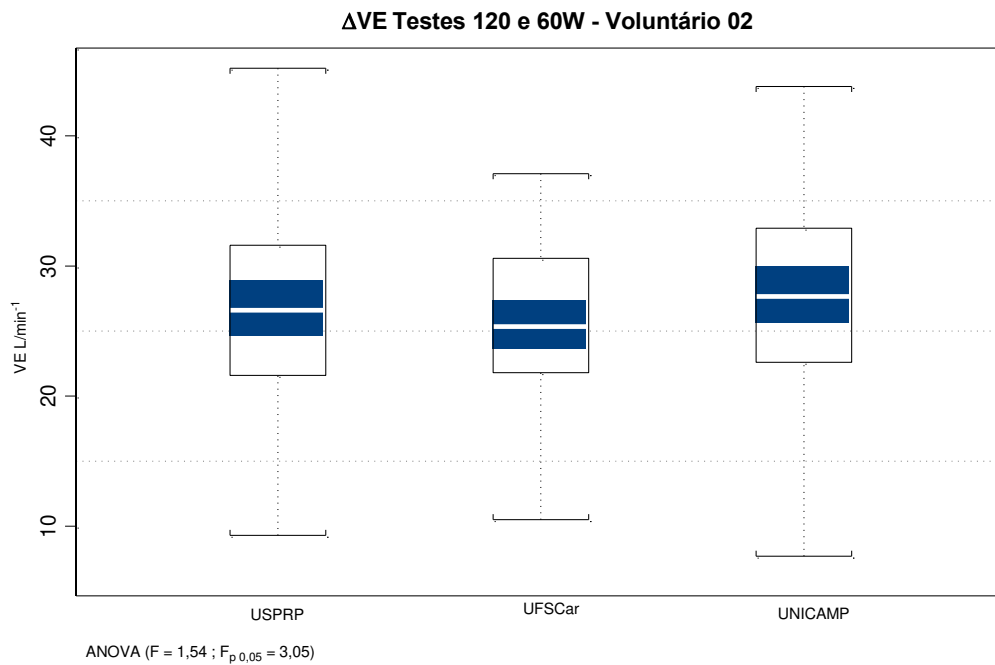


Figura 5.2.11: Diferença entre a ventilação em  $L/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.

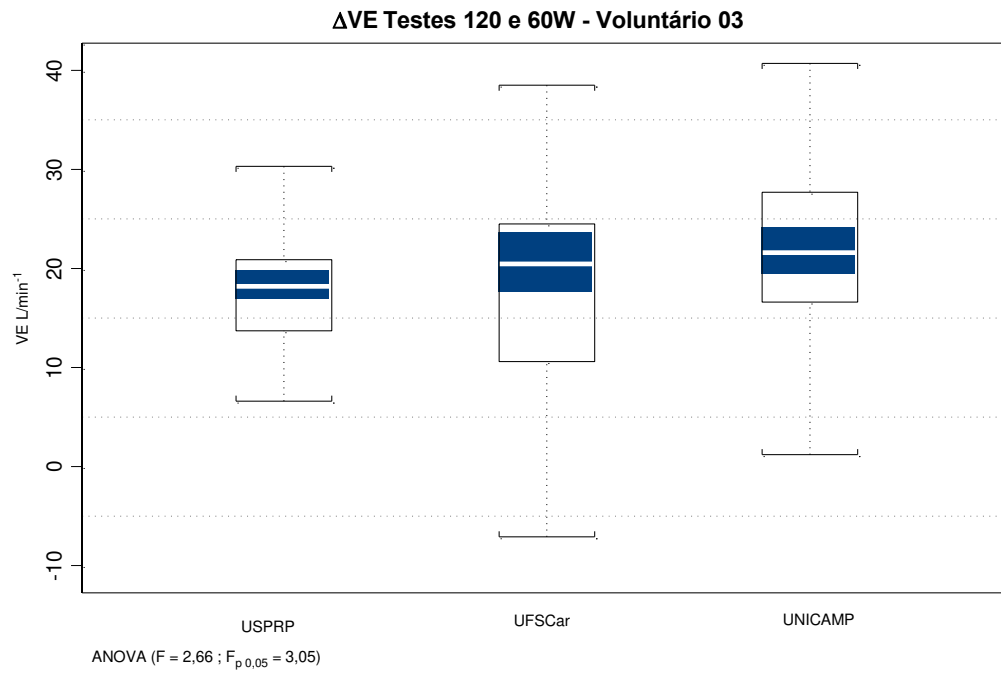


Figura 5.2.12: Diferença entre a ventilação em  $L/min^{-1}$  observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.

### 5.2.5- Resultados Observados para Frequência Cardíaca.

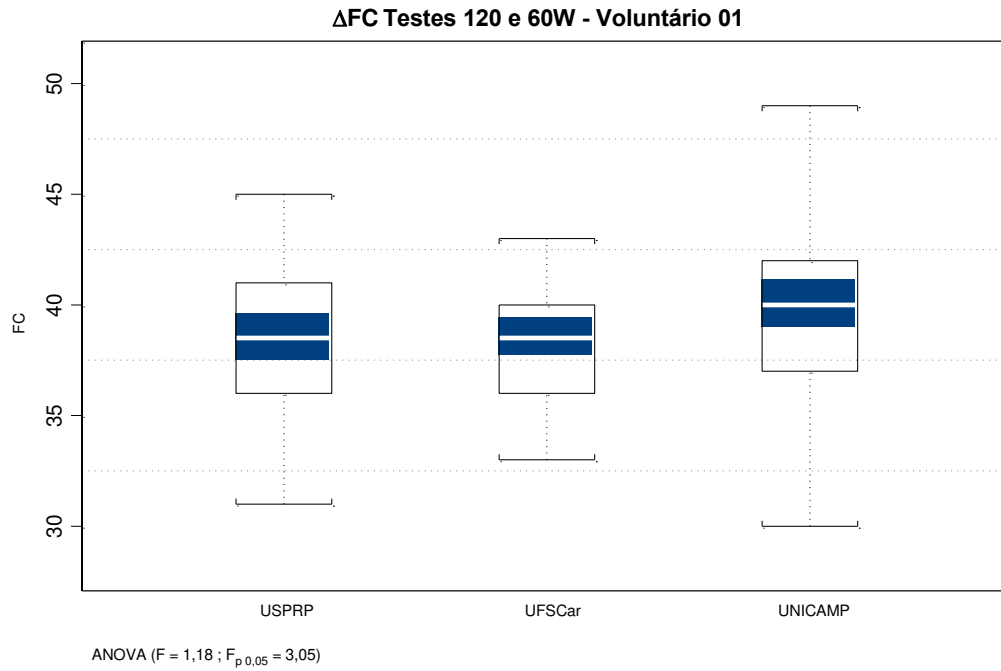


Figura 5.2.13: Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 1.

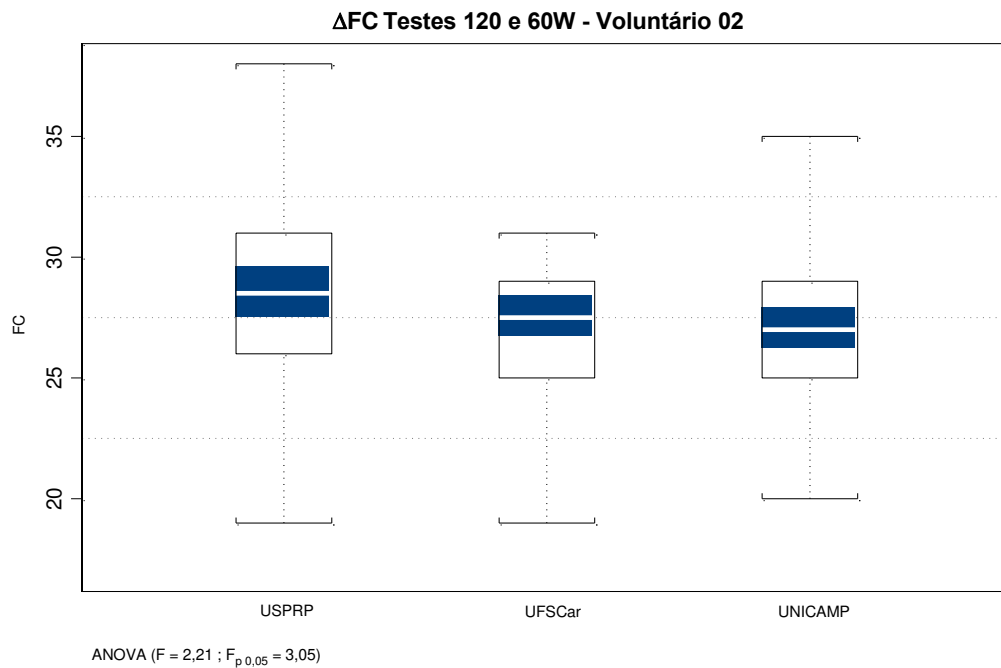


Figura 5.2.14: Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 2.

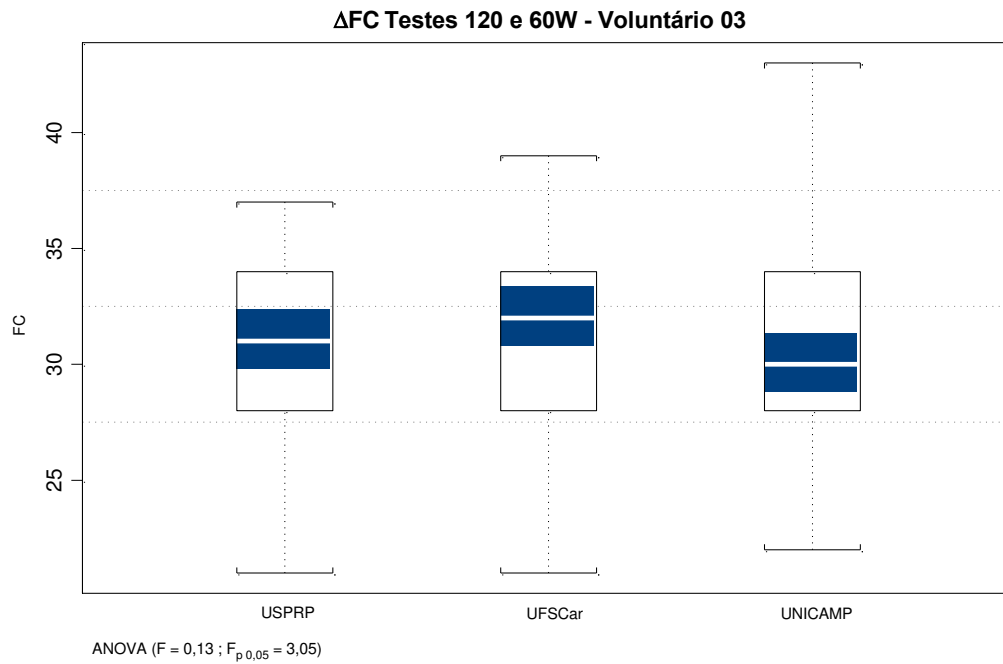


Figura 5.2.15: Diferença entre a FC em bpm observado no teste 2 (120W) subtraído do teste 1 (60W) – Voluntário 3.

