

DANIELLE RODRIGUES DE OLIVEIRA REIS

ANÁLISE DAS FORÇAS DE REAÇÃO VERTICAL DO SOLO EM FUNÇÃO  
DAS VARIAÇÕES DOS CENTROS DE MASSA DE INDIVÍDUOS A PARTIR  
DE MOVIMENTOS DE TRONCO COM VARIAÇÃO DE CARGA

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,  
Universidade Estadual Paulista, para a  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Mecânica na área de Projetos  
e Materiais.

Orientador: Prof. Dr. João Alberto de Oliveira

Guaratinguetá

2007

R375a	<p>Reis, Danielle Rodrigues de Oliveira</p> <p>Análise das forças de reação vertical do solo em função das variações dos centros de massa de indivíduos a partir de movimentos de tronco com variação de carga / Danielle Rodrigues de Oliveira Reis . – Guaratinguetá : [s.n.], 2007 203 f. : il. Bibliografia: f. 159-164</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2007 Orientador: Prof. Dr. João Alberto de Oliveira</p> <p>1. Dinâmica estrutural I. Título</p> <p>CDU 65.015.11</p>
-------	--

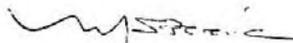
**“ANÁLISE DAS FORÇAS DE REAÇÃO VERTICAL DO SOLO EM  
FUNÇÃO DAS VARIAÇÕES DOS CENTROS DE MASSA DE INDIVÍDUOS  
A PARTIR DE MOVIMENTOS DE TRONCO  
COM VARIAÇÃO DE CARGA”**

**DANIELLE RODRIGUES DE OLIVEIRA REIS**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

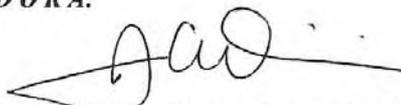
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: PROJETOS**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. JOÃO ALBERTO DE OLIVEIRA**  
Orientador / Unesp-Feg



**Prof. Dr. TAMOTSU HIRATA**  
Unesp-Feg



**Prof. Dr. RODRIGO SILVA E SANTOS**  
UNITAU

*Novembro de 2007*

## DADOS CURRICULARES

### DANIELLE RODRIGUES DE OLIVEIRA REIS

NASCIMENTO	21.03.1979 – CRUZEIRO / S.P.
FILIAÇÃO	José Leonel de Oliveira Lúcia Helena Rodrigues de Oliveira
1998 / 2002	Curso de Graduação em Fisioterapia Universidade de Taubaté – UNITAU
2003 / 2004	Curso de Pós-Graduação <i>Lato-Sensu</i> em Fisioterapia Pneumofuncional Avançada, na Universidade Castelo Branco / R.J.
2005 / 2007	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da UNESP

Aos meus pais, Leonel e Lúcia, e ao meu irmão Felipe, que têm sido as  
pessoas que mais se alegram com as conquistas acadêmicas que ao  
longo da vida tenho alcançado.

De modo especial, ao meu marido Adelson.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve presente nos meus erros e acertos e nunca me abandonou em nenhum momento.

Aos professores e funcionários do Departamento de Mecânica da Feg-Unesp, pelo apoio para a realização deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório, Urbano Gonçalves de Oliveira, Walter Luiz Medeiros Tupinambá, Carlos Alberto Quirino e Wilson Roberto Monteiro pela construção dos equipamentos utilizados e colaboração durante o decorrer dessa pesquisa.

Aos funcionários da Pós-Graduação da Feg-Unesp.

Às funcionárias da Biblioteca da Feg-Unesp pela dedicação e eficiência no atendimento.

Aos colegas de estudo, Lin, Gerson, Luciano, Priscila, Maura, Sandra, Cláudia, Mara, Fernanda, Emílio e Maria Auxiliadora pelo apoio e colaboração.

De modo especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. João Alberto de Oliveira, pela confiança, empenho e dedicação na orientação dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Tamotsu Hirata pelos ensinamentos sobre captação de imagens e pela ajuda.

À Lúcia Helena de Paula Coelho, pelo carinho e ajuda na formatação deste trabalho.

Aqueles que engrandeceram este trabalho com a disponibilidade e participação ativa, sem os quais não seria possível a realização desta pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

"Você não pode ensinar nada a um homem; você pode apenas ajudá-lo a encontrar a resposta dentro dele mesmo."

Galileu Galilei

REIS, Danielle Rodrigues de Oliveira, **Análise das forças de reação vertical do solo em função das variações dos centros de massa de indivíduos a partir de movimentos de tronco com variação de carga. 2007.** 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

## **RESUMO**

Durante a execução de qualquer atividade laboral, são adotadas diversas posturas com o intuito de realizar de melhor forma a tarefa solicitada. Pode-se observar que, apesar dos avanços da tecnologia, muitas atividades continuam sendo realizadas manualmente e, às vezes, as cargas que são manuseadas e movimentadas pelo homem vão além dos limites permissíveis e requerem posturas inadequadas. Este estudo teve como objetivo avaliar e comparar as forças de reação vertical do solo provenientes de uma seqüência de movimentos de tronco (flexão, extensão e rotação), comumente realizadas durante atividade laboral, em função das variações individuais dos centros de massa de um grupo de indivíduos sem e com variação de carga. A amostra foi composta por seis (6) sujeitos, todos do sexo masculino, alunos de Educação Física. Para realização do experimento foram utilizadas a técnica de cinemetria tridimensional e duas plataformas de força, sendo a cinemetria usada para determinação do centro de massa e as plataformas de força para mensuração das forças de reação vertical do solo. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que mudanças na forças de reação tende a modificar a posição do centro de massa, o qual tende a se deslocar na direção do movimento realizado. Dessa forma, a combinação da técnica de cinemetria com mensuração de força de reação do solo serve para analisar a estabilidade dinâmica da postura durante a atividade laboral.

**PALAVRAS-CHAVE:**Força de reação vertical do solo, Centro de massa, Ergonomia.

REIS, Danielle Rodrigues de Oliveira, **Analysis of the forces of vertical reaction of the ground in function of the variations of the centers of mass of individuals from movements of trunk with load variation.** 2007. 203f. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineering) – School of Engineering of the Campus of Guaratinguetá, From São Paulo State University, Guaratinguetá, 2006.

## **ABSTRACT**

During the execution of any labor activity, diverse positions are adopted in order to execute the requested task as better as possible. It was observed that, despite the advances of the technology, many activities have been manually done and, sometimes, the loads that are handled and put into motion by the man go beyond the permissible limits and require inadequate positions. The objective of this study is evaluating and comparing the vertical reaction forces of the ground caused by trunk movements (flexing, extension and rotation), commonly done during labor activity, in function of the variations of the centers of mass of individuals without and with load variation. The sample was composed of six (6) individuals, all of the masculine sex, who are Physical Education students. For accomplishment of the experiment, it was used three-dimensional cinemetry technique and two plates of force. The first was used to determination of the center of mass and the second was used to measure the vertical reaction forces of the ground. From the gotten results which can be concluded that changes in the reaction forces tend to modify the center of mass position, and this tend to dislocated in the direction of the movement. Therefore, the combination of the technique of cinemetry with measurement of force of reaction of the ground serves to analyze the dynamic stability of the position during the labor activity.

**KEYWORDS:** Force of vertical reaction of the ground, Center of mass, Ergonomics.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	28
1.1	OBJETIVOS .....	29
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	29
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	30
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	30
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	31
2.1	COLUNA VERTEBRAL.....	31
2.1.1	<b>Movimento funcional da coluna vertebral</b> .....	35
2.1.1.1	Movimento de flexão e extensão .....	36
2.1.1.2	Movimento de flexão lateral.....	37
2.1.1.3	Movimento de rotação .....	38
2.1.1.4	Amplitudes de movimentos da coluna vertebral em rotação em graus ....	39
2.2	ERGONOMIA .....	40
2.2.1	<b>Posto de trabalho</b> .....	41
2.2.2	<b>Análise da tarefa</b> .....	41
2.3	POSTURA.....	42
2.3.1	<b>Postura em pé</b> .....	43
2.3.2	<b>Posturas que envolvem levantamento e carregamento de carga</b> .....	44
2.4	BASES DA BIOMECÂNICA PARA ANÁLISE DO MOVIMENTO.....	47
2.4.1	<b>Conceito de biomecânica</b> .....	47
2.4.1.1	Dinamometria .....	49

2.4.1.1.1	Força de reação do solo .....	50
2.4.1.2	Antropometria.....	53
2.4.1.2.1	Modelos antropométricos .....	54
2.4.1.3	Cinemetria.....	55
2.4.1.4	Eletromiografia .....	56
2.5	DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA (CM).....	56
<b>2.5.1</b>	<b>Determinação analítica do centro de massa (CM).....</b>	<b>56</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Determinação experimental do centro de massa (CM).....</b>	<b>59</b>
2.5.2.1	Método cinemático .....	59
2.5.2.2	Método cinético .....	59
2.5.2.3	Método de filtragem .....	60
<b>2.5.3</b>	<b>Estado da arte envolvendo o centro de massa.....</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS-MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	62
3.2	LOCAL DE EXECUÇÃO.....	62
3.3	AMOSTRA .....	62
<b>3.3.1</b>	<b>Seleção da amostra .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Registro dos dados individuais da amostra.....</b>	<b>62</b>
3.4	BANCADA EXPERIMENTAL UTILIZADA.....	63
<b>3.4.1</b>	<b>Para mensuração da força de reação vertical (Fz) .....</b>	<b>63</b>
3.4.1.1	Plataformas de força .....	63
3.4.1.1.1	Montagem da plataforma de força 1 .....	64
3.4.1.1.2	Montagem da plataforma de força 2.....	65
3.4.1.2	Pesos utilizados.....	65
3.4.1.3	Suporte de madeira para os pesos.....	66
3.4.1.4	Extensômetros elétricos .....	68
3.4.1.4.1	Colagem dos extensômetros elétricos nos anéis .....	68
3.4.1.4.2	Características dos extensômetros elétricos .....	68
3.4.1.5	Spider 8 (HBM) .....	69
3.4.1.6	Microcomputador.....	70

<b>3.4.2</b>	<b>Dados cinemáticos para localização do centro de massa (CM)</b> .....	70
3.4.2.1	Filmadoras .....	70
3.4.2.1.1	Características das filmadoras .....	70
3.4.2.1.2	Posicionamento relativo das filmadoras .....	71
3.4.2.1.2.1	Com relação ao solo.....	71
<b>3.4.3</b>	<b>Instrumentos de medidas</b> .....	72
3.4.3.1	Balança.....	72
3.4.3.2	Estadiômetro .....	72
<b>3.5</b>	<b>ENSAIOS DE CALIBRAÇÕES</b> .....	73
3.5.1	Plataformas de força – calibração estática.....	73
3.5.1.1	Procedimentos utilizados na calibração das plataformas de força .....	73
3.5.1.2	Valores experimentais de tensões (mV) obtidos .....	73
3.5.1.3	Curva de calibração .....	75
<b>3.5.2</b>	<b>Filmadoras – Dados cinemáticos</b> .....	76
3.5.2.1	Calibração temporal.....	76
3.5.2.2	Calibração espacial .....	77
3.5.2.3	Digitalização das imagens .....	78
<b>3.6</b>	<b>MODELO ANTROPOMÉTRICO</b> .....	79
<b>3.7</b>	<b>PROTOCOLO PARA COLETA DE DADOS</b> .....	80
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS</b> .....	85
4.1	DADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS.....	85
<b>4.1.1</b>	<b>Parâmetros temporais</b> .....	85
4.1.1.1	Ensaio sem carga.....	85
4.1.1.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	86
4.1.1.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	87
4.1.1.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	88
<b>4.1.2</b>	<b>Forças de reação do solo obtidas através da plataformas de força</b> ...	89
4.1.2.1	Ensaio sem carga.....	89
4.1.2.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	90
4.1.2.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	91

4.1.2.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	92
<b>4.1.3</b>	<b>Trajétoria do centro de massa (CM).....</b>	<b>93</b>
4.1.3.1	Ensaio sem carga.....	93
4.1.3.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	94
4.1.3.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	95
4.1.3.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	97
4.1.4	<b>Trajétoria das coordenadas (x, y e z) do centro de massa .....</b>	<b>98</b>
4.1.4.1	Ensaio sem carga.....	98
4.1.4.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	99
4.1.4.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	100
4.1.4.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	101
<b>4.1.5</b>	<b>Forças de reação do solo obtidas das plataformas 1 e 2 em função das coordenadas (x,y e z) do centro de massa.....</b>	<b>103</b>
4.1.5.1	Ensaio sem carga.....	103
4.1.5.1.1	Sujeito 1 .....	103
4.1.5.1.1.1	Fase 1.....	103
4.1.5.1.1.2	Fase 2.....	104
4.1.5.1.1.3	Fase 3.....	104
4.1.5.1.1.4	Fase 4.....	105
4.1.5.1.1.5	Fase 5.....	106
4.1.5.1.1.6	Fase 6.....	106
4.1.5.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	107
4.1.5.2.1	Sujeito 1 .....	107
4.1.5.2.1.1	Fase 1.....	107
4.1.5.2.1.2	Fase 2.....	107
4.1.5.2.1.3	Fase 3.....	108
4.1.5.2.1.4	Fase 4.....	108
4.1.5.2.1.5	Fase 5.....	108
4.1.5.2.1.6	Fase 6.....	109
4.1.5.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	110
4.1.5.3.1	Sujeito 1.....	110

4.1.5.3.1.1	Fase 1.....	110
4.1.5.3.1.2	Fase 2.....	111
4.1.5.3.1.3	Fase 3.....	111
4.1.5.3.1.4	Fase 4.....	112
4.1.5.3.1.5	Fase 5.....	112
4.1.5.3.1.6	Fase 6.....	113
4.1.5.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	114
4.1.5.4.1	Sujeito 1.....	114
4.1.5.4.1.1	Fase 1.....	114
4.1.5.4.1.2	Fase 2.....	115
4.1.5.4.1.3	Fase 3.....	115
4.1.5.4.1.4	Fase 4.....	116
4.1.5.4.1.5	Fase 5.....	116
4.1.5.4.1.6	Fase 6.....	117
<b>4.1.6</b>	<b>Forças de reação médias obtidas nos ensaios sem e com variação de carga .....</b>	<b>118</b>
4.1.6.1	Forças médias – Plataforma 1.....	118
4.1.6.2	Forças médias – Plataforma 2.....	120
<b>4.1.7</b>	<b>Deslocamento do centro de massa durante os ensaios .....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.8</b>	<b>Forças de reação médias e deslocamentos médios do centro de massa nos ensaios sem e com variação e de carga.....</b>	<b>124</b>
4.1.8.1	Ensaio sem carga.....	124
4.1.8.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	124
4.1.8.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	125
4.1.8.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	126
4.2	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	127
<b>4.2.1</b>	<b>Parâmetros temporais.....</b>	<b>127</b>
4.2.1.1	Ensaio sem carga.....	127
4.2.1.2	Ensaio com carga de 5 kg.....	128
4.2.1.3	Ensaio com carga de 10 kg .....	129
4.2.1.4	Ensaio com carga de 15 kg .....	130

4.2.1.5	Comparações entre os ensaios sem carga, carga 5 kg, carga 10 kg e carga 15 kg.....	130
<b>4.2.2</b>	<b>Força de reação do solo e Centro de massa (CM).....</b>	<b>131</b>
4.2.2.1	Fase 1.....	131
4.2.2.2	Fase 2.....	134
4.2.2.3	Fase 3.....	140
4.2.2.4	Fase 4.....	143
4.2.2.5	Fase 5.....	146
4.2.2.6	Fase 6.....	152
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>158</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>159</b>
	ANEXO 1.....	165
	ANEXO 2.....	166
	ANEXO 3.....	167
	ANEXO 4.....	168

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	– Coluna Vertebral (NETTER,1998) .....	32
FIGURA 2.2	– Curvaturas da coluna vertebral (NETTER,1998).....	33
FIGURA 2.3	– Segmento móvel da coluna vertebral (HAMILL; KNUTZEN,1999) .....	33
FIGURA 2.4	– Constituição do disco intervertebral ( <a href="http://www.alphaklinik.de">www.alphaklinik.de</a> ) .....	34
FIGURA 2.5	– Planos do corpo (SPENCE, 1991) .....	35
FIGURA 2.6	– Movimento de flexão e extensão (HAMILL; KNUTZEN, 1999) .....	36
FIGURA 2.7	– Arco de movimento em flexão/extensão (HALL,1993).....	37
FIGURA 2.8	– Movimento de flexão lateral (HAMILL; KNUTZEN,1999) .....	38
FIGURA 2.9	– Movimento de rotação (HAMILL; KNUTZEN,1999).....	39
FIGURA 2.10	– Forças que atuam num levantamento (Fs – Força de cisalhamento e Fc – Força de compressão) e Momento resultante (AMARAL, 1993 apud PELLENZ, 2005) .....	45
FIGURA 2.11	– Levantamento de carga a partir do solo e região L5- S1(AMARAL, 1993 apud PELLENZ, 2005).....	46
FIGURA 2.12	– Postura correta para levantamento de carga do solo (HAMILL; KNUTZEN,1999). .....	46
FIGURA 2.13	– Áreas para complexa análise biomecânica do movimento humano (BAUMANN,1995 apud AMADIO,1997).....	49
FIGURA 2.14	– Componentes da força de reação do solo (HAMILL; KNUTZEN,1999). .....	51
FIGURA 2.15	– Representação esquemática de um arranjo experimental típico para aquisição e processamento do sinal com uso de plataforma de força (BARELA; DUARTE,2006).....	53
FIGURA 3.1	– Plataformas de força utilizadas – duas. (2) direita (apoio pé direito; (1) esquerda (apoio pé esquerdo) .....	63
FIGURA 3.2	– Plataforma de força 1.....	64

FIGURA 3.3	– Detalhe do anel octogonal regular .....	65
FIGURA 3.4	– Plataforma de força 2.....	65
FIGURA 3.5	– Pesos utilizados nos ensaios .....	66
FIGURA 3.6	– Suportes de madeira .....	67
FIGURA 3.7	– Posicionamento dos suportes de madeira –1) frontal; 2) lateral direito .....	67
FIGURA 3.8	– Colagem dos extensômetros elétricos no anel octogonal regular .....	68
FIGURA 3.9	– Spider 8 (HBM) .....	69
FIGURA 3.10	– Microcomputador .....	70
FIGURA 3.11	– Filmadora JVC .....	71
FIGURA 3.12	– Altura relativa da filmadora com o solo (1,30 m).....	71
FIGURA 3.13	– Desenho esquemático da bancada experimental utilizada ...	72
FIGURA 3.14	– Curva de calibração da plataforma 1 .....	75
FIGURA 3.15	– Curva de calibração da plataforma 2 .....	76
FIGURA 3.16	– Aparelho emissor de luz .....	76
FIGURA 3.17	– Fios de prumo (calibrador espacial) .....	77
FIGURA 3.18	– Fluxograma–dados cinemáticos .....	79
FIGURA 3.19	– Regiões demarcadas para localização do centro de massa..	80
FIGURA 3.20	– Fase 1:posição inicial.....	81
FIGURA 3.21	– Fase 2: flexão anterior de tronco .....	81
FIGURA 3.22	– Fase 3: extensão de tronco.....	82
FIGURA 3.23	– Fase 4: rotação de tronco .....	82
FIGURA 3.24	– Fase 5: rotação e flexão de tronco .....	83
FIGURA 3.25	– Fase 6: retorno à posição inicial .....	83
FIGURA 4.1	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita - Sem carga.....	89
FIGURA 4.2	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda - Sem carga .....	89
FIGURA 4.3	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita - Carga 5 kg.....	90

FIGURA 4.4	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda - Carga 5 kg .....	90
FIGURA 4.5	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita - Carga 10 kg .....	91
FIGURA 4.6	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda - Carga 10 kg .....	91
FIGURA 4.7	– Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita – Carga 15 kg .....	92
FIGURA 4.8	Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda – Carga 15 kg .....	92
FIGURA 4.9	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Sem carga .....	93
FIGURA 4.10	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Sem carga .....	94
FIGURA 4.11	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 5 kg .....	94
FIGURA 4.12	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 5 kg .....	95
FIGURA 4.13	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 10 kg .....	96
FIGURA 4.14	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 10 kg .....	96
FIGURA 4.15	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 15 kg .....	97
FIGURA 4.16	– Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 15 kg .....	98
FIGURA 4.17	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Sem carga.....	99
FIGURA 4.18	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Sem carga.....	99

FIGURA 4.19	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 5 kg .....	100
FIGURA 4.20	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 5 kg .....	100
FIGURA 4.21	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 10 kg .....	101
FIGURA 4.22	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 10 kg .....	101
FIGURA 4.23	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 15 kg .....	102
FIGURA 4.24	– Trajetória das coordenadas $X_{CM}$ , $Y_{CM}$ e $Z_{CM}$ do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 15 kg .....	102
FIGURA 4.25	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 1 .....	132
FIGURA 4.26	Deslocamentos médios do centro de massa obtidos entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 1 .....	134
FIGURA 4.27	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 2 .....	136
FIGURA 4.28	– Deslocamentos médios obtidos das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 2 .....	137
FIGURA 4.29	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 3 .....	140
FIGURA 4.30	– Deslocamentos médios obtidos das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 3 .....	141
FIGURA 4.31	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 4 .....	145
FIGURA 4.32	– Deslocamentos médios obtidos das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 4 .....	146

FIGURA 4.33	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 5.....	149
FIGURA 4.34	– Deslocamentos médios obtidos das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 5.....	150
FIGURA 4.35	– Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 6.....	154
FIGURA 4.36	– Deslocamentos médios obtidos das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios com e sem carga – Fase 6.....	155

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	– Amplitude de movimento (HAMILL; KNUTZEN,1999).....	39
TABELA 2.2	– Dados Antropométricos (WINTER, 1990).....	55
TABELA 3.1	– Características da amostra .....	63
TABELA 3.2	– Características da Plataforma 1 .....	64
TABELA 3.3	– Pesos aferidos .....	66
TABELA 3.4	– Características dos extensômetros elétricos.....	69
TABELA 3.5	– Características da balança.....	72
TABELA 3.6	– Características do estadiômetro .....	72
TABELA 3.7	– Valores médios das tensões de saída (mV) em função das cargas aplicadas (N) na plataforma 1.....	74
TABELA 3.8	– Valores médios das tensões (mV) de saída em função das cargas aplicadas (N) na plataforma 2.....	74
TABELA 4.1	– Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Sem carga .....	85
TABELA 4.2	– Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Sem carga .....	85
TABELA 4.3	– Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 5 kg.....	86
TABELA 4.4	– Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 5 kg. ....	86
TABELA 4.5	– Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 10 kg.....	87
TABELA 4.6	Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 10 kg .....	87
TABELA 4.7	– Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 15 kg.....	88

TABELA 4.8	– Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga 15 kg .....	88
TABELA 4.9	– Valores médios obtidos sem carga na Fase 1 – Sujeito 1 .....	103
TABELA 4.10	– Dados obtidos sem carga na Fase 2 – Sujeito 1.....	104
TABELA 4.11	– Dados obtidos sem carga na Fase 3 – Sujeito 1.....	105
TABELA 4.12	– Dados obtidos sem carga na Fase 4 – Sujeito 1.....	105
TABELA 4.13	– Dados obtidos sem carga na Fase 5 – Sujeito 1.....	106
TABELA 4.14	– Dados obtidos sem carga na Fase 6 – Sujeito 1.....	106
TABELA 4.15	– Valores médios obtidos com carga de 5 kg na Fase 1 – Sujeito 1 .....	107
TABELA 4.16	– Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 2 – Sujeito 1.....	107
TABELA 4.17	– Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 3 – Sujeito 1.....	108
TABELA 4.18	– Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 4 – Sujeito 1.....	108
TABELA 4.19	– Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 5 – Sujeito 1.....	109
TABELA 4.20	– Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 6 – Sujeito 1.....	110
TABELA 4.21	– Valores médios obtidos com carga de 10 kg na Fase 1 – Sujeito 1 .....	110
TABELA 4.22	– Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 2 – Sujeito 1 .....	111
TABELA 4.23	– Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 3 – Sujeito 1.....	112
TABELA 4.24	– Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 4 – Sujeito 1.....	112
TABELA 4.25	– Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 5 – Sujeito 1.....	113
TABELA 4.26	– Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 6 – Sujeito 1.....	114
TABELA 4.27	– Valores médios obtidos com carga de 15 kg na Fase 1 – Sujeito 1 .....	114
TABELA 4.28	– Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 2 – Sujeito 1 .....	115
TABELA 4.29	– Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 3 – Sujeito 1.....	116
TABELA 4.30	– Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 4 – Sujeito 1.....	116
TABELA 4.31	– Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 5 – Sujeito 1.....	117
TABELA 4.32	– Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 6 – Sujeito 1.....	118

TABELA 4.33	– Forças médias obtidas nos ciclos direita (D) durante ensaios com e sem variação de carga–Plataforma 1.....	119
TABELA 4.34	– Forças médias obtidas nos ciclos esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga–Plataforma 1.....	120
TABELA 4.35	– Forças médias obtidas nos ciclos direita (D) durante ensaios com e sem variação de carga–Plataforma 2.....	121
TABELA 4.36	– Forças médias obtidas nos ciclos esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga–Plataforma 2.....	122
TABELA 4.37	– Deslocamentos dos Centros de Massa obtidos nos ciclos direita (D) e esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga .....	123
TABELA 4.38	– Comparação entre deslocamentos médios do Centro de Massa e as Forças de Reação Médias obtidas nos ciclos direita e esquerda durante ensaios sem carga .....	124
TABELA 4.39	– Comparação entre deslocamentos médios do Centro de Massa e as Forças de Reação Médias obtidas nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 5 kg.....	125
TABELA 4.40	– Comparação entre deslocamentos médios do Centro de Massa e as Forças de Reação Médias obtidas nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 10 kg.....	126
TABELA 4.41	– Comparação entre deslocamentos médios do Centro de Massa e as Forças de Reação Médias obtidas nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 15 kg.....	127

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	-	Analógico-Digital
AM3D	-	Programa para análise de movimento tridimensional
AVI	-	<i>Audio Video Interleave</i>
CG	-	Centro de gravidade
CM	-	Centro de massa
COP	-	Centro de pressão
DLT	-	<i>Direct Linear Transformation</i>
FEG	-	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
GLP	-	Zero-point-to-zero-point double integration technique
JPEG	-	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
LG	-	Linha da gravidade
PC	-	<i>Personal Computer</i>

## LISTAS DE SÍMBOLOS

$\Delta E$	-	Tensão de saída da ponte Wheatstone
$\Sigma$	-	Somatório
$\epsilon_f$	-	Deformação específica do anel
$F_h$	-	Força de reação horizontal (N)
$F_v$	-	Força de reação vertical (N)
$F_x$	-	Força de reação do solo na direção horizontal - médio-lateral (N)
$F_y$	-	Força de reação do solo na direção horizontal - ântero-posterior (N)
$F_z$	-	Força de reação do solo na direção vertical (N)
$g$	-	Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )
$K$	-	Fator do extensômetro
$M$	-	Massa total do corpo (kg)
$m_i$	-	Massa do segmento (kg)
$P$	-	Peso corporal total (N)
$P_i$	-	Pesos parciais do segmento
$T$	-	Torque total (N.m)
$T_i$	-	Torques parciais (N.m)
$t$	-	Tempo (s)
$V$	-	Tensão da ponte (V)
$X_{CM}$	-	Coordenada x do centro de massa (cm)
$Y_{CM}$	-	Coordenada y do centro de massa (cm)
$Z_{CM}$	-	Coordenada z do centro de massa (cm)
$W$	-	Força peso ou gravitacional (N)

# 1 INTRODUÇÃO

As posturas adotadas diariamente requerem um equilíbrio entre diversas partes do corpo e podem ser afetadas em atitudes corporais de repouso, trabalho e lazer.

Segundo Kendall (1995), postura é o arranjo característico que cada indivíduo encontra para sustentar o seu corpo e utilizá-lo na vida diária, envolvendo uma quantidade mínima de esforço e sobrecarga, conduzindo à eficiência máxima do corpo.

Durante a execução de qualquer atividade laboral, são adotadas diversas posturas com o intuito de realizar da melhor forma a tarefa solicitada, seja para digitar um texto ou para carregar objetos, sempre haverá diversas posturas sendo adotadas pelo trabalhador para cumprir suas atividades.

Pode-se observar que, apesar dos avanços da tecnologia, muitas atividades continuam sendo realizadas manualmente e, às vezes, as cargas que são manuseadas e movimentadas pelo homem vão além dos limites permissíveis e requerem posturas inadequadas.

A ciência que analisa as posturas adotadas no trabalho e tenta adaptar o trabalho ao homem é denominada ergonomia. Segundo Fialho e Santos (1997), ergonomia implica no estudo de um trabalho concreto, na observação da realização da tarefa no local, na coleta de dados quantitativos e qualitativos necessários para um diagnóstico preciso.

A ergonomia está apoiada em conhecimentos de outras áreas científicas para desenvolver métodos e técnicas que melhorem postos de trabalho e as condições do trabalhador. Com isso, observa-se a utilização de conceitos da biomecânica dentro da ergonomia.

A biomecânica é a ciência que estuda o movimento do corpo humano e suas posturas por meio de leis da mecânica e conhecimentos anato-fisiológicos, de modo que auxilia na interpretação mecânica das posturas adotadas (AMADIO, 2000).

O presente estudo analisa os aspectos cinemáticos e dinâmicos de movimentos realizados pelo tronco durante o levantamento e carregamento de diferentes cargas; tarefa esta presente em alguns ambientes laborais.

Dentre os aspectos cinemáticos e dinâmicos escolhidos para serem analisados destaca-se o comportamento do centro de massa e da força de reação vertical.

O centro de massa refere-se a um ponto que está associado ao corpo como um todo, ao redor do qual a massa está distribuída de forma equilibrada (HALL, 1993). A posição do centro de massa é independente da velocidade ou da aceleração total do corpo ou de seus segmentos (WINTER, 1990). O deslocamento do centro de massa indica a oscilação ou movimento do corpo. A determinação do centro de massa pode ser feita pelo método cinemático (WINTER,1990). Para isso pode-se monitorar o movimento de um marcador, sendo este o representante do centro de massa global do corpo, sendo o movimento do marcador equivalente ao movimento do centro de massa (DUARTE; FREITAS, 2006).

Durante os movimentos humanos age sobre o homem a força de reação do solo em algum momento. Essa força de reação é proporcionada pela superfície onde a pessoa está se movendo (HAMILL; KNUTZEN, 1999). Como qualquer tipo de força, a força de reação do solo é uma grandeza vetorial, sendo formada por um componente vertical, um componente ântero-posterior e um componente médio-lateral. Para este estudo enfatiza-se a observação no componente vertical da força de reação do solo.

Relaciona-se, neste estudo, o comportamento da força de reação vertical do solo ao movimento do centro de massa, pois segundo Hamill e Knutzen (1999) ambos aspectos cinemáticos/ dinâmicos relacionam-se durante os movimentos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este estudo tem por objetivo avaliar e comparar as forças de reação vertical do solo provenientes de uma seqüência de movimentos de tronco, comumente realizadas durante atividade laboral, em função das variações dos centros de massa.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantar a trajetória do centro de massa durante os movimentos de tronco: flexão, extensão, rotação e no movimento combinado de flexão e rotação.
- Comparar as trajetórias do centro de massa durante os movimentos de tronco com variações de cargas (0, 5, 10 e 15 quilogramas).
- Comparar as forças de reação vertical do solo entre os mesmos movimentos de tronco, porém associado à variações da carga.

## 1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, glossário e anexos, sendo dividida na seguinte ordem:

### Capítulo 1

Introdução: apresenta considerações iniciais do assunto a que se refere a pesquisa, e define também os objetivos geral e específico do trabalho.

### Capítulo 2

Revisão de literatura: aborda a fundamentação teórica da pesquisa com enfoque na ergonomia e na análise biomecânica dos movimentos.

### Capítulo 3

Procedimentos experimentais: métodos, descrição e ilustração dos equipamentos utilizados na pesquisa e a metodologia empregada.

### Capítulo 4

Apresentação e discussão dos resultados: é feita uma análise dos resultados obtidos na pesquisa e uma discussão dos mesmos.

### Capítulo 5

Conclusão: aborda as conclusões e as recomendações provenientes do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 COLUNA VERTEBRAL

Segundo Hall (1993), a coluna vertebral pode ser considerada o segmento mais complexo e funcional do corpo humano. Embora seja a principal estrutura de suporte, sua construção é tal que permite que o tronco tenha apreciável flexibilidade necessária a movimentação. Além disto, a coluna protege a medula espinhal e permite a passagem dos nervos espinhais entre as vértebras.

Lombalgia refere-se a qualquer sintomatologia da coluna lombar (CORRIGAN; MAITLAND, 2000). Quase sempre tem origem multifatorial, portanto os fatores de risco podem ser individuais ou gerados pelo local de trabalho. De acordo com Cailliet (2001) pesquisas demonstram que 50 a 80% dos adultos terão de alguma forma dor decorrente de afecções da coluna vertebral, causadas muitas vezes por uma postura errada durante o trabalho ou o repouso.

A coluna vertebral é formada por 33 vértebras, que estão separadas em cinco regiões. As 7 primeiras, de cima para baixo, se localizam-se na região cervical, sendo denominadas vértebras cervicais; 12 se encontram na região do tórax, sendo denominadas vértebras torácicas; 5 estão presentes na região lombar, sendo denominadas vértebras lombares; 5 são denominadas vértebras sacrais, as quais estão fundidas numa única estrutura denominada sacro e as 4 últimas vértebras são denominadas de coccígenas, também encontram-se fundidas formando o cóccix (SPENCE, 1991). A Figura 2.1 ilustra a coluna vertebral, por meio de três vistas: (a) frontal; (b) perfil e (c) posterior.

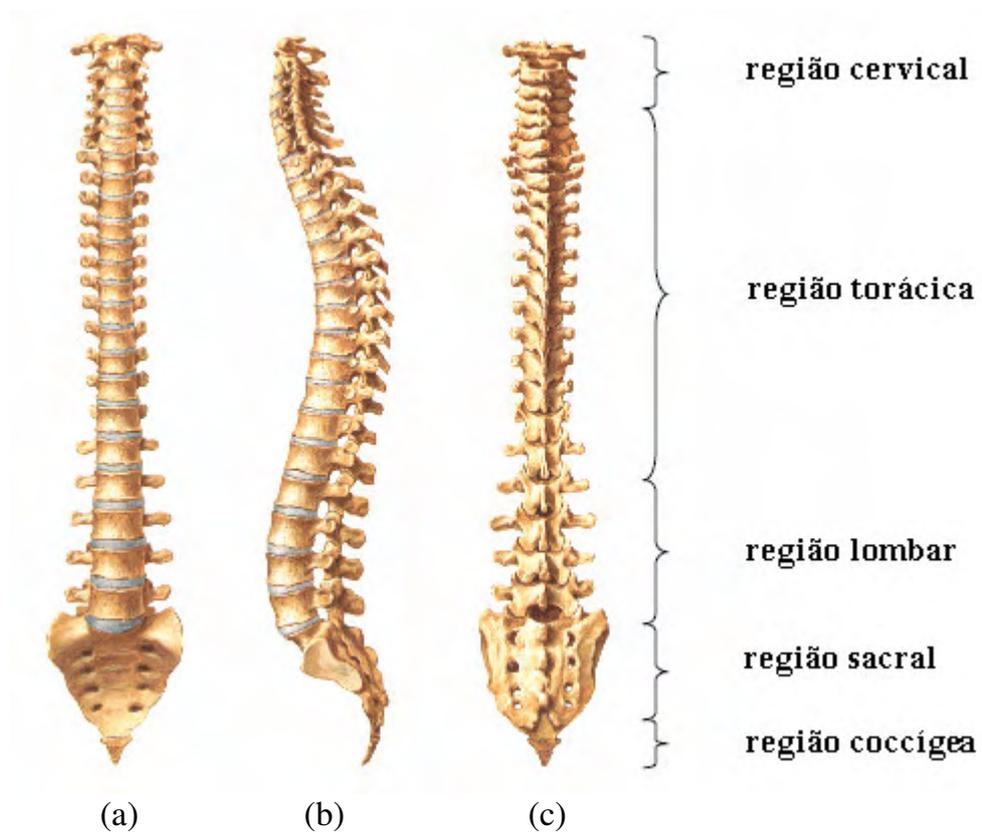


Figura 2.1 - Coluna Vertebral (NETTER,1998).

Quando observa-se a coluna vertebral de perfil na Figura 2.2 verifica-se a presença de quatro curvaturas normais. As curvaturas torácica e sacral apresentam concavidade anterior, sendo classificadas como curvaturas primárias, pois estão presentes ao nascimento. As curvaturas lombar e cervical possuem concavidade posterior, as quais desenvolvem-se a partir da sustentação do corpo na posição ereta depois que a criança começa a sentar e a ficar de pé (SPENCE,1991; HALL, 1993).

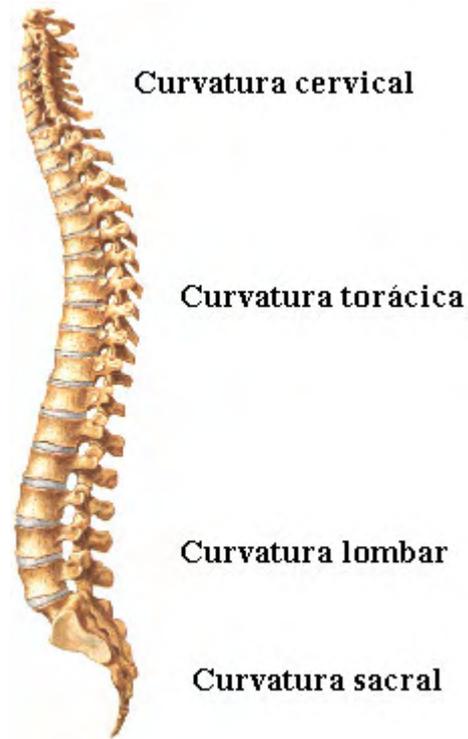


Figura 2.2 - Curvaturas da coluna vertebral (NETTER,1998).

A unidade funcional da coluna vertebral, o segmento móvel, é formado por duas vértebras adjacentes e um disco intervertebral que as separa, conforme ilustra a Figura 2.3.

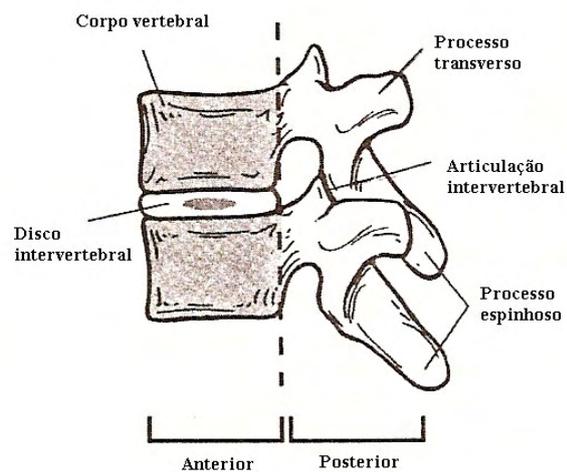


Figura 2.3 - Segmento móvel da coluna vertebral (HAMILL; KNUTZEN,1999).

A região anterior do segmento móvel é formada pelos corpos de duas vértebras, um disco intervertebral e pelos ligamentos longitudinais anterior e posterior (HAMILL; KNUTZEN, 1999). Segundo Frankel et al. <sup>1</sup>(1980 apud SANTA MARIA, 2001) essa região anterior tem como função sustentar as cargas, tornando-se maiores de acordo com o aumento de peso ou carga na região superior do corpo. Devido a isso, os corpos das vértebras lombares são maiores (altura e secção transversal) em relação aos corpos das vértebras torácicas e cervicais.

O disco intervertebral é a estrutura existente entre dois corpos vertebrais adjacentes, cuja função é manter unidas as duas vértebras e também permitir movimento entre elas. Além dessas funções, ele também amortece o impacto na coluna vertebral.

Cada disco é formado pelo núcleo pulposo e anel fibroso. O núcleo é formado por uma substância gelatinosa, contendo 88% de água no seu interior. Já o anel fibroso, cuja localização é periférica ao núcleo, tem como composição camadas fibrosas concêntricas as quais são verticais na periferia e oblíquas próximas ao centro. Dessa forma, o núcleo fica fechado entre as vértebras e pelo anel fibroso (KAPANDJI, 2000). A Figura 2.4 mostra as partes que compõe o disco intervertebral.

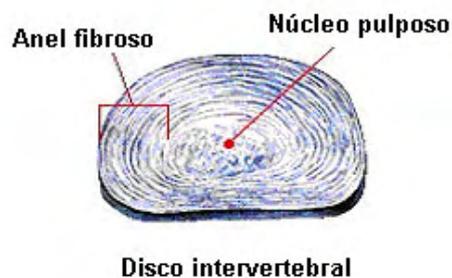


Figura 2.4 - Constituição do disco intervertebral ([www.alphaklinik.de](http://www.alphaklinik.de))

Quando uma carga é aplicada no disco intervertebral, a pressão gerada nas estruturas é dividida 75% para o núcleo pulposo e 25% para o anel fibroso (KAPANDJI, 2000). Pesquisas realizadas nas décadas de 60 e 70 confirmaram as propriedades hidrostáticas dos discos intervertebrais e também observaram a

<sup>1</sup> FRANKEL, V. H.; NORDIM, M.; FEBEGER, L. Basic biomechanics of the skeletal system. Philadelphia, 1980

existência de pressão mesmo sem a aplicação de carga, possivelmente causada por tensão prévia dos ligamentos (CHAFFIN et al., 2000).