## **6 Discussão**

### **6.1 - Ajuste da carga pelo cicloergômetro**

No cicloergômetro de frenagem eletromagnética, a potência é controlada pela multiplicação do torque aplicado pela velocidade angular. O produto dessa operação produz um sinal, que é proporcional à potência aplicada ( $1 V = X W$ ). A potência gerada é comparada continuamente com um ponto de referência, calibrado a partir de um sinal externo ou interno (potênciometro). Assim, caso um pedalar irregular altere a velocidade rotacional, o torque é modulado eletronicamente, visando à manutenção da potência total desejada. A capacidade reguladora intrínseca desses ergômetros, permite uma acurácia elevada em termos de potência produzidos (Neder Ja, 2003).

Com o objetivo de exemplificar a colocação acima, resolvemos analisar o comportamento da carga, dita estável, em uma velocidade angular conhecida. A figura 5.16 representa uma coleta na potência de 400W e 44.3rpm, apresentando uma modulação de ajuste cíclico, por se tratar de carga e velocidade estáveis, podemos dizer que o cicloergômetro utilizado realiza um ajuste fino da carga a cada 10s. A mediana do conjunto é  $-1,608\text{mv}$  com uma amplitude de sinal de  $0,786\text{mv}$ . Esse comportamento de carga foi observado com o cicloergômetro fixado à estrutura do calibrador.

Apesar do sinal lido graficamente referir-se a um tipo de resposta apresentada e explicada na literatura (Neder Ja, 2003), a fixação do cicloergômetro ao calibrador produzia resultados gerais que não eram condizentes com as respostas de carga aplicadas, apresentando gráficos das médias de potências não lineares (figura 5.18).

O resultado se apresenta desta forma possivelmente em função de desalinhamentos que podem ocorrer entre o eixo de medidas e o cicloergômetro, ocasionados por vibração durante o

procedimento de calibração ou potência desenvolvida pelo equipamento sendo maior do que a capacidade de fixação do cicloergômetro a estrutura da bancada de calibração.

A fixação do cicloergômetro ao calibrador foi retirada do procedimento de ajuste do equipamento ao cicloergômetro. Observou-se, então, um outro padrão de resposta do sinal em mv, com uma amplitude maior, mas com uma frequência de ocorrência bastante elevada em uma determinada amplitude de sinal, o que nos fez optar pela mediana como um produto estatístico que melhor descreve os valores encontrados (figura 5.17)

Após a adoção do procedimento de não fixar o cicloergômetro ao calibrador, tornaram-se possível leituras mais condizentes com os valores esperados e as respostas lineares.

## **6.2 - Desenvolvimento do procedimento de calibração**

O desenvolvimento do procedimento de calibração passou por muitas fases diferentes e sempre através de experimentação e erro até alcançarmos um padrão de resposta satisfatório e uma metodologia adequada a realização das medidas.

O calibrador de cicloergômetro é um equipamento em pleno desenvolvimento, sem similar nacional ou internacional, pois ele possui uma ergonomia que permite a adaptação de outros modelos de cicloergômetros, através do seu dispositivo de elevação com um grau de liberdade na coordenada vertical, e o dispositivo de fixação com dois graus de liberdade na coordenada do plano horizontal.

Nos primeiros procedimentos desenvolvidos, tínhamos que realizar a fixação do cicloergômetro da melhor forma possível, pois o sistema é acionado por um motor de 1,5Hp que desenvolve, quase instantaneamente, sua velocidade final, cerca de 1500rpm. Toda essa potência é transmitida ao conjunto de redutor e polias e o cicloergômetro tinha sua aceleração também de forma quase instantânea. O abalo sofrido pelo cicloergômetro, freqüentemente o desalinha do eixo dos extensômetros e provocava a quebra de partes do equipamento.



Com o objetivo de solucionar esse problema, foi adaptado na entrada do motor um inversor de frequência (CFW 08 / WEG / BRASIL), que controla a frequência elétrica que irá alimentar o motor, propiciando dessa forma uma partida suave.

Toda ergonomia também representa problemas para ajuste e alinhamento das estruturas dentro do projeto.

A fixação do cicloergômetro ao calibrador representa a necessidade de um alinhamento tridimensional, sendo que todas as suas estruturas móveis deveriam estar completamente imobilizadas na posição correta, de forma que não alterassem o seu posicionamento durante a calibração. Porém, quando o procedimento de calibração ultrapassa a potência de 300W a força transmitida do cicloergômetro ao calibrador é muito grande, ocasionando também um certo grau de vibração, o que muitas vezes desalinha os eixos, aumentando o nível de ruído e impossibilitando a mensuração real da potência.

A solução encontrada foi a não fixação do cicloergômetro de uma forma rígida, apenas a sua colocação sobre a base e estruturas de suporte do calibrador.

Esse procedimento trouxe uma alteração no comportamento do sinal mensurado (fig. 5.17), ocasionando também um aumento na amplitude desse sinal, que possivelmente está sendo ocasionado por uma vibração maior do que a apresentada pelo procedimento onde o cicloergômetro permanecia fixado. Contudo, não ocasiona um desalinhamento dos eixos que provoca alterações nas mensurações realizadas.

### **6.3 - CALIBRAÇÃO MECÂNICA**

Para realização deste estudo foi desenvolvido um instrumento de medida, o calibrador de cicloergômetros, que foi detalhadamente descrito no capítulo Materiais e Métodos. Sendo a calibração um conjunto de procedimentos destinados a estabelecer uma correspondência entre uma grandeza física conhecida ou padronizada, e as leituras de um instrumento no qual esta grandeza é medida, o calibrador de cicloergômetros também necessitou ser calibrado. Daí os

procedimentos de calibração mecânica terem sido divididos em partes distintas, Calibração Estática e Calibração Dinâmica.

### **Calibração Estática**

O procedimento de calibração estática foi utilizado em momentos distintos deste projeto.

Em um primeiro momento, durante o desenvolvimento do equipamento, foi realizada a calibração dos “strain gauges” localizados no eixo de medida de torque, a descrição deste procedimento está no item materiais e métodos, procedimento aplicado ao calibrador de cicloergômetros e a Figura 5.1, comprova a linearidade da leitura.

Uma outra calibração **estática** foi realizada toda vez que um cicloergômetro foi ajustado ao equipamento e sua descrição encontra-se na figura 4.4 - procedimento de ajuste do equipamento ao cicloergômetro. Ressalte-se que esse procedimento é de extrema importância, pois fornece os valores necessários para o cálculo da potência com o cicloergômetro em movimento.

Para a execução dos testes, os resultados dos procedimentos de calibração devem ser sempre lineares e com uma leitura estável. Essa estabilidade é comprovada pela figura 4.5, que apresenta os resultados de uma calibração estática com o cicloergômetro acoplado ao calibrador.

Este mesmo procedimento foi realizado ao final de cada protocolo de teste para determinar se o equipamento apresentou algum tipo de problema durante a aplicação do protocolo de calibração que colocasse em questão a confiabilidade da resposta obtida.

Destacamos que, em nenhum dos experimentos, foram evidenciadas diferenças.

## Calibração Dinâmica

A calibração dinâmica consiste da aplicação do protocolo de calibração do cicloergômetro. Esta apresentou valores bastante condizentes com a hipótese do projeto, de que os ergômetros são de alta qualidade e apresentam resultados semelhantes.

Para que tivéssemos um dado que pudesse expressar a carga real desenvolvida pelo cicloergômetro, foi utilizado a regressão linear dos dados coletados em cada velocidade angular possível com os dados esperados.

Dessa forma, ao final da análise dos dados obtidos em cada protocolo de calibração, tivemos como resposta uma equação de regressão linear que nos traz como resultado a potência em Watts que temos que ajustar no cicloergômetro para conseguir a potência real esperada.

Outro ponto importante a ser considerado no momento da comparação entre os cicloergômetros é o tempo de utilização dos mesmos, sendo o primeiro adquirido em 1992 pertencente a UNICAMP, segundo adquirido em 1996, pertencente a UFSCar e o terceiro adquirido em 1998, pertencente a USPRP. Esta informação reafirma a hipótese sobre a qualidade dos equipamentos utilizados apresentada, pois mesmo com anos distintos de aquisição e níveis de utilização diferentes, as figuras 5.3 a 5.12 apresentam valores medianos similares a um  $p = 0,05\%$ , sendo que algumas outras informações importantes devem ser ressaltadas aqui:

- Os três laboratórios executam testes com ciclagem de pedalada próximo dos 60rpm e as figuras 5.3 a 5.5, apresentam os valores referentes aos coeficientes angulares de 60rpm mais próximos do ideal 1 em comparação a 45 e 75rpm.
- Uma dispersão maior nos dados pode ser observada na figura 5.7 para a UFSCar, que não apresenta alteração no valor mediano, sendo essa dispersão explicada pelo maior número de testes realizados nesse cicloergômetro.
- Os cicloergômetros utilizados não apresentaram variações na potência mediana mesmo com aquecimento prévio ou com variações no do horário do dia, conforme pode ser observado na figura 5.10.
- A figura 5.11 apresenta um resumo de todos os dados coletados, onde podemos observar uma homogeneidade nas potências medidas e um valor mediano muito próximo de 1.

#### 6.4 – ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS NA CALIBRAÇÃO BIOLÓGICA.

Para análise dos dados metabólicos, ventilatórios e de frequência cardíaca coletados na calibração biológica, cada variável foi isolada e, através de inspeção visual de gráficos elaborados a partir das respostas das variáveis, os conjuntos de dados referentes a valores basais e de estado estável em exercícios foram delimitados.