A compressão da coluna vertebral varia nas diferentes posturas, sendo aumentada quando há o fator carga. Cargas repetitivas e mantidas por períodos longos podem acarretar num abaulamento do anel fibroso (OLIVER,1999).

Pode-se perceber que nas atividades de vida diária, como no trabalho, o disco intervertebral comporta-se de maneira complexa por meio da combinação de compressão, inclinação e torção. De acordo com Frankel et al. (1980 apud SANTA MARIA, 2001) durante os movimentos de flexão, extensão e flexão lateral da coluna produz uma força em compressão e tensão no disco, enquanto durante a rotação produz um força de cisalhamento e tensão.

### 2.1.1 Movimento funcional da coluna vertebral

A coluna vertebral permite movimentos em três planos: sagital, frontal e transversal conforme ilustra a Figura 2.5.

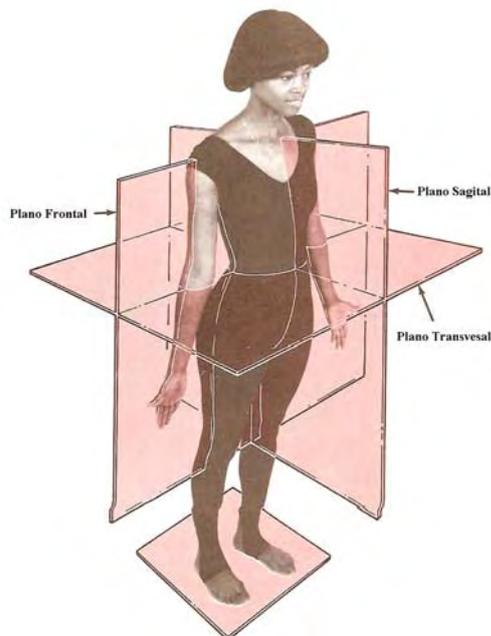


Figura 2.5 - Planos do corpo (SPENCE, 1991).

O movimento entre duas vértebras é pequeno, sendo determinado pelas facetas articulares e a flexibilidade dos discos intervertebrais. Entretanto, a amplitude de movimento total da coluna gerada pela combinação de vários segmentos é relativamente grande para o tronco e os movimentos permitidos são de flexão, extensão, flexão lateral e rotação.

#### 2.1.1.1 Movimento de flexão e extensão

O movimento de flexão é realizado no plano sagital, no qual o mento (queixo) se aproxima da parede anterior do tórax. As vértebras de cima deslocam-se anteriormente sobre as vértebras de baixo, então elas inclinam de modo que geram uma força compressiva sobre a região anterior do disco intervertebral.

A Figura 2.6 ilustra os movimentos de flexão e extensão da coluna, sendo ambos pertencentes ao plano sagital.



Figura 2.6 - Movimento de flexão e extensão (HAMILL; KNUTZEN,1999).

A flexão do tronco como um todo ocorre inicialmente nas vértebras lombares nos primeiros 50 a 60 graus, conforme ilustra a Figura 2.7 (b), e então ocorre uma maior

flexão pela inclinação para frente da pelve, Figura 2.7 (c). (HAMILL; KNUTZEN,1999).

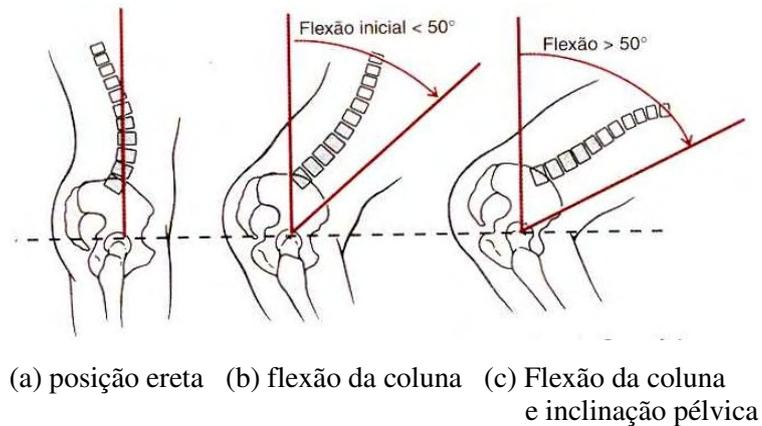


Figura 2.7 - Arco de movimento em flexão/ extensão (HALL,1993).

A extensão é um movimento no plano sagital, como ilustra a Figura 2.6, em que o dorso se aproxima da pelve. Nesse movimento de tronco, a pelve inicialmente inclina-se posteriormente, depois a coluna estende-se. A extensão ocorre de maneira oposta a flexão.

#### 2.1.1.2 Movimento de flexão lateral

O movimento de flexão lateral (inclinação lateral), conforme ilustra a Figura 2.8, é realizado no plano frontal, onde as últimas costelas se aproximam da crista ilíaca direita ou esquerda. Esse movimento ocorre principalmente nas regiões cervical e lombar, pois a região torácica é restringida pela caixa torácica.

Na flexão lateral do tronco ocorre um pequeno movimento das vértebras para os lados, de modo que ocorre uma compressão no disco intervertebral no lado da inclinação. Não pode-se esquecer que a flexão lateral é geralmente acompanhada por rotação (HAMILL; KNUTZEN,1999).

A Figura 2.8 ilustra o movimento de inclinação lateral realizado no plano frontal e as forças que agem no disco intervertebral durante esse movimento de tronco.

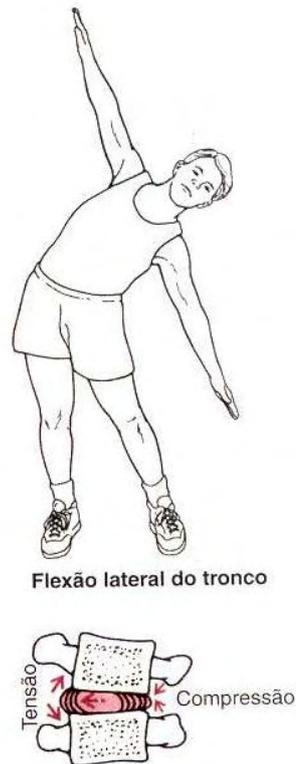


Figura 2.8 - Movimento de flexão lateral (HAMILL; KNUTZEN,1999).

### 2.1.1.3 Movimento de rotação

Rotação é o movimento no qual o tronco gira para a direita ou para esquerda, em torno de um eixo longitudinal, sendo esse movimento realizado no plano transversal, conforme ilustra a Figura 2.9. A rotação de tronco é mais livre na região torácica e limitada na região lombar.

Quando o tronco gira, metade das fibras do anel fibroso fica tensionada enquanto a outra metade relaxa. Isso cria uma força tensiva nas fibras que estão na direção da rotação e uma força de cisalhamento no plano de rotação (plano transversal).

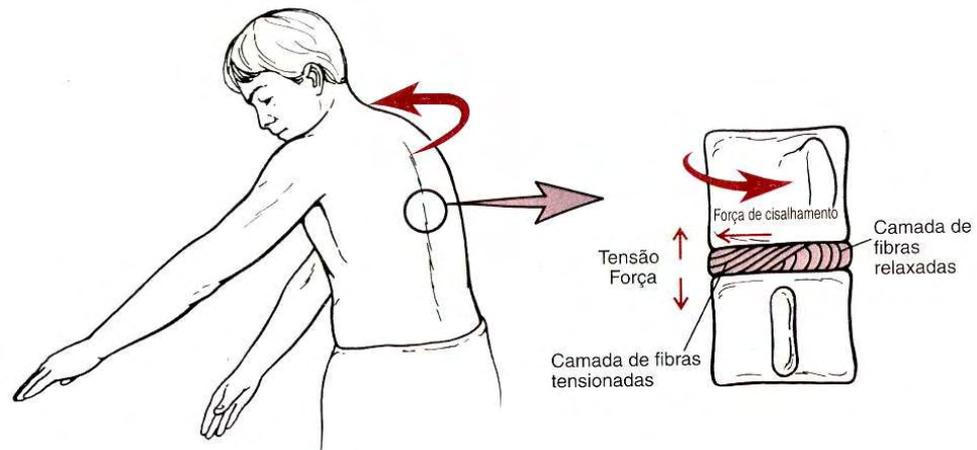


Figura 2.9 - Movimento de rotação (HAMILL; KNUTZEN,1999).

#### 2.1.1.4 Amplitudes de movimentos da coluna vertebral em graus

Segundo Hamill e Knutzen (1999) e Hall (1993), a amplitude de movimento de cada segmento que compõe a coluna é pequena, entretanto em combinação com o tronco torna-se possível um arco de movimento grande. A Tabela 2.1 mostra as amplitudes de movimentos que podem ser atingidas na flexão-extensão, flexão lateral e rotação.

Tabela 2.1 - Amplitude de movimento do tronco (HAMILL; KNUTZEN,1999).

<b>Tipo de movimento</b>	<b>Amplitude em graus (°)</b>
Flexão - Extensão	110 – 140
Flexão lateral	75 - 85
Rotação	90

Esses respectivos movimentos da coluna vertebral, citados anteriormente, são executados cotidianamente em várias posturas adotadas durante um trabalho. Suas amplitudes de movimentos são realizadas por alguns trabalhadores com maior grau e por outros com menor grau de movimento, os quais são dependentes da tarefa realizada. Nestes tipos de movimentos e dependendo das respectivas amplitudes de movimentos, o disco intervertebral sofre ações de diferentes forças, podendo levar ao

desgaste dessa estrutura, a qual pode ocasionar ao trabalhador uma patologia que muitas vezes pode afastá-lo do trabalho.

## 2.2 ERGONOMIA

Ergonomia significa adequar as atividades, os objetos e o ambiente às pessoas que nele trabalham (ERGONOMICS RESERCH SOCIETY, 2002). Segundo Moraes e Mont`alvão <sup>2</sup>(1998 apud PRZYSIEZNY, 2003) deriva das palavras gregas *ergon* (trabalho) e *nomos* (lei, regras). A ergonomia tem como objetivo principal gerar conhecimentos sobre o trabalho e as condições em que o mesmo é realizado, busca também formular ferramentas e princípios para a transformação do trabalho, com a perspectiva de melhorar a relação homem-trabalho (ABRAHÃO; PINHO, 2002). Dessa forma, os estresses e as falhas são reduzidos e os trabalhadores sentem-se mais confortáveis, realizando suas tarefas com maior eficiência.

Segundo Oliveira (1998), as sobrecargas geradas ao sistema osteomuscular durante o trabalho são chamadas lesões por esforços repetitivos e/ou doenças osteomusculares relacionadas ao trabalho (LER/DORT). Vários fatores associados ao trabalho concorrem para a ocorrência de tais lesões como repetitividade de movimentos, manutenção de posturas inadequadas, esforço físico, invariabilidade de tarefa, compressão mecânica sobre determinadas partes do corpo, trabalho muscular estático, impacto e vibração (MERLO et al., 2001).

Com a aplicação dos fundamentos ergonômicos, pode-se melhorar a saúde do sistema músculo-esquelético, pois as doenças deste sistema continuam a ter grande destaque como um problema presente no ambiente de trabalho (WESTGAARD; WINKEL, 1997).

A análise ergonômica implica no estudo do trabalho, na observação da realização da tarefa com os equipamentos e equipes envolvidas, na coleta de dados qualitativos e quantitativos necessários para um diagnóstico preciso (FIALHO; SANTOS, 1997).

---

<sup>2</sup> MORAES, A.; MONT' ALVÃO, C. **Ergonomia**: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: 2 AB, 1998.

Para isso, deve-se considerar a organização do trabalho, o ambiente de trabalho, o posto de trabalho, os fatores pessoais e análise da tarefa.

É importante ressaltar que a ergonomia está apoiada em conhecimentos de outras áreas científicas, tais como: Biomecânica, Fisiologia, Cineantropometria, Anatomia, Desenho Industrial, Engenharia Mecânica e Informática. Com os conhecimentos oriundos dessas áreas citadas, pode-se desenvolver métodos e técnicas com o intuito de melhorar os postos de trabalho e as condições do trabalhador (NUNES, 2002).

### **2.2.1 Posto de trabalho**

A análise ergonômica do posto de trabalho tem como objetivo amenizar as exigências biomecânicas e cognitivas, procurando garantir ao trabalhador uma postura adequada, melhorando o arranjo das ferramentas e comandos dentro do alcance dos movimentos corporais e facilitando a percepção de informações de modo que realize o trabalho com conforto e segurança (ABRAHÃO, 2000). A projeção de qualquer posto de trabalho deve-se basear na relação espaço de trabalho e dimensões do corpo, dessa forma, o posto de trabalho será ajustado ao trabalhador (PALUCH, 1996).

### **2.2.2 Análise da tarefa**

A análise da tarefa tem como objetivo descrever e analisar o desempenho do trabalhador durante a atividade que ele desenvolve (ABRAHÃO; PINHO, 2002).

A tarefa consiste naquilo que deve ser realizado pelo trabalhador e os meios que estão disponíveis para a execução. Já a atividade representa o que realmente é realizado pelo trabalhador com os meios disponíveis; é o trabalho real enquanto a tarefa é o trabalho formal (MONTMOLLIN, 1990).

Na análise da tarefa são observados, principalmente, os movimentos realizados pelos trabalhadores e qual o tipo de trabalho muscular predominante na execução da tarefa.

O trabalho muscular estático é aquele realizado para manter uma determinada posição e exige contração mantida do músculo (IIDA, 1998). Provoca diminuição do

fluxo sanguíneo devido à compressão dos vasos sanguíneos, gerando acúmulo de metabólitos que ocasionam a fadiga (OLIVER,1999). Já o trabalho muscular dinâmico permite contração e relaxamento alternado dos músculos, isso faz com que estes atuem como uma bomba sanguínea, ou seja, permitindo a ativação da circulação dos capilares de tal forma que favorece a remoção do metabólitos, diminuindo o risco de fadiga.

Nesse trabalho proposto, a tarefa a ser avaliada consta de movimentos da coluna vertebral, os quais serão realizados com o indivíduo em pé. Para uma maior compreensão dessa tarefa é necessário levantar alguns aspectos posturais, já que os movimentos a serem realizados pelas amostras foram descritos de antemão no início dessa revisão.

### 2.3 POSTURA

A postura tem sido objeto de estudo há bastante tempo e descrita por muitos autores. De acordo com Peres (2002), as posturas são adotadas para realizar atividades com menor gasto energético, sendo através das posições mantidas pelo tronco, que se determina a eficiência do movimento e as sobrecargas na coluna vertebral.

Normalmente tende-se a associar a palavra postura a quadros de posição rígida, entretanto é extremamente dinâmica e se altera com perturbações muito leves, pois a posição estável não significa imóvel ou fixa <sup>3</sup>(BIENFAIT, 1999; <sup>4</sup>JEWELL, 1998; <sup>5</sup>DANIS, 1998 apud PRZYSIEZNY , 2003).

A postura humana é composta por uma associação de fenômenos biomecânicos, neurofisiológicos e neuropsíquicos que se influenciam entre si e integram-se a todo momento (MOCHIZUKI, 2001). Estas informações sensoriais que prevêm à postura são oriundas de neurosensores localizados na pele, no sistema muscular, na visão e no sistema vestibular. Portanto, estas informações sensoriais promovem as condições

---

<sup>3</sup> BIENFAIT, M. **Fáscias e pompagens**: estudo e tratamento do esqueleto fibroso. São Paulo: Summus, 1999.

<sup>4</sup> JEWELL, M. J. Visão geral da estrutura e função do sistema nervoso central. In: UMPHRED, D. A. Fisioterapia neurológica. 2 ed. São Paulo: Manole, 1998.

<sup>5</sup> DANIS, C. G. Relationship standing posture and stability. **Physical Therapy**, Riverton NJ, v. 78, n. 5, p. 502-517. mai. 1998.

mais adequadas para o desempenho das funções de forma mais eficiente e com menor risco de lesões decorrentes do trabalho (PRZYSIEZNY, 2003).

Segundo Chaffin (2000), os aspectos biomecânicos posturais são relevantes na capacidade de realização de tarefas extenuantes dos trabalhadores.

O conhecimento relacionado à postura corporal do trabalhador ganha bastante destaque dentro da ergonomia, pois segundo as posturas são parte dos elementos de análise do trabalho mais evidentes e mais negligenciados.

Postos de trabalhos mal planejados obrigam os trabalhadores a adotarem posturas inadequadas de trabalho, e caso essas posturas sejam mantidas por longo período, podem provocar fortes dores, principalmente na coluna vertebral.

### **2.3.1 Postura em pé**

Todo trabalhador adota um tipo de postura de acordo com a tarefa que executa em sua atividade laboral. Dessa forma, procura utilizar-se de uma postura que lhe seja mais agradável possível.

As forças que agem sobre a coluna incluem peso corporal, tensão nos ligamentos e músculos, pressão intra-abdominal e cargas externas aplicadas.

A capacidade da coluna de resistir a cargas tem sido estudada e a importância do apoio dos músculos do tronco na estabilização da coluna é clara.

Os músculos posturais sempre estão ativos na posição em pé, entretanto quando os segmentos estão alinhados a atividade dessa musculatura é mínima.

Quando o corpo está em equilíbrio na postura em pé, o deslocamento da linha da gravidade gera um momento para o corpo manter-se em equilíbrio. Tanto os músculos extensores da coluna como os abdominais estão em atividade para manter a postura em pé (SANTA MARIA, 2001).

A postura em pé é extremamente fadigante, pois exige trabalho estático da musculatura envolvida. A circulação sanguínea das extremidades fica diminuída, entretanto as tarefas desenvolvidas dinamicamente em pé promovem menos fadiga que aquelas realizadas estaticamente ou com pouco movimento corporal (PERES, 2002).

Segundo Messing e Kilbom (2001), vários estudos realizados em laboratório observaram que a manutenção da postura em pé interfere no retorno venoso dos membros inferiores para o coração, resultando em hipóxia tecidual e edema; estresse excessivo no disco intervertebral, principalmente nas vértebras lombares e estiramento dos ligamentos. Dados eletromiográficos demonstram a ocorrência de sinais de fadiga muscular de membros inferiores e tronco após a manutenção prolongada da postura em pé (HANSEN et al.,1998).

Estudos relatam que as posturas mantidas em pé são fonte de desconforto e disfunções (COURY,1998). Por exemplo, pode-se citar as alterações na coluna vertebral durante a postura em pé.

### **2.3.2 Posturas que envolvem levantamento e carregamento de carga**

Levantar e carregar objetos são situações comuns em algumas atividades laborais nas quais uma carga extrema é aplicada sobre a coluna. Muitos são os fatores que influenciam a carga sobre a coluna, dentre eles, grau de flexão e/ou rotação da coluna, posição do objeto e as características do objeto (tamanho, peso e forma).

O ato de manusear cargas sem respeitar as limitações do ser humano, pode acarretar sérios riscos à saúde do trabalhador. Os fatores de riscos dos distúrbios músculos esqueléticos são multifatoriais, entretanto, neste estudo, dá-se ênfase aos fatores biomecânicos que segundo Nunes (2002) estão relacionados principalmente à postura e à força.

Na Suécia realizou-se uma pesquisa pelo sindicato dos trabalhadores, na qual foi constatado que uma das principais causas dos distúrbios relacionados à saúde do trabalhador é ainda a carga física (BORG,2000).

No carregamento e levantamento manual de cargas deve-se levar em consideração o peso a fim de não acarretar riscos ocupacionais durante as atividades laborais, que vai depender, também, de uma postura adequada.

Segundo Grandjean (1998), o manuseio e movimentação de cargas têm como principal risco os problemas da coluna, os quais são dolorosos e reduzem a mobilidade e a vitalidade dos trabalhadores.

Na postura em pé, o centro de gravidade da parte superior do corpo encontra-se anterior à coluna e a linha da gravidade passa normalmente no centro da quarta vértebra, sendo assim a linha da gravidade sai ventralmente ao eixo transversal do movimento em todos níveis espinhais (SANTA MARIA, 2001).

Andersson et al. <sup>6</sup>(1976 apud SANTA MARIA, 2001) afirmam que quando um objeto é segurado próximo ao corpo, isso faz diminuir o momento resultante na coluna lombar devido à distância entre o centro de gravidade e o objeto. Dessa forma, o braço de momento gerado pelo objeto e a magnitude do momento da curvatura são menores e conseqüentemente mais baixa a carga na coluna lombar, conforme ilustra a Figura 2.10.

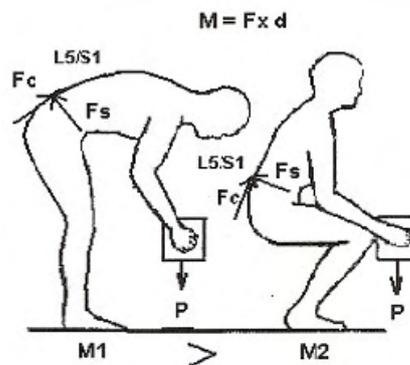


Figura 2.10 - Forças que atuam num levantamento de Peso ( $F_s$ - força de cisalhamento e  $F_c$ - força de compressão) e Momento resultante <sup>8</sup>(AMARAL, 1993 apud PELLEZZI, 2005).

Quando se levanta um objeto com o tronco em flexão anterior, as forças geradas pelo peso da parte superior do corpo e pelo peso do objeto criam um momento resultante no disco que gera um aumento da carga sobre a coluna.

Chaffin e Anderson <sup>7</sup>(1984 apud PELLEZZI, 2005) propõem que o momento de carga ao redor do disco lombossacro (L5 – S1) deveria ser utilizado como parâmetro para estabelecer os limites para o levantamento e carregamento de cargas, pois dessa

<sup>6</sup> ANDERSON, G. B. J.; ORTENGREN, R; NACHEMSON, A. Quantitative studies of back loads in luting. *Spine*. v. 1, p. 178-185, 1976.

<sup>7</sup> CHAFFIN, D. B., ANDERSSON, G. B. *Occupational Biomechanics*. New York: John Wiley & Sons ed., 1984.

<sup>8</sup> AMARAL, F. G. **O método NIOSH: método prático para avaliar cargas e o risco dorso-lombar associado**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO E SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ERGONOMIA (2; 6:1993: Florianópolis). *Anais*. Brasil, p. 240-247, 1993

forma evitaria a fadiga da musculatura extensora da lombar, principalmente ao se levantar uma carga a partir do chão, conforme ilustra a Figura 2.11.

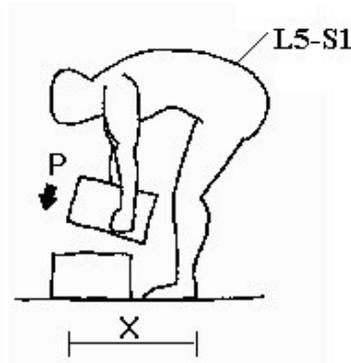


Figura 2.11 - Levantamento de carga a partir do solo e região L5-S1 <sup>8</sup>(AMARAL, 1993 apud PELLEENZ, 2005).

Nas atividades que envolvem levantamento de carga, é recomendado que esse trabalho seja realizado com os joelhos flexionados, pois nesta postura de levantamento de carga, é possível segurar o objeto junto ao tronco, conseqüentemente perto do centro de movimento da coluna.

Hamill e Knutzen (1999) afirmam que as lesões lombares causadas por levantamento de carga são conseqüência da magnitude da carga e da distância que a carga se encontra do corpo. A postura correta para o levantamento de uma carga é aquela na qual a coluna permanece ereta, os joelhos flexionados, a carga próxima ao corpo, conforme ilustra a Figura 2.12, onde dessa forma, diminui a carga imposta na coluna.



Figura 2.12 - Postura correta para levantamento de carga do solo (HAMILL; KNUTZEN,1999).

<sup>8</sup> AMARAL, F. G. O método NIOSH: método pratico para avaliar cargas e o risco dorso-lombar associado. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO E SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ERGONOMIA (2; 6:1993: Florianópolis). Anais. Brasil, p. 240-247, 1993.

Estudos demonstram que existe maior índice de lesões na coluna vertebral quando o trabalhador realiza levantamento de carga com extensão de quadril, estando os joelhos estendidos (GONÇALVES; CERQUEIRA, 2001).

Na postura em pé, no nível do disco de L5-S1, por exemplo, a compressão axial sobre o núcleo que é transferida para a periferia é na proporção de 28 Kg por centímetro linear (carga distribuída) e 16 Kg por centímetro quadrado (compressão axial) (KAPANDJI, 2000). Esses valores tornam-se ainda maiores em atividades com carga, ou que requerem flexão anterior da coluna e esforço de endireitamento da mesma (GRADJEAN; HUNTING, 1977).

A tensão na musculatura extensora de tronco aumenta com a flexão vertebral. Pellenz (2005) afirma que quando a coluna está em flexão lateral ou rotação é necessário um padrão complexo de ativação muscular. Isso gera cargas assimétricas no tronco que também fazem aumentar as cargas compressivas quanto as de cisalhamento sobre a coluna devido ao maior momento resultante. Caso essas posturas estejam associadas ao manuseio de cargas, a sobrecarga na coluna é ainda maior.

A ergonomia quando estuda as posturas adotadas pelos trabalhadores durante execuções de suas tarefas, usa princípios da biomecânica. Então é importante definir melhor essa área de conhecimento e suas divisões.

## 2.4 BASES DA BIOMECÂNICA PARA ANÁLISE DE MOVIMENTO

### 2.4.1 Conceito de biomecânica

Biomecânica é uma disciplina que tem por objetivo analisar fisicamente os sistemas biológicos e conseqüentemente o movimento do corpo humano (AMADIO, 2000). Esse termo foi adotado no início da década de 70 e está relacionado à análise mecânica dos seres vivos, para isso foi necessário utilizar conceitos e instrumentos da mecânica e da física para o estudo do movimento humano (HAMILL; KNUTZEN, 1999).

Para análise e investigação do movimento humano, podemos dividir a biomecânica em duas áreas: biomecânica interna e biomecânica externa.

A biomecânica interna preocupa-se com as forças que tem origem dentro do corpo, tais como as forças musculares, forças nos tendões, ligamentos, cartilagem articular e ossos, já a biomecânica externa estuda principalmente as forças que atuam externamente sobre o corpo humano. Assim, a biomecânica do movimento tenta explicar como as formas de movimentos dos seres humanos acontece na natureza partindo de parâmetros cinemáticos e dinâmicos (AMADIO et al., 1999).

Os métodos científicos utilizados para a investigação em biomecânica podem ser divididos segundo Amadio (2000 IN: AMADIO e BARBANTI , 2000) em:

- Teórico-dedutivo ou determinístico: baseia-se somente em leis físicas e relações matemáticas (relações causais);
- Empírico-indutivos ou indeterminístico: baseado em relações estatísticas e relações experimentais;
- Métodos combinados: baseado na combinação dos dois tipos anteriores em função do problema científico a ser tratado.

Como a biomecânica depende basicamente de resultados experimentais, é essencial que essa disciplina tenha uma grande preocupação com seus métodos de medição, pois somente assim poderá descrever de forma precisa o movimento humano. Os métodos mais utilizados pela biomecânica para a análise do movimento humano são a antropometria, cinemetria, dinamonetria e eletromiografia conforme ilustra a Figura 2.13.

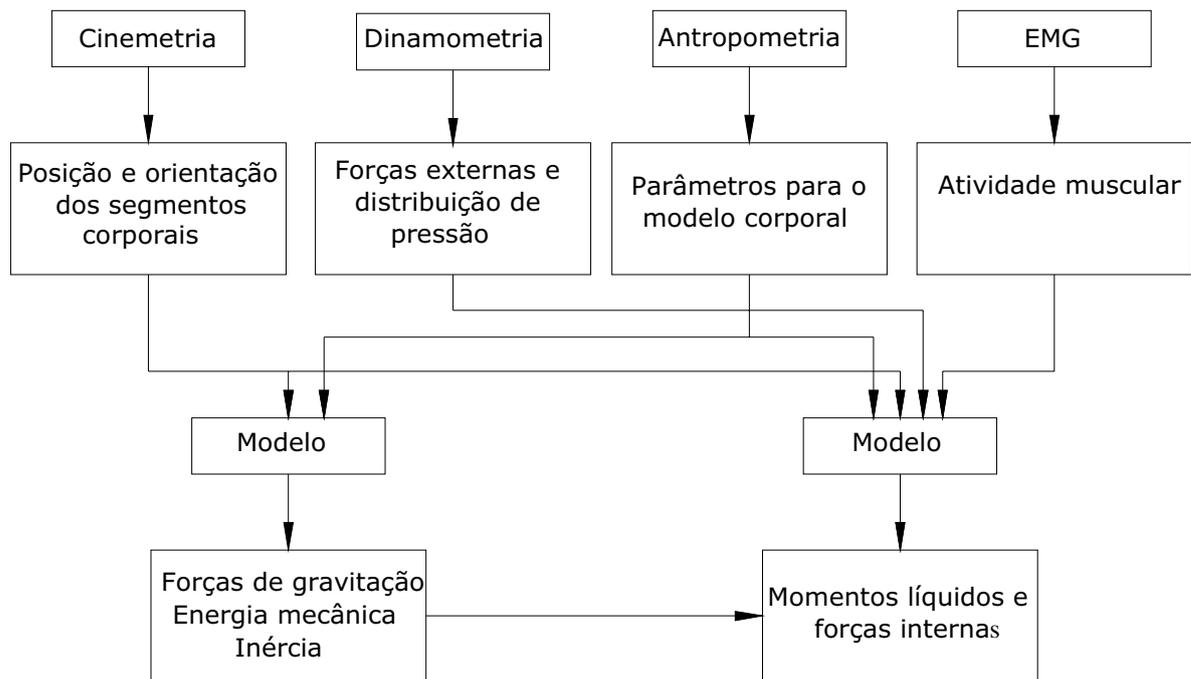


Figura 2.13 - Áreas para complexa análise biomecânica do movimento humano<sup>9</sup>(BAUMANN,1995 apud AMADIO, 1997).

Essa pesquisa utiliza principalmente princípios da cinemetria, dinamometria e antropometria para a análise dos movimentos.

#### 2.4.1.1 Dinamometria

Segundo Bauman (1995 apud AMADIO, 1997) dentre as principais preocupações da biomecânica está a determinação das forças que agem no corpo humano.

A dinamometria destina-se a medição de todos os tipos de força e pressão que agem sobre o corpo. Segundo Amadio et al. (1999) as forças mensuráveis são forças externas, determinadas a partir das interações físicas entre os corpos e o meio ambiente.

Dentre as forças externas estudadas pela biomecânica, destacam-se as forças de reação do solo transmitidas na fase de apoio em quase todos os movimentos humanos.

<sup>9</sup> BAUMANN, W. Procedimentos para determinar as forças internas na biomecânica do ser humano, aspectos da carga e sobrecarga nas extremidades inferiores. VI Congresso Brasileiro de Biomecânica. Brasília. Conferência de Abertura, 1995.

Neste estudo não é diferente, pois dentre os parâmetros biomecânicos envolvidos estão a força de reação vertical do solo e o centro de massa, sendo que a força de reação do solo relaciona-se com o movimento do centro de massa corporal (HAMILL; KUTZEN, 1999; <sup>10</sup>MEGLAN;TODD, 1994 apud BARELA; DUARTE, 2006).

#### 2.4.1.1.1 Força de reação do solo

Dentre os estudos biomecânicos, a força de reação do solo é muito utilizada como componente descritivo primário para indicar a sobrecarga no aparelho locomotor durante a fase de apoio, principalmente em pesquisas que investigam a marcha (AMADIO et al.,1999).

Uma força é consequência da interação entre dois corpos. A terceira Lei de Newton estabelece que para toda força de ação corresponde uma força reação de igual intensidade, direção e sentido oposto. Assim, as forças de ação e reação agem em corpos diferentes em contato.

Durante os movimentos humanos, a força de reação do solo é a força proporcionada pela condição superficial na qual o indivíduo está se movendo. Dessa forma, todas as condições superficiais proporcionam uma força de reação.

Segundo Hamill e Knutzen (1999) a força de reação do solo pode mudar em magnitude, direção e ponto de aplicação em virtude do período de contato que o indivíduo está com a superfície.

Ainda, segundo os autores, por se tratar de uma força, a força de reação do solo é um vetor e para fins de análise pode ser decomposta em três componentes: componente vertical ( $F_z$ ), componente ântero-posterior ( $F_y$ ) e componente médio-lateral ( $F_x$ ). Esses componentes da força de reação são ilustrados na Figura 2.14.

---

<sup>10</sup> MEGLAN, D.; TODD, F. Kinetics of human locomotion. In: ROSE, J.; GAMBLE, G. **Human walking**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. Kinectis of human locomotion, p.73-99.

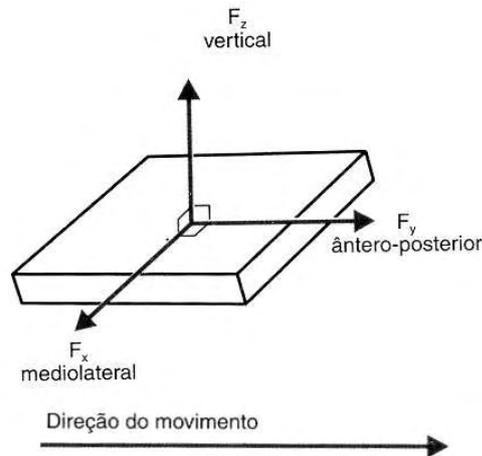


Figura 2.14 - Componentes da força de reação do solo (HAMILL; KNUTZEN,1999)

Como pode-se observar na Figura 2.14; os componentes ântero-posterior e o médio-lateral agem na horizontal e são chamados de componentes de atrito, pois atuam paralelamente à superfície do solo.

Os dados sobre a força de reação do solo têm sido usados em várias pesquisas para investigar várias atividades. No entanto, o que pode-se perceber é que esses estudos destinam-se a estudar a fase de apoio do andar, corrida e aterrissagem dos saltos.

A força de reação também tem sido utilizada para análise biomecânica da marcha no processo de reabilitação, como no estudo de Aguiar (2003) que investigou as variáveis biomecânicas da marcha de um indivíduo com reconstrução cirúrgica do ligamento cruzado anterior já reabilitado, e em relação aos parâmetros clínicos apresentados por esse paciente.

Pode-se observar também nos estudos biomecânicos que o componente vertical ( $F_z$ ) da força de reação do solo tem ganhado grande destaque, talvez por apresentar uma magnitude maior que os outros componentes.

Conforme Hamill e Knutzen (1999) existem alguns métodos para o cálculo dos componentes da força de reação:

- Componente vertical:

$$F_V(t) = F_Z(t) - W \quad (1)$$

- Componente horizontal:

$$F_h(t) = F_y(t) \quad (2)$$

onde:  $W$  – força peso ou força gravitacional (força externa)

$F_z(t)$  – forças de reação do solo na direção vertical

$F_y(t)$  – força de reação do solo na direção horizontal

A força de reação do solo não é visível e não pode ser avaliada durante um exame clínico. Entretanto, essa força pode ser medida por uma plataforma de força.

A plataforma de força é um equipamento que pode ser construído com sensores de deformação (extensômetros de resistência elétrica) colados em locais com maior deformação. Estes sensores medem a deformação de uma peça metálica (FILHO et al., 1997). Existe também um outro tipo de plataforma, a qual utiliza sensores piezoelétricos.

Esse equipamento quantifica a variação dinâmica da força de reação do solo durante a fase de contato entre os corpos (AMADIO et al., 1999).

Segundo Barela e Duarte (2006) existem diversas maneiras de construir uma plataforma de força segundo o posicionamento dos extensômetros. Destacando-se três em particular:

- 1- Plataforma com único sensor no centro.
- 2- Plataforma triangular com sensores nos três cantos.
- 3- Plataforma retangular com sensores nos quatros cantos.

Vários pesquisadores têm se dedicado ao desenvolvimento de plataformas de força, dentre eles destacam-se Hull et al. (1995) que em seu estudo desenvolveram e calibraram uma plataforma de força para medição das forças de reação do solo verticais e horizontais utilizando anéis octogonais para a fixação dos extensômetros.

Filho et al. (1997) projetaram duas plataformas de força que foram acopladas numa esteira ergométrica para aquisição da força de reação do solo, componente vertical ( $F_z$ ) e momentos  $M_x$  e  $M_y$ , para avaliação da marcha humana.

Roesler e Tamagna (1997) também desenvolveram uma plataforma de força com o intuito de medir a força de reação do solo ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) e os momentos ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ), sendo esta plataforma direcionada para utilização em pesquisas que envolvem hidroginástica, a qual é à prova d'água. Para o desenvolvimento dessa plataforma

foram utilizados extensômetros ligados a um circuito Ponte de Wheatstone e colados a uma estrutura que se deforma.

A aquisição dos dados utilizando uma plataforma de força é relativamente simples, pois à medida que o indivíduo pisa na plataforma e a força é aplicada sobre ela, a deformação correspondente é detectada pelos extensômetros, então os sinais elétricos são amplificados e armazenados num computador. Para isso é necessário a utilização de cabos elétricos para transmissão dos dados entre os equipamentos (BARELA; DUARTE, 2006).

A Figura 2.15 ilustra a aquisição e processamento do sinal com uso de plataforma.

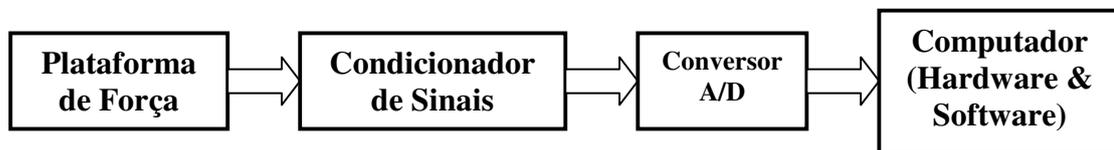


Figura 2.15 - Representação esquemática de um arranjo experimental típico para aquisição e processamento do sinal com uso de plataforma de força (BARELA; DUARTE, 2006).

#### 2.4.1.2 Antropometria

A antropometria é o estudo das medidas físicas do corpo (OLIVEIRA,1998). Esse método de medição sistematizada vem sendo empregado para determinar as características e propriedades do aparelho locomotor como a forma de segmentos corporais, distribuição de massa, posições articulares, composição corporal, braço de alavanca entre outros. Assim, representa uma vasta fonte de informações a respeito do ser humano (AMADIO et al., 1999).

A Biomecânica utiliza-se de modelos antropométricos como recurso para descrever e fundamentar seus estudos, pois esses modelos contêm parâmetros necessários para a construção de um modelo biomecânico da estrutura analisada.

Melo e Santos (2000) afirmam que a antropometria em biomecânica se utiliza de modelos que representam o corpo humano, entretanto independentemente do modelo

escolhido, este deve permitir o cálculo de três parâmetros fundamentais: massa, centro de massa e momento de inércia. Pois, esses parâmetros são muito utilizados para análise quantitativa do movimento humano.

#### 2.4.1.2.1 Modelos antropométricos

A literatura descreve vários modelos antropométricos utilizados em biomecânica, os quais foram construídos aplicando leis da mecânica na construção de modelos matemáticos do corpo humano.

Dentre esses modelos destaca-se: o modelo de Hanavam (1964), modelo de Jensen (1978), modelo de Hatze (1980), modelo de Yedon (1989), modelo Zatsiorsky (1984) e modelo de Dempster descrito por Winter (1990) (MELO; SANTOS, 2000).

Winter (1990) descreveu os resultados de vários autores e apresenta um modelo antropométrico constituído de 13 segmentos. Esse modelo mostra as dimensões dos segmentos baseados nos estudos em cadáveres realizados por Dempster. Winter apresenta um conjunto de valores médios para as dimensões dos segmentos expressos como porcentagens da altura e massa do corpo. Essas dimensões servem somente como aproximações para o caso onde não há melhores dados, preferivelmente as medidas feitas no sujeito.

Nesse modelo, a massa de cada segmento é dada em função da massa total, e o centro de massa, bem como o raio de giro desses segmentos, em função de seus comprimentos. Esses dados são compilados de Dempster (1955).

Tabela 2.2 - Dados antropométricos (WINTER, 1990).

Segmento	Massa do segmento / Massa Corporal Total
Mão	0,006 M
Antebraço	0,016 M
Braço	0,028 M
Antebraço e Mão	0,022 M
Pé	0,0145M
Perna	0,0465M
Coxa	0,100 M
Pé e Perna	0,061 M
Coxa + Perna + Pé	0,161 M
Cabeça e Pescoço	0,081 M
Tronco	0,497 M

#### 2.4.1.3 Cinemetria

Um grande número de pesquisas dedica-se a entender o movimento e várias técnicas tem sido desenvolvidas para registrar e analisar esses movimentos.