Conforme apresentado na figura 5.2.3 e no anexo I, a simples comparação entre o valor mediano de cada variável coletada nos devidos laboratórios nos apresentou uma variabilidade intra-indivíduo grande, o que inviabilizou a utilização desse método. Esse ponto chama a atenção para a necessidade do desenvolvimento de padronizações e controles necessários a realização de testes fisiológicos, onde o controle pré-teste (o que o voluntário / avaliado pode ou não fazer antes de um teste e/ou quando podemos utilizar ou descartar um teste em razão de dados basais ou de exercício coletados) é necessário para uma boa reprodutibilidade.

Com o objetivo de extrair do conjunto de dados a variabilidade pertencente aos valores encontrados em situação de repouso, foi realizada a subtração dos valores de estado estável de exercício pelos valores de repouso (figura 5.2.3 e anexo I). Contudo, isso não permitiu uma comparação entre os testes.

Como solução final foi realizada a subtração dos valores obtidos no teste a 120W pelos valores obtidos no teste a 60W ( $\Delta$  Teste 2 – Teste 1). Essa operação foi realizada com os conjuntos de dados de estado estável completos e não pelos seus valores medianos, gerando dessa forma um conjunto de dados com graus de liberdade suficientes para análises posteriores.

No entanto, como os conjuntos de dados eram de tamanhos diferentes, a simples subtração de um pelo outro não podia ser realizada. Como solução foram realizadas sub-amostragens dos conjuntos de dados.

A determinação do tamanho das sub-amostras foi realizada através da observação do tamanho dos conjuntos de dados de estado estável, onde foi arbitrariamente tomado como referência aproximadamente 60% do tamanho do menor conjunto de dados.

Com aplicação dessa metodologia foi determinado que o tamanho das sub-amostras seria de 50.

Para estratificação das sub-amostras foi utilizada a função *Sample* do software *S-Plus*, que extrai um conjunto de dados de uma matriz, sendo que neste caso foi realizado sem reposição.

A figura 6.1 apresenta o resultado da função *Sample*, estratificando de um vetor de dados de tamanho 354 um vetor de tamanho 50 sem reposição, comprovando que o valor mediano da amostra não é alterado pelo seu tamanho.

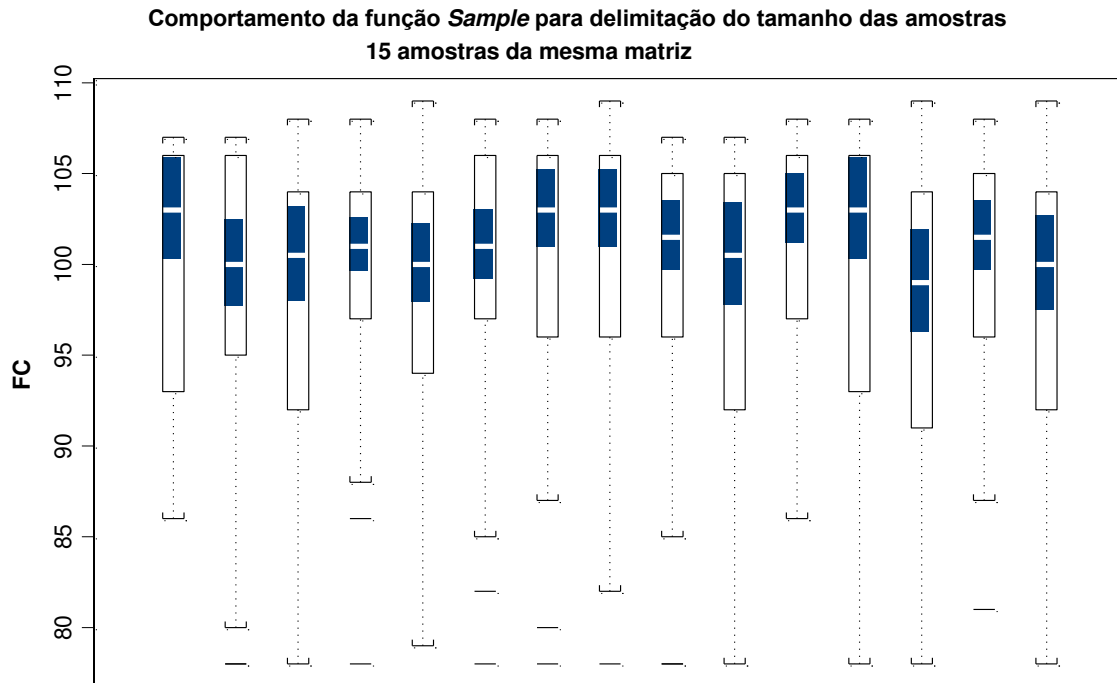


Figura 6.1: Apresenta conjuntos de dados de tamanho 50, sem reposição, estratificados de um vetor de tamanho 354 com dados de frequência cardíaca do voluntário 01, em potência de 60 W, com intervalo de confiança para 0,05%. Onde os valores não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre eles.

## 6.5 – CALIBRAÇÃO BIOLÓGICA

### Desenvolvimento de uma rotina para comparação dos resultados

O procedimento inicial de comparação das variáveis coletadas na calibração biológica consistia em observação gráfica e individual de cada variável, com objetivo de determinar sua fase estável e comparação dessa com os valores observados nos outros laboratórios. Para isso os gráficos foram elaborados de forma a representarem o comportamento de cada variável mensurada, onde o primeiro gráfico retangular (superior) apresenta os valores basais das variáveis, o segundo gráfico (inferior – esquerdo) apresenta os valores de estabilização da variável mensurada para potência aplicada e o terceiro gráfico (inferior – direito) apresenta os valores de estabilização da variável mensurada subtraído dos valores medianos do comportamento basal (correção pelo basal).

Como padrão de representação gráfica dos dados da calibração biológica, foi adotado o modelo de boxplot com intervalo de confiança de  $p=0,05$  para mediana.

Todas as figuras com os resultados da calibração biológica estão apresentadas no anexo I.

Portanto para análise dos dados coletados, foi adotado o procedimento previamente descrito em materiais e métodos, onde dessa forma todas as comparações se tornaram possíveis.

## **7 Conclusões**

- 1) O equipamento Calibrador de Cicloergômetros se apresentou estável para a realização dos protocolos de calibração.
- 2) A hipótese de que os ergômetros utilizados pelos laboratórios são de qualidade pode ser comprovada conforme figuras 5.3 a 5.12, pois todos os procedimentos de calibração não evidenciaram diferenças significativas.
- 3) Com base nos resultados apresentados, na potência calibrada final dos três laboratórios e suas respectivas equações para estimar a potência real, podemos ajustar a carga dos cicloergômetros e trocar informações entre os laboratórios.
- 4) Parece verdadeira a hipótese de que pequenas alterações na potência desenvolvida pelos cicloergômetros não alteram significativamente os testes realizados, pois o que encontramos foi uma variabilidade fisiológica grande em um mesmo indivíduo em apenas uma semana de intervalo entre os testes.

Em parte atribuímos tal variabilidade a parâmetros não controláveis da pesquisa, pois devemos orientar nossos voluntários sobre as recomendações para a realização de testes de esforço.

# Referências

- Balmer, J., R. C. Davison, *et al.* Reliability of an air-braked ergometer to record peak power during a maximal cycling test. Med Sci Sports Exerc, v.32, n.10, p.1790-3. 2000.
- Clark, J. H. e J. E. Greenleaf. Electronic bicycle ergometer: a simple calibration procedure. J Appl Physiol, v.30, n.3, p.440-2. 1971.
- Hamley, E. J. e V. Thomas. Physiological and postural factors in the calibration of the bicycle ergometer. J Physiol, v.191, n.2, p.55P-56P. 1967.
- Hopkins, W. G., E. J. Schabort, *et al.* Reliability of power in physical performance tests. Sports Med, v.31, n.3, p.211-34. 2001.
- Huszczuk, A. Why the need for an Ergometer Calibrator? . 2007.
- Martins, L. E. B. Utilização de Análise de Sistemas no Estudo da Resposta cardiorespiratória ao esforço físico dinâmico. Programa de Bioengenharia, Universidade de São Paulo - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - Escola de Engenharia de São Carlos, Ribeirão Preto, 1986. 147 p.
- Maxwell, B. F., R. T. Withers, *et al.* Dynamic calibration of mechanically, air- and electromagnetically braked cycle ergometers. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, v.78, n.4, p.346-52. 1998.
- Mellerowicz, H. Ergometry: basics of medical exercise testing: Urban & Schwarzenberg. 1980
- Mocellin, R. e C. Bastanier. [On the validity of W170 as a measure of physical performance capacity in the assessment of children with heart disease (author's transl)]. Eur J Pediatr, v.122, n.3, p.223-39. 1976.
- Neder, J. A. N., L.E. Fisiologia clinica e do exercício Teoria e Prática. Ed. Artes Médias, São Paulo, SP. 2003.
- Paton, C. D. e W. G. Hopkins. Tests of cycling performance. Sports Med, v.31, n.7, p.489-96. 2001.
- Reiser, M., T. Meyer, *et al.* Transferability of workload measurements between three different types of ergometer. Eur J Appl Physiol, v.82, n.3, p.245-9. 2000.
- Reiser, R. F., 2nd, J. P. Broker, *et al.* Inertial effects on mechanically braked Wingate power calculations. Med Sci Sports Exerc, v.32, n.9, p.1660-4. 2000.



Russell, J. C. e J. D. Dale. Dynamic torquemeter calibration of bicycle ergometers. J Appl Physiol, v.61, n.3, p.1217-20. 1986.

Serra, R. Improved simulation system for routine cardiopulmonary exercise test equipment. Part III: A new cycle ergometer check system. ECSC Working Group on Standardization of Stress Test Methods. Monaldi Arch Chest Dis, v.53, n.1, p.100-4. 1998.

U.S. Department of Health, E., and Welfare. Calibration of two bicycle ergometers used by the health examination survey. National Center For Health Statistics, v.2, n.21. 1967.

Van Praagh, E., M. Bedu, *et al.* A simple calibration method for mechanically braked cycle ergometers. Int J Sports Med, v.13, n.1, p.27-30. 1992.

Wilmore, J. H., S. H. Constable, *et al.* Mechanical and physiological calibration of four cycle ergometers. Med Sci Sports Exerc, v.14, n.4, p.322-5. 1982.

Woods, G. F., L. Day, *et al.* The dynamic calibration of cycle ergometers. Int J Sports Med, v.15, n.4, p.168-71. 1994.

# APÊNDICE A

---

---

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Consentimento para participação no projeto de pesquisa: “PROJETO MULTICENTRO EM FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO. ETAPA DE CALIBRAÇÃO DE CICLOERGÔMETRO”.

Responsáveis pela condução da pesquisa:

Pós-graduando: Gerson De Bellis Silva  
Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins

Local de desenvolvimento do projeto: Laboratório de Fisiologia do Exercício / Faculdade de Educação Física / UNICAMP; Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico / Departamento de Fisioterapia / UFSCAR; Laboratório de Fisiologia do Exercício / Departamento de Clínica Médica do Hospital das Clínicas / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / USP

Eu, \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_anos, RG número \_\_\_\_\_, residente a rua  
(Av.) \_\_\_\_\_, estou ciente  
que este projeto será desenvolvido em caráter de pesquisa científica tendo como objetivo verificar a variabilidade da resposta do consumo de oxigênio em 03 diferentes cicloergômetros, localizados no laboratório de Fisiologia do Exercício / Faculdade de Educação Física / UNICAMP, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico / Departamento de Fisioterapia / UFSCAR e Fisiologia do Exercício / Departamento de Clínica Médica / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / USP, sabendo que para sua realização as despesas monetárias serão de responsabilidade da instituição.

Estou ciente que antes do início das avaliações funcionais a serem realizadas nos laboratórios anteriormente citados, serei submetido a exame físico clínico. Estes exames objetivam a identificação de eventual manifestação que contra-indique a minha participação como voluntário.

Após a avaliação clínica me submeterei a uma série de avaliações funcionais de caráter não-invasivo (sem a utilização de drogas medicamentosas ou de procedimentos invasivos), nos laboratórios anteriormente citados, onde o protocolo inicia-se com um aquecimento de 2 minutos na potência de 20W, um degrau de 10 minutos e 2 minutos de recuperação na potência de 20W, interpostas por um período variável de repouso até que a frequência cardíaca retorne a valores próximo da condição inicial pré-esforço e, então, o segundo degrau será iniciado.

Estou ciente de que posso deixar de participar como voluntário da pesquisa a qualquer momento. O caráter confidencial das informações será mantido em sigilo pela equipe profissional, com o intuito de zelar pela privacidade e garantir que a minha identificação não seja exposta sob nenhuma condição.

Declaro ter lido e entendido as informações descritas acima, assim como ter esclarecido dúvidas com os responsáveis pelo desenvolvimento da pesquisa sobre todos os procedimentos, riscos e benefícios. As dúvidas futuras que possam vir a ocorrer serão prontamente esclarecidas, bem como o acompanhamento na realização dos testes e informações das avaliações e resultados obtidos.

Campinas\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_2003.

---

Voluntário

---

Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

Orientador

3788-6625

---

Gerson De Bellis Silva

Pós-graduando

3788-6625

Telefone para contato: Comissão de Ética – Informações: 3788-8936

**APENDICE B - PROJETO: “PROJETO MULTICENTRO EM FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO etapa de calibração de cicloergômetro”**

**Pós- graduando: Gerson De Bellis Silva**

**FICHA DE AVALIAÇÃO**

**1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Nome:** \_\_\_\_\_

**Nascimento:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Idade:** \_\_\_\_ anos

**Naturalidade:** \_\_\_\_\_

**Raça:**  Branca  Negra  Amarela

**Endereço:** \_\_\_\_\_

**Complemento:** \_\_\_\_\_

**Tel:** \_\_\_\_\_

**Horário disponível para participação nos experimentos:** \_\_\_\_\_

**2. HISTÓRICO DE DOENÇAS:**

**Infecções:** \_\_\_\_\_

**Cirurgias:** \_\_\_\_\_

**Doenças Cardiovasculares:** \_\_\_\_\_

**Diabetes Mellitus:** \_\_\_\_\_

**Lesões músculo-esqueléticas:** \_\_\_\_\_

**Outras doenças:** \_\_\_\_\_

**Com que frequência vai ao médico:** \_\_\_\_\_

**Faz uso de algum tipo de medicamento?** \_\_\_\_\_

**Qual medicamento utiliza?** \_\_\_\_\_

**Dosagem:** \_\_\_\_\_ **Há quanto tempo?:** \_\_\_\_\_

**3.HISTÓRICO FAMILIAR:**

Cardiopatias: \_\_\_\_\_

Diabetes mellitus: \_\_\_\_\_

Hipertensão arterial: \_\_\_\_\_

Acidente Vascular Cerebral: \_\_\_\_\_

Cirurgias: \_\_\_\_\_

Câncer: \_\_\_\_\_

Outros: \_\_\_\_\_

#### **4. HÁBITOS DE VIDA:**

##### **4.1 -Qual o nível de atividade física?**

- Inatividade física
- Atividade física leve
- Atividade física moderada
- Atividade física intensa
- Atividade física muito intensa

##### **4.2 - Com que frequência e duração costuma praticar exercícios físicos?**

- 1 vez por semana \_\_\_\_\_ min/hora(s)
- 2 vezes por semana \_\_\_\_\_ min/hora(s)
- 3 vezes por semana \_\_\_\_\_ min/hora(s)
- mais de três vezes por semana \_\_\_\_\_ min/hora(s)
- Todos os dias \_\_\_\_\_ min/hora(s)

##### **4.3 -Qual (is) a(s) modalidade(s) de exercícios físicos costuma praticar?**

\_\_\_\_\_

**4.4 -Pratica exercícios físicos sob orientação competente passando por avaliações e reavaliações de sua capacidade cardiovascular e pulmonar ?**

- Sim
- Não

**4.5** -Controla a frequência cardíaca quando faz atividade física?

( ) Sim      ( ) Não

**4.5.1** - Qual o valor máximo que atinge ? \_\_\_\_\_ bpm

**4.6** - Convive com problemas de ordem pessoal que julga abalar a sua qualidade de vida diária?

( ) Sim      ( ) Não

**4.7** – Hobbies: \_\_\_\_\_

### Composição Corporal

Peso: \_\_\_\_\_ kg

Altura \_\_\_\_\_ m

IMC \_\_\_\_\_ kg/m<sup>2</sup>

<b>Mensuração da gordura subcutânea</b>				
	<b>1ª medida</b>	<b>2ª medida</b>	<b>3ª medida</b>	<b>Mediana</b>
<b>Bíceps</b>				
<b>Tríceps</b>				
<b>Peitoral</b>				
<b>Subescapular</b>				
<b>Abdominal</b>				
<b>Supra-ilíaca</b>				
<b>Coxa</b>				
<b>Panturrilha</b>				

Campinas, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2003.