Cinemetria consiste no registro de imagens que permitem determinar a posição e a orientação dos segmentos corporais, buscando medir os parâmetros cinemáticos do movimento (posição, orientação, velocidade e aceleração) (AMADIO et al., 1999).

O registro dos movimentos normalmente é feito por meio de equipamentos de vídeo e depois as imagens são processadas através de um *software* específico o qual calcula os parâmetros cinemáticos de interesse.

É necessário antes da filmagem do movimento, realizar a filmagem da calibração por câmeras posicionadas num só plano (estudos bidimensionais), ou em diversos planos (estudos tridimensionais). É a partir da calibração que se torna possível fazer a conversão das coordenadas de calibração obtidas, em coordenadas reais.

Para a reconstrução das imagens em coordenadas espaciais um dos métodos mais utilizados é o *Direct Linear Transformation* (DLT). Neste método duas câmeras devem focalizar um sistema de referência espacial (calibrador) com no mínimo seis pontos cujas coordenadas são previamente conhecidas e necessárias, as quais são

utilizadas nas devidas calibrações das câmeras. Então são utilizados onze coeficientes, determinantes de orientações internas e externas para o sistema câmera-objeto, outras referências são obtidas a partir dos pontos de referência (calibrador) cujas coordenadas cartesianas (x,y,z) são conhecidas. A partir daí são formadas equações para cada ponto pertencente ao calibrador referentes à orientação das duas câmeras. Então essas coordenadas da câmera podem ser transformadas para coordenadas reais espaciais utilizando um *software* específico (SANTA MARIA, 2001).

A precisão das medidas reais dos pontos de referência é de extrema importância, pois é através delas que levam ao cálculo dos coeficientes e conseqüentemente a determinação das coordenadas reais.

#### 2.4.1.4 Eletromiografia

É o estudo da atividade muscular por meio da representação gráfica da atividade elétrica do músculo produzido durante as contrações musculares.

Para captação dos sinais eletromiográficos são utilizados eletrodos que podem ser colocados sobre a pele (superfície) ou no interior do músculo (invasivo).

Existem diversos estudos em biomecânica e ergonomia que utilizam desse método de medição para captar a tensão muscular em determinados movimentos executados durante algum tipo de esporte ou durante a execução de movimentos relacionados a tarefas laborais.

## 2.5 DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA (CM)

### 2.5.1 Determinação analítica do centro de massa (CM)

Centro de massa (CM) é o ponto sobre o qual a massa do corpo está igualmente distribuída em todas as direções. Então, o centro de massa é também o ponto de equilíbrio do corpo (HAMILL; KNUTZEN,1999).

Também pode ser definido como o ponto sobre o qual a soma dos torques equivale a zero, isto é:

$$\sum T_{CM} = 0 \quad (3)$$

Se considerarmos que todos os elementos de massa do corpo sofrem a ação da mesma força da gravidade, o que é verdade para situações do cotidiano, o centro de massa é idêntico ao centro de gravidade (CG), o ponto em torno do qual o peso do corpo está distribuído em todas as direções.

A posição do centro de massa pode variar a cada instante durante um movimento, devido aos deslocamentos frequentes que ocorrem nos vários segmentos do corpo humano.

Segundo Okuno e Fratin (2003) o centro de massa pode ser calculado através do método analítico de determinação do centro de massa.

A equação 4 fornece a massa total  $M$  em função das massas  $m_i$  dos segmentos:

$$M = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad (4)$$

A equação 5 fornece o peso total  $P$  em função dos pesos parciais  $P_i$  dos segmentos:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

A equação 5 também pode ser escrita como:

$$Mg = m_1g + m_2g + \dots + m_ng = \sum_{i=1}^n m_i g \quad (6)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade

A equação 7 fornece o respectivo torque total  $T$  em função dos torques parciais  $T_i$ .

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = \sum_{i=1}^n T_i \quad (7)$$

As coordenadas do centro de massa  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  são obtidas respectivamente através da equação 7.

a) Cálculo da coordenada  $X_{CM}$  (abscissa do centro de massa)

A equação 7 pode ser reescrita em função do torque devido as coordenadas  $x_i$  e  $X_{CM}$ :

$$P \cdot X_{CM} = P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_n x_n = \sum_{i=1}^n P_i x_i \quad (8)$$

Substituindo os pesos parciais  $P_i$  pelos respectivos produtos das massas  $m_i$  pela aceleração da gravidade  $g$ , temos:

$$MgX_{CM} = m_1gx_1 + m_2gx_2 + \dots + m_ngx_n = \sum_{i=1}^n m_i x_i g \quad (9)$$

ou de forma simplificada, temos:

$$MX_{CM} = m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n = \sum_{i=1}^n m_i x_i \quad (10)$$

Da equação 10, obtém-se a coordenada  $X_{CM}$

$$X_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{M} \quad (11)$$

b) Cálculo da coordenada  $Y_{CM}$  (ordenada do centro de massa)

A equação 7 pode ser reescrita em função do torque devido as coordenadas  $y_i$  e  $Y_{CM}$ :

$$P \cdot Y_{CM} = P_1y_1 + P_2y_2 + \dots + P_n y_n = \sum_{i=1}^n P_i y_i \quad (12)$$

A coordenada  $Y_{CM}$ , ordenada do centro de massa, obtém-se de maneira análoga:

$$Y_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{M} \quad (13)$$

c) Cálculo da coordenada  $Z_{CM}$

A equação 7 pode ser reescrita, em função do torque devido as coordenadas  $z_i$  e  $Z_{CM}$ :

$$P \cdot Z_{CM} = P_1 z_1 + P_2 z_2 + \dots + P_n z_n = \sum_{i=1}^n P_i z_i \quad (14)$$

A coordenada  $Z_{CM}$ , ordenada do centro de massa, obtém-se de maneira análoga:

$$Z_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{M} \quad (15)$$

## 2.5.2 Determinação experimental do centro de massa (CM)

Amadio e Mochizuki (2003) afirmam que os métodos experimentais encontrados na literatura para a determinação do centro de massa são: cinemático, cinético e filtragem.

### 2.5.2.1 Método cinemático

Pelo método cinemático as posições e os centros de massa de cada segmento corporal são conhecidos. Nesse método, os procedimentos requerem o monitoramento do movimento por meio de um marcador fixado no corpo, que normalmente é posicionado sobre a coluna e próximo ao quadril, cuja localização pré-estabelecida representa de antemão o centro de massa. As falhas desse método estão associadas aos modelos antropométricos utilizados, os quais estão associadas a erros de medição.

### 2.5.2.2 Método cinético

O método cinético é baseado nos princípios da mecânica e o centro de massa pode ser determinado por meio de dois modos distintos. No primeiro modo a força horizontal é dividida pela massa com o intuito de obter a aceleração horizontal, sendo

depois integrada duas vezes em relação ao tempo  $t$ , para obter a linha da gravidade (LG), que passa verticalmente ao centro de massa. No segundo modo, o centro de massa pode ser mensurado por meio da derivada temporal do momento angular do centro de massa, a qual é igual ao torque total do sistema. A dificuldade reside no cálculo das constantes de integração posição e velocidade inicial do corpo.

### 2.5.2.3 Método de filtragem

O método de filtragem é simples, em face da coincidência de localização que ocorre entre o centro de massa (CM) e o centro de pressão (COP), em baixas frequências de oscilações. O centro de pressão é o ponto de aplicação da resultante das forças verticais agindo sobre a superfície de suporte e normalmente é mensurado por uma plataforma de força.

Como as frequências de oscilação do centro de pressão (COP) são superiores às do centro de massa CM, oscilações então dos COP ocorrem em torno do CM.

Para neutralizar estas frequências superiores do COP, utiliza-se um filtro passa-baixa, propiciando-se com isto a determinação do CM, a partir do COP.

### 2.5.3 Estado da arte envolvendo o centro de massa

Várias pesquisas têm se destinado, há alguns anos, ao estudo da localização do centro de massa corporal e sua trajetória.

Murray et al. (1967) estudaram uma plataforma de força para mensurar a força de reação vertical do solo, atuantes nos indivíduos e registros fotográficos foram feitos e utilizados para calcular o centro de gravidade do corpo a partir dos deslocamentos dos centros de massa dos segmentos corporais, oriundos de atividades como pular; levantar a partir da posição agachada até atingir a postura ereta; e vice-versa. Segundo os autores, a utilização concomitante da fotografia com plataforma de força era o único meio de mensurar e verificar as variações ocorridas nas forças de reação com os deslocamentos do centro de gravidade provenientes de atividades dinâmicas.

Kingma et al. (1995) afirmam que a posição ou trajetória do centro de massa é um parâmetro importante quando se estuda postura ou movimento, porém as principais dificuldades para determinar esse parâmetro, são as estimativas de massas e centros de massa corporais os quais geralmente estão associados a erros. Então para amenizar estes erros, e conseqüentemente otimizar a determinação do centro de massa, os autores adotaram três posturas distintas, as quais estão associadas a um determinado ângulo de inclinação do tronco. As relações obtidas entre o centro de pressão, força de reação e a projeção vertical do centro de massa foram utilizadas para determinar com maior precisão a localização do centro de massa de um indivíduo.

Levin e Mizrahi (1996) afirmam que a determinação da trajetória do centro de gravidade do corpo pode ser obtida a partir da força de reação do solo, centro de pressão e aplicação de equações do movimento. No estudo desenvolvido por esses autores, eles estimaram a trajetória do centro de gravidade na postura em pé quase-estática a partir da mensuração das forças de reação do solo e centro de pressão bilateralmente, utilizando duas plataformas de força, nas quais cada um dos membros inferiores ficava apoiado.

Caron et al. (1997) estimaram a posição horizontal do centro de gravidade do corpo na postura em pé baseados na posição horizontal do centro de pressão. Para isso utilizaram uma plataforma de força e um filtro passa-baixo, pois a frequência de oscilação do centro de massa é menor que a do centro de pressão. Os dados obtidos com a plataforma foram comparados com os do método de filtragem, sendo encontrado pequena diferença, confirmando a eficiência também do método de filtragem.

Lafond et al. (2004) compararam em seu estudo os três métodos mais utilizados na biomecânica para determinação do centro de massa: método cinemático, a técnica GLP e o de filtragem, observando valores distintos para o centro de massa.

### **3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS – MÉTODOS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem como finalidade descrever e ilustrar os respectivos procedimentos experimentais utilizados nos ensaios.

#### **3.2 LOCAL DE EXECUÇÃO**

Este estudo foi desenvolvido e realizado no Laboratório de Biomecânica do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP.

#### **3.3 AMOSTRA**

A amostra foi composta de seis sujeitos do sexo masculino, sendo estes alunos do curso de educação física da Escola Superior de Cruzeiro, os quais participaram do estudo como voluntários. Eles foram esclarecidos sobre o objetivo da pesquisa e informados que seriam filmados e fotografados, sendo garantida segurança e sigilo durante a pesquisa. O termo de consentimento assinado individualmente pelos participantes foi feito de acordo com a resolução do Conselho Nacional de Saúde que regulamenta estudos envolvendo humanos (ANEXO 1).

##### **3.3.1 Seleção da amostra**

Os indivíduos foram selecionados segundo parâmetros antropométricos e todos naquele momento não possuíam nenhum tipo de doença ou deficiência física a qual pudesse impedir a realização do teste.

##### **3.3.2 Registro dos dados individuais da amostra**

A Tabela 3.1 apresenta as características individuais coletadas da amostra.

Tabela 3.1 - Características da amostra.

Sujeitos	Idade	Peso (N)	Estatura (m)
1	22	779,10	1,74
2	23	720,30	1,74
3	22	849,70	1,81
4	21	563,50	1,64
5	20	654,64	1,72
6	28	752,64	1,74
Média	22,66	719,98	1,73
DP	2,80	100,14	0,05

### 3.4 BANCADA EXPERIMENTAL UTILIZADA

#### 3.4.1 Para mensuração da força de reação vertical ( $F_z$ )

##### 3.4.1.1 Plataformas de força

Para realização dos ensaios foram utilizadas duas plataformas de força, com a finalidade de se obter as forças de reação vertical do solo ( $F_z$ ), provenientes dos esforços produzidos pelos respectivos apoios dos pés dos sujeitos (membros inferiores) sobre as mesmas.

As plataformas foram posicionadas lado a lado, conforme ilustra a Figura 3.1.



(2)

(1)

Figura 3.1 - Plataformas de força utilizadas – (2) direita (apoio do pé direito); (1) esquerda (apoio do pé esquerdo).

### 3.4.1.1.1 Montagem da plataforma de força 1

A Figura 3.2 mostra por meio de um desenho esquemático, a montagem da plataforma de força 1.

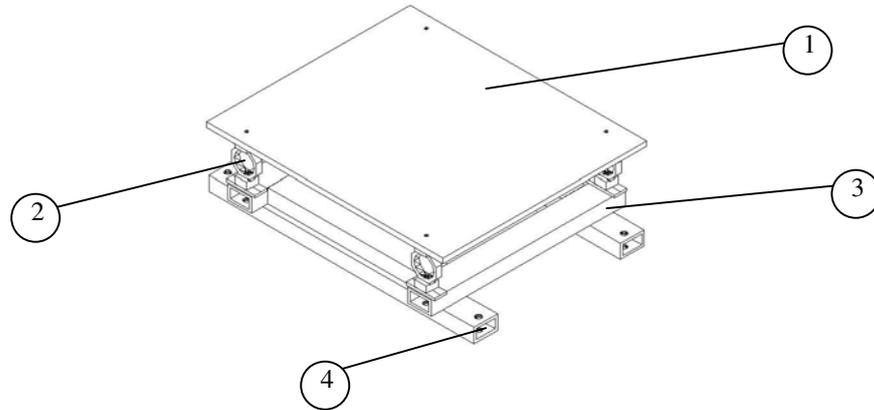


Figura 3.2 - Plataforma de força 1.

A plataforma de força 1, como mostra a Figura 3.2, é constituída dos seguintes itens conforme Tabela 3.2.:

Tabela 3.2 - Características da Plataforma 1.

	<b>1- Piso</b>	<b>2 -Anéis</b>	<b>3-Suporte superior</b>	<b>4- Suporte inferior</b>
Dimensões: (mm)	455 x 455 x 10	vide Figura 3.3	410 x 50 x 30	560 x 50 x 30
Material:	aço 1020	aço SAE 1045	metalon	metalon
Quantidade:	01	04	02	02

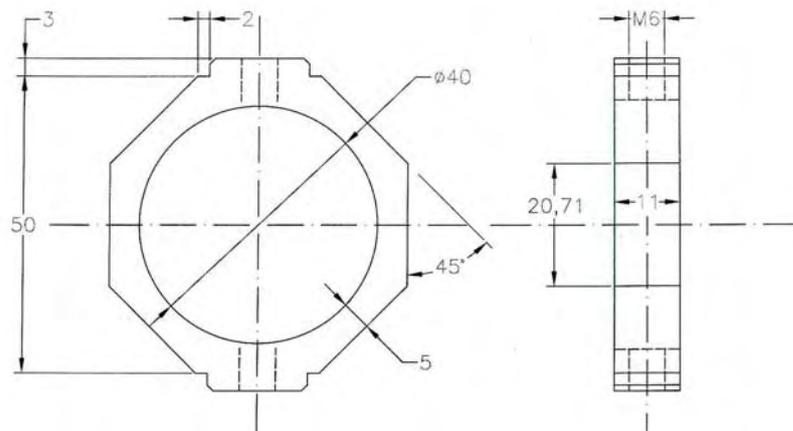


Figura 3.3 - Detalhe do anel octogonal regular – vista frontal.

#### 3.4.1.1.2 Montagem da plataforma de força 2

A montagem da plataforma de força 2 é idêntica à da plataforma de força 1, a qual apresenta os mesmos itens constituintes, porém com as dimensões (mm) do piso maiores (500 x 500 x 10).

A Figura 3.4 mostra o esquema da plataforma de força 2.

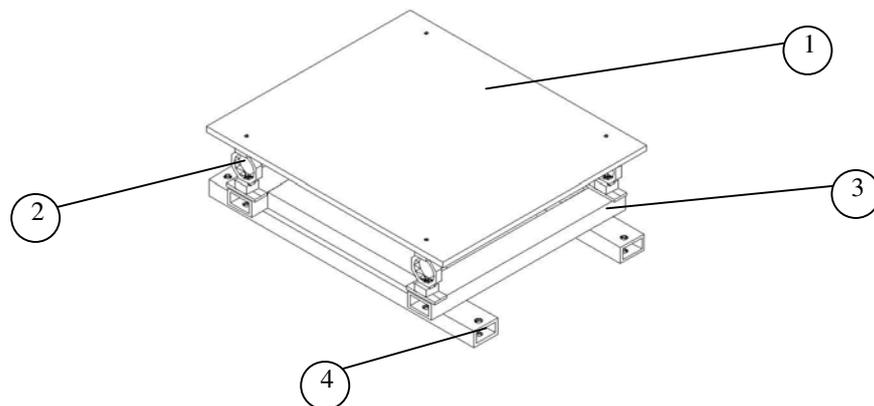


Figura 3.4 - Plataforma de força 2.

#### 3.4.1.2 -Pesos utilizados

Os pesos utilizados nos ensaios tem como objetivo simular determinados valores de cargas reais impostas a trabalhadores, decorrentes de uma determinada tarefa que envolve a movimentação do tronco num determinado posto de trabalho.

Nos ensaios foram utilizados respectivamente três pesos de 50 N, conforme ilustra a Figura 3.5.



Figura 3.5 - Pesos utilizados nos ensaios.

Esses pesos foram aferidos por meio de uma balança digital com o intuito de compará-los, com os pesos anunciados pelo fabricante, sendo encontrado os seguintes valores, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Pesos aferidos.

<b>Pesos</b>	<b>Fabricante (N)</b>	<b>Aferido (N)</b>
1	50	50,50
2	50	50,55
3	50	51,25

#### 3.4.1.3 Suportes de madeira para os pesos

Os dois suportes de madeira, os quais apresentam dimensões idênticas, conforme ilustra a Figura 3.6, foram utilizados nos ensaios, com a finalidade de apoio inicial e final dos respectivos pesos referente a uma determinada tarefa executada pelos sujeitos (ensaios).



Figura 3.6 - Suportes de madeira.

Um dos suportes foi posicionado à frente e entre às duas plataformas de força, onde permaneceu durante todo o ensaio (suporte 1). O outro suporte de madeira (suporte 2) alternou de posição, sendo colocado ao lado da plataforma 1 (50 cm de distância da lateral interna) (lado esquerdo) ou ao lado da plataforma 2 (50 cm de distância da lateral interna) (lado direito), dependendo do sentido do movimento de rotação de tronco realizado pelas amostras.

A Figura 3.7 ilustra um dos posicionamentos dos suportes utilizados nos ensaios (rotação do tronco a direita).

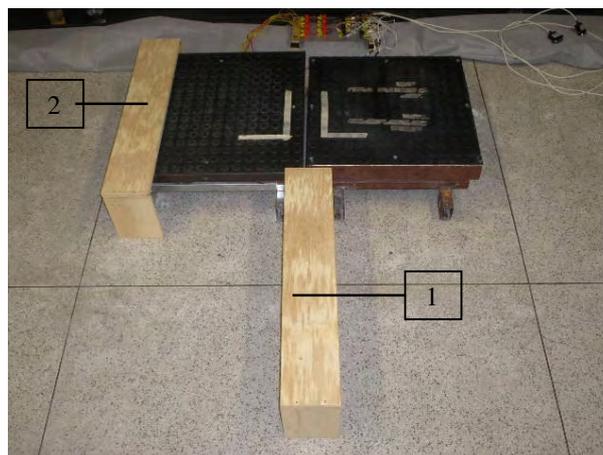


Figura 3.7 - Posicionamento dos suportes de madeira – 1) frontal; 2) lateral direita.

### 3.4.1.4 Extensômetros elétricos

#### 3.4.1.4.1 Colagem dos extensômetros elétricos nos anéis

Os extensômetros elétricos de resistência (strain-gages) foram utilizados com a finalidade de avaliar as intensidades das forças de reação verticais  $F_z$  (mV), às quais são obtidas indiretamente em função das deformações ocorridas nos anéis que compõem a estrutura das plataformas de força.

A Figura 3.8 ilustra através de um desenho esquemático a montagem dos extensômetros elétricos, realizada em cada um dos anéis (8), que compõem as estruturas das duas plataformas. Na montagem destes extensômetros foi utilizado o circuito Ponte Completa de Wheatstone, sendo que somente os extensômetros  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$  são ativados para a mensuração de forças verticais.

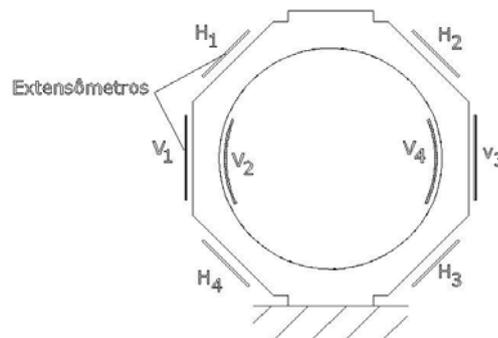


Figura 3.8 - Colagem dos extensômetros elétricos no anel octogonal regular.

#### 3.4.1.4.2 Características dos extensômetros elétricos

A Tabela 3.4 apresenta as características dos extensômetros elétricos utilizados nas duas plataformas de força.

Tabela 3.4 - Características dos extensômetros elétricos.

Características	Plataforma 1	Plataforma 2
Marca:	Kyowa	Kyowa
Modelo:	KFG-3-120-9-11	KFG-3-350-C1-11
Tipo:	unidirecional	unidirecional
Resistência e tolerância:	120,2 $\Omega$ / $\pm$ 0,2 $\Omega$	349,4 $\Omega$ / $\pm$ 0,6 $\Omega$
Fator do extensômetro:	2,10 $\pm$ 1,0 %	2,12 $\pm$ 1,0 %
Elemento resistor:	Cu - Ni	Cu - Ni
Resistência a fadiga	12 x 10 <sup>6</sup> ciclos	12 x 10 <sup>6</sup> ciclos
Faixa de temperatura compensada:	10 $\pm$ 150°C	10 $\pm$ 150°C
Nível de deformação:	$\pm$ 1,5 x 10 <sup>-6</sup>	$\pm$ 1,5 x 10 <sup>-6</sup>
Coeficiente de dilatação térmica:	11,7 ppm/°C	11,7 ppm/°C

#### 3.4.1.5 Spider 8 (HBM)

Sistema de medição eletrônico para computador, para medidas elétricas de variáveis mecânicas, tais como: deformação, força, pressão e aceleração.



Figura 3.9 - Spider 8 (HBM).

#### 3.4.1.6 Microcomputador (PC)

Registra e manipula os dados obtidos por meio do *software* CATMAN 3.1 da HBM. Os dados adquiridos de sinais de extensômetros foram armazenados em um microcomputador PC – Pentium IV.



Figura 3.10 - Microcomputador.

### 3.4.2 Dados cinemáticos para localização do centro de massa (CM)

#### 3.4.2.1 Filmadoras

O sistema de captura de imagens foi composto por duas filmadoras idênticas responsáveis pela medição dos parâmetros espaciais (coordenadas) e temporais. Após a captura das imagens utilizou-se um programa computacional específico (Quintic Player CIS) para desentrelaçar os quadros obtidos na filmagem, com intervalos específicos de 0,0333s.

##### 3.4.2.1.1 Características das filmadoras

A Figura 3.11 ilustra uma das filmadoras (2), utilizadas nos ensaios a qual apresenta as seguintes características:

- Marca: JVC
- Modelo: Gr – D35 U
- Frequência de captura de imagem: 30 Hz
- Velocidade do obturador: 1:100 s



Figura 3.11 - Filmadora JVC.

#### 3.4.2.1.2 Posicionamento relativo das filmadoras

##### 3.4.1.4.2.1 Com relação ao solo

As duas filmadoras foram posicionadas sobre tripés os quais se mantiveram apoiados sobre um tablado de madeira. Estas filmadoras permaneceram numa altura constante (tripé + tablado) de 1,30 m. A Figura 3.12 ilustra a filmadora fixada no tripé, e a sua posição relativa ao solo.



Figura 3.12 - Altura relativa da filmadora com o solo (1,30 m).

As filmadoras foram denominadas de filmadora 1 e filmadora 2, sendo posicionadas dentro do laboratório, conforme mostra o esquema da Figura 3.13.

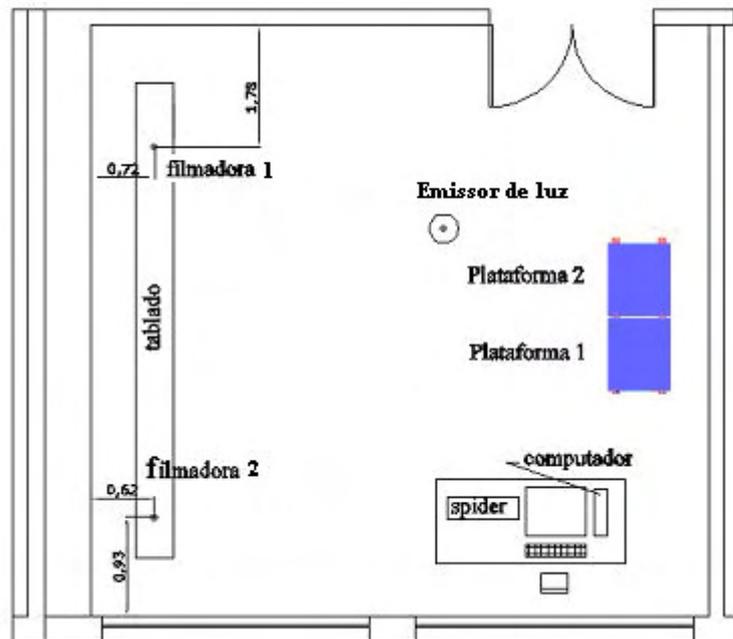


Figura 3.13- Desenho esquemático da bancada experimental utilizada.

### 3.4.3 Instrumentos de medidas

#### 3.4.3.1 Balança

Tabela 3.5 - Característica da balança.

Marca	Escala	Resolução mínima
WELMY	0 - 150 Kg	100 g

#### 3.4.3.2 Estadiômetro

Tabela 3.6 - Característica do Estadiômetro.

Marca	Escala	Resolução mínima
WELMY	0 - 2 m	0,5 cm

## 3.5 ENSAIOS DE CALIBRAÇÕES

### 3.5.1 Plataformas de força – calibração estática

#### 3.5.1.1 Procedimentos utilizados na calibração das plataformas de força

O ensaio de calibração de cada uma das plataformas de força foi realizado no Laboratório de Biomecânica do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP. Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Pesos de 5 kg, 10 kg e 15 kg
- Spider 8 (HBM)
- Microcomputador (PC)

Foram realizados ensaios independentes para cada uma das plataformas de força com o intuito de levantar a curva de calibração de cada uma delas, ou seja, as cargas verticais proporcionadas pelos pesos (N) *versus* as respectivas tensões de saída (mV), fornecidas pelo Spider 8.

As deformações ocorridas nos anéis ( $\epsilon_f$ ) correspondem às aplicações dos pesos (N) sobre a plataforma, sendo essas proporcionais às variações de tensões de saída (mV), fornecida pela ponte de extensometria (circuito ponte completa), previamente acoplada no módulo Spider 8, e dada por:

$$\epsilon_f = \frac{4}{K} \cdot \frac{\Delta E}{V} \quad (16)$$

$\epsilon_f$ - deformação específica do anel

K – fator do extensômetro

$\Delta E$  – tensão de saída da ponte Wheatstone

V – tensão da ponte

#### 3.5.1.2 Valores experimentais de tensões (mV) obtidos

As Tabelas 3.7 e 3.8 exibem os valores médios das tensões de saída (mV) em função da variação dos pesos (N) aplicados durante os ensaios de calibração das plataformas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3.7 - Valores médios das tensões de saída (mV) em função das cargas aplicadas (N) na plataforma 1.

<b>Plataforma 1</b>			
<b>Carga (N)</b>	<b>Tensões de saída (mV)</b>		
	<b>Carregamento 1</b>	<b>Carregamento 2</b>	<b>Valor médio</b>
0	0	0	0
98,784	0,027	0,027	0,027
197,911	0,054	0,054	0,054
297,234	0,083	0,082	0,082
394,058	0,109	0,110	0,109
493,332	0,137	0,137	0,137
595,154	0,165	0,166	0,166
703,052	0,196	0,196	0,196
809,480	0,225	0,226	0,225
910,616	0,253	0,254	0,254
1010,674	0,280	0,281	0,281
1111,614	0,308	0,309	0,309
1209,614	0,336	0,336	0,336
1315,454	0,365	0,366	0,366

Tabela 3.8 - Valores médios das tensões (mV) de saída em função das cargas aplicadas (N) na plataforma 2.

<b>Plataforma 2</b>			
<b>Carga (N)</b>	<b>Tensões de saída (mV)</b>		
	<b>Carregamento 1</b>	<b>Carregamento 2</b>	<b>Valor médio</b>
0	0	0	0
98,784	0,029	0,030	0,029
197,911	0,059	0,060	0,059
297,234	0,089	0,090	0,090
394,058	0,119	0,119	0,119
493,332	0,149	0,149	0,149
595,154	0,180	0,180	0,180
703,052	0,213	0,213	0,213
809,480	0,245	0,246	0,245
910,616	0,276	0,277	0,276
1010,674	0,306	0,307	0,307
1111,614	0,337	0,338	0,337
1209,614	0,367	0,367	0,367
1315,454	0,399	0,400	0,400

### 3.5.1.3 Curva de calibração

As curvas de calibração das plataformas foram obtidas utilizando o método da regressão linear simples, na qual a equação da reta é dada por:

$$Y = A + Bx \quad (17)$$

Onde:

Y- carga (N)

X- tensão de saída (mV)

Os coeficientes A e B são dados por:

$$A = \frac{\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i Y_i \sum X_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (18)$$

$$B = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (19)$$

As Figuras 3.14 e 3.15 ilustram as curvas de calibração obtidas para as plataformas 1 e 2, respectivamente.

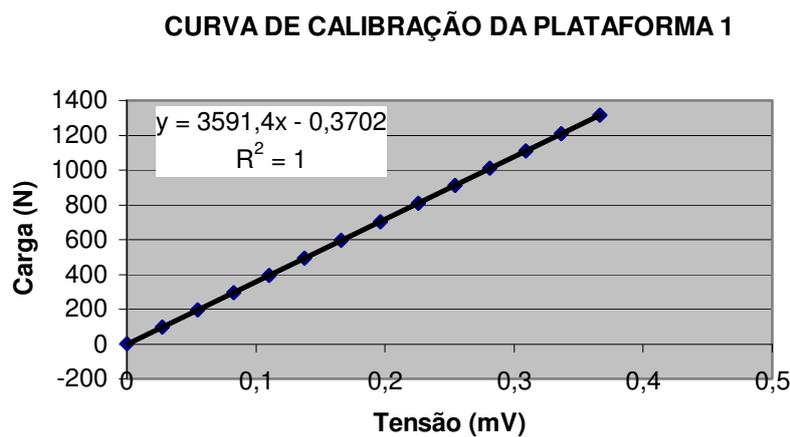


Figura 3.14 - Curva de calibração da plataforma 1.

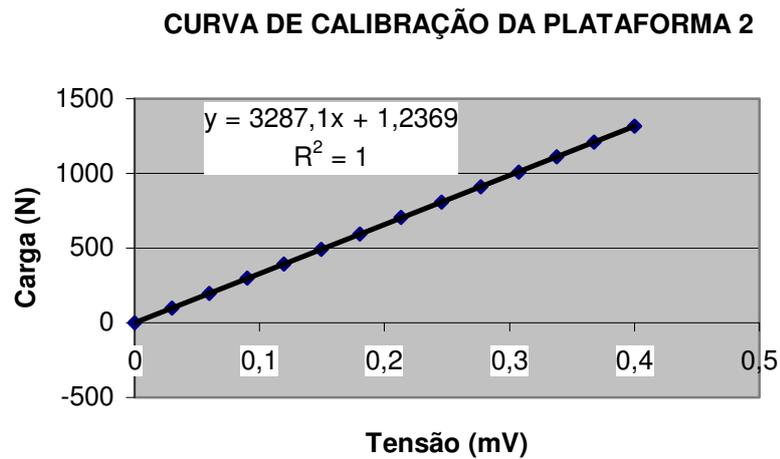


Figura 3.15 - Curva de calibração da plataforma 2.

### 3.5.2 Filmadoras – Dados cinemáticos

#### 3.5.2.1 Calibração temporal

A calibração temporal consistiu em obter simultaneamente o mesmo tempo inicial ( $t_0$ ), correspondente ao início do ensaio, tanto para as filmadoras quanto para as plataformas de força.

Para as filmadoras, este tempo inicial correspondia ao sinal luminoso proveniente do acendimento de uma lâmpada pela pesquisadora, a qual estava fixada numa haste (aparelho emissor de luz), conforme mostra a Figura 3.16.



Figura 3.16 - Aparelho emissor de luz.

Para as plataformas de força, este mesmo tempo inicial, correspondia ao sinal elétrico proveniente do acionamento manual do interruptor elétrico da lâmpada. Primeiramente este sinal elétrico era enviado ao *Spider 8* via canal específico, o qual posteriormente era enviado a um computador, que por meio de um *software* específico CATMAN 3.1, fazia o registro gráfico deste sinal.

A sincronização do tempo entre as duas filmadoras se deu na captação simultânea do sinal luminoso no início do movimento, onde esse sinal correspondia ao tempo inicial (zero).

### 3.5.2.2 Calibração espacial

A calibração espacial foi realizada nas duas filmadoras, sendo calibradas nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$  conforme o intuito deste trabalho de um sistema de análise tridimensional (3D).

Utilizou-se para realização da calibração espacial seis fios de prumos, confeccionados com fios de nylon e esferas de isopor com diâmetro de 15 mm, conforme ilustra a Figura 3.17.

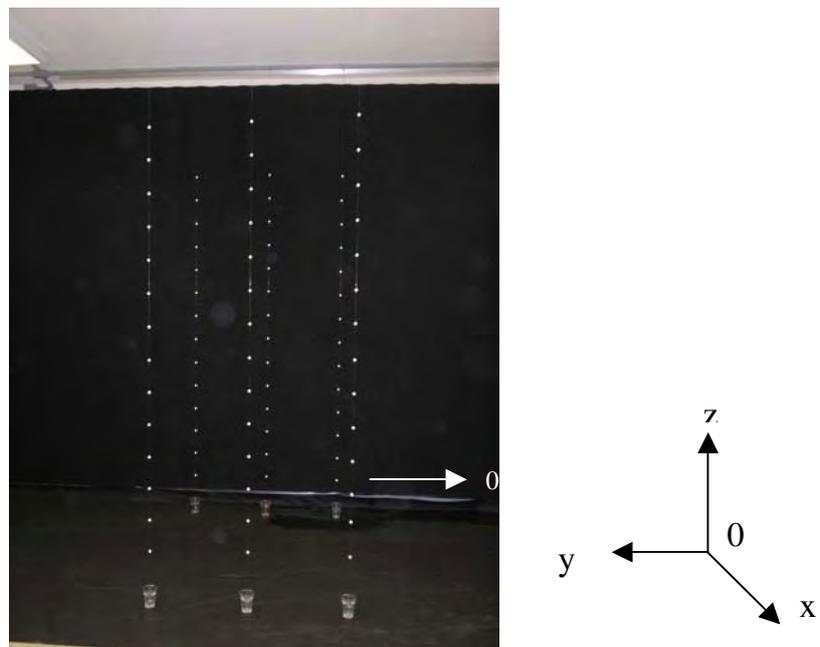


Figura 3.17 - Fios de prumo (calibrador espacial).

As distâncias entre as esferas posicionadas no fio de nylon foram medidas e armazenadas em coordenadas  $x, y$  e  $z$  (ANEXO 2), sendo que cada fio possuía 14 esferas de isopor.

Os fios de prumo foram presos em 2 trilhos de alumínio colocados paralelamente no teto do Laboratório de Biomecânica a uma distância de 150 cm, sendo que em cada um dos trilhos foram presos 3 fios de prumo, a uma distância de 100 cm.

Após o registro das imagens da calibração, cada seqüência de imagem das duas câmeras foram carregadas no programa am3D.m (ANEXO 3) em ambiente MATLAB para calibração das câmeras e marcações das coordenadas.

### 3.5.2.3 Digitalização das imagens

A digitalização das imagens foi realizada por um computador *notebook* através de uma placa de captura de vídeo e o *software* específico.

Após a digitalização os vídeos foram desentrelaçados, sendo em seguida transformados em fotos pelo *software* Quintic Player CIS e armazenados no computador.

Após o armazenamento das fotos, foi realizado o processamento das imagens com o intuito de obter os dados de centro de massa dos sujeitos.

Foi utilizado o programa am3D.m desenvolvido em ambiente MATLAB no Laboratório de Biomecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP para calcular os centros de massa para cada instante.

O fluxograma da figura 3.18 ilustra os procedimentos adotados para obtenção dos dados cinemáticos.

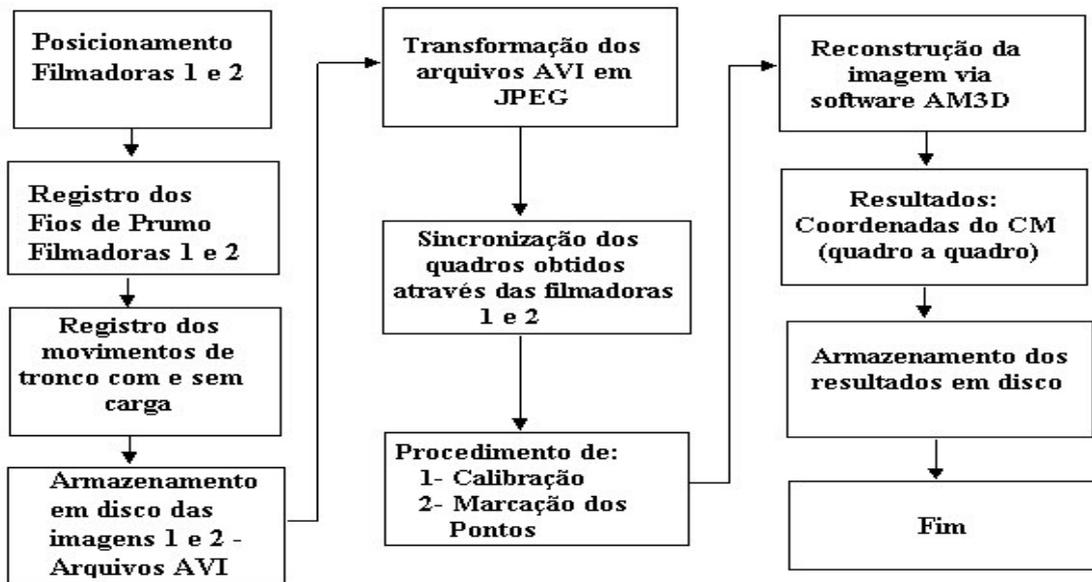


Figura 3.18 - Fluxograma – dados cinemáticos.

### 3.6 MODELO ANTROPOMÉTRICO

O modelo antropométrico utilizado neste trabalho foi baseado no modelo proposto por Winter (1990) para a análise de marcha humana.

O modelo utilizado é composto de 16 regiões: cabeça esquerda, cabeça direita, ombro esquerdo, ombro direito, quadril esquerdo, quadril direito, joelho esquerdo, joelho direito, tornozelo esquerdo, tornozelo direito, metatarso esquerdo, metatarso direito, cotovelo esquerdo, cotovelo direito, punho esquerdo e punho direito. A Figura 3.19 ilustra as regiões demarcadas para localização do centro de massa.

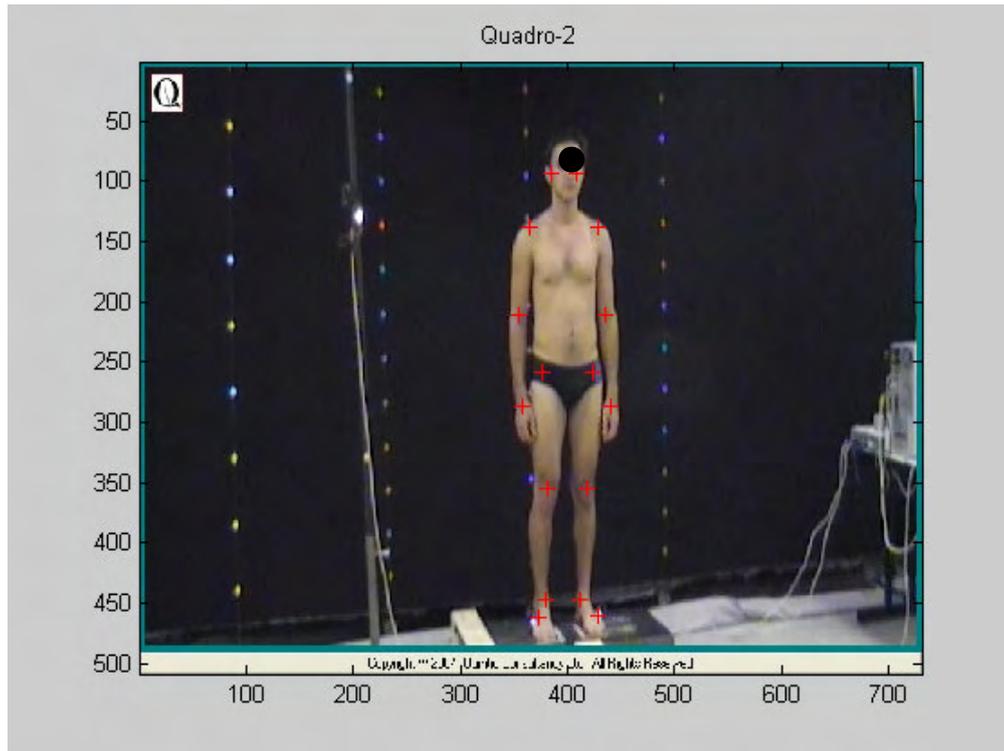


Figura 3.19 - Regiões demarcadas para localização do centro de massa.