---

Gerson De Bellis Silva

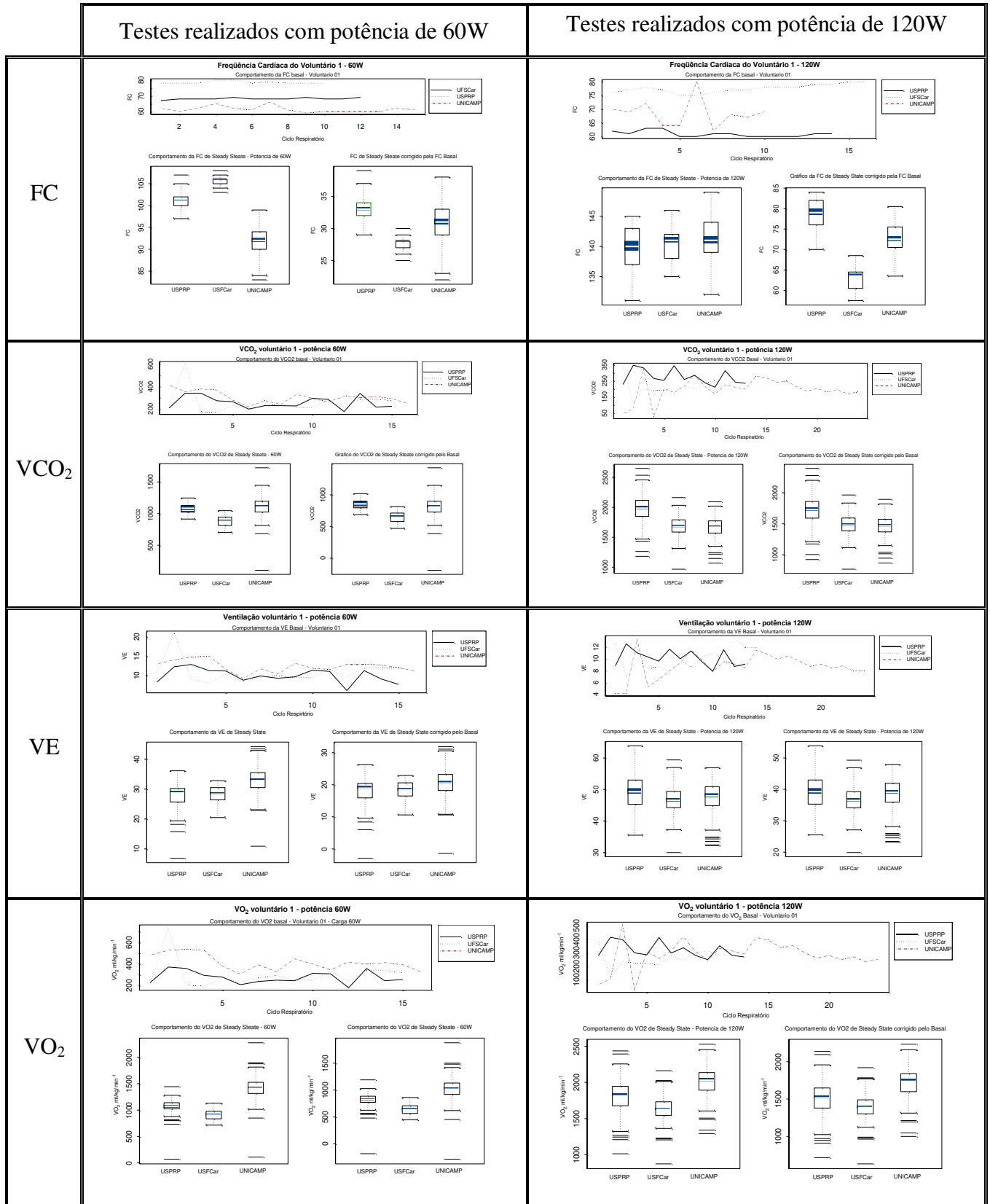
Pós-graduando

---

Luiz Eduardo Barreto Martins

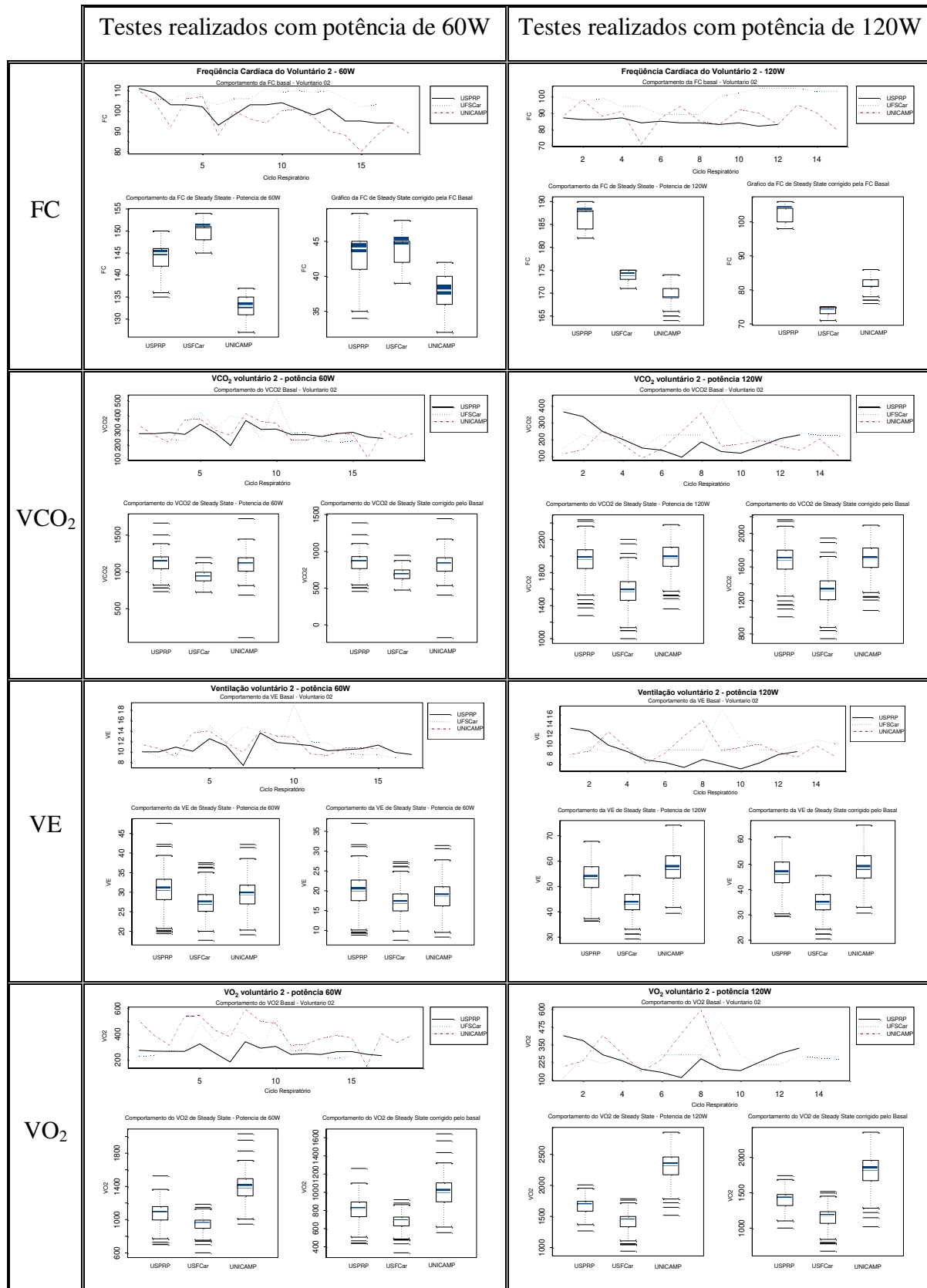
Orientador

## Anexo I- Calibração Biológica – Resultados do Voluntário 1

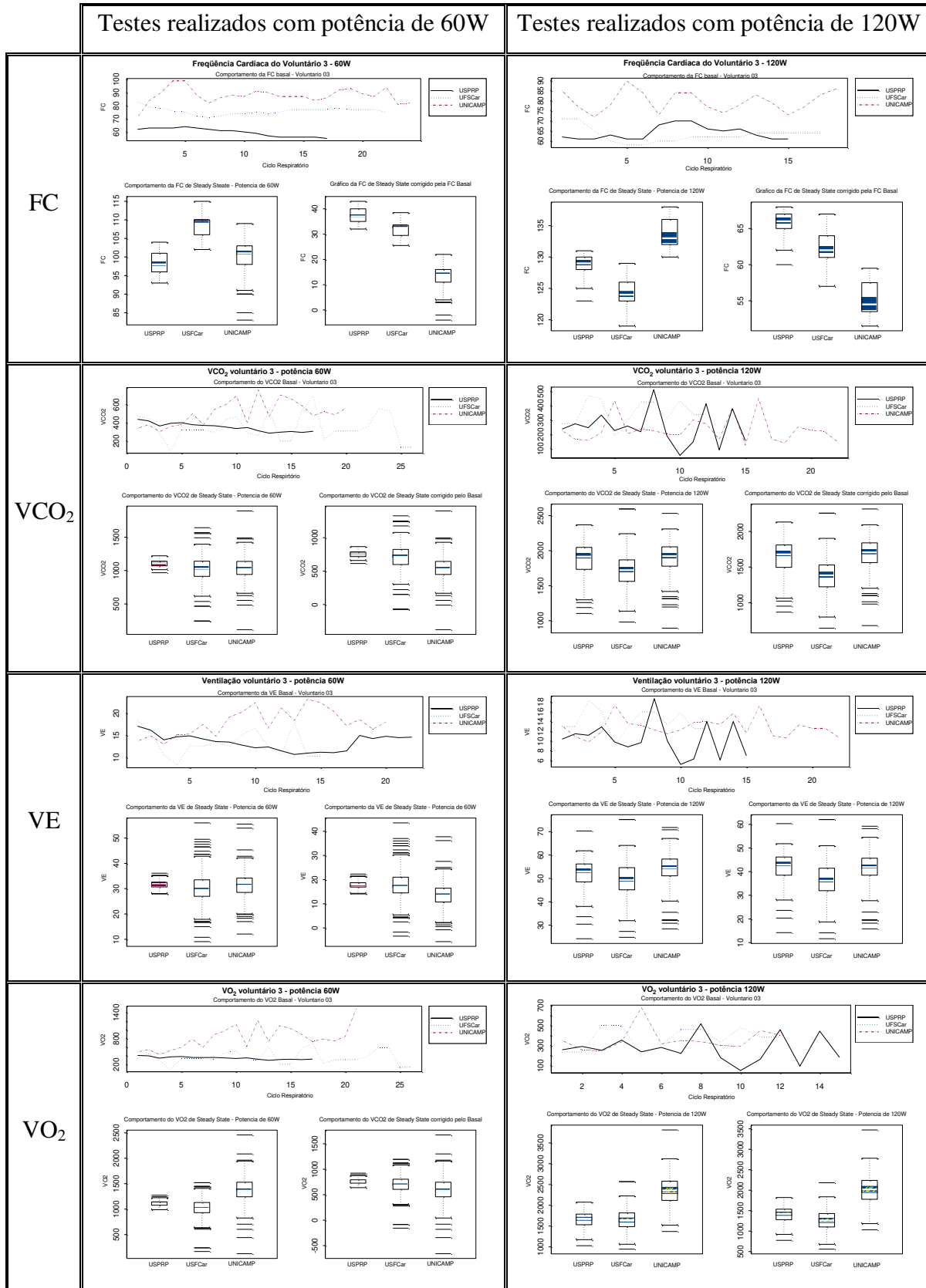




## Calibração Biológica – Resultados do Voluntário 2



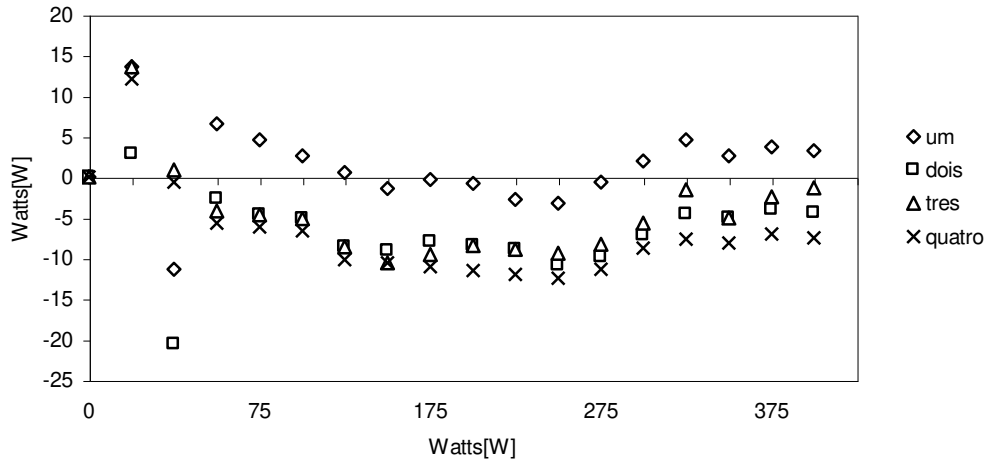
## Calibração Biológica – Resultados do Voluntário 3



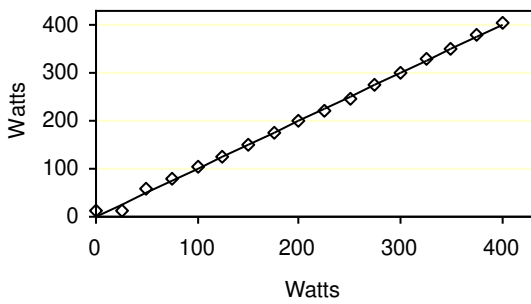
## Anexo II – Resultados da Calibração Mecânica

### Calibração Mecânica - USPRP - 60rpm

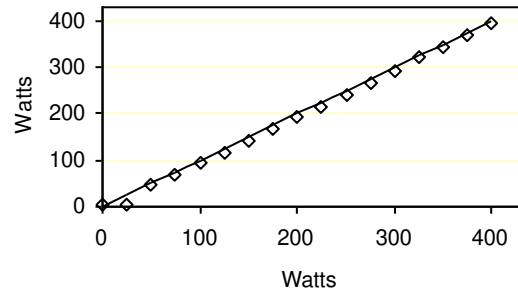
#### Resíduos observados a 60rpm - USPRP