Através da identificação dos pontos articulares (ombro, quadril, joelho, tornozelo, metatarso, cotovelo e metacarpo) e de dois pontos relativos a cabeça foi determinado a localização do centro de massa.

O modelo utilizado apresenta um fator de multiplicação, conforme a Tabela 2.2 que calcula a massa de cada membro baseado na massa total ( $M$ ) do sujeito como proposto por Winter.

Quando a tarefa analisa carregamento de carga, a mesma também deve ser demarcada e indicado seu valor.

### 3.7 PROTOCOLO PARA COLETA DE DADOS

A coleta de dados realizou-se em dois dias. Em horários pré-estabelecidos, os sujeitos compareceram ao Laboratório de Biomecânica do Departamento de Mecânica da FEG para realização dos movimentos de tronco sem carga e com carga (ensaios).

O protocolo de medição foi constituído pelo posicionamento dos sujeitos sobre as

plataformas de força, então após o acionamento do sinal luminoso, os participantes iniciavam os movimentos do tronco, os quais foram divididos nas seguintes fases:

- 1- Posição inicial: posicionamento do sujeito ereto em cima das plataformas até o acionamento do sinal luminoso, conforme ilustra a Figura 3.20.



Figura 3.20 - Fase 1: posição inicial.

- 2- Flexão anterior de tronco: sujeito realiza flexão dos joelhos e flexão anterior de tronco em direção aos pesos posicionados na frente das plataformas, conforme ilustra a Figura 3.21.



Figura 3.21 - Fase 2: flexão anterior de tronco.

- 3- Extensão de tronco: retorno à posição inicial com o peso, conforme ilustra a Figura 3.22.

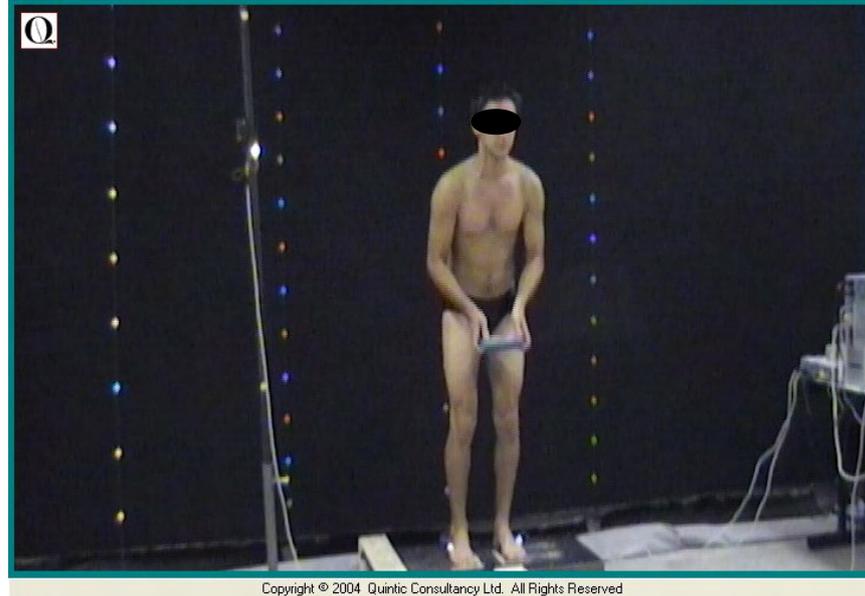


Figura 3.22 - Fase 3: extensão do tronco.

- 4- Rotação de tronco: realiza o movimento de rotação com o peso para direita ou esquerda, conforme ilustra a Figura 3.23.



Figura 3.23 - Fase 4: rotação de tronco.

- 5- Rotação e flexão do tronco: mantendo a rotação, o sujeito realiza uma flexão dos joelhos e flexão de tronco, então descarrega o peso, conforme ilustra a Figura 3.24.



Figura 3.24 - Fase 5: rotação e flexão do tronco.

- 6- Retorno à posição inicial: após descarregar o peso o indivíduo retorna a posição ereta e o sinal luminoso é desativado, conforme ilustra a Figura 3.25.

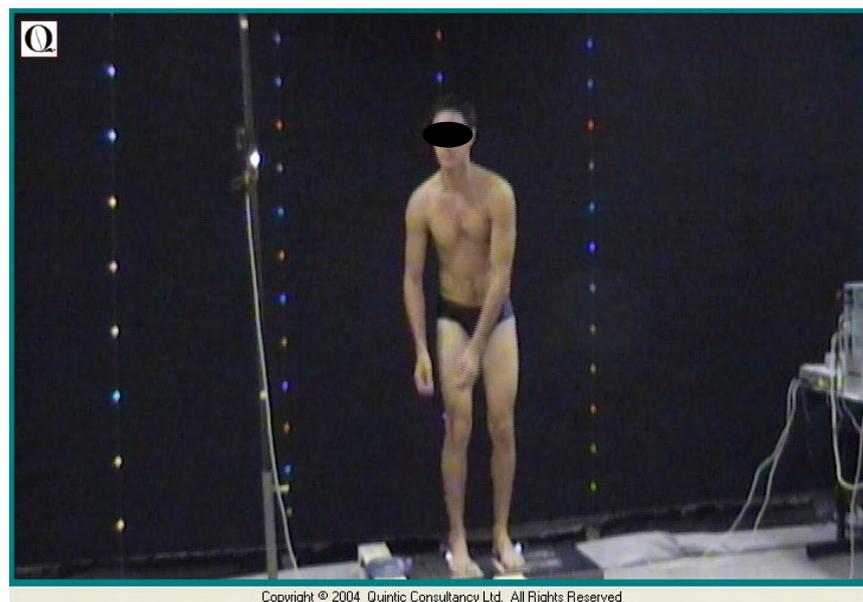


Figura 3.25 - Fase 6: retorno à posição inicial.

Primeiramente, os sujeitos foram ensinados como executar corretamente os respectivos movimentos de tronco no solo, fora das plataformas de força. Após instruções, cada indivíduo executou esses movimentos quatro vezes para o aprendizado. Era instruído a flexionar os joelhos para pegar e deixar o peso e manter o peso próximo ao tronco durante todo o movimento.

Cada participante realizou 4 seqüências de movimentos de tronco com intervalo entre as mesmas, onde a primeira foi realizada sem carga, a segunda seqüência de movimentos foi realizada com o indivíduo segurando um peso de 5 kg, a terceira seqüência com 10 kg e a quarta seqüência com 15 kg.

Em cada seqüência os indivíduos realização seis repetições, divididos em três repetições com rotação de tronco para a esquerda e três para a direita.

Após a realização das seqüências foram mensuradas as medidas antropométricas (massa e altura) dos participantes.

## 4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

### 4.1 DADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

#### 4.1.1 Parâmetros temporais

##### 4.1.1.1 Ensaios sem carga

A Tabela 4.1 apresenta os tempos obtidos, através da filmagem, durante a realização dos ciclos sem carga com rotação para direita e esquerda da amostra.

Tabela 4.1 - Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E)- Sem carga.

Tempo de cada fase (s)														
Sujeito	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
1	0,59	0,79	1,59	1,78	1,58	1,79	0,6	0,99	1,39	1,38	1,78	1,78	7,52	8,51
2	0,79	0,79	1,78	1,39	1,79	1,78	0,79	0,59	1,58	1,59	2,58	2,37	9,31	8,51
3	1,19	0,59	1,58	1,59	1,39	1,38	0,79	0,4	1,78	1,39	1,78	1,58	8,51	6,93
4	0,4	0,79	1,58	1,39	1,19	1,19	0,59	0,99	1,39	1,38	2,18	1,59	7,33	7,33
5	1,19	0,59	2,18	2,18	1,78	1,78	0,79	0,6	1,78	1,78	2,58	2,38	10,30	9,31
6	0,99	1,19	2,18	1,98	1,58	2,18	0,79	0,59	1,79	2,38	3,16	3,16	10,49	11,48

A Tabela 4.2 apresenta e compara os valores médios e desvios padrões dos tempos em cada fase e tempo total dos ciclos sem carga com rotação para direita e esquerda.

Tabela 4.2 - Valores Médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total dos ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Sem carga.

Valores médios e Desvios Padrões de cada fase e tempo total														
Variável	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
Média	0,86	0,79	1,82	1,72	1,55	1,68	0,73	0,69	1,65	1,65	2,31	2,14	8,91	8,68
Desvio Padrão	0,32	0,22	0,29	0,32	0,23	0,35	0,10	0,24	0,16	0,39	0,55	0,62	1,35	1,62

#### 4.1.1.2 Ensaio com carga de 5 kg

A Tabela 4.3 apresenta os tempos obtidos, através da filmagem, durante a realização do ciclo com carga de 5 kg e com rotação para direita e esquerda das amostras.

Tabela 4.3 - Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 5 kg.

Tempo de cada fase (s)														
Sujeito	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
1	0,59	0,79	1,98	2,18	0,99	1,19	0,60	0,59	3,36	2,77	2,18	1,59	9,70	9,11
2	0,40	0,79	1,98	1,59	1,58	1,58	0,79	0,59	2,38	2,38	1,98	1,98	9,11	8,91
3	0,59	0,79	1,59	1,39	1,38	0,99	0,60	0,39	2,18	2,18	1,58	1,78	7,92	7,52
4	0,59	0,79	1,59	1,39	1,19	1,38	0,59	0,80	2,97	2,97	1,39	1,78	8,32	9,11
5	0,59	0,4	1,98	2,77	1,59	1,78	0,79	0,59	2,18	2,78	2,57	2,77	9,70	11,09
6	0,99	0,99	1,78	2,18	1,78	1,38	0,99	0,60	2,58	2,77	3,17	2,57	11,29	10,49

A Tabela 4.4 apresenta e compara os respectivos valores médios e desvios padrões dos tempos em cada fase e tempo total dos ciclos com carga de 5 kg com rotação para direita e esquerda.

Tabela 4.4 - Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 5 kg.

Valores médios e Desvios Padrões de cada fase e tempo total														
Variável	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
Média	0,63	0,76	1,82	1,92	1,42	1,38	0,73	0,59	2,61	2,64	2,15	2,08	9,34	9,37
Desvio Padrão	0,19	0,19	0,19	0,55	0,29	0,28	0,16	0,13	0,47	0,30	0,66	0,48	1,19	1,26

#### 4.1.1.3 Ensaio com carga de 10 kg

A Tabela 4.5 apresenta os tempos obtidos, através da filmagem, durante a realização do ciclo com carga de 10 kg e com rotação para direita e esquerda das amostras.

Tabela 4.5 - Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 10 kg.

Tempo de cada fase (s)														
Sujeito	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
1	0,59	0,79	2,38	2,18	1,18	1,19	0,8	1,19	1,98	2,77	1,78	1,98	8,71	10,10
2	0,59	0,59	1,59	1,98	1,78	1,79	0,79	0,79	3,17	2,57	2,18	2,38	10,10	10,10
3	0,40	0,59	1,58	1,59	1,19	1,19	0,59	0,59	2,57	2,18	1,78	1,78	7,92	7,92
4	0,79	0,79	1,59	1,59	1,18	1,38	0,99	0,79	2,57	2,18	2,38	1,98	9,50	8,71
5	0,59	0,59	2,78	2,78	1,78	1,78	0,79	0,59	2,57	3,17	2,97	2,57	11,48	11,48
6	0,79	0,99	1,98	1,98	1,78	1,98	0,80	0,59	2,77	3,37	3,17	1,98	11,29	10,89

A Tabela 4.6 apresenta e compara os valores médios e desvios padrões dos tempos em cada fase e tempo total dos ciclos com carga de 10 kg com rotação para direita e esquerda.

Tabela 4.6 - Valores médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 10 kg.

Valores médios e Desvios Padrões de cada fase e tempo total														
Variável	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
Média	0,63	0,72	1,98	2,02	1,48	1,55	0,79	0,76	2,61	2,71	2,41	2,08	9,83	9,86
Desvio Padrão	0,15	0,16	0,5	0,44	0,33	0,34	0,13	0,23	0,38	0,50	0,58	0,27	1,41	1,33

#### 4.1.1.4 Ensaio com carga de 15 kg

A Tabela 4.7 apresenta os tempos obtidos, através da filmagem, durante a realização do ciclo com carga de 15 kg e com rotação para direita e esquerda das amostras.

Tabela 4.7 - Tempo individual de cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 15 kg.

Tempo de cada fase (s)														
Sujeito	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
1	0,79	0,99	2,58	2,57	1,18	1,19	0,8	0,99	2,57	2,57	1,78	2,38	9,70	10,69
2	0,59	0,59	2,18	2,38	1,59	1,58	0,79	0,60	3,17	2,38	2,77	2,38	11,09	9,90
3	0,40	0,79	1,98	1,59	1,18	0,99	0,40	0,59	2,38	2,18	1,58	1,78	7,92	7,92
4	0,59	0,59	1,79	1,59	1,18	1,58	0,60	0,79	2,77	2,57	2,38	2,18	9,31	9,31
5	0,59	0,59	2,78	2,58	1,98	1,78	0,59	0,79	2,97	2,77	2,77	2,58	11,68	11,09
6	1,19	0,99	2,37	1,98	1,59	2,18	0,79	0,59	3,17	3,38	2,77	2,97	11,88	12,08

A Tabela 4.8 apresenta a comparação da média e desvio padrão dos tempos em cada fase e tempo total dos ciclos com carga de 15 kg com rotação para direita e esquerda.

Tabela 4.8 - Valores Médios e Desvios Padrões dos tempos em cada fase e tempo total durante ciclos para direita (D) e esquerda (E) - Carga de 15 kg.

Valores de média e Desvio Padrão de cada fase e tempo total														
Variável	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5		Fase 6		Tempo Total	
	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E
Média	0,69	0,76	2,28	2,12	1,45	1,72	0,66	0,73	2,81	2,61	2,38	2,41	10,26	10,17
Desvio Padrão	0,27	0,20	0,37	0,46	0,33	0,60	0,16	0,16	0,38	0,46	0,49	0,34	1,55	1,46

## 4.1.2 Forças de reações do solo obtidas através das plataformas de força

### 4.1.2.1 Ensaio sem carga

A Figura 4.1 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo sem carga e com rotação do sujeito 1 para direita.

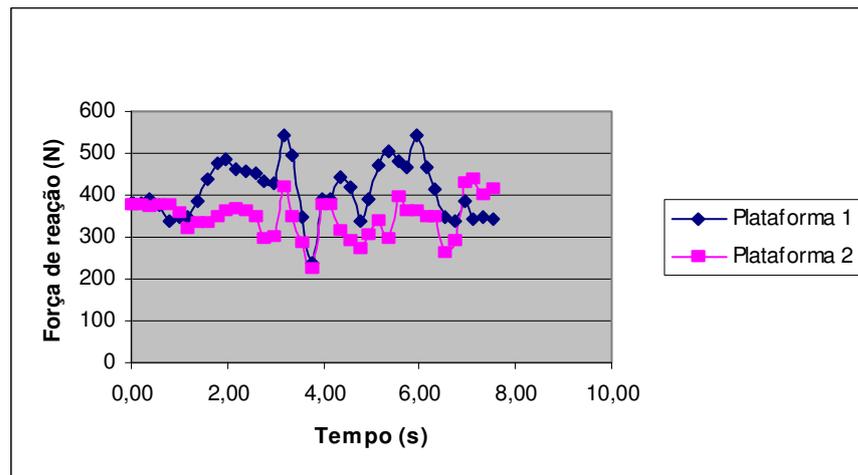


Figura 4.1 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita – Sem carga.

A Figura 4.2 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo sem carga e com rotação do sujeito 1 para esquerda.

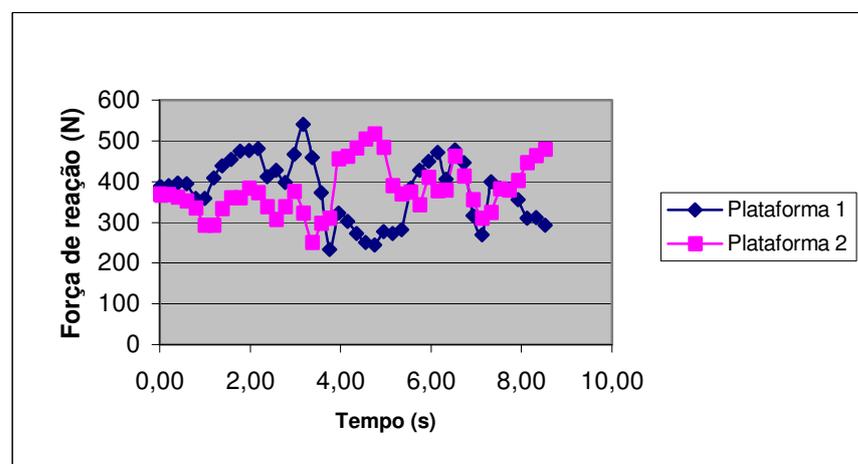


Figura 4.2 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda – Sem carga.

#### 4.1.2.2 Ensaio com carga de 5 kg

A Figura 4.3 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 5 kg e com rotação do sujeito 1 para direita.

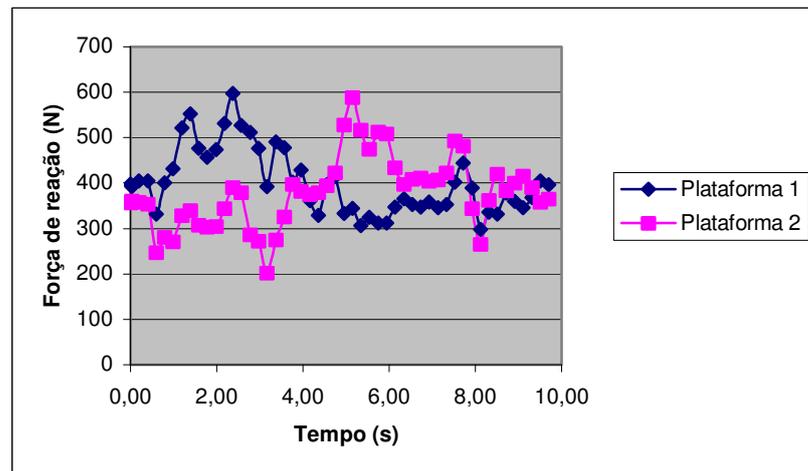


Figura 4.3 - Forças de reação do solo da sujeito 1 durante ciclo para direita – Carga 5 kg.

A Figura 4.4 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 5 kg e com rotação do sujeito 1 para esquerda.

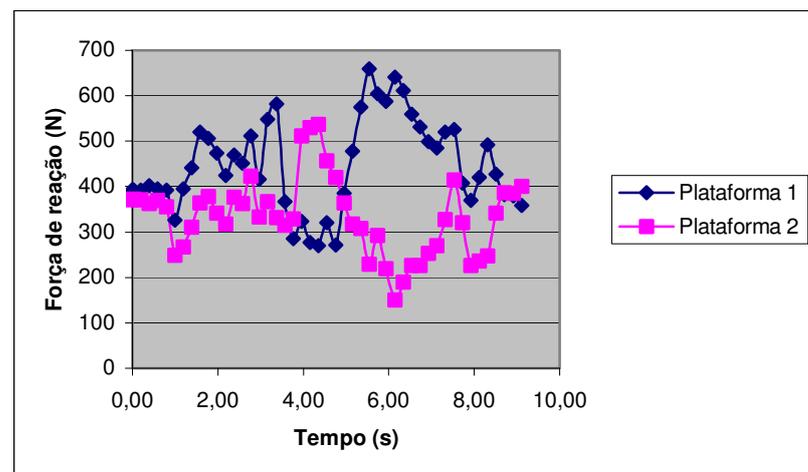


Figura 4.4 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda – Carga 5 kg.

#### 4.1.2.3 Ensaio com carga de 10 kg

A Figura 4.5 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 10 kg e com rotação do sujeito 1 para direita.

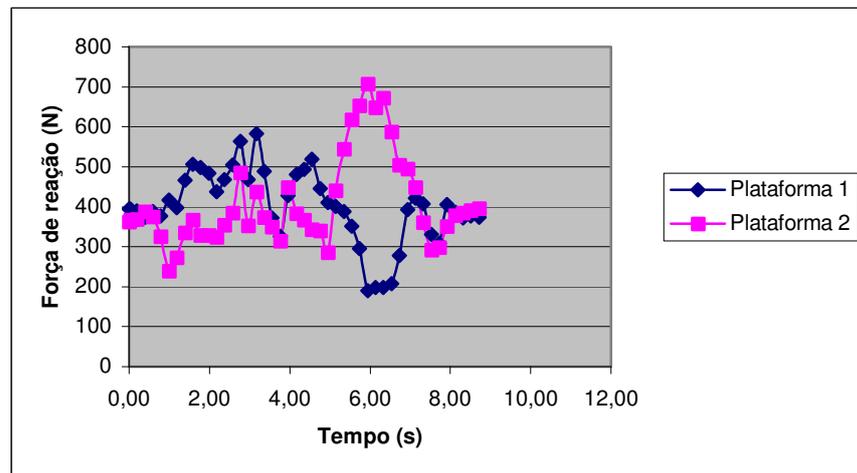


Figura 4.5 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita – Carga 10 kg.

A Figura 4.6 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 10 kg e com rotação do sujeito 1 para esquerda.

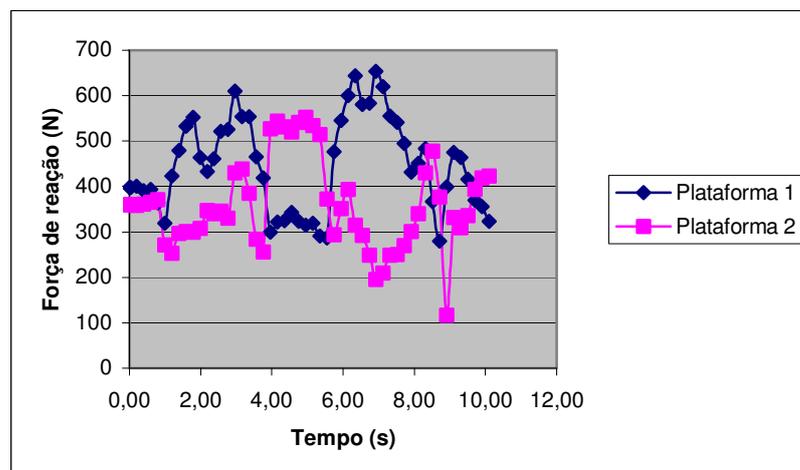


Figura 4.6 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda – Carga 10 kg.

#### 4.1.2.4 Ensaio com carga de 15 kg

A Figura 4.7 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 15 kg e com rotação do sujeito 1 para direita.

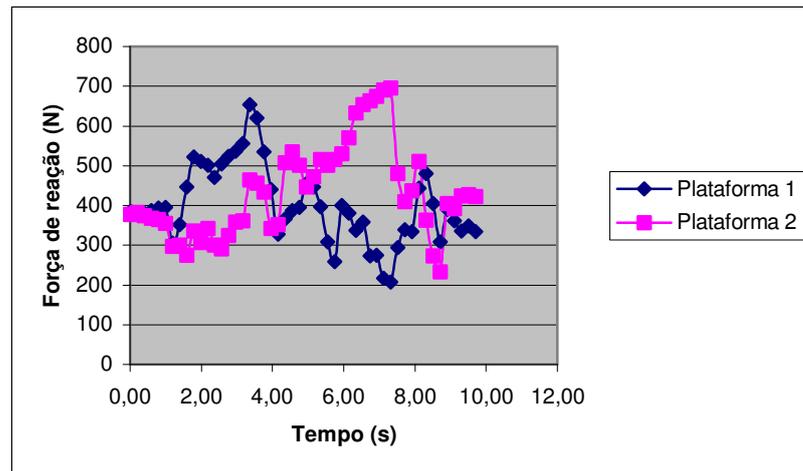


Figura 4.7 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para direita – Carga 15 kg.

A Figura 4.8 ilustra as forças de reações do solo obtidas por meio das plataformas 1 e 2 durante a execução do ciclo com carga de 15 kg e com rotação do sujeito 1 para esquerda.

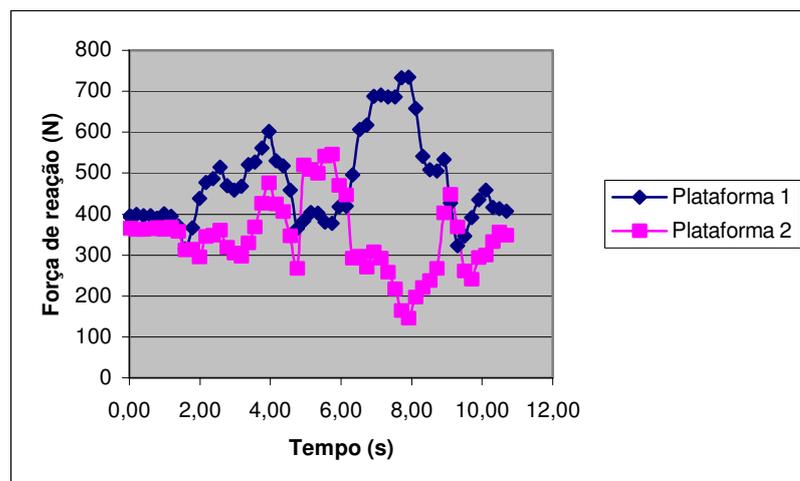


Figura 4.8 - Forças de reação do solo do sujeito 1 durante ciclo para esquerda – Carga 15 kg.

Para todas as amostras foram obtidos gráficos dos sinais registrados nas plataformas de força 1 e 2 em função do tempo (s).

### 4.1.3 Trajetória do Centro de Massa

Através do programa am3D foi registrado a trajetória do centro de massa das amostras durante os ciclos sem carga e com carga de 5, 10 e 15 kg.

#### 4.1.3.1 Ensaio sem carga

A Figura 4.9 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo sem carga e com rotação para direita do sujeito 1.

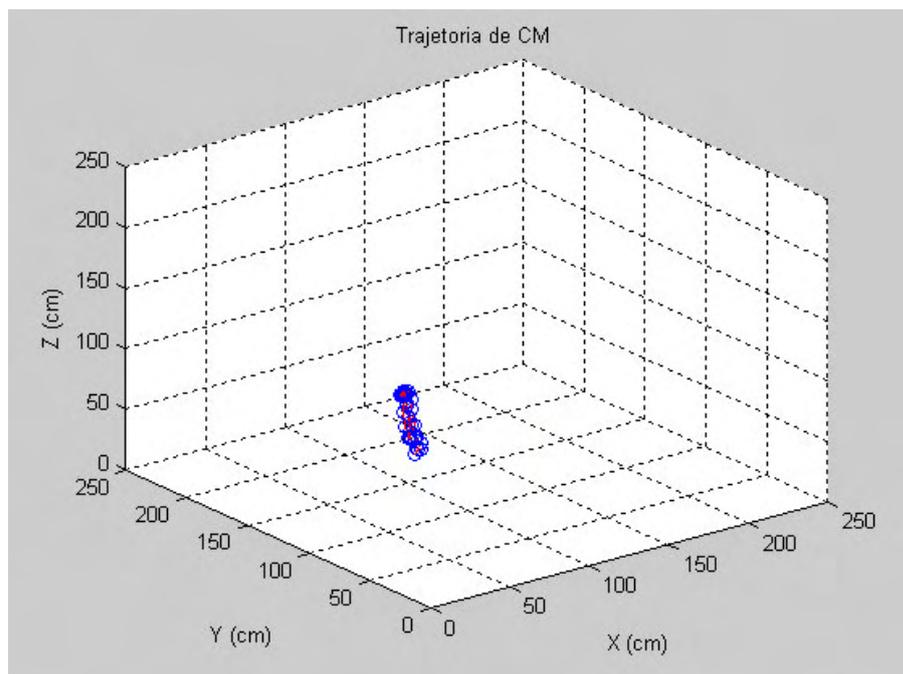


Figura 4.9 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Sem carga.

A Figura 4.10 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo sem carga e com rotação para esquerda do sujeito 1.

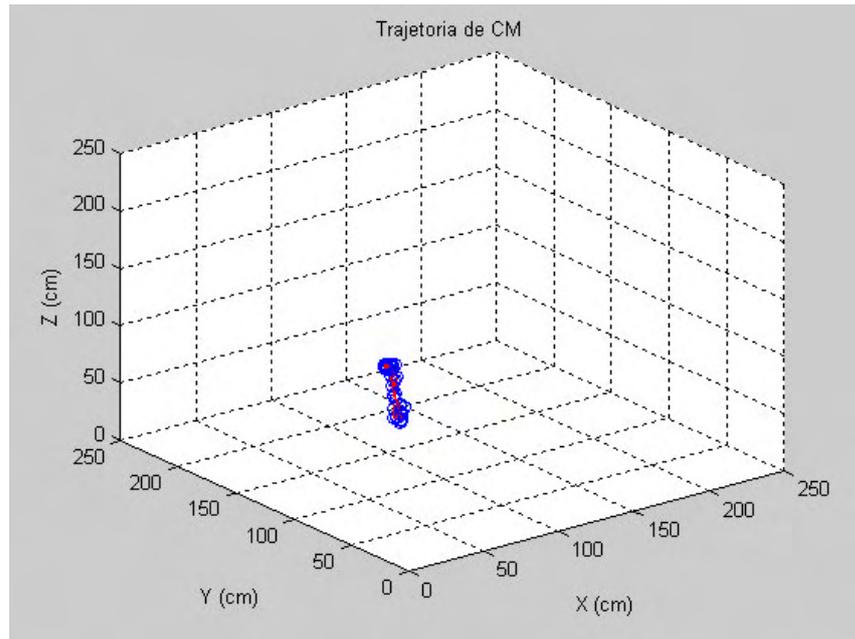


Figura 4.10 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Sem carga.

#### 4.1.3.2 Ensaio com carga de 5 kg

A Figura 4.11 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 5 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

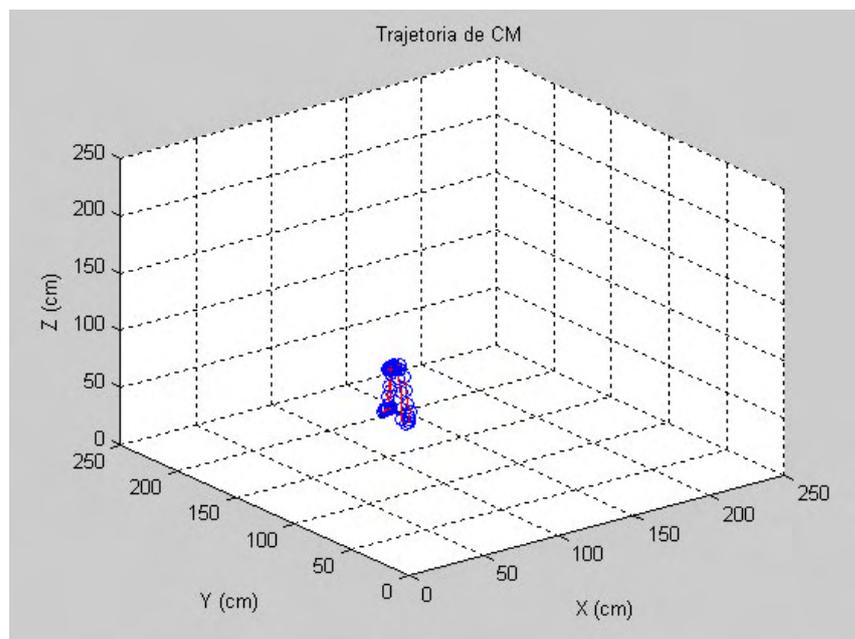


Figura 4.11 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 5 kg

A Figura 4.12 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 5 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

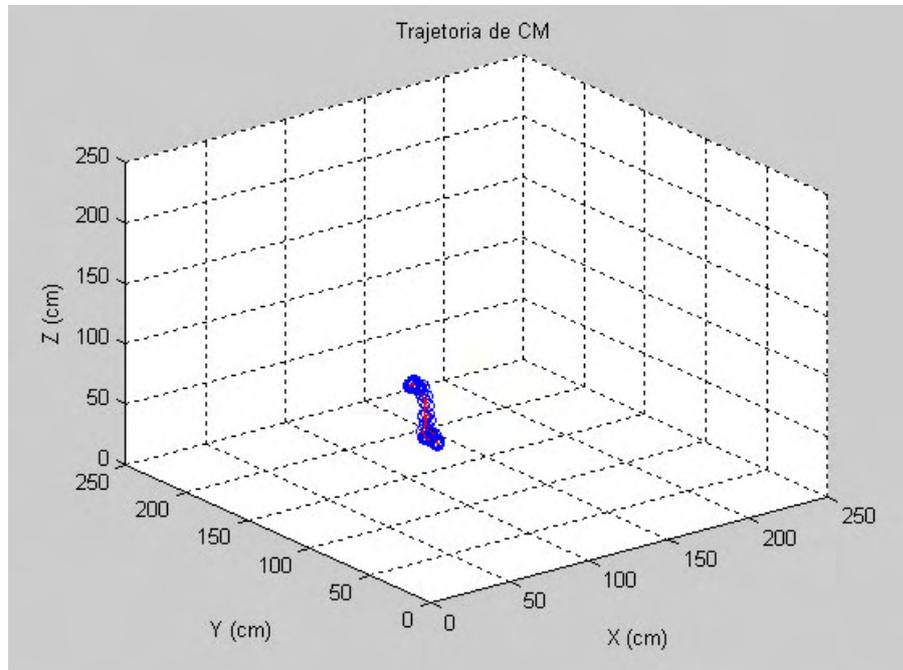


Figura 4.12 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 5 kg

#### 4.1.3.3 Ensaio com carga de 10 kg

A Figura 4.13 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 10 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

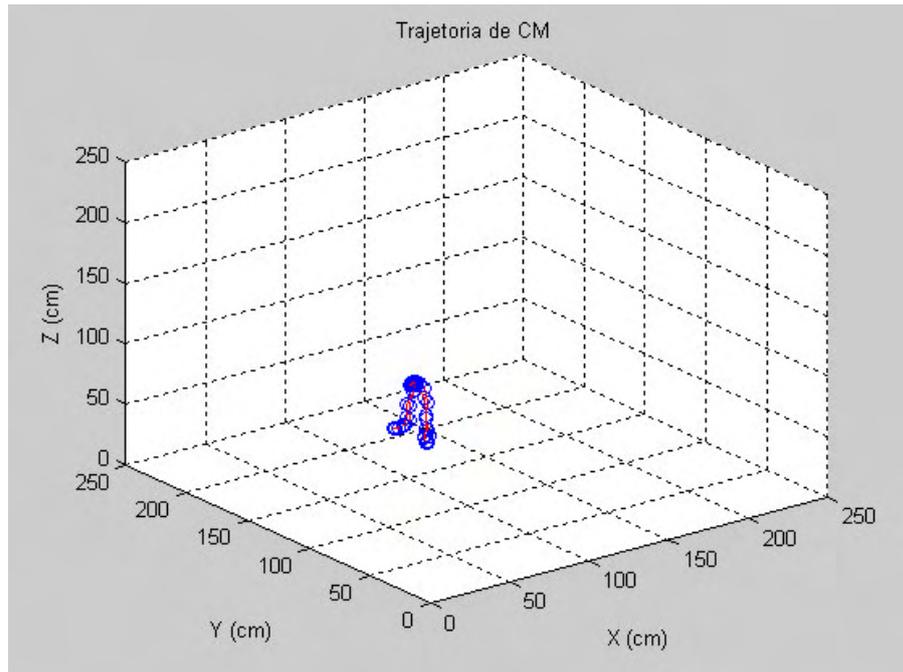


Figura 4.13 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 10 kg

A Figura 4.14 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 10 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

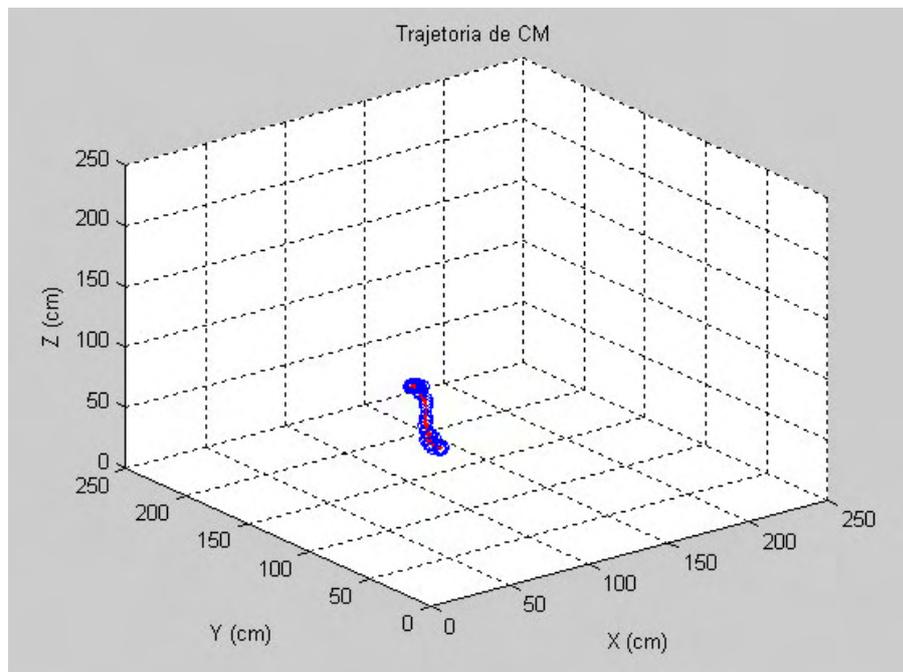


Figura 4.14 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 10 kg

#### 4.1.3.4 Ensaio com carga de 15 kg

A Figura 4.15 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 15 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

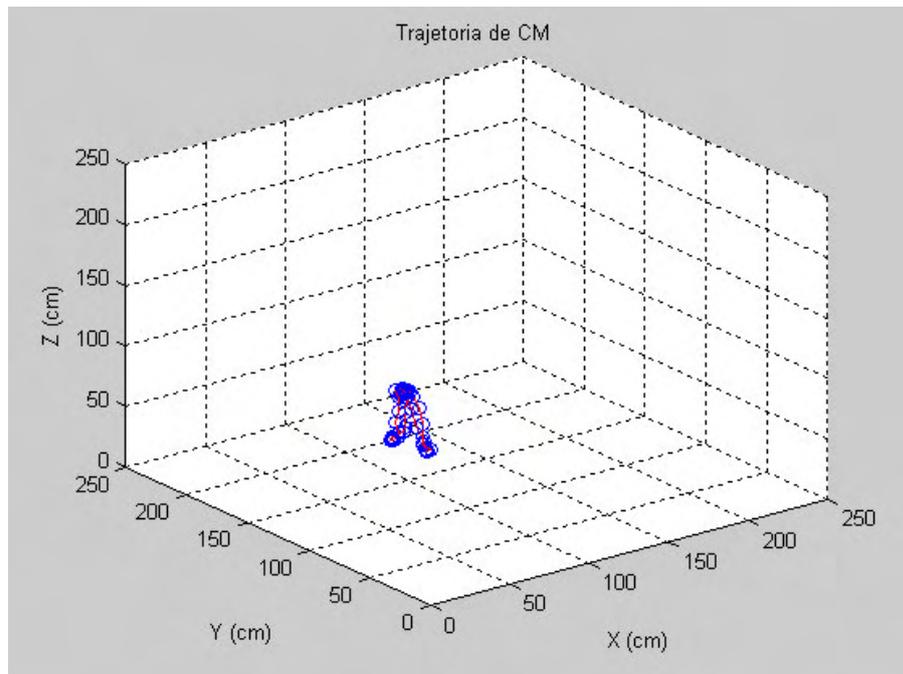


Figura 4.15 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita - Carga de 15 kg

A Figura 4.16 ilustra a trajetória do centro de massa durante o ciclo com carga de 15 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

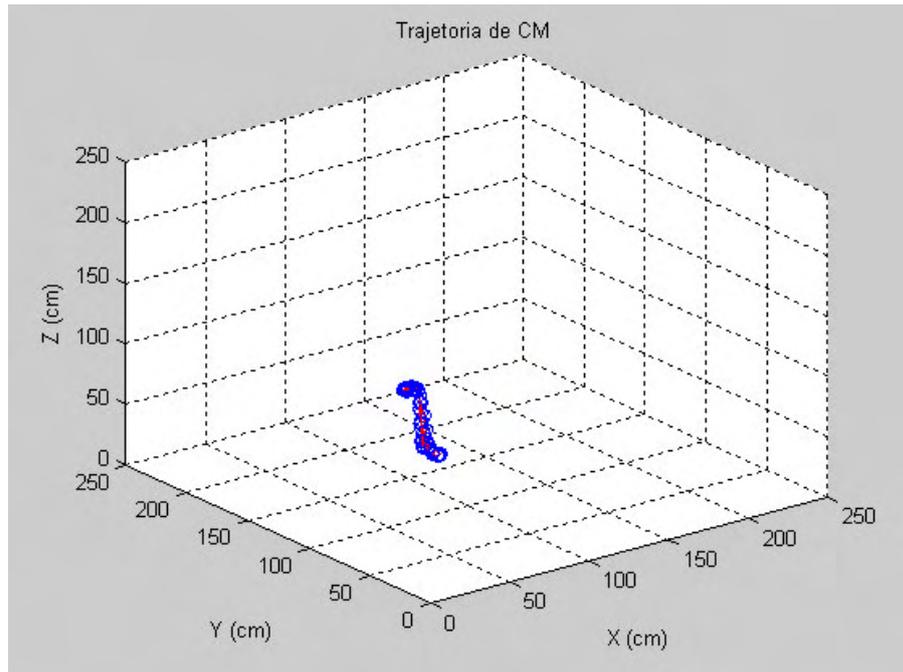


Figura 4.16 - Trajetória do centro de massa do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda - Carga de 15 kg

Para todos os sujeitos foram obtidos gráficos da trajetória do centro de massa em função de suas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

#### 4.1.4 Trajetória das coordenadas ( $x$ , $y$ e $z$ ) do centro de massa

##### 4.1.4.1 Ensaio sem carga

A Figura 4.17 ilustra as trajetórias das coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  do centro de massa durante ensaio sem carga e com rotação para direita do sujeito 1.

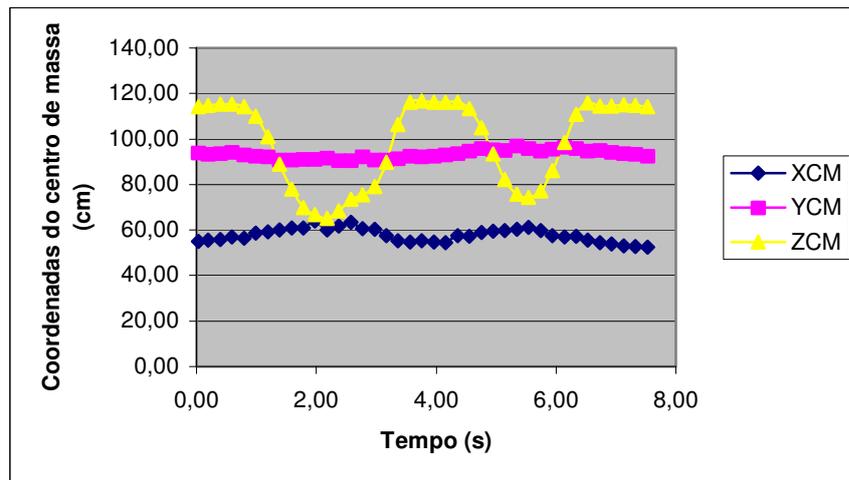


Figura 4.17 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Sem carga.

A Figura 4.18 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio sem carga e com rotação para esquerda do sujeito 1.

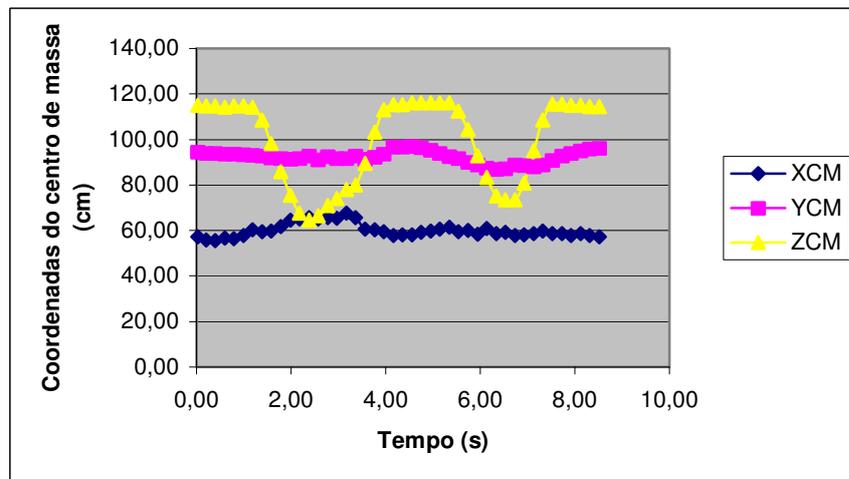


Figura 4.18 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Sem carga.

#### 4.1.4.2 Ensaio com carga de 5 kg

A Figura 4.19 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 5 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

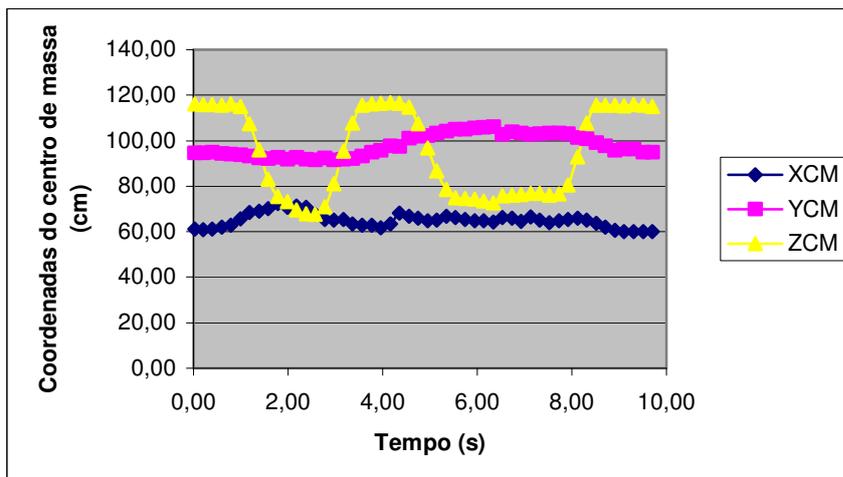


Figura 4.19 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 5 kg.

A Figura 4.20 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 5 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

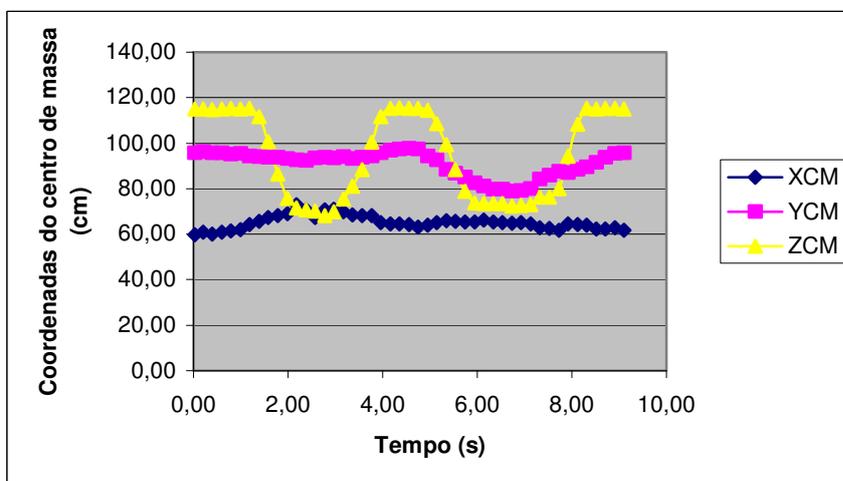


Figura 4.20 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 5 kg.

#### 4.1.4.3 Ensaio com carga de 10 kg

A Figura 4.21 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 10 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

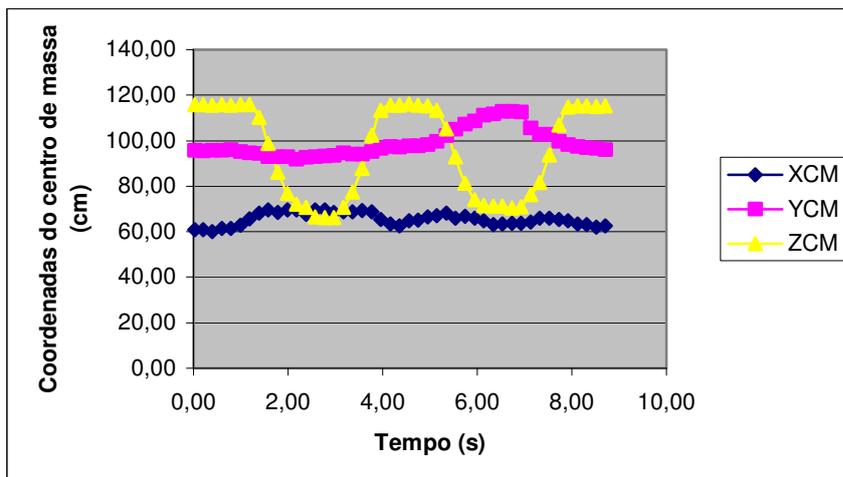


Figura 4.21 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 10 kg.

A Figura 4.22 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 10 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

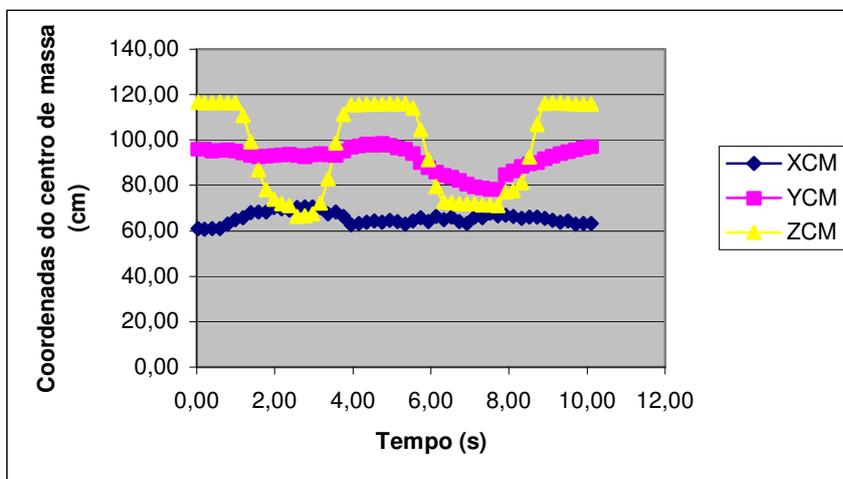


Figura 4.22 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 10 kg.

#### 4.1.4.4 Ensaio com carga de 15 kg

A Figura 4.23 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 15 kg e com rotação para direita do sujeito 1.

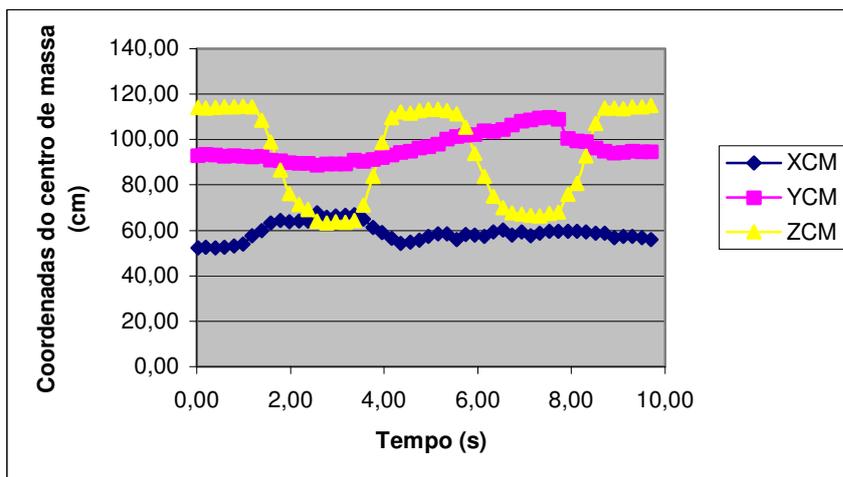


Figura 4.23 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para direita – Carga 15 kg.

A Figura 4.24 ilustra as trajetórias das coordenadas x, y e z do centro de massa durante ensaio com carga de 10 kg e com rotação para esquerda do sujeito 1.

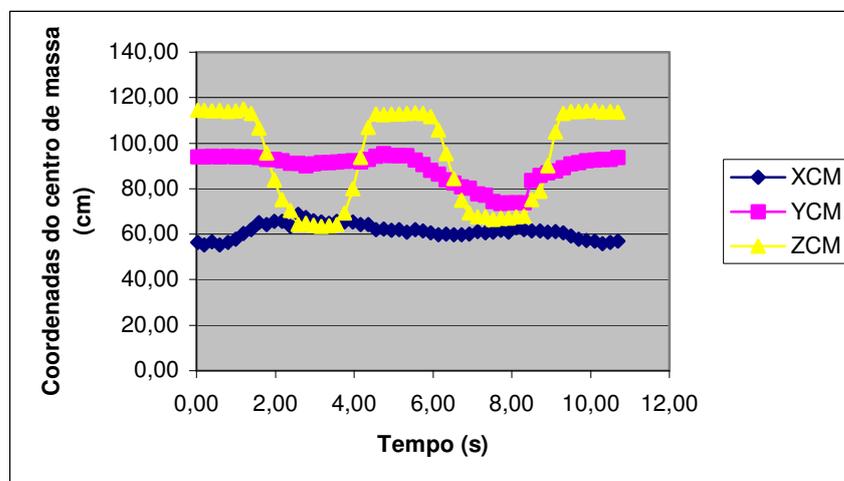


Figura 4.24 - Trajetória das coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  do sujeito 1 durante ciclo com rotação para esquerda – Carga 15 kg.

Para todos os sujeitos foram obtidos gráficos da trajetória das coordenadas (x, y e z) do centro de massa, isoladamente.

#### 4.1.5 Forças de reação do solo obtidas das plataformas 1 e 2 em função das coordenadas (x,y e z) do centro de massa

Foram expostos em Tabelas as forças de reação do solo obtidas através da plataformas de força em função das coordenadas do centro de massa durante a execução dos ciclos sem e com carga, sendo que todas as amostras realizaram o os ciclos com rotação para direita e esquerda.

Os quadros com as coordenadas do CM e os sinais obtidos da plataforma foram sincronizados a cada 0,198 segundos de intervalo.

Essas Tabelas apresentam o comportamento das forças de reação do solo e do centro de massa durante as seis fases que compõem cada ciclo.

##### 4.1.5.1 Ensaio sem carga

##### 4.1.5.1.1 Sujeito 1

##### 4.1.5.1.1.1 Fase 1

A Tabela 4.9 apresenta os valores médios obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 1 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.9 - Valores médios obtidos sem carga na Fase 1 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1	59,89	93,80	114,93	56,35	93,97	114,71	383,00	385,49	374,18	359,13

## 4.1.5.1.1.2 Fase 2

A Tabela 4.10 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 2 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.10 - Dados obtidos sem carga na Fase 2 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
2	56,42	93,22	114,30	57,80	93,55	114,75	338,15	358,07	374,18	292,49
	58,63	92,71	109,90	60,36	93,25	114,20	348,22	408,49	355,09	293,28
	59,24	92,40	101,07	59,55	92,79	108,44	346,93	438,42	319,08	333,64
	60,03	91,00	88,84	59,86	91,94	98,25	385,70	453,71	333,64	360,21
	60,75	90,88	77,87	61,82	91,83	85,76	436,05	474,81	332,66	360,60
	60,96	91,31	69,83	64,50	91,36	75,35	475,67	476,10	349,98	384,22
	64,02	91,15	66,83	65,17	91,70	67,58	486,87	481,70	362,96	373,59
	60,11	91,65	65,18	65,56	92,73	64,56	459,74	412,79	367,29	338,56
				65,19	91,27	66,43		428,30		307,27

## 4.1.5.1.1.3 Fase 3

A Tabela 4.11 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 3 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.11 - Dados obtidos sem carga na Fase 3 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
3	61,77	90,63	68,38	65,78	92,48	70,93	457,58	398,15	361,39	338,56
	63,53	90,52	73,57	65,42	91,78	73,99	361,39	338,56	346,04	376,35
	60,68	92,41	75,57	67,70	91,73	78,04	346,04	376,35	296,05	323,01
	60,43	90,89	79,16	65,58	92,76	79,96	296,05	323,01	301,37	251,03
	57,48	91,03	89,80	60,47	91,60	89,52	301,37	251,03	421,02	297,63
	55,27	91,53	106,39	60,25	92,17	103,18	421,02	297,63	346,24	309,83
	54,81	92,60	116,12	59,60	93,80	112,99	346,24	309,83	284,60	456,38
	55,24	92,35	116,62	57,67	96,66	115,38	284,60	456,38	224,96	461,57
				57,96	96,74	115,35		461,57		482,35

## 4.1.5.1.1.4 Fase 4

A Tabela 4.12 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 4 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.12 - Dados obtidos sem carga na Fase 4 - Sujeito 1

Fases	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
4	54,82	92,69	116,12	58,14	97,05	116,06	392,56	251,31	374,38	504,43
	54,31	93,02	116,22	59,14	96,63	116,02	392,56	504,43	374,38	517,30
	57,49	93,65	116,18	59,76	95,26	116,24	445,09	517,30	312,58	484,14
				60,72	94,01	116,27		484,14		390,82
				61,52	92,62	116,03		390,82		370,25

## 4.1.5.1.1.5 Fase 5

A Tabela 4.13 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 5 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.13 - Dados obtidos sem carga na Fase 5 - Sujeito 1

Fases	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
5	57,20	94,92	113,24	59,55	91,85	112,43	416,88	384,42	292,10	375,17
	58,80	96,02	104,95	60,06	90,11	104,38	339,22	427,87	271,17	343,68
	59,40	95,49	93,35	58,39	88,93	92,73	388,92	450,26	304,12	410,84
	59,77	95,16	82,08	60,87	87,53	83,25	471,15	470,94	340,14	377,13
	60,39	97,01	75,79	58,62	86,85	75,25	505,12	405,04	294,67	379,89
	61,19	96,01	74,31	59,23	87,38	73,58	482,13	478,26	393,27	462,37
	59,84	94,90	77,16	57,77	88,92	73,64	468,78	446,60	362,57	413,23

## 4.1.5.1.1.5 Fase 6

A Tabela 4.14 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 6 dos ciclos sem carga realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.14 - Dados obtidos sem carga na Fase 6 - Sujeito 1

Fases	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
6	57,59	95,70	86,04	58,11	88,52	80,83	541,35	316,73	360,21	355,49
	56,84	96,39	98,47	58,58	88,01	95,03	466,20	270,11	349,58	310,62
	57,37	96,08	110,85	59,83	88,98	108,48	413,22	398,80	349,19	324,00
	55,47	94,90	115,80	58,67	91,04	115,72	349,93	383,99	261,10	382,64
	54,29	95,20	114,53	58,66	92,86	115,70	338,79	380,99	289,91	379,50
	53,85	94,38	114,34	57,79	93,93	114,97	384,63	355,29	430,41	402,45
	52,91	93,65	115,09	58,67	95,05	115,05	344,36	310,30	435,81	446,79
	52,83	93,55	114,62	57,80	95,95	114,57	345,43	311,59	401,25	463,57
	52,43	92,70	114,28	57,31	96,27	114,56	341,15	292,96	415,23	479,35

#### 4.1.5.2 Ensaio com carga de 5 kg

##### 4.1.5.2.1 Sujeito 1

##### 4.1.5.2.1.1 Fase 1

A Tabela 4.15 apresenta os valores médios obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 1 dos ciclos com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.15 - Valores médios obtidos com carga de 5 kg na Fase 1 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1	61,24	94,50	115,88	60,55	95,62	115,08	386,07	394,31	302,25	331,25

##### 4.1.5.2.1.2 Fase 2

A Tabela 4.16 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 2 dos ciclos com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.16 - Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 2 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
2	62,95	94,07	116,28	61,95	95,30	114,95	400,07	326,58	281,23	248,85
	65,58	93,62	115,12	64,36	94,24	115,30	431,96	395,35	270,77	267,22
	68,31	93,12	107,57	65,57	94,12	111,75	521,20	441,43	329,31	310,03
	68,91	92,25	95,92	67,47	93,75	100,85	551,85	520,77	339,74	364,14
	70,12	92,10	82,94	68,28	93,73	86,53	476,97	506,19	307,47	377,92
	72,38	92,56	75,44	69,13	93,15	75,71	457,15	474,38	303,53	340,92
	70,73	91,68	73,24	73,06	92,60	71,43	473,95	423,99	304,32	317,70
	71,15	92,51	69,47	70,68	92,40	70,61	531,49	470,07	343,68	376,74
	70,79	91,71	68,00	67,44	93,38	70,08	597,09	450,69	390,52	362,57
	67,60	91,32	67,56	70,75	93,73	68,09	526,77	511,34	379,50	423,42
				70,90	93,41	69,72			415,81	

## 4.1.5.2.1.3 Fase 3

A Tabela 4.17 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 3 dos ciclos com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.17 - Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 3 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
3	65,49	92,25	71,07	69,92	94,05	75,39	511,77	548,85	286,77	366,51
	65,06	91,54	81,01	68,39	93,19	81,14	475,89	582,51	272,75	332,07
	65,24	91,63	95,51	68,15	93,68	88,24	391,92	366,42	202,04	315,34
	63,48	91,94	107,71	68,24	94,22	100,41	490,96	285,49	275,51	329,51
	62,98	93,11	115,56	65,18	95,70	111,77	477,83	322,73	326,75	510,96
				64,46	96,72	115,29		276,52		529,98

## 4.1.5.2.1.4 Fase 4

A Tabela 4.18 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 4 dos ciclo com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.18 - Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 4 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
4	62,78	94,83	116,23	64,53	97,38	115,54	402,03	269,68	398,05	537,11
	61,74	95,66	116,45	64,15	97,65	115,33	428,73	320,80	382,64	456,98
	63,37	97,58	116,64	63,23	97,22	115,39	360,86	270,96	374,77	420,22

## 4.1.5.2.1.5 Fase 5

A Tabela 4.19 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 5 dos ciclos com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.19 - Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 5 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
5	68,25	97,23	116,30	63,97	94,30	114,34	328,29	384,85	379,89	363,36
	66,89	100,96	114,64	64,96	92,46	108,53	396,86	478,04	395,49	317,11
	65,81	101,85	107,32	65,81	88,38	99,28	415,16	574,36	423,02	308,45
	64,67	102,08	96,70	65,55	86,61	88,45	333,01	659,85	528,40	229,70
	65,17	103,10	86,75	65,37	85,01	78,70	343,72	604,83	589,21	292,49
	66,77	104,08	78,68	65,39	82,49	73,74	306,23	587,22	517,90	219,83
	66,30	104,88	74,88	66,34	80,98	73,38	324,87	640,51	475,55	150,04
	65,28	104,94	74,75	65,40	79,61	73,38	312,44	611,27	512,55	190,16
	64,94	105,57	74,41	65,18	79,56	73,46	312,01	560,00	509,38	226,74
	64,93	105,88	73,55	64,90	78,81	72,39	346,72	531,70	434,41	226,15
	64,11	106,10	72,52	65,11	79,20	72,69	365,14	499,55	398,05	253,40
	66,23	102,58	75,66	64,51	80,03	72,99	353,14	484,29	409,24	270,38
	65,92	103,74	76,01	62,87	84,17	76,31	347,15	519,91	412,43	327,34
	64,58	103,24	76,39	62,68	85,74	76,18	357,86	525,06	404,64	414,03
	66,55	102,69	76,99				345,86		407,04	
	64,97	103,08	76,74				353,14		422,82	
64,08	103,34	76,09				402,46		493,53		

## 4.1.5.2.1.6 Fase 6

A Tabela 4.20 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 6 dos ciclos com carga de 5 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.20 - Dados obtidos com carga de 5 kg na Fase 6 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
6	64,72	103,13	76,61	61,72	87,45	80,08	444,66	407,62	481,95	320,46
	65,42	102,91	80,51	64,60	86,87	94,21	389,56	369,85	344,07	226,94
	65,98	101,17	92,80	64,33	88,26	108,16	297,45	420,11	265,25	236,42
	65,04	100,67	107,65	63,83	89,55	115,18	335,58	492,04	362,18	247,87
	63,63	98,95	115,56	62,36	91,56	115,05	332,36	427,22	420,22	341,91
	62,01	97,67	115,72	62,36	93,82	115,29	377,56	381,63	383,04	386,19
	60,71	95,80	115,51	62,71	95,29	115,18	359,57	379,28	401,25	385,01
	59,93	96,13	115,36	61,67	95,73	115,12	345,22	357,86	416,23	401,25
	60,09	96,11	115,78				367,71		391,30	
	60,05	94,87	115,49				404,18		358,63	
	60,08	94,75	115,09				396,86		365,33	

#### 4.1.5.3 Ensaio com carga de 10 kg

##### 4.1.5.3.1 Sujeito 1

##### 4.1.5.3.1.1 Fase 1

A Tabela 4.21 apresenta os valores médios obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 1 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.21 - Valores médios obtidos com carga de 10 kg na Fase 1 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1	60,79	95,58	115,81	61,34	95,78	116,51	388,06	390,46	372,29	362,70

## 4.1.5.3.1.2 Fase 2

A Tabela 4.22 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 2 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.22 - Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 2 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
2	61,55	95,81	115,56	65,00	95,39	116,34	376,49	319,08	325,97	270,97
	62,90	95,24	115,78	65,89	94,49	110,80	416,02	423,78	239,38	253,60
	65,66	94,64	116,00	68,11	93,31	99,32	397,52	479,12	272,55	296,83
	68,04	94,18	110,28	68,22	92,64	86,79	466,63	532,77	335,22	301,17
	69,71	92,96	98,72	68,42	93,08	78,06	505,77	552,92	367,69	298,81
	68,51	92,88	86,27	70,25	93,39	73,88	497,62	464,05	328,72	308,25
	69,56	92,76	76,77	69,61	93,69	71,85	483,86	433,47	329,51	347,61
	69,51	91,65	72,06	69,15	93,93	71,25	437,34	461,03	324,39	339,74
	67,50	92,59	70,84	70,36	93,39	66,43	467,92	521,84	354,70	346,24
	69,63	92,96	66,54	70,50	92,71	66,56	504,26	525,27	384,22	329,71
	69,45	93,07	66,17	70,69	93,48	67,43	564,07	610,41	484,74	430,81
	68,58	93,40	66,14				467,28		352,93	

## 4.1.5.3.1.3 Fase 3

A Tabela 4.23 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 3 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.23 - Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 3 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
3	68,68	94,44	70,78	70,22	94,09	72,14	582,29	553,35	437,60	438,00
	68,67	94,00	77,52	67,54	93,65	82,99	488,81	553,78	373,98	384,81
	69,36	94,02	87,84	68,17	93,22	98,74	371,57	465,34	349,58	284,20
	68,69	95,24	102,42	66,33	95,27	111,18	326,15	419,25	314,16	255,37
	65,36	96,51	113,40	62,61	96,96	115,61	428,30	299,16	448,79	527,21
	63,47	97,33	115,69	63,25	97,63	115,50	479,98	321,44	383,82	544,64

## 4.1.5.3.1.4 Fase 4

A Tabela 4.24 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 4 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.24 - Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 4 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
4	62,52	97,19	115,70	63,90	98,28	115,79	493,76	325,30	366,90	531,96
	64,79	97,53	116,12	64,43	97,93	115,74	519,06	342,86	342,89	519,48
	65,17	97,57	115,47	63,94	98,71	115,90	445,31	323,58	339,35	541,87
	66,61	98,25	115,26	64,58	97,80	116,14	409,99	315,01	286,37	552,96
				63,99	96,58	115,89		318,66		534,54
				62,97	96,05	116,12		290,40		514,53

## 4.1.5.3.1.5 Fase 5

A Tabela 4.25 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 5 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.25 - Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 5 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
5	66,96	99,67	113,40	64,45	94,12	114,01	401,60	286,77	440,00	372,02
	68,17	102,05	105,24	65,71	90,13	104,50	387,85	476,10	544,04	294,47
	65,87	105,01	92,81	64,22	87,85	91,45	350,57	545,64	617,98	350,76
	66,75	107,15	81,38	66,47	85,94	79,42	294,88	600,53	652,71	393,66
	65,84	108,54	74,17	64,95	84,58	72,76	189,78	644,37	707,38	314,16
	64,84	111,17	71,67	65,99	83,83	72,50	197,91	579,93	648,81	291,71
	63,06	111,71	71,12	64,00	82,25	71,84	197,91	583,36	672,61	248,46
	63,34	112,65	71,18	63,32	80,81	71,97	207,74	654,26	587,43	195,33
	63,63	112,75	70,36	66,10	79,50	72,07	277,58	620,52	504,43	209,56
	63,77	112,42	70,93	65,89	79,05	71,43	392,57	555,28	495,71	249,45
				67,86	78,57	71,36		540,49		250,24
				66,73	78,57	71,25		494,62		269,98
				66,95	84,82	77,07		431,31		300,78
				66,44	86,49	77,48		451,12		340,53

## 4.1.5.3.1.6 Fase 6

A Tabela 4.26 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 6 dos ciclos com carga de 10 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.26 - Dados obtidos com carga de 10 kg na Fase 6 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
6	64,21	105,40	76,37	65,62	88,45	81,19	421,62	483,86	448,59	429,61
	65,98	102,74	81,71	66,01	89,71	92,38	406,55	366,42	360,41	478,15
	65,92	102,66	93,72	66,00	90,23	106,71	330,87	279,08	292,49	377,33
	65,42	99,48	106,81	65,52	91,97	116,10	307,73	399,87	298,02	116,66
	64,67	98,20	114,72	64,72	92,97	116,33	406,33	474,60	350,76	331,08
	63,47	97,32	115,19	63,71	94,05	116,42	386,56	464,26	378,31	308,65
	63,20	96,70	115,43	64,38	95,00	116,20	371,57	415,81	384,22	335,41
	62,12	96,44	114,92	63,01	95,84	115,88	376,06	369,85	391,11	393,27
	62,66	96,05	115,19	63,23	96,72	115,77	373,71	355,71	395,26	418,43
				63,31	97,18	115,73		323,15		423,22

#### 4.1.5.4 Ensaio com carga de 15 kg

##### 4.1.5.4.1 Sujeito 1

##### 4.1.5.4.1.1 Fase 1

A Tabela 4.27 apresenta os valores médios obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 1 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.27 - Valores médios obtidos com carga de 15 kg na Fase 1 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
1	52,59	93,19	114,15	56,32	94,09	114,33	384,53	395,69	373,95	363,39

## 4.1.5.4.1.2 Fase 2

A Tabela 4.28 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 2 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.28 - Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 2 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
2	53,94	92,89	114,59	60,45	94,12	114,96	395,78	394,27	355,68	368,08
	57,53	92,59	114,39	62,07	93,95	112,96	304,95	371,78	297,23	357,26
	59,87	92,67	108,64	65,08	93,66	106,62	352,50	315,44	300,97	311,40
	63,14	91,16	98,98	64,14	92,72	95,55	445,96	366,85	274,72	313,76
	64,43	90,75	86,46	65,54	92,74	83,84	521,63	437,77	335,02	294,86
	63,87	89,89	76,31	65,55	92,41	75,17	510,48	477,40	307,47	345,25
	64,14	89,56	71,30	63,52	91,28	70,28	501,05	486,87	342,50	348,01
	64,13	89,69	69,21	68,70	91,10	64,13	470,51	513,91	301,17	361,00
	67,73	88,81	64,08	67,35	89,96	64,67	503,62	469,00	290,92	318,29
	65,86	89,25	63,13	65,97	90,81	63,91	522,91	458,66	324,79	304,52
	66,38	89,42	63,89	65,45	91,56	63,42	535,99	467,28	357,45	296,25
	66,67	89,42	63,47	64,82	91,58	63,72	555,71	520,34	361,19	328,72
	66,99	91,14	64,28	65,63	91,86	64,28	653,62	527,63	464,97	368,47

## 4.1.5.4.1.3 Fase 3

A Tabela 4.29 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 3 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.29 - Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 3 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
3	65,06	90,58	71,01	65,45	91,99	69,19	620,73	560,64	455,58	426,42
	61,22	91,32	83,64	65,26	92,33	79,85	534,92	602,68	433,21	475,55
	59,01	92,25	98,57	64,31	91,73	93,71	439,93	530,63	342,10	424,02
	56,47	93,47	109,74	64,15	92,97	107,01	328,29	518,20	351,94	405,24
	54,37	94,40	112,13	61,95	94,21	112,73	366,42	458,88	507,79	346,63
	54,72	95,02	111,56	62,35	95,41	112,39	386,56	364,28	535,53	267,02

## 4.1.5.4.1.4 Fase 4

A Tabela 4.30 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 4 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.30 - Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 4 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
4	55,70	96,40	112,72	61,80	94,67	112,79	395,57	384,20	501,85	519,48
	57,26	96,84	113,25	62,01	94,41	112,92	454,14	403,96	445,99	508,39
	58,40	98,09	113,40	60,82	94,41	113,10	446,82	401,81	471,56	499,27
	58,51	100,39	112,79	61,94	92,63	113,36	397,29	380,13	515,32	541,87
				61,44	90,60	113,19		376,71		545,43

## 4.1.5.4.1.5 Fase 5

A Tabela 4.31 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 5 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.31 - Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 5 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
5	56,03	101,49	111,39	60,69	88,07	111,56	308,16	418,39	501,06	468,76
	58,15	102,01	105,48	59,70	86,48	105,76	258,57	418,82	516,11	445,99
	57,85	102,45	93,98	60,17	83,79	95,30	400,73	496,33	529,58	290,92
	57,45	104,13	83,79	59,84	82,51	84,57	380,56	607,19	570,39	296,05
	59,18	103,60	75,19	59,80	80,82	74,93	336,86	617,29	633,59	270,18
	60,05	104,60	69,97	59,91	80,21	69,40	357,86	688,22	653,49	307,66
	57,82	106,42	67,81	61,10	77,81	67,53	272,88	691,23	663,83	291,51
	59,21	108,27	67,06	60,72	77,22	67,49	274,17	686,50	674,37	257,54
	57,68	108,71	66,63	61,00	74,35	66,60	216,28	686,50	689,98	217,46
	58,65	109,69	66,42	61,84	73,41	67,10	207,74	733,06	694,86	163,15
	59,66	109,81	67,59	60,81	73,89	67,15	293,18	734,79	479,55	144,47
	59,60	108,96	68,08	62,71	73,79	67,69	339,01	658,13	409,24	196,52
	59,51	100,66	75,85	61,99	73,83	68,02	334,29	540,49	436,80	219,43

## 4.1.5.4.1.6 Fase 6

A Tabela 4.32 apresenta os dados obtidos do centro de massa em função das forças de reação do solo do sujeito 1 durante a fase 6 dos ciclos com carga de 15 kg realizados para direita e esquerda.

Tabela 4.32 - Dados obtidos com carga de 15 kg na Fase 6 - Sujeito 1

Fase	Coordenadas (CM)						Força de reação (N)			
	XCM; YCM; ZCM						Plataforma 1		Plataforma 2	
	Direita			Esquerda			Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
6	59,70	99,52	80,66	61,37	83,63	75,18	443,37	508,98	510,57	237,60
	59,42	99,15	92,89	61,52	85,78	78,79	479,55	505,77	362,57	267,22
	58,65	96,54	107,08	60,74	86,89	90,09	405,47	533,42	273,54	401,86
	58,85	94,89	113,85	61,10	87,81	104,85	309,02	427,44	232,47	447,79
	56,82	94,15	113,74	60,56	89,25	113,10	390,64	322,30	404,44	367,49
	57,39	94,38	113,59	59,22	90,99	113,91	361,28	345,86	391,89	260,90
	57,29	94,98	114,37	57,83	91,51	114,00	336,01	392,13	423,82	239,58
	56,89	94,75	114,36	57,15	92,41	114,12	348,00	435,19	428,01	293,68
	55,85	94,68	115,11	57,06	92,61	114,43	334,29	458,88	422,02	299,99
				55,81	92,83	113,70		417,10		332,66
				56,50	92,80	113,80		413,01		355,68
				56,86	93,79	113,53		406,33		347,02

#### 4.1.6 Forças de Reação médias obtidas nos ensaios sem e com variação de carga

##### 4.1.6.1 Forças Médias - Plataforma 1

A Tabela 4.33 apresenta as forças médias e o desvios padrões obtidos, de cada sujeito por fase, nos ciclos para direita sem carga e com variação de carga na plataforma de força 1.

Tabela 4.33 - Forças médias obtidas nos ciclos direita (D) durante ensaios com e sem variação de carga – Plataforma 1

Sujeitos	Forças de Reação Média (N) e Desvio Padrão por Fase - Plataforma 1								
	Fases	Ciclos Direita							
		0 kg		5 kg		10 kg		15 kg	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	1	383,00	4,21	386,07	31,17	388,06	8,86	384,53	5,06
	2	409,67	62,02	496,85	59,47	465,40	52,23	482,67	91,13
	3	424,44	94,86	469,67	45,76	446,18	91,41	436,47	75,43
	4	410,07	30,33	397,20	34,19	467,03	48,81	411,19	24,51
	5	438,89	59,31	354,93	37,78	289,84	88,30	306,18	59,37
	6	391,67	70,66	360,60	33,40	375,67	36,69	378,63	56,02
2	1	395,68	7,87	396,49	5,23	378,12	3,47	407,06	4,74
	2	418,27	59,36	403,92	48,69	408,57	43,16	402,79	29,58
	3	391,64	63,00	421,40	54,45	437,09	50,37	448,43	44,03
	4	416,86	31,03	401,79	34,92	454,17	24,70	443,91	7,98
	5	352,73	55,83	325,95	59,66	335,92	71,91	284,62	80,03
	6	331,24	36,38	330,74	34,02	324,87	57,40	328,33	23,74
3	1	414,35	4,61	405,13	2,83	429,21	4,40	415,59	2,18
	2	416,22	60,93	419,57	65,82	429,70	68,63	448,11	75,75
	3	409,34	35,19	461,94	84,13	523,07	77,56	529,50	48,34
	4	462,43	2,50	603,72	50,13	553,14	2,01	691,66	6,08
	5	384,27	91,28	429,44	101,11	386,67	88,93	393,81	106,31
	6	350,82	83,61	409,14	47,69	338,48	92,96	385,59	45,32
4	1	291,25	3,57	293,48	4,68	280,29	5,50	285,66	2,41
	2	306,67	46,43	298,74	28,05	318,80	52,63	306,54	46,25
	3	285,17	45,18	307,12	43,28	353,29	52,21	376,30	35,09
	4	273,10	25,60	325,30	18,05	312,29	38,70	354,32	63,12
	5	244,12	51,27	175,75	64,25	137,03	56,49	170,75	64,14
	6	228,88	46,89	232,65	47,15	260,31	70,51	236,55	55,19
5	1	338,34	3,16	323,54	5,18	329,07	5,33	327,52	6,01
	2	318,99	18,39	305,20	25,36	322,52	32,79	317,47	28,98
	3	313,85	14,45	328,44	33,12	358,07	25,17	382,59	27,91
	4	342,17	36,42	326,74	18,43	382,33	42,58	405,33	8,08
	5	285,58	52,38	306,36	70,98	215,44	35,28	229,87	77,52
	6	252,62	50,91	228,70	34,27	275,41	31,78	264,38	40,03
6	1	325,08	6,84	347,82	4,92	336,08	3,60	303,85	41,79
	2	357,37	37,94	353,41	37,77	353,63	53,09	388,40	69,82
	3	358,37	80,79	375,63	59,75	386,75	34,57	383,27	64,74
	4	336,01	24,17	378,91	46,06	408,51	32,60	424,80	25,41
	5	344,67	36,69	296,31	64,17	323,45	69,72	335,90	70,94
	6	306,55	55,06	332,87	43,76	330,65	42,24	357,09	29,36

A Tabela 4.34 apresenta as forças médias e o desvios padrões obtidos, de cada sujeito por fase, nos ciclos para esquerda sem carga e com variação de carga na plataforma de força 1.