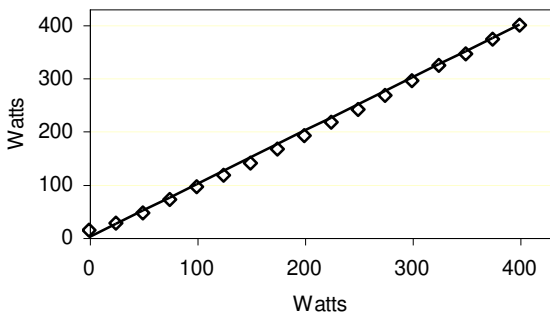
Potência calibrada USPRP  
60 rpm - Calibração 01



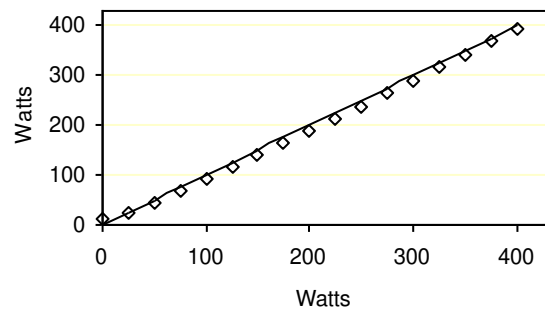
Potência calibrada USPRP  
60 rpm - Calibração 02



Potência calibrada USPRP  
60 rpm - Calibração 03



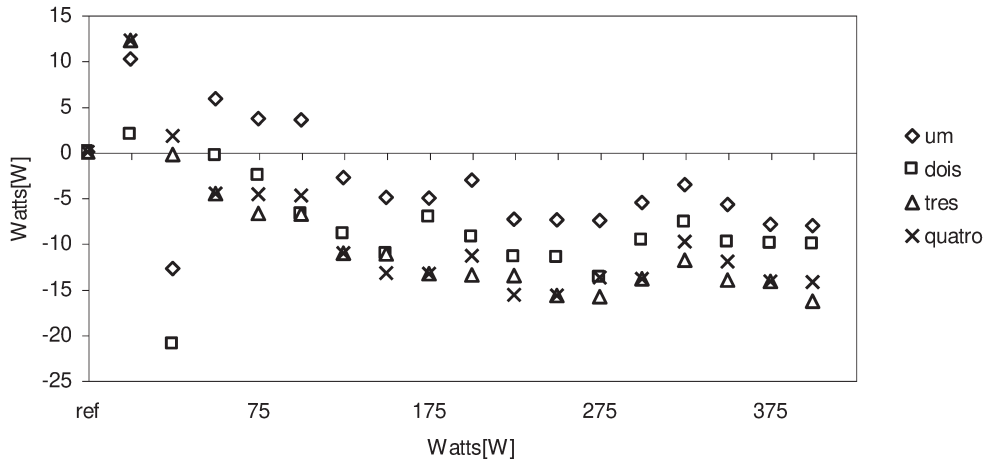
Potência calibrada USPRP  
60 rpm - Calibração 04



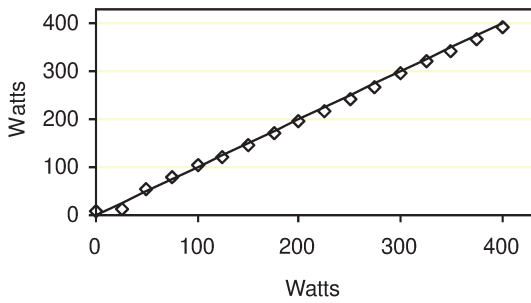
Resultado da calibração mecânica do cocloergômetro da USPRP a 60rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

### Calibração Mecânica - USPRP - 75rpm

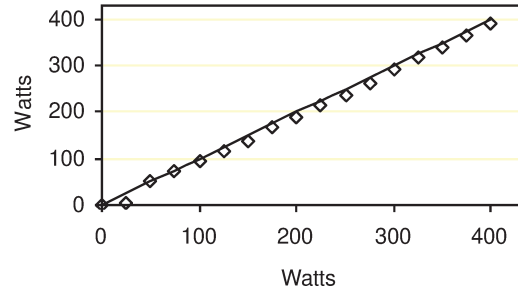
Resíduos observados a 75rpm - USPRP



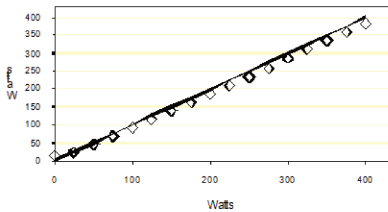
Potência calibrada USPRP  
75 rpm - Calibração 01



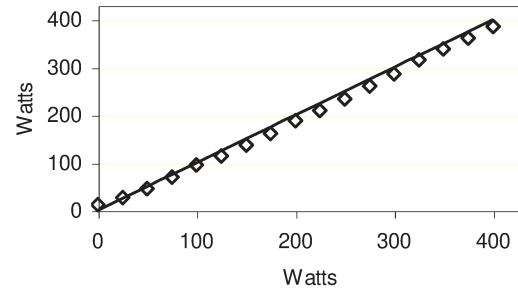
Potência calibrada USPRP  
75 rpm - Calibração 02



Potência calibrada USPRP  
75rpm - Calibração 03



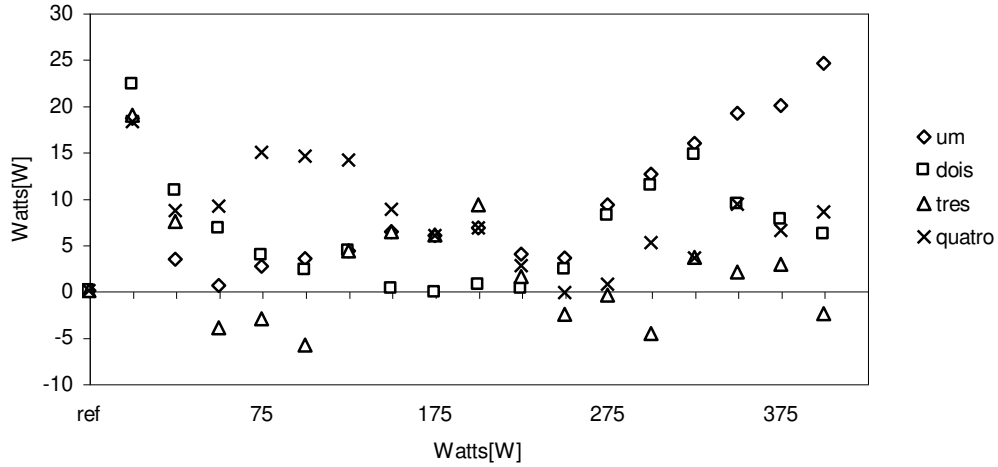
Potência calibrada USPRP  
75 rpm - Calibração 04



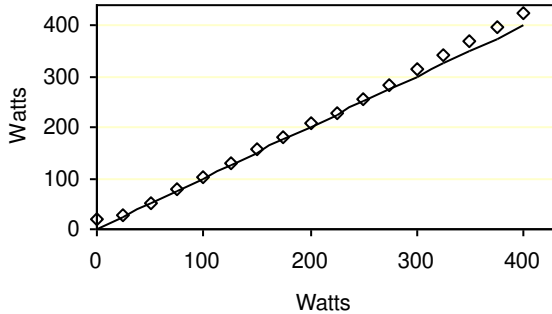
Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da USPRP a 75rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

### Calibração Mecânica - UFSCar - 45rpm

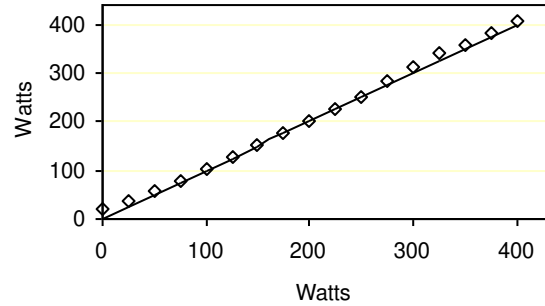
#### Resíduos observados a 45rpm - UFSCar



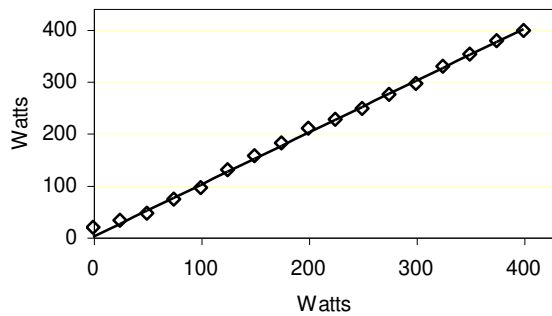
Potência calibrada UFSCar  
45 rpm - Calibração 01



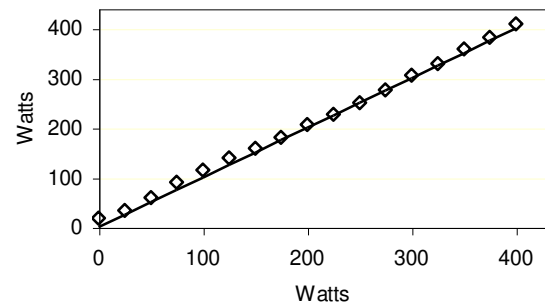
Potência calibrada UFSCar  
45 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UFSCar  
45 rpm - Calibração 03



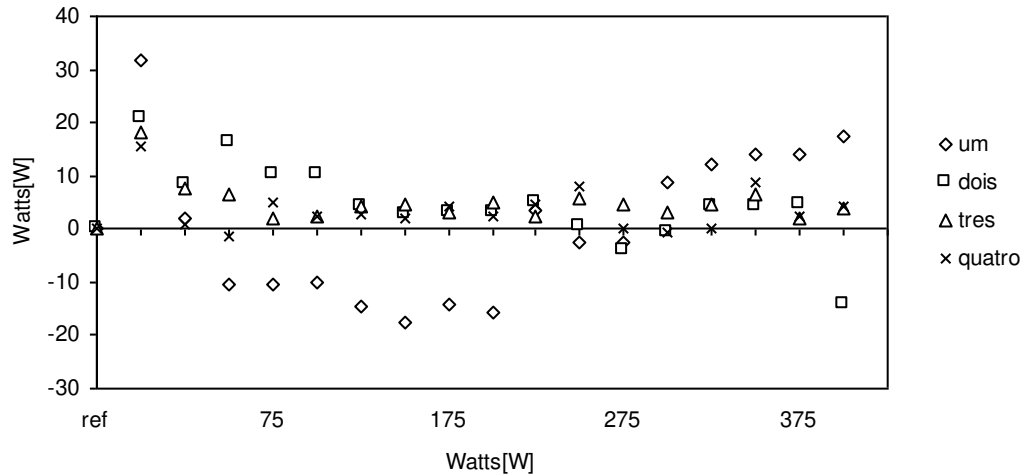
Potência calibrada UFSCar  
45 rpm - Calibração 04