Tabela 4.34 - Forças médias obtidas nos ciclos esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga – Plataforma 1

Sujeitos	Forças de Reação Média (N) e Desvio Padrão por Fase - Plataforma 1								
	Fases	Ciclos Esquerda							
		0 kg		5 kg		10 kg		15 kg	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	1	385,49	13,79	394,31	3,71	390,46	13,69	395,69	3,51
	2	436,93	40,22	448,78	57,49	483,98	77,83	446,71	65,93
	3	374,19	101,26	397,08	134,81	435,39	110,12	505,88	84,13
	4	265,45	16,49	287,15	29,15	319,30	17,11	389,36	12,65
	5	437,63	34,13	547,25	73,47	533,17	98,90	613,61	111,19
	6	335,64	45,36	404,45	43,04	393,26	67,53	430,53	63,72
2	1	383,99	11,74	368,32	10,86	376,45	4,86	390,98	7,34
	2	409,19	42,70	377,86	33,34	400,66	36,28	419,20	42,11
	3	378,60	48,24	385,96	40,33	421,25	43,11	455,53	40,88
	4	376,48	48,29	339,15	30,63	407,70	26,62	468,93	25,45
	5	446,79	74,35	480,96	96,34	515,47	93,41	593,23	123,96
	6	417,80	69,25	368,10	70,53	381,58	39,14	407,72	44,24
3	1	385,79	13,11	400,34	3,48	412,79	9,92	426,29	6,08
	2	397,24	68,12	420,08	83,01	427,08	60,82	460,17	104,10
	3	472,89	36,73	465,80	66,86	503,01	98,33	524,72	80,22
	4	337,29	18,78	243,94	46,37	327,44	37,14	337,29	21,18
	5	442,22	102,39	553,80	117,72	550,71	110,19	631,55	126,13
	6	489,59	125,06	538,60	68,39	527,80	71,91	499,42	114,25
4	1	307,69	4,51	297,49	9,15	268,40	1,43	284,16	3,25
	2	285,60	26,63	298,29	14,56	279,47	33,32	326,35	59,25
	3	296,47	18,66	348,43	17,69	353,86	38,19	380,28	33,47
	4	289,43	22,55	312,98	11,34	348,06	30,48	414,95	46,31
	5	317,51	53,89	415,69	75,67	462,79	78,70	498,42	81,14
	6	277,11	59,95	310,81	57,23	281,59	74,49	295,78	53,93
5	1	306,88	10,59	300,45	1,26	325,68	9,14	317,28	5,52
	2	304,35	27,66	314,65	15,47	313,92	32,00	304,22	31,83
	3	297,96	31,32	340,46	20,38	373,52	31,99	323,57	42,81
	4	256,22	34,29	322,65	3,35	311,09	24,66	306,45	18,46
	5	373,30	90,06	452,87	80,34	463,24	100,49	519,31	62,37
	6	341,74	71,33	364,17	54,87	342,94	44,33	368,81	66,98
6	1	335,28	2,86	318,47	4,95	306,45	7,21	345,62	5,92
	2	333,74	29,79	344,86	44,63	332,97	28,55	335,29	38,70
	3	329,46	60,33	329,35	75,60	373,27	64,16	425,27	60,41
	4	257,15	24,11	266,69	29,91	317,30	3,27	273,76	55,08
	5	319,64	110,12	407,77	121,51	459,59	94,79	488,63	96,30
	6	348,63	40,23	344,10	58,47	367,23	36,44	322,90	73,16

#### 4.1.6.2 Forças Médias - Plataforma 2

A Tabela 4.35 apresenta as forças médias e o desvios padrões obtidos, de cada

sujeito por fase, nos ciclos para direita sem carga e com variação de carga na plataforma de força 2.

Tabela 4.35 - Forças médias obtidas nos ciclos direita (D) durante ensaios com e sem variação de carga – Plataforma 2

Sujeitos	Forças de Reação Média (N) e Desvio Padrão por Fase - Plataforma 2								
	Fases	Ciclos Direita							
		0 kg		5 kg		10 kg		15 kg	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	1	374,18	1,06	335,85	49,13	372,29	9,76	373,95	6,34
	2	349,36	19,27	325,01	39,30	341,67	59,85	331,85	48,82
	3	322,71	59,08	272,77	45,06	384,66	51,44	437,69	79,14
	4	353,78	35,68	385,16	11,84	333,88	33,95	483,68	31,08
	5	322,58	43,96	453,74	60,80	587,11	87,89	573,30	100,67
	6	365,85	61,31	380,86	54,18	366,57	48,83	383,26	84,47
2	1	301,46	7,62	302,25	4,84	321,48	5,31	292,22	4,93
	2	286,70	32,43	305,76	46,07	307,55	55,24	343,20	73,31
	3	303,77	21,40	327,07	30,06	355,25	65,63	395,68	66,29
	4	280,92	29,58	341,86	30,96	325,37	8,04	392,49	11,77
	5	350,98	107,91	411,41	82,63	427,93	86,34	524,37	95,08
	6	371,49	66,53	364,78	48,19	370,21	52,01	374,24	48,33
3	1	409,91	5,08	417,43	0,82	391,70	1,11	407,84	1,89
	2	409,27	24,78	414,68	23,47	404,57	34,58	418,99	56,53
	3	412,22	43,25	407,68	54,62	400,37	83,52	409,77	71,27
	4	360,60	1,69	264,04	51,53	341,12	1,69	246,09	10,89
	5	447,67	112,02	441,09	128,34	528,75	119,51	562,23	146,79
	6	468,86	59,38	412,97	86,97	485,19	81,91	431,09	84,86
4	1	254,83	1,01	254,86	5,10	265,67	8,13	258,89	2,28
	2	251,62	27,37	257,37	32,09	241,94	19,06	274,24	42,22
	3	246,22	21,27	283,18	60,90	287,52	39,88	310,18	51,89
	4	274,72	26,92	265,11	18,16	323,03	33,88	332,04	64,83
	5	303,83	71,76	415,59	79,02	493,79	76,58	495,75	94,09
	6	317,11	31,29	313,37	89,68	287,11	94,79	307,94	66,02
5	1	306,95	3,26	317,39	5,70	312,03	4,64	314,12	4,73
	2	326,25	18,90	328,65	7,66	338,36	28,13	340,22	29,49
	3	331,93	26,18	362,28	17,68	370,80	17,47	409,35	18,09
	4	298,12	37,39	333,15	35,67	333,74	29,88	378,71	11,94
	5	359,00	74,02	380,21	83,84	510,95	61,09	558,09	80,36
	6	394,30	55,64	433,60	70,46	359,72	30,47	379,84	53,65
6	1	412,49	5,57	386,80	4,24	401,95	4,53	433,51	44,15
	2	384,91	30,95	384,01	31,43	404,09	29,15	385,86	66,31
	3	369,44	41,71	414,05	17,91	442,22	49,63	486,90	28,88
	4	399,72	23,12	395,01	44,12	424,95	32,02	451,78	25,01
	5	407,58	57,67	488,30	83,57	505,75	86,61	537,68	89,93
	6	429,96	40,63	400,07	35,65	406,91	47,18	378,05	53,46

A Tabela 4.36 apresenta as forças médias e o desvios padrões obtidos, de cada sujeito por fase, nos ciclos para esquerda sem carga e com variação de carga na plataforma de força 2.

Tabela 4.36 - Forças médias obtidas nos ciclos esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga – Plataforma 2

Sujeitos	Forças de Reação Média (N) e Desvio Padrão por Fase - Plataforma 2								
	Fases	Ciclos Esquerda							
		0 kg		5 kg		10 kg		15 kg	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1	1	359,13	12,96	367,23	6,90	362,70	4,82	363,39	2,06
	2	338,21	34,35	338,42	50,85	320,34	47,44	331,99	27,25
	3	366,30	82,61	397,39	96,99	405,71	120,75	390,81	73,54
	4	453,39	67,94	471,44	59,77	532,56	14,16	522,89	20,30
	5	394,62	38,07	270,66	71,21	291,51	58,96	274,59	96,28
	6	393,82	59,85	318,25	72,22	361,18	100,50	320,96	66,11
2	1	310,52	11,71	331,25	11,91	321,16	4,78	306,60	1,83
	2	291,39	66,45	319,58	54,24	320,91	52,54	339,17	58,83
	3	318,85	46,59	362,06	55,07	365,38	45,15	382,53	79,86
	4	318,13	50,55	407,71	31,16	378,53	22,81	365,16	31,02
	5	257,41	55,74	248,87	55,54	257,04	39,27	227,70	70,89
	6	278,39	35,35	321,01	32,08	315,41	24,07	291,86	37,80
3	1	438,32	14,29	421,02	3,82	410,16	7,37	391,58	11,17
	2	429,73	28,25	431,06	38,40	418,07	44,23	410,63	51,39
	3	349,82	69,96	386,17	86,94	420,28	56,43	428,79	58,40
	4	480,75	8,47	602,49	43,99	584,23	23,36	614,44	31,82
	5	397,08	60,80	324,27	72,42	375,67	78,43	345,61	78,35
	6	324,05	138,38	272,56	81,51	288,72	105,48	323,14	99,93
4	1	239,02	4,45	245,07	2,90	277,45	3,39	263,59	2,00
	2	270,58	44,08	262,78	33,93	274,15	23,12	292,70	49,67
	3	241,67	42,88	243,30	70,49	288,55	47,01	310,06	53,91
	4	255,29	20,39	279,16	16,27	290,10	31,51	278,66	58,96
	5	232,20	38,99	170,55	65,23	176,26	57,91	153,81	62,39
	6	268,98	36,21	235,45	26,27	267,90	60,07	249,21	30,56
5	1	336,75	8,36	342,94	1,79	315,18	8,25	322,42	10,55
	2	341,57	8,58	330,35	20,91	337,04	20,27	357,19	26,45
	3	346,72	23,48	350,38	37,35	362,44	19,55	468,96	14,44
	4	385,21	32,10	366,77	7,31	427,55	21,22	478,73	22,61
	5	266,36	72,53	230,33	73,00	260,13	94,09	249,04	58,78
	6	300,61	54,22	266,55	55,90	298,18	27,08	286,82	40,20
6	1	400,55	3,04	420,00	4,87	433,51	7,63	388,87	4,79
	2	405,07	28,96	410,49	14,79	410,70	27,77	400,67	22,00
	3	406,04	42,99	442,32	31,48	463,53	60,65	457,90	37,67
	4	485,35	26,15	522,39	24,16	519,94	6,40	611,33	45,11
	5	421,23	85,51	370,90	119,58	349,70	87,33	383,91	106,47
	6	386,27	34,06	394,19	47,21	367,13	28,83	422,69	54,88

#### 4.1.7 Deslocamentos totais do centro de massa durante ensaios

A Tabela 4.37 apresenta os deslocamentos totais do centro de massa, calculados a partir das coordenadas x, y e z de cada sujeito, nos ciclos para direita e esquerda, sem carga e com variação de carga.

Tabela 4.37 - Deslocamentos dos Centros de Massa obtidos nos ciclos direita (D) e esquerda (E) durante ensaios com e sem variação de carga

Amostras	Deslocamento (cm) do Centro de Massa								
	Fases	0		5		10		15	
		D	E	D	E	D	E	D	E
1	1	2,15	1,16	0,90	1,63	0,52	2,23	0,73	1,60
	2	49,28	48,93	49,02	46,15	49,98	49,28	52,00	50,99
	3	48,71	45,30	44,57	40,36	45,30	44,06	42,08	43,45
	4	2,84	5,57	2,84	1,32	4,25	2,44	4,88	4,11
	5	36,18	38,94	40,88	39,13	44,46	37,37	35,72	45,83
	6	28,86	34,62	39,65	36,01	39,96	35,70	35,00	39,93
2	1	1,42	1,14	0,99	0,54	0,54	0,82	1,01	5,88
	2	48,89	46,72	52,11	50,39	53,75	52,05	50,71	40,43
	3	46,69	47,83	49,35	48,89	49,93	49,40	49,46	50,25
	4	1,71	2,81	2,22	1,59	2,53	2,81	2,28	1,91
	5	43,19	43,66	43,75	42,24	47,19	48,14	53,29	54,29
	6	39,93	37,62	39,22	35,82	40,92	44,98	45,21	47,97
3	1	1,27	0,68	0,84	1,20	0,43	1,14	0,74	1,34
	2	45,38	41,19	44,43	42,45	50,94	48,06	50,48	44,10
	3	41,46	40,24	40,86	35,06	47,03	48,55	39,71	39,78
	4	3,30	2,65	1,39	2,61	3,37	2,76	1,63	4,39
	5	33,95	42,44	45,34	34,03	37,40	39,62	44,10	41,55
	6	36,63	37,54	36,45	37,37	39,16	39,79	35,44	39,61
4	1	3,65	0,97	2,06	1,42	1,42	1,57	0,97	1,00
	2	22,95	38,68	44,44	33,72	43,31	42,39	43,56	45,69
	3	19,87	38,54	39,58	43,61	43,06	44,35	40,42	40,54
	4	4,86	1,69	2,10	3,70	7,29	2,64	4,44	6,85
	5	25,68	34,67	39,63	38,11	43,98	44,35	48,42	43,27
	6	23,43	39,64	34,93	34,68	39,50	46,45	36,16	37,48
5	1	1,93	0,95	1,04	0,45	0,56	0,23	0,44	0,39
	2	37,40	36,16	40,01	42,82	45,26	44,17	47,68	47,10
	3	39,90	37,80	37,58	39,96	42,57	40,84	42,97	46,07
	4	1,46	1,79	2,84	1,95	3,08	3,01	2,10	5,37
	5	37,17	34,39	38,31	40,96	42,29	42,75	44,25	42,36
	6	36,85	33,46	32,16	35,61	37,31	35,44	34,55	32,02
6	1	0,74	2,08	1,75	0,91	1,50	0,83	2,17	0,33
	2	42,71	43,89	46,39	40,20	47,57	46,37	46,04	48,36
	3	43,07	43,33	49,03	38,83	44,90	46,32	43,35	49,30
	4	2,59	1,27	2,28	2,26	2,01	2,84	2,28	5,39
	5	39,81	41,33	35,68	39,32	48,10	34,52	49,14	46,74
	6	37,75	38,83	33,35	34,58	33,37	33,37	38,40	39,88

#### 4.1.8 Forças de reação médias e deslocamentos médios do centro de massa nos ensaios sem e com variação de carga

##### 4.1.8.1 Ensaio sem carga

A Tabela 3.38 apresenta a relação entre os deslocamentos médios totais dos centros de massa e as forças de reação médias obtidas entre os sujeitos durante as fases dos ensaios sem carga.

Tabela 4.38- Deslocamentos médios totais do centro de massa e forças de reação médias nos ciclos direita e esquerda durante ensaios sem carga.

Deslocamento do centro de massa e força de reação média				
Ciclo Direita				
Fases	CM (cm)	Plataforma 1 (N)	Plataforma 2 (N)	Força Total (N)
1	1,86 ± 1,01	357,95 ± 47,22	343,30 ± 64,93	701,25
2	41,10 ± 9,92	371,20 ± 50,60	334,68 ± 59,28	705,88
3	39,95 ± 10,37	363,80 ± 50,38	331,05 ± 51,75	694,85
4	2,79 ± 1,23	373,44 ± 68,69	327,98 ± 50,98	701,42
5	36,00 ± 5,97	341,71 ± 68,69	365,27 ± 53,70	706,98
6	33,91 ± 6,36	310,30 ± 61,10	391,26 ± 53,03	701,56
Ciclo Esquerda				
Fases	CM (cm)	Plataforma 1 (N)	Plataforma 2 (N)	Força Total (N)
1	1,16 ± 0,48	350,85 ± 38,88	347,38 ± 69,93	698,23
2	42,6 ± 4,85	361,17 ± 61,70	346,09 ± 62,04	707,26
3	42,17 ± 3,98	358,26 ± 60,67	338,23 ± 50,48	696,49
4	2,63 ± 1,56	297,00 ± 49,48	396,35 ± 94,27	693,35
5	39,24 ± 3,97	389,51 ± 61,15	328,15 ± 84,69	717,66
6	36,95 ± 2,42	368,42 ± 74,34	325,35 ± 53,65	693,77

##### 4.1.8.2 Ensaios com carga de 5 kg

A Tabela 3.39 apresenta a relação entre os deslocamentos médios totais dos centros de massa e as forças de reação médias obtidas entre os sujeitos durante as fases dos ensaios com carga de 5 kg.

Tabela 4.39- Deslocamentos médios totais do centro de massa e forças de reação médias nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 5 kg

<b>Deslocamento do centro de massa e força de reação média</b>				
<b>Ciclo Direita</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	1,26 ± 0,51	358,75 ± 44,59	335,76 ± 58,79	694,51
2	46,07 ± 4,18	379,62 ± 75,75	335,91 ± 56,15	715,53
3	43,50 ± 4,97	394,03 ± 62,28	344,50 ± 55,30	738,53
4	2,28 ± 0,54	405,61 ± 102,67	330,72 ± 56,52	736,33
5	40,60 ± 3,55	355,98 ± 83,21	431,72 ± 37,68	787,70
6	35,96 ± 3,06	315,79 ± 71,74	384,27 ± 42,24	700,06
<b>Ciclo Esquerda</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	1,03 ± 0,48	346,56 ± 46,84	354,58 ± 65,61	701,14
2	42,62 ± 5,62	367,42 ± 59,28	348,78 ± 62,08	716,20
3	41,12 ± 4,70	377,85 ± 46,16	363,61 ± 61,23	741,46
4	2,24 ± 0,85	295,43 ± 36,07	441,66 ± 115,27	737,09
5	38,97 ± 2,83	476,39 ± 63,21	269,26 ± 70,75	745,65
6	35,68 ± 1,02	388,37 ± 79,74	301,34 ± 55,99	689,71

#### 4.1.8.3 Ensaios com carga de 10 kg

A Tabela 3.40 apresenta a relação entre os deslocamentos médios totais dos centros de massa e as forças de reação médias obtidas entre os sujeitos durante as fases dos ensaios com carga de 10 kg.

Tabela 4.40- Deslocamentos médios totais do centro de massa e forças de reação médias nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 10 kg

<b>Deslocamento do centro de massa e força de reação média</b>				
<b>Ciclo Direita</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	0,83 ± 0,49	356,80 ± 52,40	344,19 ± 53,10	700,99
2	48,47 ± 3,85	383,10 ± 60,44	339,70 ± 61,56	722,80
3	45,47 ± 2,72	417,41 ± 59,09	373,47 ± 47,08	790,61
4	3,76 ± 1,89	429,59 ± 82,10	347,02 ± 38,73	776,61
5	43,90 ± 3,84	281,39 ± 90,64	509,05 ± 51,59	790,44
6	38,37 ± 2,72	317,56 ± 79,74	379,29 ± 64,96	696,85
<b>Ciclo Esquerda</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	1,14 ± 0,69	346,71 ± 55,43	353,36 ± 59,99	700,07
2	47,05 ± 3,51	373,01 ± 77,26	346,87 ± 56,40	719,88
3	45,59 ± 3,17	410,05 ± 50,05	384,31 ± 54,82	794,36
4	2,75 ± 0,19	338,48 ± 36,25	455,49 ± 110,20	793,97
5	41,13 ± 4,94	497,49 ± 40,60	285,05 ± 71,65	782,54
6	39,29 ± 5,42	382,40 ± 81,49	316,42 ± 40,07	698,82

#### 4.1.8.4 Ensaios com carga de 15 kg

A Tabela 3.41 apresenta a relação entre os deslocamentos médios totais dos centros de massa e as forças de reação médias obtidas entre os sujeitos durante as fases dos ensaios com carga de 15 kg.

Tabela 4.41- Deslocamentos médios do centro de massa e forças de reação médias obtidas nos ciclos direita e esquerda durante ensaios com carga de 15 kg

<b>Deslocamento do centro de massa e força de reação média</b>				
<b>Ciclo Direita</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	1,01 ± 0,60	354,04 ± 55,55	346,75 ± 68,93	700,79
2	48,41 ± 3,23	391,00 ± 69,78	349,06 ± 49,49	740,06
3	43,00 ± 3,47	426,09 ± 54,01	408,26 ± 52,96	834,35
4	2,94 ± 1,36	455,20 ± 119,63	380,80 ± 85,19	836,00
5	45,82 ± 6,02	286,85 ± 78,67	541,90 ± 28,69	828,75
6	37,46 ± 4,03	325,10 ± 61,78	375,74 ± 39,34	700,84
<b>Ciclo Esquerda</b>				
<b>Fases</b>	<b>CM (cm)</b>	<b>Plataforma 1 (N)</b>	<b>Plataforma 2 (N)</b>	<b>Força Total (N)</b>
1	1,76 ± 2,08	360,00 ± 53,69	339,41 ± 50,71	699,41
2	46,11 ± 3,64	381,99 ± 67,83	355,39 ± 44,37	737,38
3	44,90 ± 4,40	435,88 ± 69,51	406,51 ± 53,48	842,39
4	4,67 ± 1,66	365,13 ± 72,67	478,53 ± 134,81	843,66
5	45,67 ± 4,67	557,46 ± 62,61	272,44 ± 82,95	829,90
6	39,48 ± 5,14	387,53 ± 62,61	315,78 ± 58,91	703,31

## 4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.2.1 Parâmetros temporais

#### 4.2.1.1 Ensaios sem carga

O sujeito 1 durante a realização dos ciclos de tarefa para direita e esquerda apresentou um tempo total maior durante o ciclo para a esquerda, com um acréscimo de 0,99 s, conforme apresenta a Tabela 4.2. O sujeito 2 apresentou um tempo total maior na execução do ciclo para direita, sendo o acréscimo de 0,8 s. A fase na qual ocorreu maior diferença de tempo entre os ciclos foi a fase 2, a qual corresponde ao movimento de flexão anterior, conforme apresenta a Tabela 4.1.

O sujeito 3 apresentou um tempo total maior na execução do ciclo para direita, sendo esse acréscimo de 1,58 s. A fase 1, relativa a posição inicial, foi a que

apresentou maior diferença de tempo entre os ciclos e isso explica-se pelo fato desse sujeito ter demorado a perceber o sinal luminoso para iniciar ciclo para direita.

O sujeito 4 apresentou o mesmo tempo total para execução dos ciclos para direita e esquerda, mesmo assim os tempos por fase apresentaram diferenças e a fase 4 foi a que apresentou diferença no tempo de execução, sendo a rotação para esquerda mais demorada.

O sujeito 5 apresentou o tempo total maior durante a execução do ciclo para direita, sendo o acréscimo de 0,99 s. Os tempos de cada fase dessa amostra são bem semelhantes se comparados os ciclos direita e esquerda, porém a fase 1 é a que apresenta maior diferença de tempo que pode ser justificado pelo fato do sujeito ter demorado a perceber o sinal luminoso durante a posição inicial.

O sujeito 6 apresentou o tempo total maior durante a execução do ciclo para esquerda, sendo esse acréscimo de tempo de 0,99 s. A fase 3 que corresponde ao movimento de extensão foi a que apresentou maior diferença entre os ciclos direita e esquerda.

Comparando-se os sujeitos pode-se afirmar que os sujeitos 1, 5 e 6 apresentaram a mesma diferença do tempo total de 0,9 s entre os ciclos direita e esquerda.

Metade da amostra, conforme mostra a Tabela 4.1, apresentaram um tempo total maior no ciclo para direita, que explica-se pelo fato dos ensaios serem realizados primeiramente para direita e quando realizados para esquerda já havia a experiência do movimento, então este já havia sido aprendido pelos sujeitos e conseqüentemente torna-se mais rápido.

Comparando-se o tempo de cada fase entre os sujeitos nos ciclos direita e esquerda pode-se observar que a fase 6 foi a mais demorada, isso ocorre provavelmente pelos sujeitos retornarem de um movimento combinado de flexão e rotação para a posição inicial.

#### 4.2.1.2 Ensaio com carga de 5 kg

Comparando-se o mesmo sujeito entre os ciclos direita e esquerda, todos apresentaram diferenças no tempo total, conforme mostra a Tabela 4.3.

O sujeito 1 apresentou o tempo total do ciclo para direita maior e esse acréscimo em relação ao ciclo para esquerda foi de 0,59 s, sendo as fases 5 e 6 as que apresentaram maior diferença de tempo entre os ciclos.

Para o sujeito 2 o tempo total do ciclo para direita foi maior que o da esquerda, sendo essa diferença de 0,2 s. O tempo da fase 1 foi o que apresentou maior diferença entre os ciclos.

O sujeito 3 apresentou um tempo total maior no ciclo para direita em relação ao ciclo para esquerda e essa diferença foi de 0,4 s. Na fase 3 ocorreu a maior diferença de tempo de fase entre os ciclos direita e esquerda.

O sujeito 4 apresentou um tempo total maior no ciclo para esquerda e a diferença de tempo em relação ao ciclo para direita foi de 0,79 s. Entre as fases a que apresentou maior diferença de tempo entre ciclos foi a fase 6.

O sujeito 5 apresentou um tempo total entre os ciclos maior à esquerda e a diferença em relação à direita foi de 1,39 s. Entre os tempos de fase ocorreu maior diferença entre os ciclos na fase 2.

O sujeito 6 apresentou um tempo total maior para o ciclo da direita e esse tempo em relação ao ciclo para esquerda foi acrescido de 0,8 s. Entre os tempos de fase ocorreu maior diferença entre os ciclos na fase 6.

Entre os sujeitos também ocorreu diferenças no tempo total para a execução dos ciclos.

#### 4.2.1.3 Ensaio com carga de 10 kg

Comparando-se o mesmo sujeito entre os ciclos direita e esquerda pode-se perceber por meio da Tabela 4.5 que 3 sujeitos (50 % da amostra), sendo eles 2, 3 e 5 apresentaram tempo total igual para execução dos ciclos. Porém, os tempos de cada fase não se mantiveram iguais nos ciclos direita e esquerda.

O sujeito 1 apresentou um tempo total maior no ciclo para esquerda, sendo esta diferença de 1,39 s em relação ao ciclo para direita, já os sujeitos 4 e 6 apresentaram um tempo total maior para direita, sendo a diferença tempo em relação ao ciclo da esquerda no sujeito 4 de 0,79 s e no sujeito 6 de 0,4 s.

Entre a amostra também houve diferenças no tempo total para a execução dos ciclos, porém os sujeitos 1 e 2 apresentaram o mesmo tempo total na execução do ciclo para esquerda.

#### 4.2.1.4 Ensaio com carga de 15 kg

Comparando-se o mesmo sujeito entre os ciclos direita e esquerda pode-se notar por meio da Tabela 4.7 que 2 sujeitos, sendo eles 3 e 4 apresentaram tempo total igual para execução dos ciclos. Mesmo apresentando tempos totais iguais, o tempo de cada fase não se manteve igual nos ciclos direita e esquerda.

Os sujeitos 2, 5 e 6 apresentaram tempo total nos ciclos para direita maior que os ciclos para esquerda, sendo essa diferença entre os ciclos de 1,19 s, 0,59 s e 0,2 s, respectivamente. Já o sujeito 1 apresentou o tempo total do ciclo para esquerda maior que o ciclo para direita e a diferença entre os ciclos desse sujeito foi de 0,99 s.

Entre os sujeitos também houve pequenas diferenças no tempo total para a execução dos ciclos.

#### 4.2.1.5 Comparação entre os ensaios sem carga, carga 5 kg, carga 10 kg e Carga 15 kg

O sujeito 1 sempre apresentou entre seus ciclos um tempo total maior no ciclo realizado para esquerda, independente da variação de carga.

O sujeito 3 foi o que apresentou entre seus ciclos direita e esquerda maior sincronia no tempo total, pois apresentou o mesmo tempo total direita e esquerda na maioria dos ensaios conforme apresenta as Tabelas 4.1, 4.3, 4.5 e 4.7.

Comparando-se os sujeitos também observa-se diferenças entre o tempo total e o tempo de cada fase nos ensaios realizados sem carga, carga de 5 kg, 10 kg e 15 kg, conforme mostra as Tabelas 4.1, 4.3, 4.5 e 4.7. Isso ocorre devido a uma tendência de cada sujeito possuir um ritmo próprio durante a realização dos movimentos nos ensaios. Segundo Iida (1998), fatores pessoais influenciam no desempenho de uma tarefa e cada indivíduo tem um desempenho físico e capacidades próprias.

Através da média do tempo de cada fase pode-se observar que as fases 1 e 4 foram as que apresentaram menor tempo de duração, isso porque a fase 1 refere-se a posição inicial e fase 4 refere-se ao movimento de rotação cuja amplitude foi pequena, conforme mostra as Tabelas 4.2, 4.4, 4.6 e 4.8.

Por meio da média de tempo de cada fase pode-se notar que com exceção do ensaio sem carga, a fase 5 foi a de maior duração nos ensaios com carga 5, 10 e 15 kg isso justifica-se porque durante essa fase os sujeitos realizaram um movimento combinado de rotação e flexão o que pode gerar um desequilíbrio e associado ao aumento da carga essa fase torna-se mais difícil.

Em relação à média da fase 2 (flexão) e fase 3 (extensão) pode-se observar através dos ensaios que a flexão é mais demorada que a extensão, mesmo quando está associada uma carga, isso explica-se pelo impulso que os sujeitos realizam no início do movimento de extensão.

Através da média do tempo total dos sujeitos, Tabelas 4.2, 4.4, 4.6 e 4.8, percebe-se que quando maior a carga imposta, maior a duração dos ciclos tanto para direita como esquerda. Isso ocorre, pela carga impor uma maior dificuldade e esforço para realização dos movimentos.

## **4.2.2 Força de reação vertical do solo e centro de massa**

### **4.2.2.1 Fase 1**

Essa fase é relativa à posição inicial da amostra, sendo as coordenadas do CM obtidas decorrentes dos dados antropométricos individuais e posicionamento em relação ao calibrador (fios de prumo). As forças médias obtidas são relativas ao peso corporal de cada sujeito que foi distribuído entre as plataformas de força 1 e 2.

No ensaio sem carga, durante o ciclo para a direita, as forças médias obtidas entre os sujeitos nesta fase variaram entre 291,25 N e 414,36 N na plataforma 1 e 254,83 N e 412,49 N na plataforma 2. Já no ciclo para esquerda as forças médias obtidas de cada amostra ficaram entre 306,88 N e 385,49 N para a plataforma 1 e 239,02 N e 438,32 para a plataforma 2.

No ensaio com carga de 5 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas entre os sujeitos na fase 1 permaneceram entre 293,48 N e 405,13 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 254,86 N e 417,43 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 297,49 N e 400,34 N e 245,07 N e 421,02 N para a plataforma 2.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para as amostras na fase 1 permaneceram entre 280,29 N e 429,21 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 265,67 N e 401,95 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 268,40 N e 412,79 N e 277,46 N e 433,51 N para a plataforma 2, conforme ilustram as Figuras 4.29 e 4.30.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para os sujeitos na fase 1 permaneceram entre 285,66 N e 415,52 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 258,89 N e 433,51 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 284,16 N e 426,29 N e 263,59 N e 391,58 N para a plataforma 2.

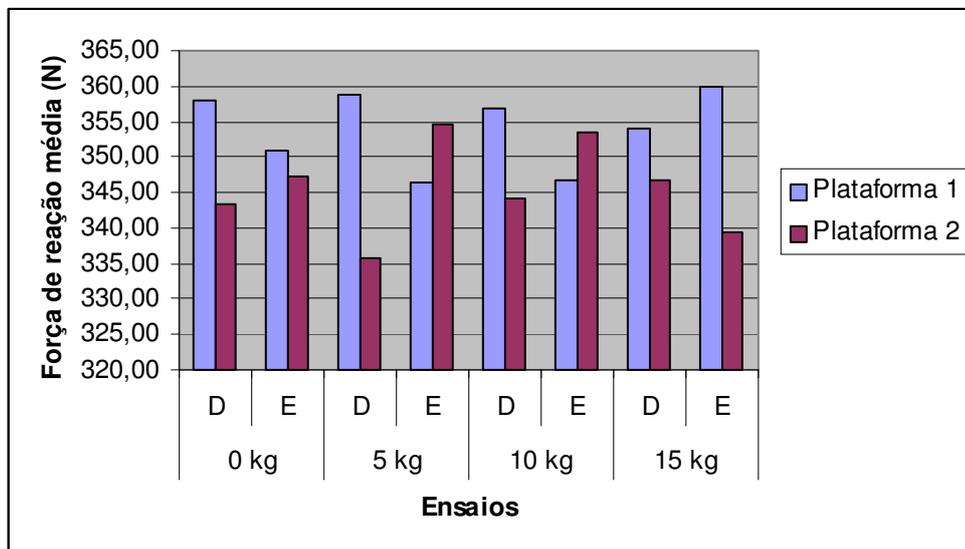


Figura 4.25 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 1

Pode-se observar, por meio da Figura 4.25, que nos ciclos para direita em todos os ensaios, os valores obtidos na plataforma de força 1 são maiores em relação aos valores médios da plataforma de força 2. Nos ciclos esquerda o mesmo não ocorreu,

pois nos ensaios sem carga e com carga 15 kg as forças médias continuaram sendo maiores na plataforma 1 e nos ensaios com carga 5 e 10 kg as forças médias são maiores na plataforma 2.

Nos ensaios sem carga, ciclos direita e esquerda, as diferenças entre as forças médias entre as duas plataformas foram de 14,65 N e 3,47 N, respectivamente. Nos ensaios com carga 5 kg a diferença no ciclo direita foi de 22,99 N e no ciclo esquerda de 8,02 N.

No ensaio com carga de 10 kg a variação da força média entre as plataformas de força 1 e 2 apresentou valores diferentes tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda, sendo a diferença no ciclo direita de 12,61 N e de 6,65 no ciclo esquerda. Já no ensaio com carga de 15 kg houve uma maior variação da força média na plataforma de força 1 durante o ciclo para direita, sendo a diferença de 7,29 N e no ciclo para esquerda a variação foi maior também na plataforma de força 1, sendo a diferença em relação a plataforma 2 de 20,59 N.

Por meio das forças médias de cada sujeito durante a fase 1, nos ensaios sem e com variação de carga, observou-se que somando as forças médias das plataformas 1 e 2 obtive-se valores bem próximos ao peso corporal total de cada sujeito. Para isso, durante as variações das forças de reação nas plataformas, quando uma apresentava um aumento da força de reação a outra diminuía.

A distribuição do peso corporal de cada sujeito sobre as plataformas 1 e 2 não foram iguais, porém segundo Adams e Hutton <sup>11</sup>(1985 apud VASCONCELOS, 2006) quando o ser humano mantém a postura em pé este recorre ao uso assimétrico dos membros inferiores como apoio principal, podendo também alternar a sua descarga de peso entre o membro inferior direito e esquerdo.

O CM nessa fase 1 sofreu pequenos deslocamentos médios totais nos ensaios sem e com carga, conforme ilustra a Figura 4.26. Isso indica que mesmo parado o nosso corpo apresenta oscilação, sendo isso afirmado por Duarte (2000).

---

<sup>11</sup> ADAMS, M. A.; HUTTON, W.C. The effect of posture on lumbar spine. J. Bone Joint Surg, v. 67-B, n. 4, p. 625-629, 1985.

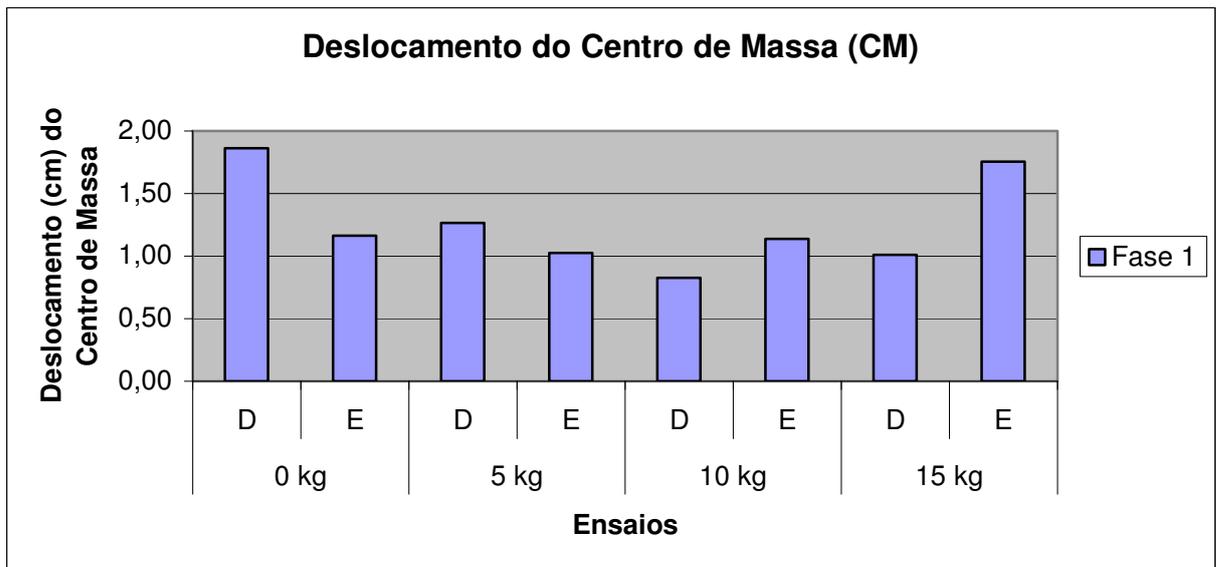


Figura 4.26 – Deslocamentos médios do centro de massa obtidos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 1

As coordenadas ( $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ ) médias do CM de cada amostra são relativas ao posicionamento em relação aos fios de prumo e as medidas antropométricas de cada sujeito.

Por meio das coordenadas médias obtidas para o mesmo sujeito nos ciclos direita e esquerda, nota-se valores bem próximos entre as mesmas. O que também é observado nos ensaios com e sem variação de carga.

#### 4.2.2.2 Fase 2

Durante a fase 2 os sujeitos realizaram uma flexão anterior do tronco associada a flexão dos joelhos com o intuito de pegar uma carga, a qual variou de um ensaio para o outro.

No ensaio sem carga durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para os sujeitos na fase 2 permaneceram entre 306,67 N e 418,27 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 251,62 N e 409,27 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 285,60 N e 436,93 N e 270,58 N e 429,73 N para a plataforma 2.

Pode-se perceber que a distribuição de peso continua maior em uma das plataformas demonstrando que a descarga de peso tende a ser assimétrica mesmo quando realizamos movimento e mantemos a postura em pé, conforme mencionado por Adams e Hutton (1985 apud VASCONCELOS, 2006). As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores das plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas mínimas variações em relação aos valores médios da Fase 1.

No ensaio com carga de 5 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para os sujeitos na fase 2 permaneceram entre 298,74 N e 496,78 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 257,37 N e 414,68 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 298,29 N e 448,78 N e 262,78 N e 431,067 N para a plataforma 2.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores das plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda aumentaram, pois ao final dessa fase foi acrescentada uma carga de 5 kg. Isso ocorre porque a força de reação é decorrente das ações musculares e do peso total (peso corporal + carga) transmitido através dos pés sobre as plataformas de força.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para os sujeitos na fase 2 permaneceram entre 318,80 N e 465,40 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 241,94 N e 404,57 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 279,47 N e 483,97 N e 274,14 N e 418,07 N para a plataforma 2.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores das plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda também aumentaram, pois ao final dessa fase foi acrescentada uma carga de 10 kg.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para os sujeitos na fase 2 permaneceram entre 317,47 N e 482,67 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 274,24 N e 404,09 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 304,22 N e 460,17 N e 292,70 N e 410,63 N para a plataforma 2.

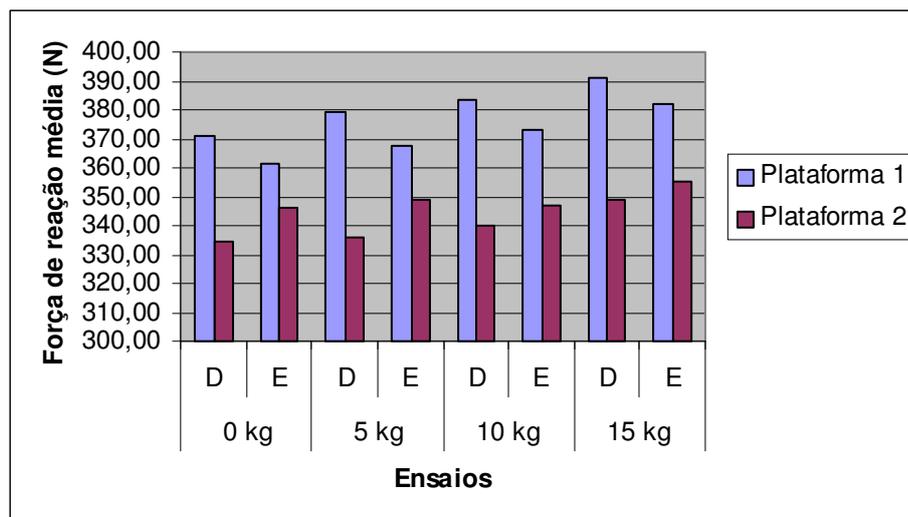


Figura 4.27 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 2

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda aumentaram, pois ao final dessa fase foi acrescentada uma carga de 15 kg.

Em todos os ensaios, independentemente da variação de carga, observou-se que quando uma das plataformas apresentava um aumento da força de reação, a outra tendia a diminuir a força de reação.

Pode-se observar, por meio da Figura 4.27, que nos ciclos direita e esquerda, em todos os ensaios, os valores obtidos na plataforma de força 1 são maiores em relação aos valores médios da plataforma de força 2.

Nos ensaios sem carga, ciclos direita e esquerda, as diferenças entre as forças médias entre as duas plataformas foram de 36,52 N e 15,08 N, respectivamente. Nos ensaios com carga 5 kg a diferença no ciclo direita foi de 43,71 N e no ciclo esquerda de 18,64 N.

No ensaio com carga de 10 kg a variação da força média entre as plataformas de força 1 e 2 apresentou valores diferentes tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda, sendo a diferença no ciclo direita de 43,40 N e de 26,14 no ciclo esquerda. Já no ensaio com carga de 15 kg houve uma maior força média na plataforma de força 1 durante o ciclo para direita, sendo a diferença em relação a plataforma 2 de 41,94 N e no ciclo para esquerda de 26,6 N.

Em relação ao centro de massa dos sujeitos, pode-se notar que a coordenada  $X_{CM}$  aumentou para todos os sujeitos devido ao deslocamento anterior durante a flexão, a coordenada  $Y_{CM}$  foi a que menos variou já que o movimento realizado não apresentava muita variação lateral e a coordenada  $Z_{CM}$  deslocou para baixo, pois houve uma flexão de joelhos. Isso ocorreu em todos os ciclos, independentemente da variação da carga, conforme ilustra a Figura 4.28. Segundo Barela e Duarte (2006), as mudanças do centro de massa são decorrentes das forças de reação que atuam nos dois pés.

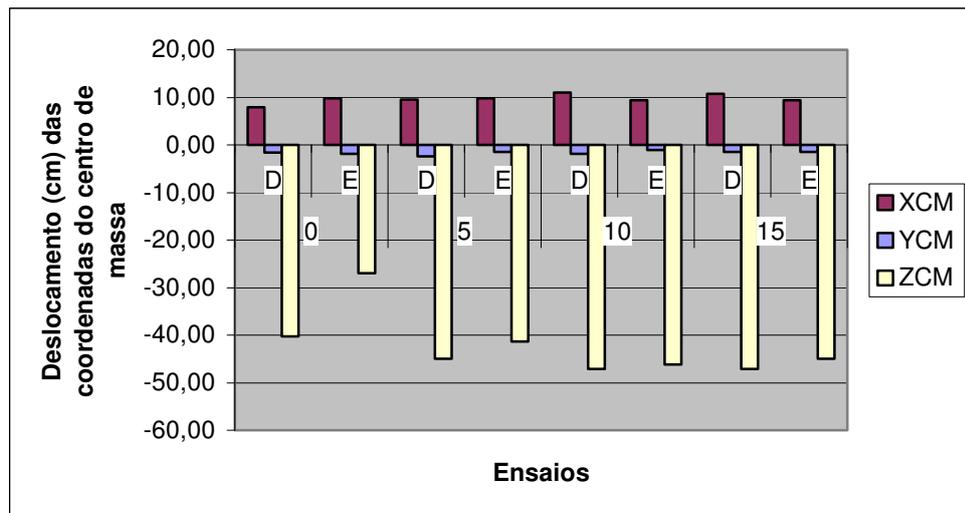


Figura 4.28 – Deslocamento médios das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 2

Comparando-se a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 56,42 cm e 77,03 cm e a posição final ficou entre 60,11 e 80,98. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 93,22 cm e 99,43 cm e a posição final entre 91,65 cm e 98,07 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 104,71 cm e 120,68 cm e a posição final entre 65,18 cm e 82,13 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 57,80 cm e 73,67 cm e a posição final ficou entre 65,19 cm e 81,85cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 93,55 cm e 102,32 cm e a posição final entre 91,27 cm e 100,50 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 109,95 cm e 120,24 cm e a posição final entre 66,43cm e 80,31 cm.

Comparando-se os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios sem carga pode-se perceber que houve uma variação nas coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ , independente do movimento ser realizado pela mesma pessoa. Segundo Mochizuki (2001), a para adotarmos uma postura para execução de um movimento é necessário uma associação de vários fenômenos, como neurofisiológicos e neuropsíquicos, que se influenciam entre si e integram-se o tempo todo.

Analisando-se a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 5 kg, observamos que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 60,74 cm e 76,93 cm e a posição final ficou entre 67,60 cm e 87,74 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 94,07 cm e 100,56 cm e a posição final entre 91,32 cm e 98,19 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 111,82 cm e 120,32 cm e a posição final entre 66,55 cm e 77,32 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 60,36 cm e 78,59 cm e a posição final ficou entre 70,04 cm e 87,51 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 95,30 cm e 102,34 cm e a posição final entre 93,41 cm e 99,61 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 107,12 cm e 119,22 cm e a posição final entre 67,16 cm e 78,12 cm.

Observa-se também nos os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios com carga de 5 kg que ocorreu uma variação nas coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ , independente do movimento ser realizado pela mesma pessoa.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 59,55 cm e 76,52 cm e a posição final ficou entre 68,58 cm e 87,69 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 98,21 cm e 100,02 cm e a posição final entre 93,40 cm e 97,88 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 110,88 cm e 120,74 cm e a posição final entre 64,33 cm e 71,34 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 59,62 cm e 77,30 cm e a posição final ficou entre 69,59 cm e 87,80 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 95,39 cm e 100,03 cm e a

posição final entre 93,48 cm e 100,12 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 109,75 cm e 120,01 cm e a posição final entre 65,24 cm e 72,89 cm.

Os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios com carga de 10 kg quando comparados apresentaram uma variação nas coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ , independente do movimento ser realizado pela mesma pessoa.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 53,94 cm e 78,92 cm e a posição final ficou entre 66,99 cm e 87,87 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 92,89 cm e 100,18 cm e a posição final entre 91,14 cm e 98,99 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 110,70 cm e 121,32 cm e a posição final entre 64,28 cm e 72,08 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 59,88 cm e 77,58 cm e a posição final ficou entre 65,63 cm e 89,66 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 94,12 cm e 99,69 cm e a posição final entre 91,86 cm e 98,26 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 106,34 cm e 116,08 cm e a posição final entre 64,28 cm e 73,04 cm.

Comparando os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios com carga de 15 kg notou-se uma pequena variação nas coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ , independente do movimento ser realizado pela mesma pessoa.

Analisando os ensaios sem e com variação de carga, observou-se que nos ensaios com carga, os sujeitos realizaram uma flexão anterior de tronco com uma amplitude maior, isso foi observado por meio da média de deslocamento da coordenada  $X_{CM}$ , conforme ilustra a Figura 4.28. Isso é um dos fatores que acabam influenciando a sobrecarga na coluna vertebral, segundo Hamill e Ktnuzen (1999) a postura correta para segurar um objeto e levantá-lo é aquela onde a coluna realize uma pequena flexão, ou seja se mantenha o mais ereta possível, pois dessa forma o momento gerado sobre a coluna é menor e conseqüentemente diminui a carga imposta sobre a coluna.

Em todos os ensaios, os sujeitos realizaram flexão dos joelhos o que pode ser observado por meio da média do deslocamento da coordenada  $Z_{CM}$ , porém em alguns ciclos observou-se que a amplitude de flexão dos joelhos foi pequena, o que não é

aconselhável do ponto de vista ergonômico. Segundo Gonçalves e Cerqueira (2001) estudos apontam que existe maior índice de lesões na coluna quando o trabalhador segura e levanta uma carga extensão de quadril e joelhos estendidos.

A fase 2 foi a que apresentou maior deslocamento médio total do centro de massa em todos os ensaios, conforme apresentam as Tabelas 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41.

#### 4.2.2.3 Fase 3

Nesta fase 3 os sujeitos realizaram uma extensão do tronco associada a extensão dos joelhos com o intuito de voltar a posição inicial, a qual variou de um ensaio para o outro.

As forças médias obtidas para cada sujeito nos ciclos para direita e esquerda são relativas ao peso corporal, distribuídos sobre as duas plataformas de força, nos ensaios sem carga.

Durante o ciclo para direita sem carga a forças médias obtidas para os sujeitos na plataforma 1 ficaram entre 285,17 N e 424,44 N e para plataforma 2 ficaram entre 246,22 N e 412,22 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 296,47 N e 472,89 N e 241,67 N e 406,04 N para a plataforma 2.

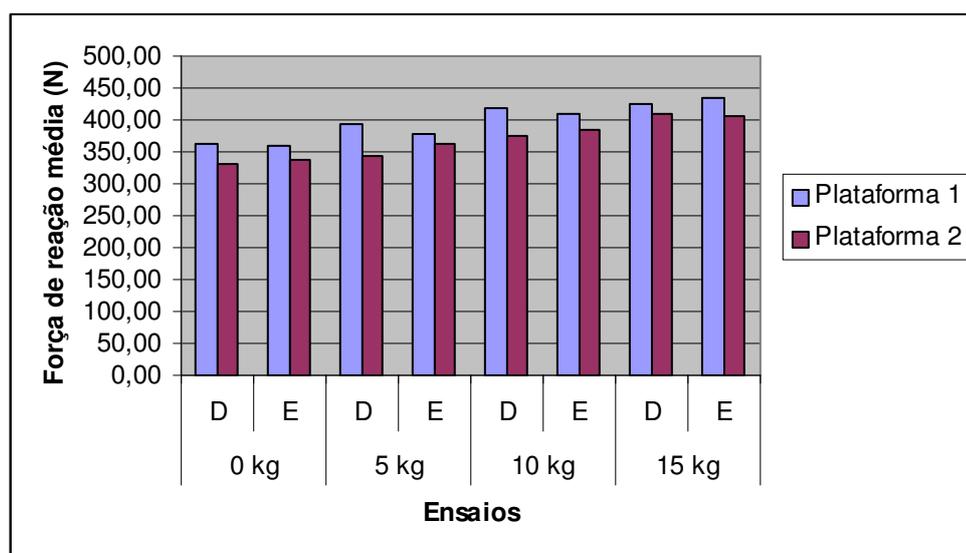


Figura 4.29 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 3

Durante os ciclos com carga houve um aumento nas forças médias obtidas entre os sujeitos quando somados os valores obtidos nas plataformas 1 e 2, conforme apresentam as Tabelas 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41. Esse aumento foi proporcional ao aumento da carga, por isso observa-se que as forças médias entre os sujeitos durante os ensaios com carga 15 kg, estas são maiores que nos ensaios com 10 kg e conseqüentemente maior que nos ensaios com 5 kg. Isso ocorre porque a força de reação é decorrente das ações musculares e do peso total (peso corporal + carga) transmitido através dos pés sobre as plataformas de força.

Em relação ao centro de massa, pode-se observar pela análise da fase 3 que a  $X_{CM}$  diminuiu, pois no movimento de extensão de tronco tende ao deslocamento posterior,  $Y_{CM}$  foi a coordenada que mesmo variou e  $Z_{CM}$  tendeu a aumentar, devido ao movimento de extensão dos joelhos o qual gerou um deslocamento do centro de massa para cima. Isso ocorreu em todos os ciclos, independentemente da variação da carga, demonstrando que o deslocamento do centro de massa acompanha o sentido e a direção do movimento, conforme ilustra a Figura 4.30.

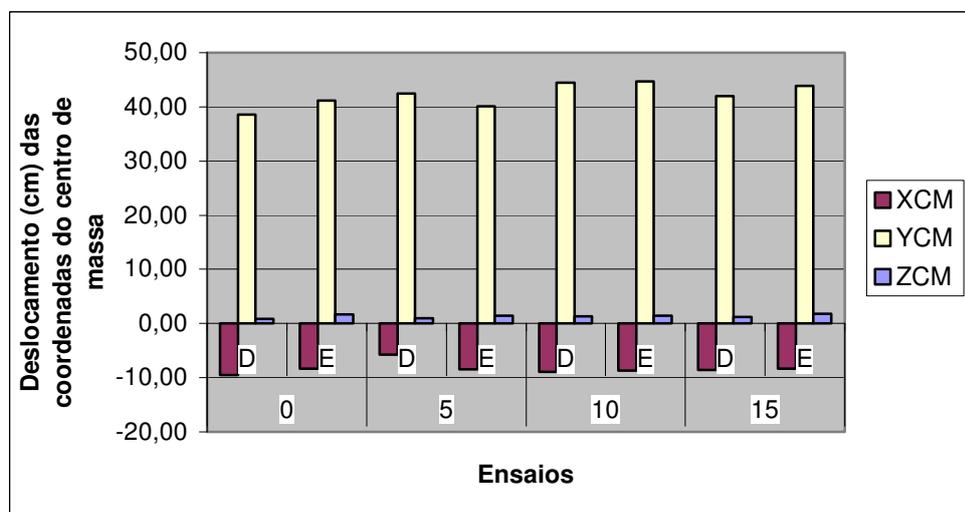


Figura 4.30 – Deslocamentos médios das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 3

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 61,77 cm e 80,13 cm e a posição final ficou entre 55,23 cm e 72,8 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 90,63 cm e 99,38 cm e a posição final

entre 92,35 cm e 99,51 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 68,38 cm e 94,65 cm e a posição final entre 111,97 cm e 121,60 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 65,78 cm e 82,49 cm e a posição final ficou entre 57,96 cm e 73,33 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 92,67 cm e 99,83 cm e a posição final entre 94,67 cm e 101,84 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 70,49 cm e 81,62 cm e a posição final entre 111,74 cm e 121,39 cm.

Comparando os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios sem carga, notou-se uma pequena variação nas coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$ , independente do movimento ser realizado pela mesma pessoa. Em relação ao deslocamento médio das coordenadas do CM, o mesmo ocorreu.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 65,49 cm e 85,51 cm e a posição final ficou entre 61,62 cm e 73,89 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 92,25 cm e 98,97 cm e a posição final entre 93,11 cm e 100,79 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 69,41 cm e 81,84 cm e a posição final entre 109,76 cm e 121,63 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 5 kg, observamos que  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 68,68 cm e 85,68 cm e a posição final ficou entre 61,74 cm e 75,66 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 94,44 cm e 97,64 cm e a posição final entre 95,37 cm e 99,46 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 68,21 cm e 75,27 cm e a posição final entre 110,49 cm e 121,24 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 65,06 cm e 87,00 cm e a posição final ficou entre 54,72 cm e 77,85 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 90,58 cm e 98,34 cm e a posição final entre 95,02 cm e 99,50 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 67,08 cm e 81,03 cm e a posição final entre 110,43 cm e 119,79 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita.

Em todos os ensaios, independentemente da variação da carga, as coordenadas finais da fase 3 tenderam a retornar a valores muito próximos os valores obtidos na fase 1, já que ao final do movimento de extensão os sujeitos adotavam a posição inicial antes de iniciar a Fase 4. Como a extensão do tronco ocorre de maneira oposta a flexão anterior os deslocamentos do centro de massa apresentam sentido contrário ao apresentado na Fase 2.

#### 4.2.2.4 Fase 4

Nesta fase foi realizado pelos sujeitos um movimento de rotação, sendo num ciclo a rotação para direita e no outro ciclo para esquerda. A rotação gera cargas assimétrica no tronco, as quais fazem aumentar as cargas compressivas e de cisalhamento sobre a coluna e quando maior a carga associada, maior será a sobrecarga na coluna (HAMILL; KNUTZEN, 1999).

No ensaio sem carga durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 4 permaneceram entre 273,10 N e 462,43 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 274,72 N e 399,72 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 256,22 N e 255,29 N e 480,75 N para a plataforma 2.

No ensaio sem carga durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 4 permaneceram entre 273,10 N e 462,43 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 274,72 N e 399,72 N. Já no ciclo para esquerda os valores

referentes a plataforma 1 ficaram entre 256,22 N e 255,29 N e 480,75 N para a plataforma 2.

No ciclo com rotação para direita sem carga, 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso corporal sobre a plataforma 1, a qual mantinha o membro inferior esquerdo. Isso ocorreu como uma estratégia para manutenção do equilíbrio durante esse movimento de rotação. Apenas o sujeito 6 adotou uma estratégia contrária e o sujeito 4 distribuiu o peso corporal quase que igualmente sobre as duas plataformas. Já no ciclo com rotação para esquerda sem carga 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso corporal sobre a plataforma 2, a qual mantinha o membro inferior direito. Somente os sujeitos 2 e 4 descarregaram o peso sobre o membro inferior esquerdo.

No ensaio com carga de 5 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 4 permaneceram entre 325,74N e 603,72 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 264,04 N e 395,01 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 243,94 N e 279,16 N e 602,49 N para a plataforma 2.

No ciclo com rotação para direita com carga de 5 kg, 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso total sobre a plataforma 1, a qual mantinha o membro inferior esquerdo. Somente os sujeitos 5 e 6 adotaram uma estratégia contrária, entretanto o aumento da força média em relação a plataforma 2 comparado a plataforma 1 é pouco significativo. Ainda no nesse ensaio, porém no ciclo com rotação para esquerda 5 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso corporal sobre a plataforma 2, a qual mantinha o membro inferior direito. Somente o sujeito 4 descarregou a maior parte do peso total sobre a plataforma esquerda.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 4 permaneceram entre 312,29 N e 553,14 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 323,03 N e 424,95 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 311,09 N e 421,25 N e 290,10 N e 584,23 N para a plataforma 2.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo com rotação para direita 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso total sobre a plataforma 1, a qual

mantinha o membro inferior esquerdo. Somente os sujeitos 4 e 6 descarregaram mais o peso sobre o membro inferior direito, porém o aumento da força média em relação a plataforma 2 comparado a plataforma 1 é pouco significativo. Já no ciclo com rotação para esquerda sem carga 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso corporal sobre a plataforma 2, a qual mantinha o membro inferior direito e somente os sujeitos 2 e 4 descarregaram mais o peso sobre o membro inferior esquerdo.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 4 permaneceram entre 354,32 N e 691,66 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 246,09 N e 483,68 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 273,76 N e 468,93 N e 278,66 N e 614,44 N para a plataforma 2.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo com rotação para direita 4 dos sujeitos descarregaram a maior parte do peso total sobre a plataforma 1, a qual mantinha o membro inferior esquerdo. Somente os sujeitos 1 e 6 descarregaram mais o peso sobre o membro inferior direito, porém para a amostra 6 a diferença da força média obtida plataforma 2 comparado a plataforma 1 é pouco significativo. Já no ciclo com rotação para esquerda 4 dos sujeitos tenderam a descarregar a maior parte do peso corporal sobre a plataforma 2, a qual mantinha o membro inferior direito e somente os sujeitos 2 e 4 descarregaram mais o peso sobre o membro inferior esquerdo.

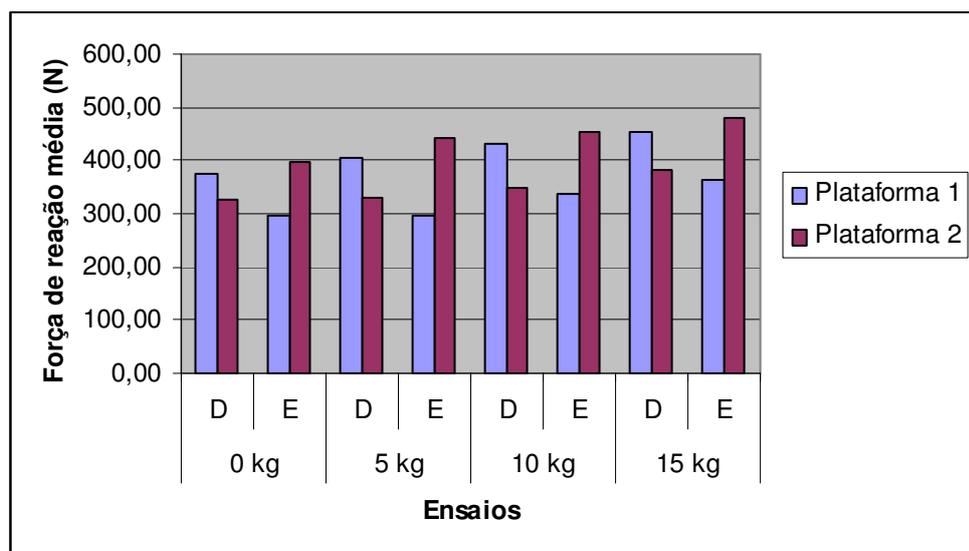


Figura 4.31 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 4

Não observa-se alterações significativas na fase 4 em relação a soma dos valores médios das forças de reação obtidos nas plataformas 1 e 2 entre os sujeitos se comparados aos ensaios sem carga da fase 3. O mesmo ocorreu para os ensaios com carga 5 kg, 10 kg e 15 kg.

Pode-se notar, por meio da Figura 4.31, que nos ciclos direita em todos os ensaios, as forças médias obtidas entre os sujeitos na plataforma de força 1 são maiores em relação aos valores médios da plataforma de força 2. Entretanto, nos ciclos esquerda as forças médias são maiores na plataforma 2.

Em relação a variação do centro de massa, essa foi a fase na qual as coordenadas  $X_{CM}$ ,  $Y_{CM}$  e  $Z_{CM}$  menos variaram, devido a amplitude de movimento realizada pela amostra, conforme ilustra a figura 4.32.

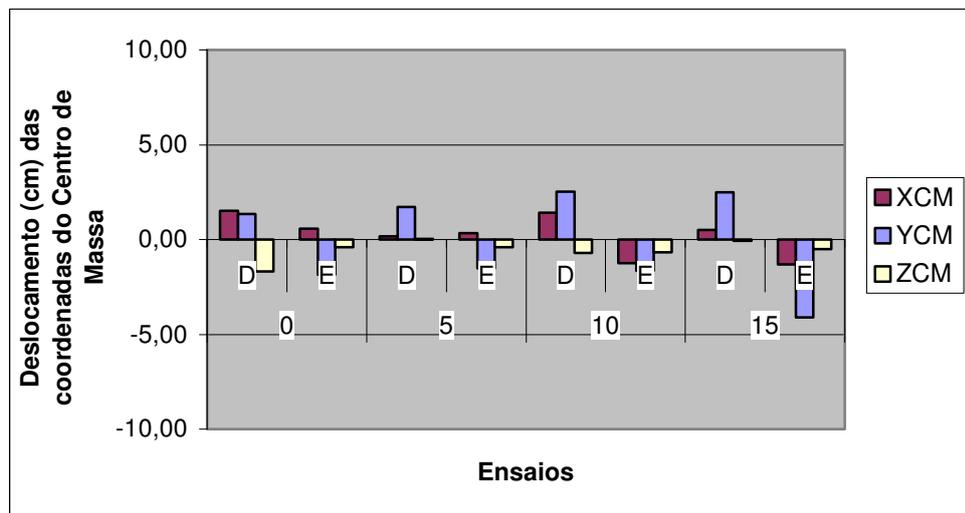


Figura 4.32 – Deslocamentos médios das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 4

Durante os ciclos para direita sem e com variação de carga, a coordenada  $Y_{CM}$  tendeu a aumentar devido a posição dos sujeitos em relação ao calibrador e nos ciclos para esquerda tendeu a diminuir. Os sujeitos tenderam a variar mais a posição dessa coordenada nos ensaios com carga de 15 kg. As outras coordenadas sofreram pequenas variação durante esta fase.

#### 4.2.2.5 Fase 5

Durante a fase 5 os sujeitos realizaram um flexão associada ao movimento de rotação do tronco e flexão dos joelhos com o intuito descarregar a carga quando esta estivesse envolvida no ensaio.

No ensaio sem carga durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 5 permaneceram entre 303,83 N e 447,67 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 244,12 N e 438,89 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 317,51 N e 446,79 N e 232,20 N e 394,62 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita quatro sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito, somente os sujeitos 1 e 2 apresentaram maior força de reação sobre a plataforma 1 (lado oposto). No ciclo para esquerda 5 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo, exceto o sujeito 6 que manteve maior força de reação na plataforma 2. Analisando pode-se perceber que a força de reação tende a ser maior na direção do deslocamento do centro de massa, o qual durante o ciclo direita se deslocou nessa direção e no ciclo esquerda deslocou-se no sentido oposto.

Pode-se perceber que a distribuição de peso continua maior em uma das plataformas demonstrando que a descarga de peso tende a ser assimétrica quando realizamos movimento de rotação associado a flexão lateral. As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas pequenas variações em relação aos valores médios de força da Fase 1.

No ensaio com carga de 5 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para as amostras na fase 5 permaneceram entre 175,75 N e 676,61 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 380,21 N e 488,30 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 407,77 N e 547,25 N e 170,55 N e 370,90 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita cinco sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito, somente o sujeito 3 que apresentou maior força de reação sobre a plataforma 1 (lado oposto). No ciclo para

esquerda todos sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda tenderam a aumentar, pois durante essa fase as amostras seguraram uma carga de 5 kg. Isso ocorre porque a força de reação é decorrente das ações musculares e do peso total (peso corporal + carga) transmitido através dos pés sobre as plataformas de força.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 5 permaneceram entre 137,03 N e 386,67 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 427,93 N e 587,11 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 459,59 N e 550,71 N e 176,26 N e 375,67 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita as seis sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito. No ciclo para esquerda toda a amostra apresentou maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo. Então a força de reação foi maior na direção do deslocamento do centro de massa.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda aumentaram, pois durante essa fase a carga foi um pouco maior que no ensaio com 5 kg.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas a amostra na fase 5 permaneceram entre 170,75 N e 393,81 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 495,75 N e 573,30 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 488,63 N e 631,55 N e 153,81 N e 383,91 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita os seis sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito e no ciclo para esquerda todas amostras apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 tanto no ciclo para direita como no ciclo para esquerda aumentaram, pois durante

essa fase foi mantida uma carga de 15 kg. A partir dos dados obtidos, observou-se que quanto maior a carga, maior será a força de reação.

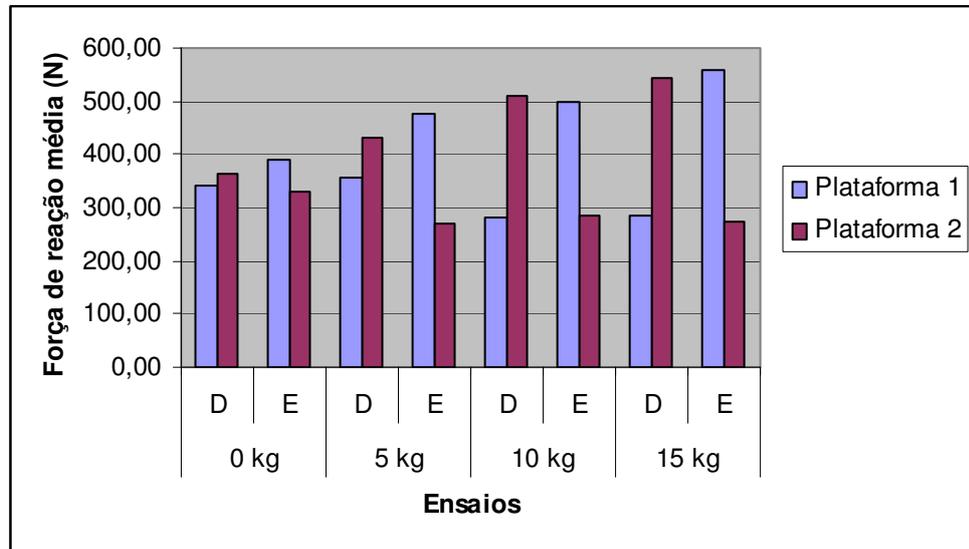


Figura 4.33 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 5

Pode-se notar, por meio da Figura 4.33, que nos ciclos direita em todos os ensaios, as forças médias obtidas entre os sujeitos na plataforma de força 2 são maiores em relação aos valores médios da plataforma de força 1. Entretanto, nos ciclos esquerda as forças médias são maiores na plataforma 1. Isso demonstra que a força de reação é em média maior na direção do deslocamento do movimento e conseqüentemente do centro de massa.

Em relação ao centro de massa dos sujeitos, pode-se notar que a coordenada  $X_{CM}$  foi a que mesmo variou, pois os movimentos realizados não requerem grandes deslocamentos no sentido ântero-posterior, a coordenada  $Y_{CM}$  nos ensaios com ciclo para direita aumentou e nos ciclos para esquerda diminuiu, devido ao posicionamento dos sujeitos em relação ao calibrador e a coordenada  $Z_{CM}$  tendeu a deslocar para baixo, já que houve uma flexão de joelhos. Isso ocorreu em todos os ciclos, independentemente da variação da carga, conforme ilustra a Figura 4.34. Segundo Barela e Duarte (2006), as mudanças do centro de massa são decorrentes das forças de reação que atuam nos dois pés.

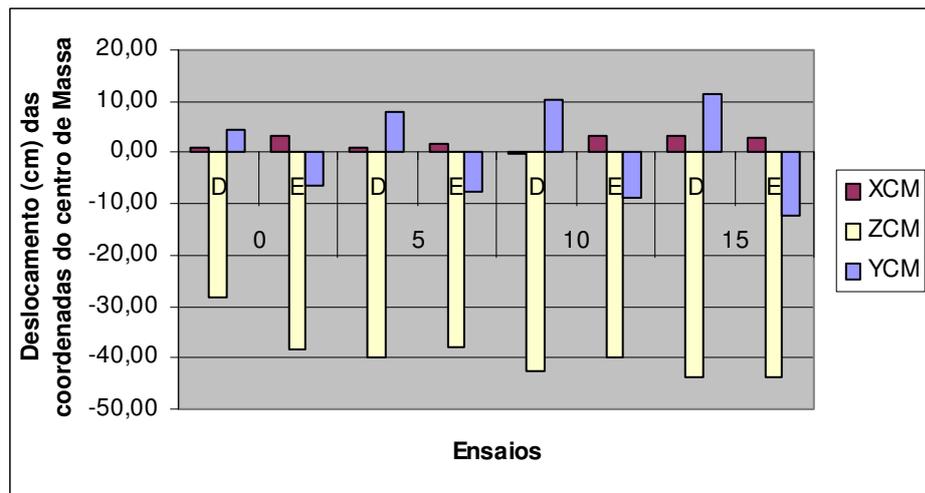


Figura 4.34 – Deslocamentos médios das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 5

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 57,20 cm e 78,98 cm e a posição final ficou entre 59,84 cm e 70,67 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 94,92 cm e 105,79 cm e a posição final entre 94,90 cm e 108,63 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 95,48 cm e 116,96 cm e a posição final entre 73,14 cm e 79,24 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 58,72 cm e 73,24 cm e a posição final ficou entre 57,77 cm e 79,35 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 91,85 cm e 100,41 cm e a posição final entre 87,67 cm e 91,26 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 109,01 cm e 119,52 cm e a posição final entre 72,77 cm e 79,70 cm.

Os ciclos direita e esquerda de cada sujeito nos ensaios sem carga quando comparados apresentaram diferenças principalmente na coordenada  $Y_{CM}$ , o que já era esperado devido ao posicionamento dos sujeitos, sendo que no ciclo para direita aumentou e no ciclo para esquerda diminuiu.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 60,74 cm e 75,37 cm e a posição final ficou entre 62,54 cm e 74,56 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 97,23 cm e 103,84 cm e a

posição final entre 103,34 cm e 110,88 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 109,82 cm e 120,33 cm e a posição final entre 72,64 cm e 76,47 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita e esquerda, exceto  $Y_{CM}$ .

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 60,35 cm e 77,47 cm e a posição final ficou entre 63,77 cm e 73,16 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 99,33 cm e 107,48 cm e a posição final entre 105,70 cm e 117,02 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 108,43 cm e 122,04 cm e a posição final entre 68,17 cm e 75,44 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita e esquerda, exceto  $Y_{CM}$  que tendeu a diminuir nesse ciclo.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 56,03 cm e 79,57 cm e a posição final ficou entre 59,51 cm e 76,02 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 101,25 cm e 105,75 cm e a posição final entre 108,96 cm e 120,50 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 108,83 cm e 116,33 cm e a posição final entre 66,64 cm e 75,85 cm.

Em relação a variação das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda com carga de 15 kg, observamos que  $X_{CM}$  e  $Z_{CM}$  variaram em relação a posição inicial e posição final valores muito próximos ao ciclo para direita e esquerda, exceto  $Y_{CM}$  que tendeu a diminuir nesse ciclo.

Analisando os ensaios sem e com variação de carga, observou-se que nos ensaios com 15 kg, os sujeitos realizaram maior flexão dos joelhos o que pode ser observado através do deslocamento inferior do CM, porém em alguns ciclos observou-se que a amplitude de flexão dos joelhos foi pequena, o que não é aconselhável do ponto de vista ergonômico.

#### 4.2.2.6 Fase 6

Durante a fase 6 os sujeitos voltaram a posição inicial após o descarregamento da carga.

No ensaio sem carga durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 6 permaneceram entre 228,62 N e 391,67 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 317,11 N e 468,86 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 277,11 N e 489,59 N e 268,98 N e 393,82 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita 5 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito, somente o sujeito 1 que apresentou maior força de reação sobre a plataforma 1 (lado oposto), entretanto essa diferença de força na plataforma 1 foi pouco significativa em relação a força da plataforma 2. No ciclo para esquerda 4 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo, exceto os sujeitos 1 e 6 que mantiveram maior força de reação na plataforma 2.

Pode-se notar que a distribuição de peso continua maior em uma das plataformas demonstrando que a descarga de peso tende a ser assimétrica quando realizamos movimento mantendo a postura em pé. As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores das plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas pequenas variações em relação aos valores médios da Fase 1.

No ensaio com carga de 5 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 6 permaneceram entre 228,70 N e 409,14 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 313,37 N e 433,60 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 310,81 N e 538,60 N e 235,45 N e 394,19 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita toda a amostra apresentou maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito. No ciclo para esquerda 5 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o

membro inferior esquerdo e somente o sujeito 6 apresentou maior força de reação na plataforma 2 (membro inferior direito).

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas mínima variações em relação aos valores médios da Fase 1.

No ensaio com carga de 10 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 6 permaneceram entre 260,31 N e 375,67 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 287,11 N e 485,19 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 281,59 N e 527,80 N e 267,90 N e 367,13 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita 5 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito, exceto o sujeito 1; no entanto, houve uma pequena diferença de força entre a plataforma 2 e 1. No ciclo para esquerda toda a amostra apresentou maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas mínima variações em relação aos valores médios da Fase 1.

No ensaio com carga de 15 kg durante o ciclo para direita as forças médias obtidas para a amostra na fase 6 permaneceram entre 236,55 N e 385,59 N para a plataforma 1 e na plataforma 2 entre 307,94 N e 431,09 N. Já no ciclo para esquerda os valores referentes a plataforma 1 ficaram entre 295,78 N e 499,42 N e 249,21 N e 422,69 N para a plataforma 2.

Durante o ciclo para direita os 6 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 2, onde estava apoiado o membro inferior direito e no ciclo para esquerda 5 sujeitos apresentaram maior força de reação na plataforma 1 a qual estava apoiado o membro inferior esquerdo, exceto o sujeito 6 que apresentou maior força de reação na plataforma 2.

As forças médias obtidas para cada sujeito somando-se os valores da plataformas 1 e 2 continuam sendo equivalente ao peso corporal de cada sujeito, apresentando apenas mínima variações em relação aos valores médios da Fase 1.

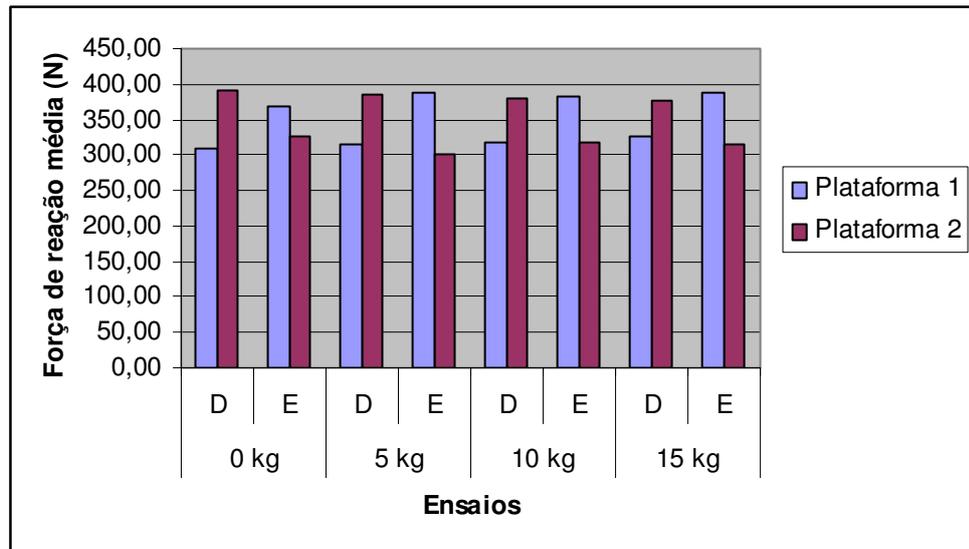


Figura 4.35 – Forças de reação médias obtidas entre os sujeitos a partir das plataformas de força 1 e 2 – Fase 6

Pode-se notar, por meio da Figura 4.35, que nos ciclos direita em todos os ensaios, as forças médias obtidas entre os sujeitos na plataforma de força 2 são maiores em relação aos valores médios da plataforma de força 1. Entretanto, nos ciclos esquerda as forças médias são maiores na plataforma 1. Isso demonstra que a força de reação é em média maior na direção do deslocamento do movimento e conseqüentemente do centro de massa, como descrito por outros autores.

Em relação ao centro de massa da amostra, pode-se notar que a coordenada  $X_{CM}$  foi a que mesmo variou, pois os movimentos realizados não requerem grandes deslocamentos no sentido ântero-posterior, a coordenada  $Y_{CM}$  nos ensaios com ciclo para direita diminui e nos ciclos para esquerda aumenta, devido ao posicionamento dos sujeitos em relação ao calibrador e a coordenada  $Z_{CM}$  tendeu a deslocar para cima, já que houve uma extensão de joelhos e isso gera aumento dessa coordenada. Isso ocorreu em todos os ciclos, independentemente da variação da carga, conforme ilustra a Figura 4.36.

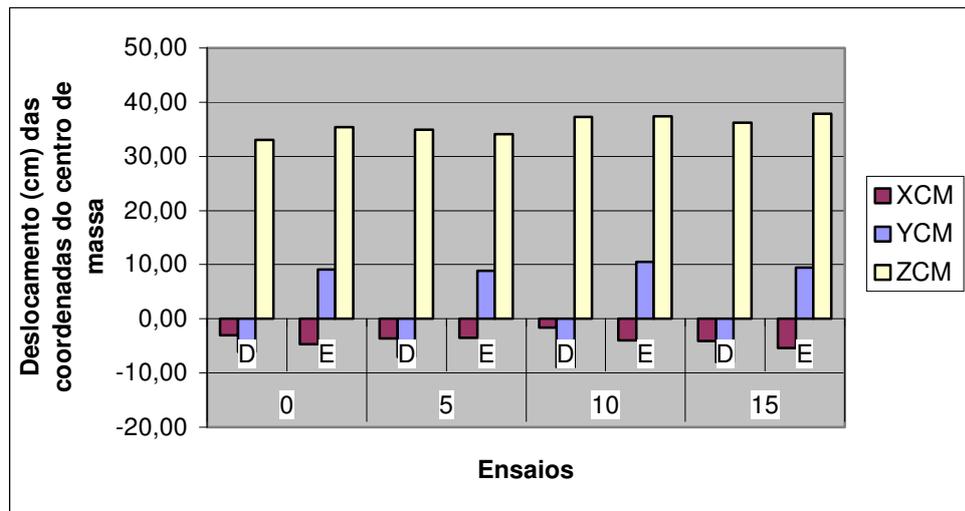


Figura 4.36 – Deslocamentos médios das coordenadas do centro de massa entre os sujeitos nos ensaios sem e com variação de carga – Fase 6

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 57,59 cm e 76,22 cm e a posição final ficou entre 52,43 cm e 73,33 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 95,70 cm e 108,07 cm e a posição final entre 92,70 cm e 99,94 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 76,71 cm e 90,31 cm e a posição final entre 111,79 cm e 123,54 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio sem carga, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 58,11 cm e 76,90 cm e a posição final ficou entre 56,60 cm e 71,85 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 87,15 cm e 90,11 cm e a posição final entre 93,66 cm e 102,27 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 73,58 cm e 86,52 cm e a posição final entre 111,74 cm e 121,29 cm.

Por meio da trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 63,23 cm e 73,50 cm e a posição final ficou entre 59,06 cm e 75,37 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 103,13 cm e 108,88 cm e a posição final entre 94,75 cm e 101,57 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 76,61 cm e 85,16 cm e a posição final entre 111,51 cm e 121,12 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 5 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 61,72 cm e 78,64 cm e a posição final ficou entre 57,46 cm e 73,43 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 87,33 cm e 93,74 cm e a posição final entre 95,73 cm e 101,06 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 77,91 cm e 85,63 cm e a posição final entre 111,65 cm e 120,99 cm.

Analisando a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 64,21 cm e 73,20 cm e a posição final ficou entre 57,98 cm e 75,53 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 105,40 cm e 109,14 cm e a posição final entre 96,05 cm e 101,60 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 74,89 cm e 82,23 cm e a posição final entre 112,22 cm e 120,94 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 10 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 61,72 cm e 77,15 cm e a posição final ficou entre 54,04 cm e 75,35 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 84,38 cm e 92,01 cm e a posição final entre 97,18 cm e 101,99 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 69,16 cm e 82,99 cm e a posição final entre 112,11 cm e 121,21 cm.

Por meio da trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para direita no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  em relação a posição inicial variou entre 59,70 cm e 76,73 cm e a posição final ficou entre 55,85 cm e 76,47 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 99,52 cm e 110,89 cm e a posição final entre 94,68 cm e 110,79 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 74,05 cm e 86,15 cm e a posição final entre 112,28 cm e 120,72 cm.