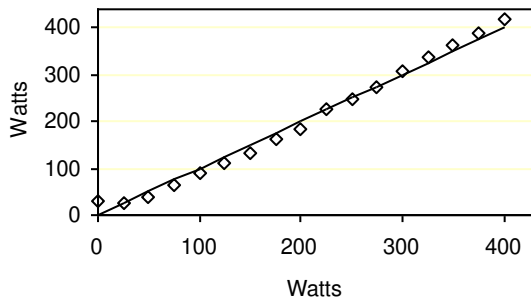
Resultado da calibração mecânica do cocloergômetro da UFSCar a 45rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

## Calibração Mecânica - UFSCar - 60rpm

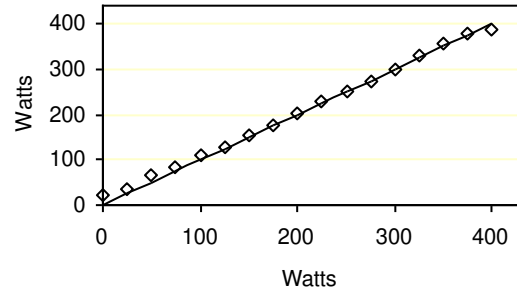
### Resíduos observados a 60rpm - UFSCar



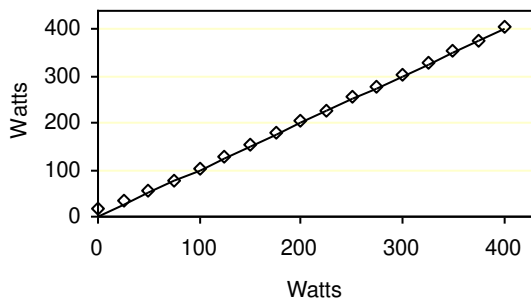
Potência calibrada UFSCar  
60 rpm - Calibração 01



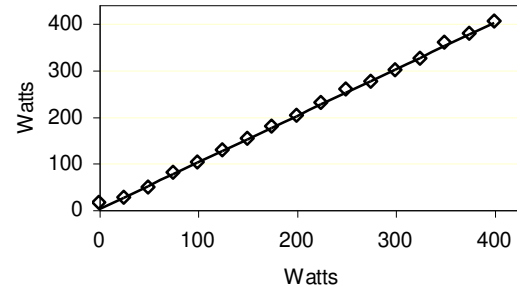
Potência calibrada UFSCar  
60 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UFSCar  
60 rpm - Calibração 03



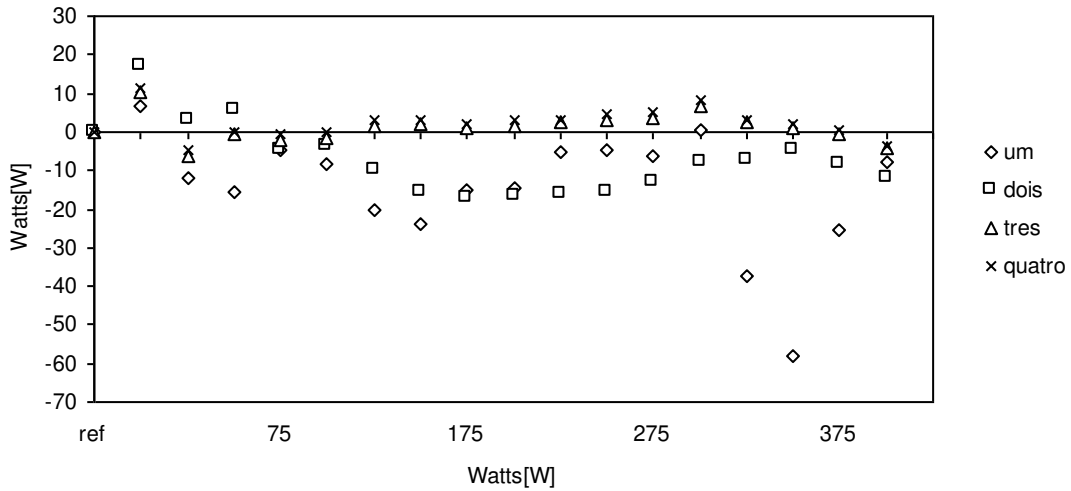
Potência calibrada UFSCar  
60 rpm - Calibração 04



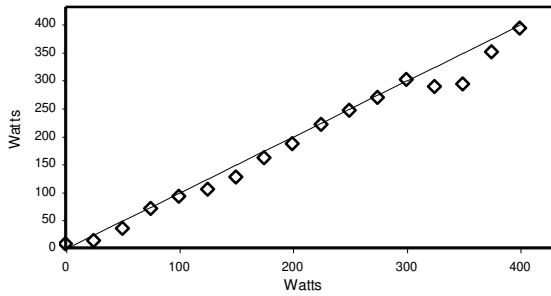
Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da UFSCar a 60rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

### Calibração Mecânica - UFSCar - 75rpm

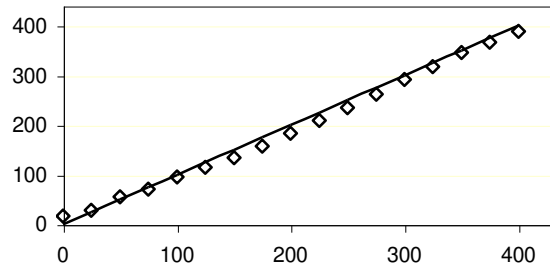
#### Resíduos observados a 75rpm - UFSCar



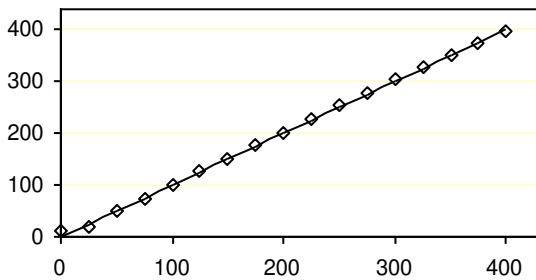
Potência Calibrada UFSCar  
75 rpm - Calibração 01



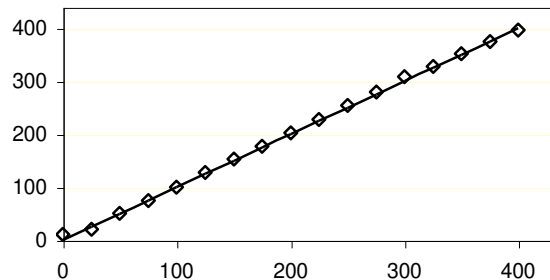
Potência calibrada UFSCar  
75 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UFSCar  
75 rpm - Calibração 03



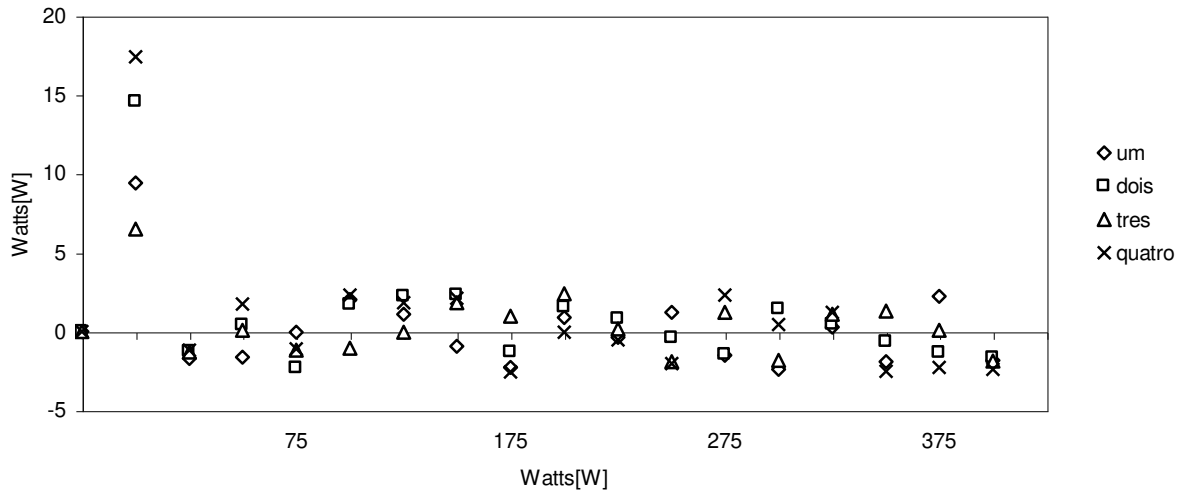
Potência calibrada UFSCar  
75 rpm - Calibração 04



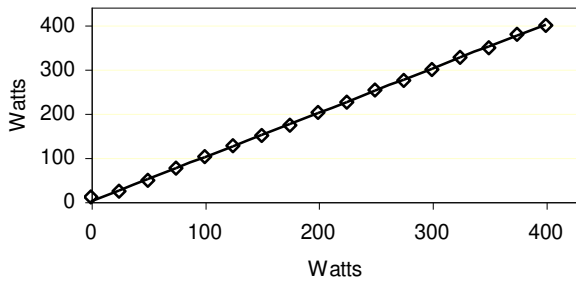
Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da UFSCar a 75rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

## Calibração Mecânica - UNICAMP - 45rpm

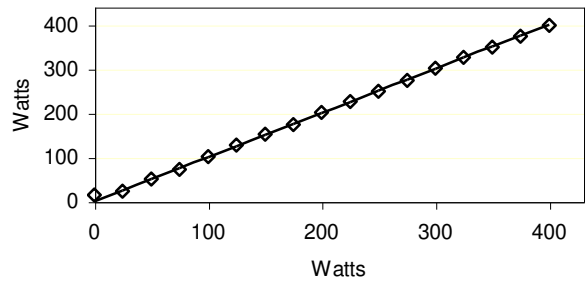
### Resíduos observados a 45rpm - UNICAMP



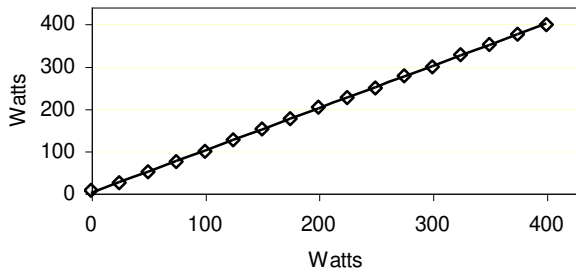
Potência calibrada UNICAMP  
45 rpm - Calibração 01



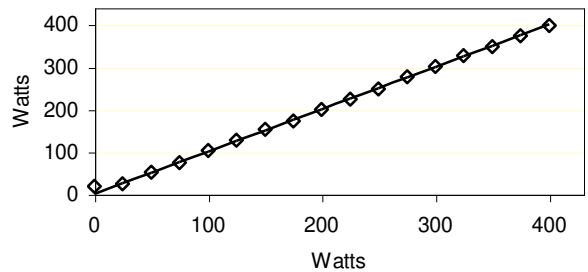
Potência calibrada UNICAMP  
45 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UNICAMP  
45 rpm - Calibração 03



Potência calibrada UNICAMP  
45 rpm - Calibração 04

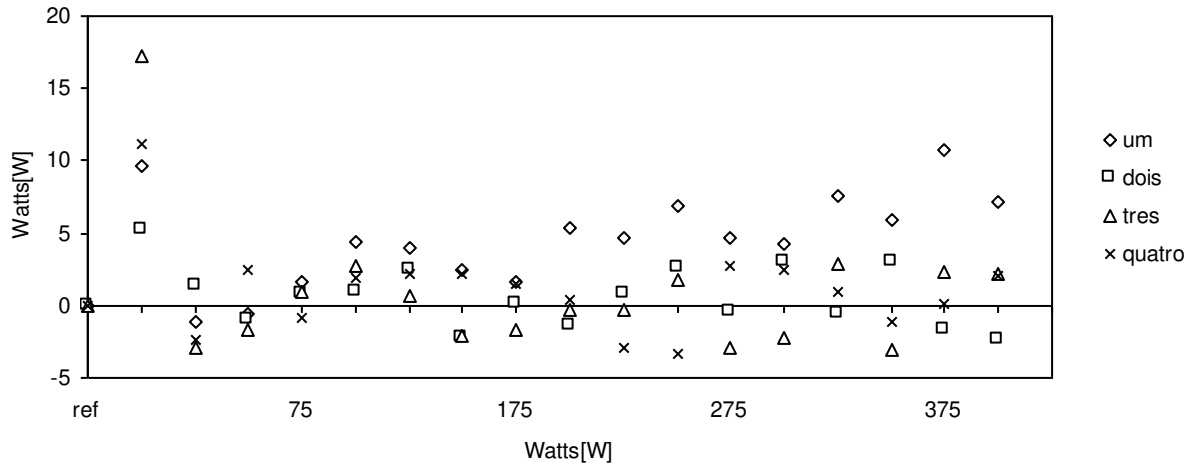


Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da UNICAMP a 45rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

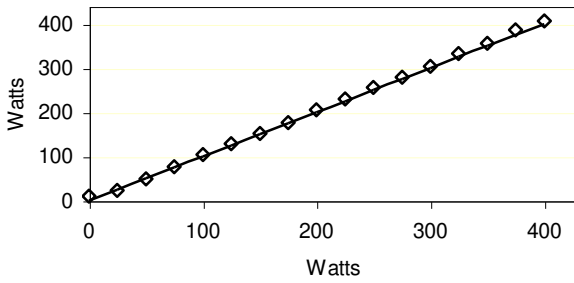


### Calibração Mecânica - UNICAMP - 60rpm

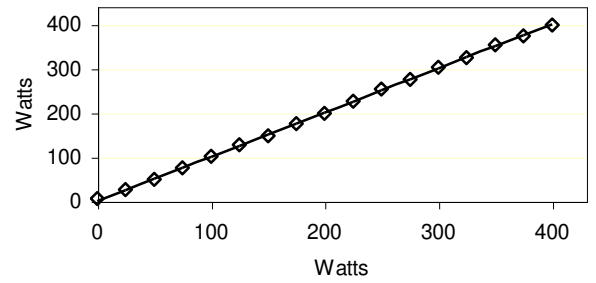
Resíduos observados a 60rpm - UNICAMP



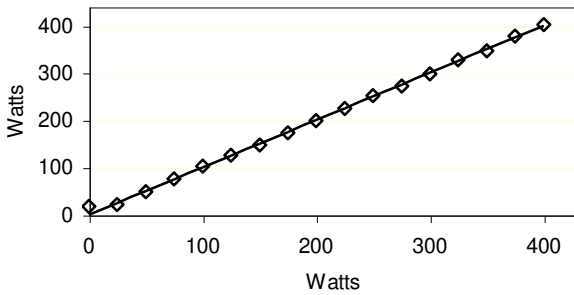
Potência calibrada UNICAMP  
60 rpm - Calibração 01



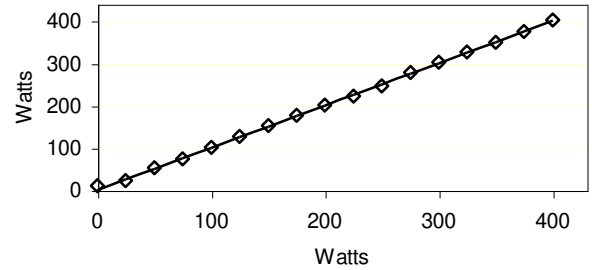
Potência calibrada UNICAMP  
60 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UNICAMP  
60 rpm - Calibração 03



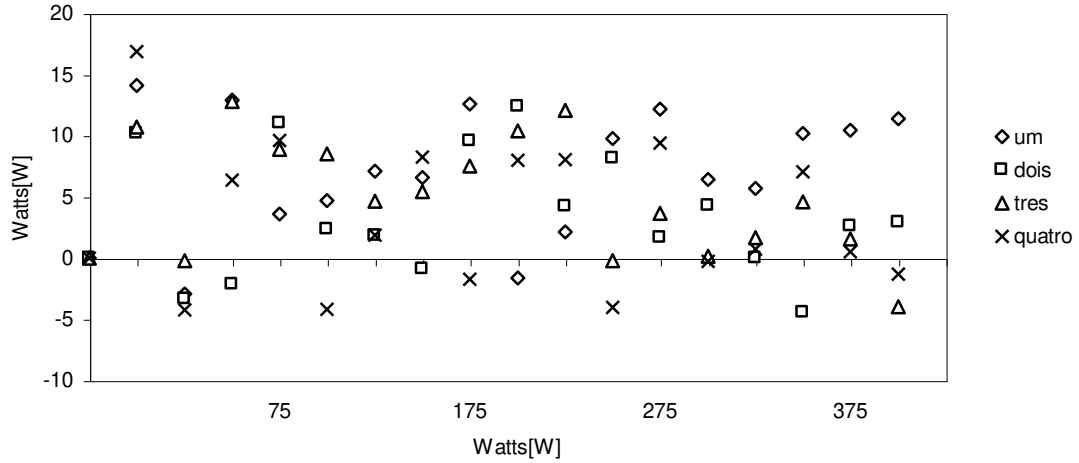
Potência calibrada UNICAMP  
60 rpm - Calibração 04



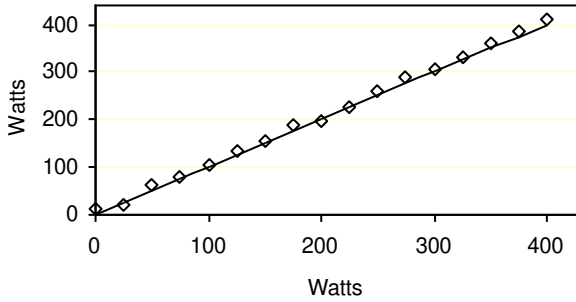
Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da UNICAMP a 60rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.

## Calibração Mecânica - UNICAMP - 75rpm

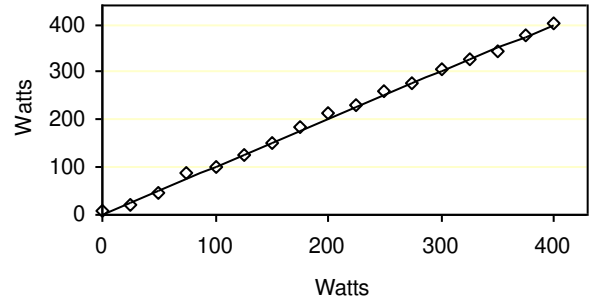
### Resíduos observados a 75rpm - UNICAMP



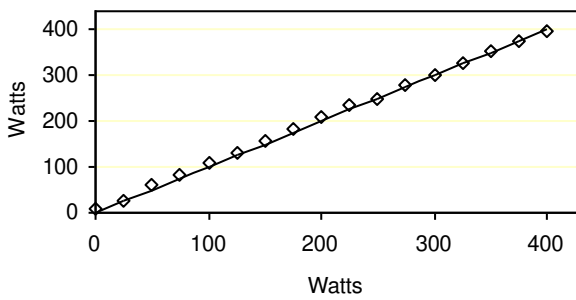
Potência calibrada UNICAMP  
75 rpm - Calibração 01



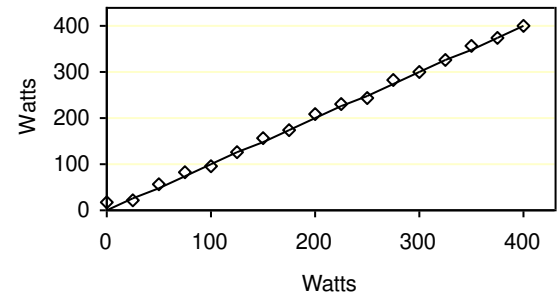
Potência calibrada UNICAMP  
75 rpm - Calibração 02



Potência calibrada UNICAMP  
75 rpm - Calibração 03



Potência calibrada UNICAMP  
75 rpm - Calibração 04



Resultado da calibração mecânica do cicloergômetro da UNICAMP a 75rpm. Gráfico maior apresentando os resíduos observados. Gráficos menores apresentam a potência calculada em função da potência esperada para os procedimentos de calibração.