Em relação a trajetória das coordenadas do CM, entre os sujeitos, durante o ciclo para esquerda no ensaio com carga de 15 kg, observa-se que  $X_{CM}$  variou em relação a posição inicial entre 61,37 cm e 78,72 cm e a posição final ficou entre 55,55 cm e 72,92 cm. A posição inicial da coordenada  $Y_{CM}$  variou entre 83,63 cm e 91,54 cm e a posição final entre 93,79 cm e 100,34 cm. Já a posição inicial da coordenada  $Z_{CM}$  variou entre 70,63 cm e 82,23 cm e a posição final entre 112,32 cm e 121,96 cm.

Em todos os ensaios, independentemente da variação da carga, as coordenadas finais da fase 6 tenderam a retornar a valores muito próximos os valores obtidos na fase 1, já que ao final dessa fase adotavam a posição inicial. Essa posição final das coordenadas do centro de massa só não é idêntica a fase 1, pois a postura humana é composta por uma associação de fenômenos biomecânicos, neurofisiológicos e neuropsíquicos que se influenciam entre si e integram-se a todo momento (MOCHIZUKI, 2001). Isso explica as pequenas variações nas coordenadas do centro de massa.

## 5 CONCLUSÕES

Pode-se observar que durante os movimentos analisados de tronco as forças de reação nos membros inferiores não são distribuídas igualmente, nem mesmo quando o sujeito se mantém parado sobre as plataformas de força.

Nos ensaios realizados sem carga as forças médias durante a seqüência de movimentos é equivalente ao peso corporal dos sujeitos e quando acrescentamos carga essa força média aumenta.

Em relação a posição do centro de massa pode-se verificar que há deslocamento que acompanha a direção do movimento realizado, sendo isso observado através da decomposição de suas coordenadas.

No movimento de flexão do tronco o centro de massa deslocou-se principalmente para frente e para baixo; na extensão aconteceu o inverso, deslocando-se para trás e para cima. Já no movimento de rotação, o centro de massa deslocou-se lateralmente e na flexão lateral quando associada a uma rotação o centro de massa deslocou-se lateralmente e para baixo.

Pode-se afirmar que, a cada variação da força de reação há um deslocamento do centro de massa.

Nos ensaios com carga não houve grandes diferenças na trajetória do centro de massa se comparada aos ensaios sem carga.

Esse estudo utilizou-se de conceitos da ergonomia e biomecânica para execução dos movimentos pela amostra, porém pode-se verificar que alguns sujeitos realizaram os movimentos de forma mais correta, o que gera menos sobrecarga à coluna vertebral. Novos estudos devem enfatizar posturas adotadas por trabalhadores, pois esse elemento muitas vezes é negligenciado.

O sistema proposto de análise tridimensional do centro de massa, desenvolvido no Laboratório de Biomecânica da FEG, mostrou-se uma ferramenta eficiente e de baixo custo. Novas pesquisas devem ser desenvolvidas utilizando esse sistema, que veio contribuir para análise do centro de massa.

Enfim, a combinação da técnica de cinemetria com mensuração de força de reação do solo serve para analisar a estabilidade dinâmica da postura durante a atividade laboral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, J.I. Reestruturação produtiva e variabilidade do trabalho: uma abordagem da ergonomia. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 16, n.1, p.1-12, jan./abr. 2000.

ABRAHÃO, J.I. PINHO, D. L. M. As transformações do trabalho e desafios teóricos-metodológicos da ergonomia. **Revista Estudos de Psicologia**, v.7, p. 1-14, 2002.

AMADIO, A. C. Considerações metodológicas da Biomecânica: áreas de aplicação para análise do movimento humano. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Campinas. 1997. p. 11 – 14.

AMADIO, A.C.; BARBANTI, V.J. (Orgs.). **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, 2000. p.45-70.

\_\_\_\_\_.Metodologia biomecânica para o estudo das forças internas ao aparelho locomotor: importância e aplicações no movimento humano. In: AMADIO, A.C.; BARBANTI,V.J. (Orgs.). **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, 2000. p.45-70.

AMADIO, A.C.; LOBO DA COSTA, P.H.; SACCO, I.C.N.; SERRÃO, J.C.; ARAÚJO, R.C.; MOCHIZUKI, L.;DUARTE, M. Introdução à análise do movimento humano . descrição e aplicação dos métodos de medição. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v.3, n.2, p.41-54, 1999.

AMADIO, A. C.; MOCHIZUKI, L. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre centro de massa e o centro de pressão. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**. v.3, n.3, p. 77- 83, 2003.

BARELA, A.M.F; DUARTE, M. Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. 2006, 18p. Disponível em: < <http://lob.incubadora.fapesp.br/portal/p>>. Acesso em: 10 mai. 2006.

CALLIET, R. **Síndrome da dor lombar**. 5 ed., Porto Alegre: Artmed, 2001.

CARON, O.; FAURE, B. BRENIÈRE, Y. Estimating the centre of gravity of body on the basis of the centre of pressure in standing posture. *Journal of Biomechanics*, v. 30, n. 11/12, p. 1169-1171, 1997.

CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G.B.J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica ocupacional**. 3 ed., Belo Horizonte: Ergo, 2000.

CORRIGAN, B.; MAITLAND, G. D. **Prática clínica: Ortopedia & Reumatologia: diagnóstico e tratamento**. São Paulo: Premier, 2000.

COURY, H. J.C.G. Self- administered preventive programme for sedentary workes: reducing musculoskeletal symptoms or increasing awareness? **Applied Ergonomics**, v. 29, n.6, p. 415-421. 1998.

DUARTE, M.; FREITAS, S.M.S.F. Métodos de análise do controle postural.2006, 13p. Disponível em: (<http://lob.incubadora.fapesp.br/portal/p/>). Acesso em: 05 jun. 2006.

ERGONOMICS RESEARCH SOCIETY.

Disponível em: < <http://www.ergonomics.org.uk>> Acesso: 10 maio 2002.

FIALHO, F.; SANTOS, N. **Manual de análise ergonômica do trabalho**. 2 ed. Curitiba: Gênese, 1997.

FILHO, E.D.S; ROESLER, H.; MACIEL,L.; ZARO, M.A. Plataforma de força montada para instrumentação de esteira ergométrica para avaliação da marcha

humana. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Campinas. 1997.p.216-221.

GONÇALVES, M.; CERCEIRA, E.P. Levantamento manual de carga a partir do solo e sem uso de cinto pélvico, e com diferentes posturas de tronco: um estudo eletromiográfico. **Jornal Brasileiro de Biomecânica**, p. 49-54, 2001.

GRANDJEAN, E.; HUNTING, W. Ergonomics of posture – Rewiew of various problems of studing and sitting posture. **Department of Higyene and ergonomics**, Zurich, sep. 1977.

HALL, S. J. **Biomecânica básica**. Rio de Janeiro: Guanabarana Koogan, 1993.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. **Bases Biomecânicas do Movimento Humano**. São Paulo: Manole,1999.

HANSEN, L.; WINKEL, J.; JORGENSEN, K. Significance of mat and shoe softness during prolonged work in upright position: based on measurements of low back muscle EMG, foot volume changes discomfort and ground force reations. **Applied Ergonomics**, v. 29, n. 3, p. 217- 224, 1998.

HULL, M. L.; BREWER, R.; HAWKINS, D. A new force plate design incorporating octagonal strain rings. **Journal of Applied Biomechanics**. v. 11, p. 311-321, 1995.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 5 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

KAPANDJI, A.I. **Fisiologia articular**: esquema comentados de mecânica humana. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v. 3, 2000.

KENDALL, P. F.; McCREARY, E. K.; PROVANCE, P.G. **Músculos Provas e Funções**. São Paulo: Manole, 1995.

KINGMA, I.; TOUSSAINT, H. M.; COMMISSARIS, A.C.M; HOOZEMANS, M.J.M.; OBER, M.J. Optimizing the determination of the body center of mass. **Journal of Biomechanics**, v. 28, n. 9, p. 1137-1142, 1995.

LAFOND, D.; DUARTE, M.; PRINCE, F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. **Journal of Biomechanics**, v. 37, p. 1421 – 1426, 2004.

LEVIN, O.; MIZRAHI, J. An iterative model for estimation of the trajectory of center of gravity from bilateral reactive force measurements in standing way. **Gait & Posture**, v.4, p. 89-99, 1996.

MELO, S. I. L.; SANTOS, S. G. Antropometria em Biomecânica: características, princípios e modelos antropométricos. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**.v. 2, n. 1, p. 97-105, 2000.

MERLO, A. R. C.; JACCQUES, M. G. C.; HOEFEL, M.G.L. Trabalho de Grupo com Portadores de LER/DORT: Relato de Experiência. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2001.

MESSING, K.; KILBOM, A. Standing and very slow walking: foot pain pressure threshold, subjective pain experience and work activity. **Applied Ergonomics**, v. 32, p. 81-90, 2001.

MOCHIZUKI, L. **Análise Biomecânica da Postura Humana: estudo sobre o controle do equilíbrio**. São Paulo: Tese de Doutorado. Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo - USP. 2001.

MONTMOLLIN, M. **A ergonomia**. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.

MURRAY, M.P.; SEIREG, A.; SCHOLZ, R. C. Center of gravity, center of pressure, and supportive forces during human activities. **Journal of Applied Physiology**, v. 23, n. 6, p. 831-838, 1967.

NETTER, F.H. **Atlas de Anatomia Humana**. 3 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

NUNES, J. I. S. **Prevalência dos sintomas músculos esqueléticos em movimentadores de mercadorias com carga: comércio atacadista da cidade de Umuarama – PR**. Florianópolis: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2002.

OKUNO, E.; FRATIN, L. **Desvendando a física do corpo humano: biomecânica**. São Paulo: Manole, 2003.

OLIVER, J. **Cuidado com as costas: um guia para terapeutas**. São Paulo: Manole, 1999.

OLIVEIRA, C. R. et al. **Manual prático de ler**. 2 ed. Belo Horizonte: Health, 1998.

PALUCH, R. Are body dimensions affecting working body posture? *International Journal of Industrial Ergonomics*, n. 17, p. 1-9, 1996.

PELLENZ, C.C.O. **Indicadores de Levantamento de Carga e Parâmetros Mecânicos da Coluna Vertebral**. Curitiba: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2005.

PERES, C. P. A. **Estudo das sobrecargas posturais em fisioterapeutas: uma abordagem biomecânica ocupacional**. Florianópolis: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2002.

PRZYSIEZNY, W.L. **A avaliação postural como ferramenta para análise do trabalho.** Florianópolis: Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2003.

ROESLER, H.; TAMAGNA, A. Desenvolvimento de plataforma de força multidirecional para uso em Biomecânica. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica.** Campinas, p.263 – 267, 1997.

SANTA MARIA, A. S. L. **Aspectos metodológicos para determinação de cargas internas na coluna vertebral.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Riberão Preto/ Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2001.

SPENCE, A. P. **Anatomia Humana Básica.** 2 ed. São Paulo: Manole, 1991.

WESTGAARD, R. H.; WINKEL, J. Review article. Ergonomic intervention research for improved musculoskeletal health: a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, n. 20, p. 463-500, 1997.

WINTER, D. A. **Biomechanics of human movement.** 2 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc, 1990.

## ANEXO 1

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, \_\_\_\_\_,

RG: \_\_\_\_\_, CPF: \_\_\_\_\_, idade: \_\_\_\_ anos, sujeito de pesquisa, CONSENTO, livre e esclarecidamente, com o professor Dr. João Alberto de Oliveira e a mestranda Danielle Rodrigues de Oliveira Reis, ambos do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da UNESP, a participar de ensaios sobre Análise das forças de reação do solo em função das variações dos centros de massa de indivíduos a partir de movimentos de tronco com variação de carga, estando CIENTE :

- De que serei filmado durante a realização de movimentos de tronco com variações de carga;
- De que serão colhidas minhas medidas antropométricas (peso e altura);
- De que não me beneficiarei financeiramente;
- Que, a qualquer momento, posso deixar de participar do estudo alvo da dissertação;
- Que todos os dados coletados tornam-se informações para pesquisa, podendo esses dados serem fonte de divulgação científica;
- Dos procedimentos aos quais serei submetido, não restando quaisquer dúvidas sobre a pesquisa, pois as mesmas já foram esclarecidas pela pesquisadora.

Esse termo foi impresso e assinado em 2 (duas) vias, ficando uma via com o sujeito da pesquisa e outra com o pesquisador.

Guaratinguetá, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2007.

\_\_\_\_\_  
Assinatura

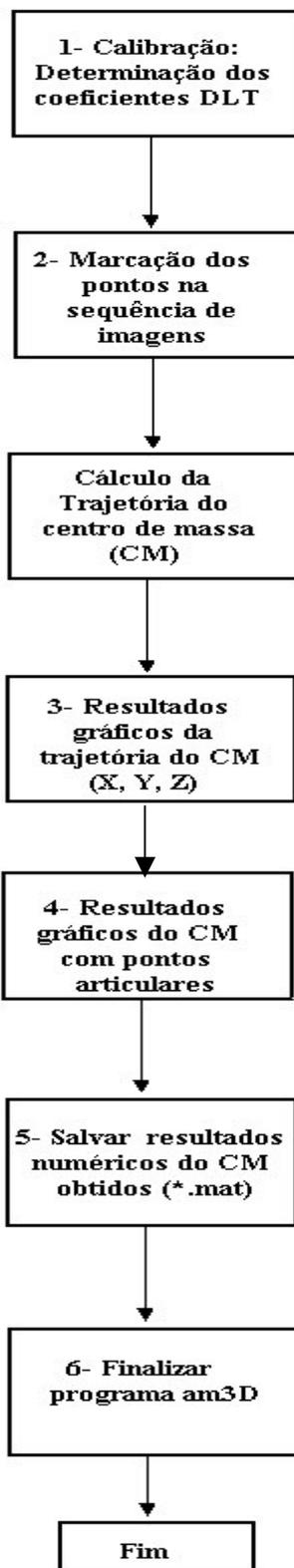
## ANEXO 2

## FIOS DE PRUMO

<b>Fio 1</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Fio 2</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Fio 3</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
Ponto 1	0	0	27,5	Ponto 15	150	0	31,0	Ponto 29	0	100	28,0
Ponto 2	0	0	43,5	Ponto 16	150	0	48,5	Ponto 30	0	100	45,0
Ponto 3	0	0	60,0	Ponto 17	150	0	63,5	Ponto 31	0	100	61,5
Ponto 4	0	0	77,0	Ponto 18	150	0	80,5	Ponto 32	0	100	78,0
Ponto 5	0	0	93,5	Ponto 19	150	0	97,5	Ponto 33	0	100	94,5
Ponto 6	0	0	110,0	Ponto 20	150	0	114,5	Ponto 34	0	100	111,0
Ponto 7	0	0	126,5	Ponto 21	150	0	131,0	Ponto 35	0	100	128,0
Ponto 8	0	0	143,0	Ponto 22	150	0	149,0	Ponto 36	0	100	144,5
Ponto 9	0	0	159,5	Ponto 23	150	0	165,5	Ponto 37	0	100	161,5
Ponto 10	0	0	176,0	Ponto 24	150	0	182,0	Ponto 38	0	100	177,5
Ponto 11	0	0	193,0	Ponto 25	150	0	198,5	Ponto 39	0	100	194,0
Ponto 12	0	0	209,0	Ponto 26	150	0	215,5	Ponto 40	0	100	210,5
Ponto 13	0	0	226,0	Ponto 27	150	0	232,0	Ponto 41	0	100	226,5
Ponto 14	0	0	242,5	Ponto 28	150	0	249,0	Ponto 42	0	100	243,0
<b>Fio 4</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Fio 5</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>Fio 6</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
Ponto 43	150	100	31,0	Ponto 57	0	200	27,5	Ponto 71	150	200	29,5
Ponto 44	150	100	47,5	Ponto 58	0	200	44,0	Ponto 72	150	200	46,0
Ponto 45	150	100	64,5	Ponto 59	0	200	61,0	Ponto 73	150	200	62,5
Ponto 46	150	100	81,0	Ponto 60	0	200	77,0	Ponto 74	150	200	79,0
Ponto 47	150	100	97,5	Ponto 61	0	200	93,5	Ponto 75	150	200	96,0
Ponto 48	150	100	114,5	Ponto 62	0	200	110,0	Ponto 76	150	200	112,0
Ponto 49	150	100	131,5	Ponto 63	0	200	126,5	Ponto 77	150	200	129,0
Ponto 50	150	100	147,5	Ponto 64	0	200	143,5	Ponto 78	150	200	145,5
Ponto 51	150	100	164,0	Ponto 65	0	200	160,0	Ponto 79	150	200	162,0
Ponto 52	150	100	180,5	Ponto 66	0	200	176,0	Ponto 80	150	200	178,5
Ponto 53	150	100	197,0	Ponto 67	0	200	192,5	Ponto 81	150	200	195,0
Ponto 54	150	100	213,0	Ponto 68	0	200	209,0	Ponto 82	150	200	211,5
Ponto 55	150	100	230,0	Ponto 69	0	200	225,5	Ponto 83	150	200	228,0
Ponto 56	150	100	246,0	Ponto 70	0	200	241,5	Ponto 84	150	200	244,0

## ANEXO 3

## Fluxograma do Programa para Análise de Movimento 3D (am3D)



## ANEXO 4

**Gráficos da trajetória das coordenadas do centro de massa durante as fases do movimento nos ensaios sem e com variação de carga**

## 1. Fase 2

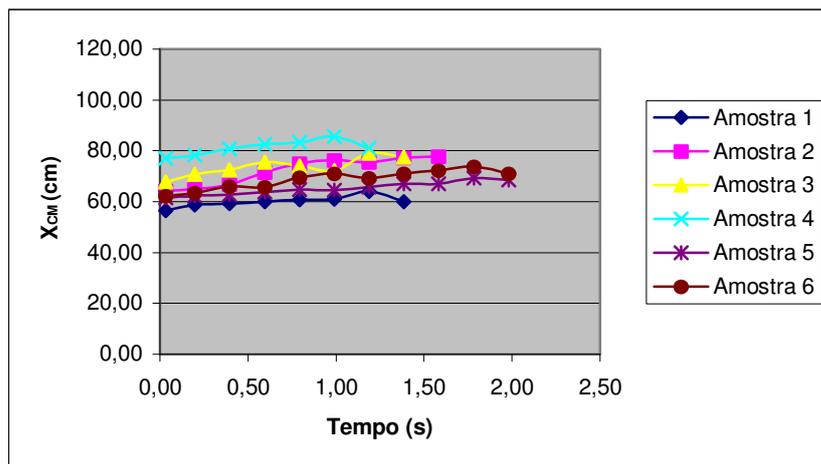


Figura 1 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo direita/ Sem carga

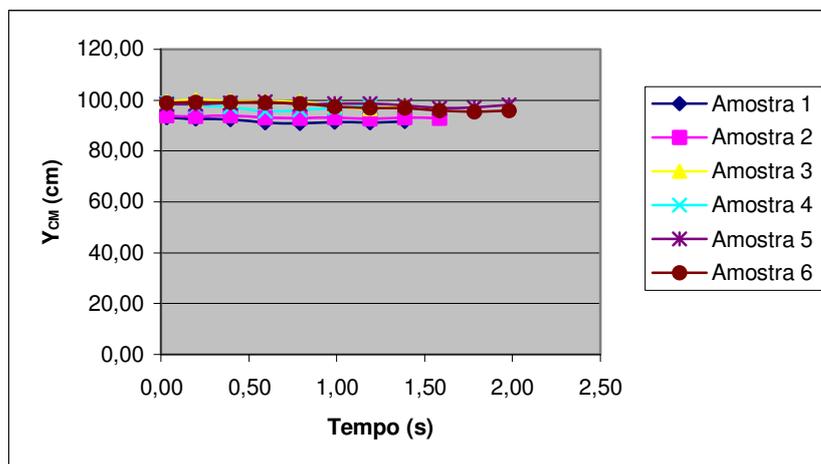


Figura 2 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo direita/ Sem carga

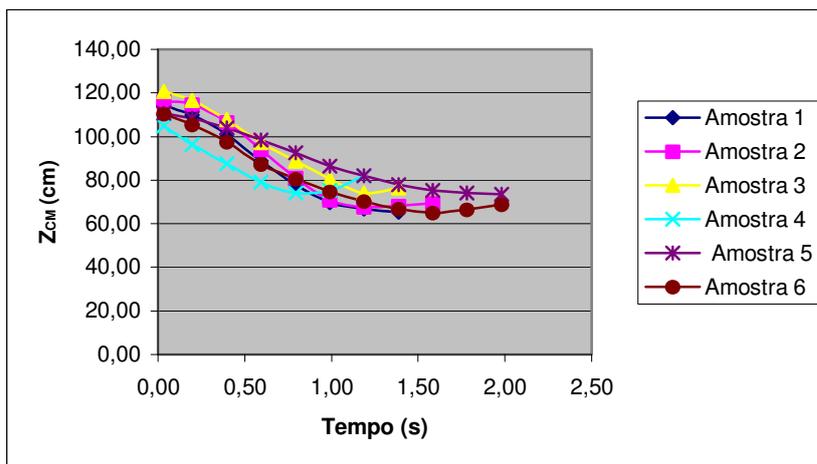


Figura 3 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo direita/ Sem carga

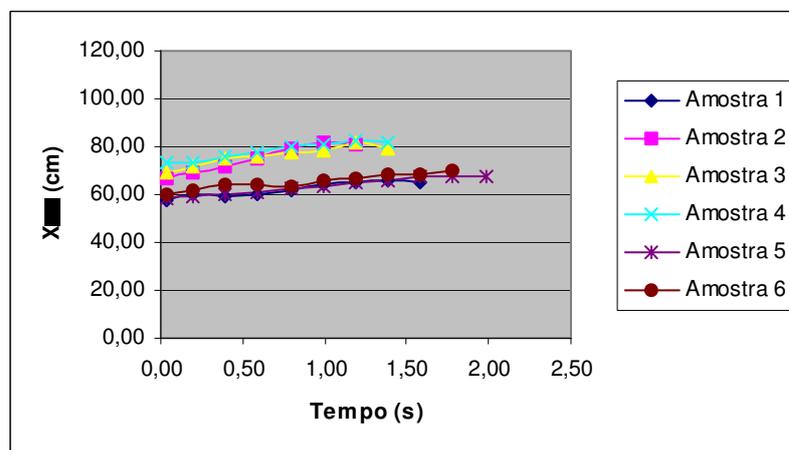


Figura 4 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Sem carga

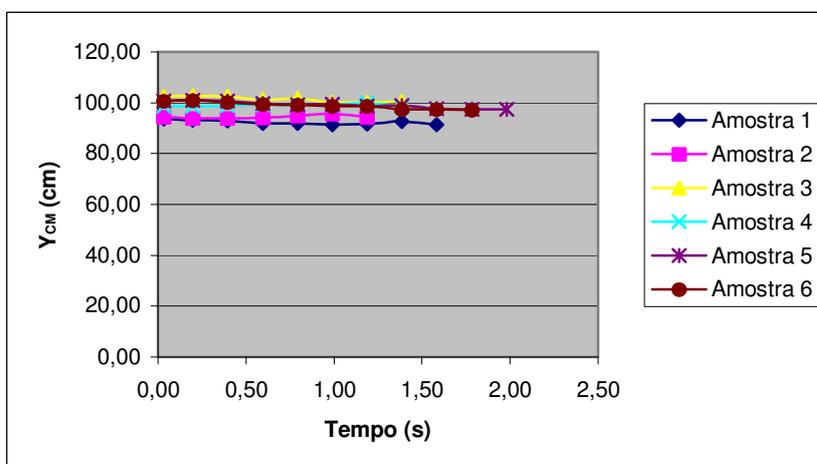


Figura 5 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Sem carga

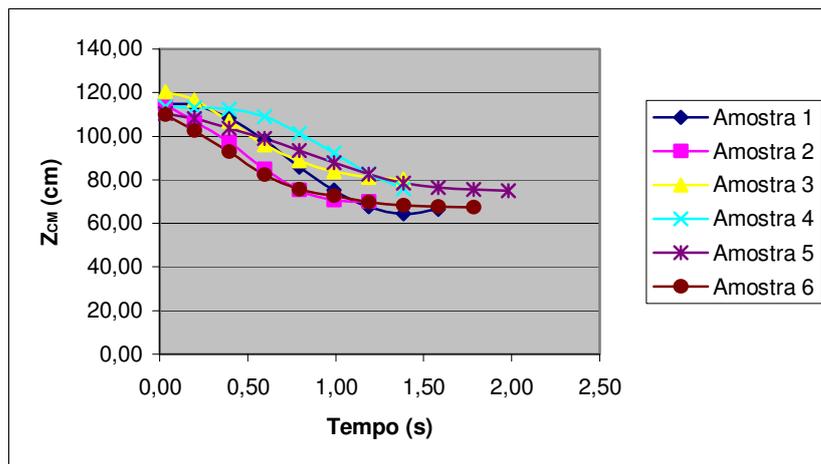


Figura 6 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Sem carga

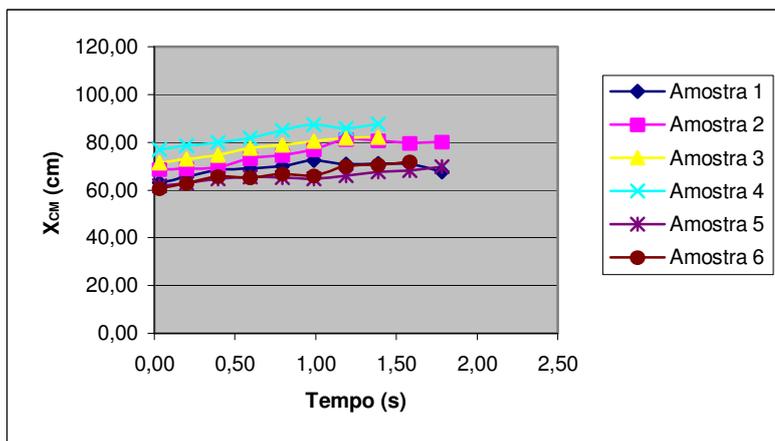


Figura 7 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 5 kg

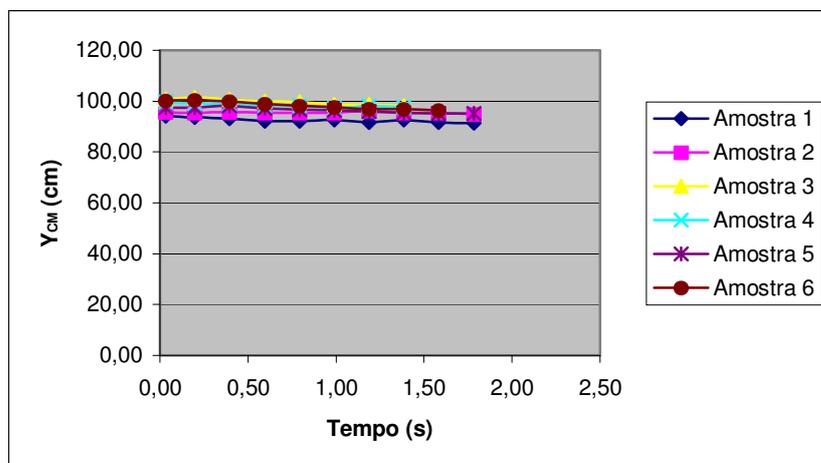


Figura 8 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 5 kg

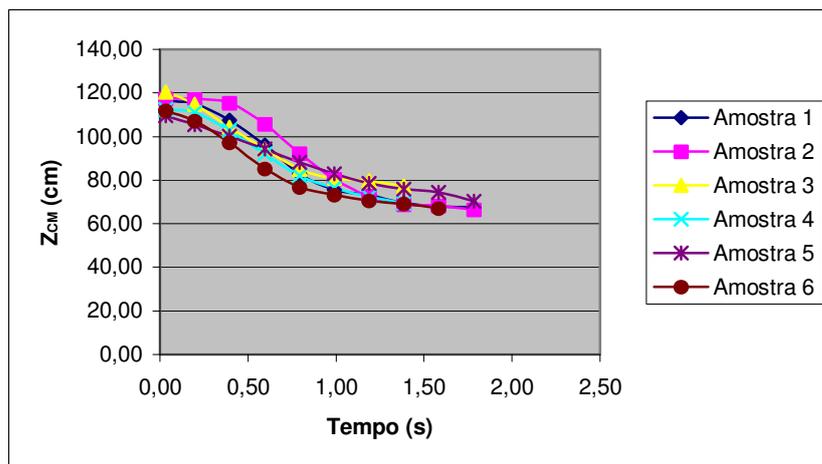


Figura 9 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

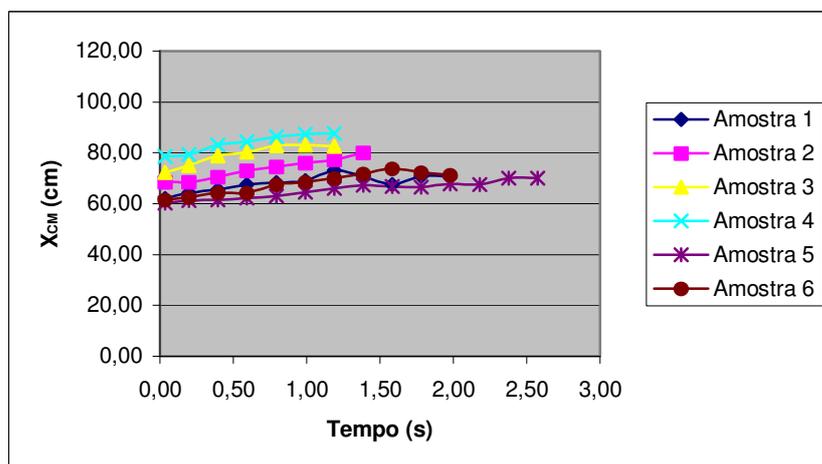


Figura 10 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

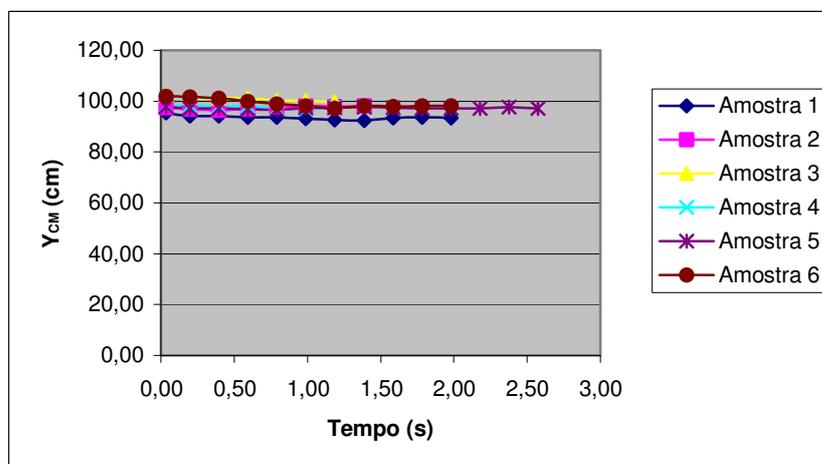


Figura 11 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

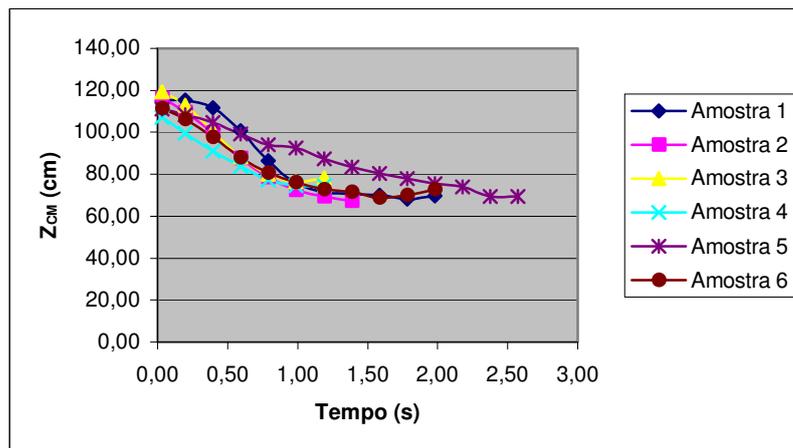


Figura 12 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Carga 5 kg

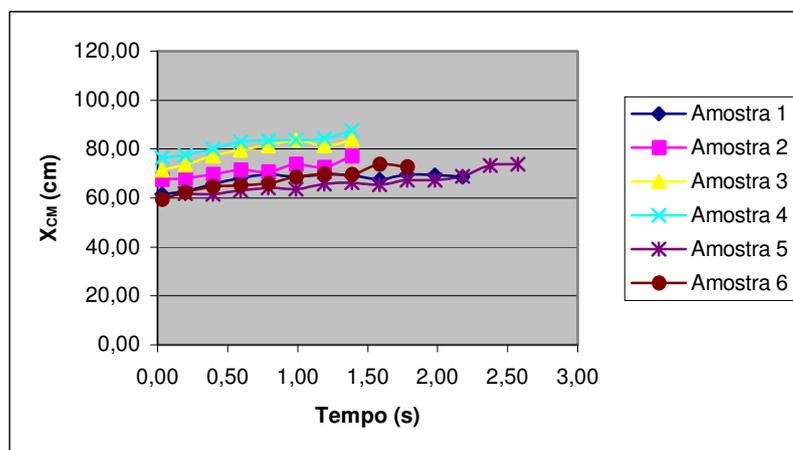


Figura 13 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 10 kg

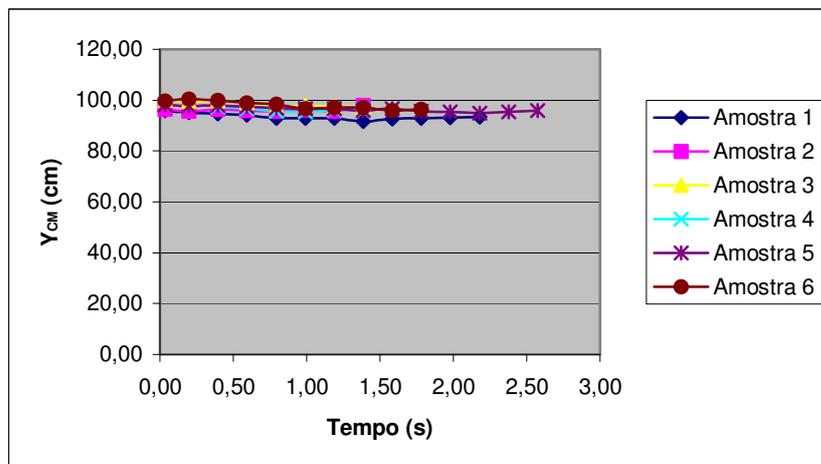


Figura 14 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 10 kg

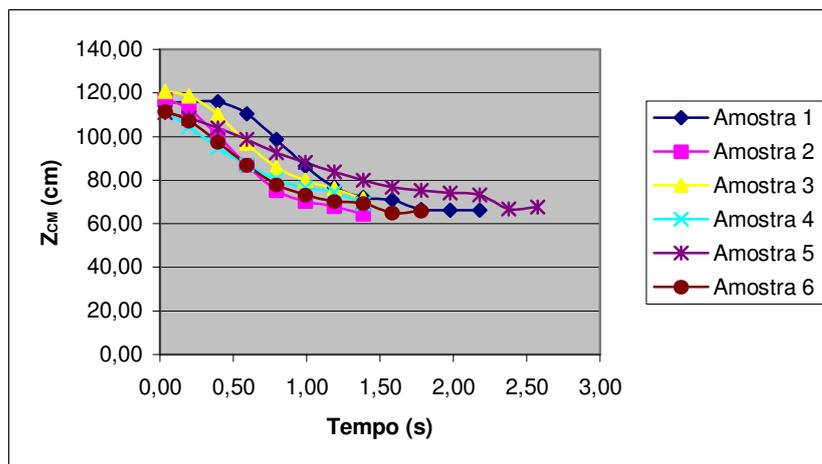


Figura 15 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

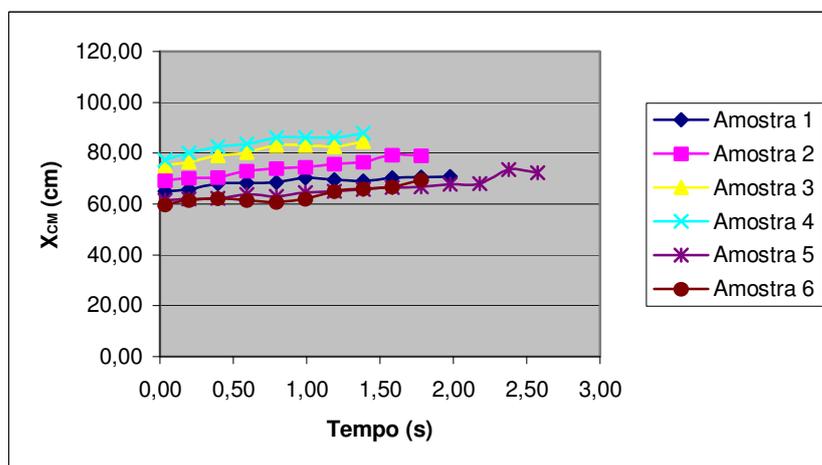


Figura 16 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

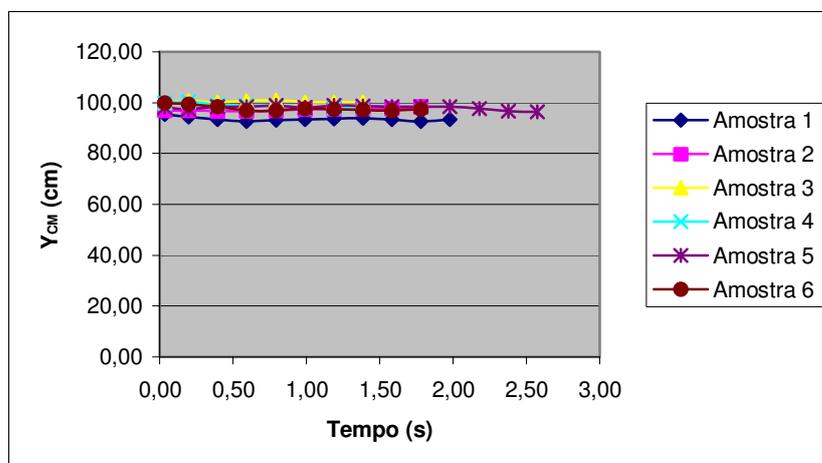


Figura 17 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

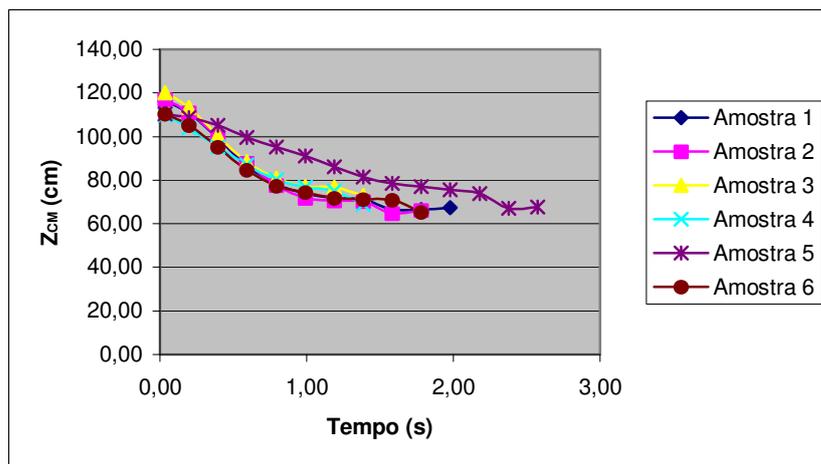


Figura 18 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Carga 10 kg

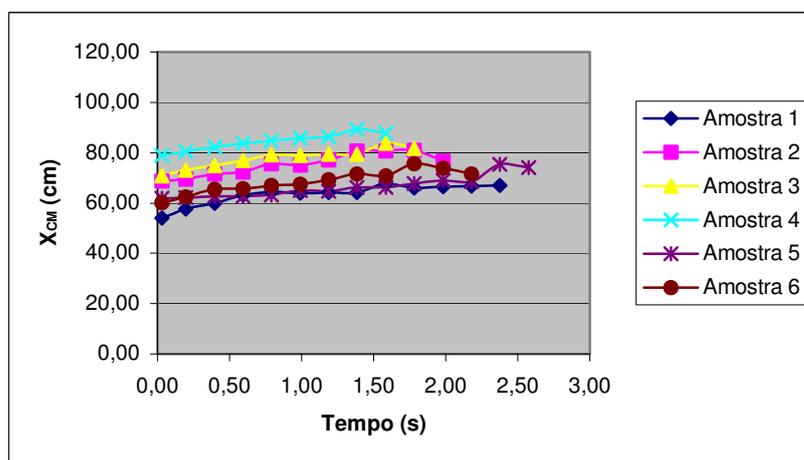


Figura 19 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 15 kg

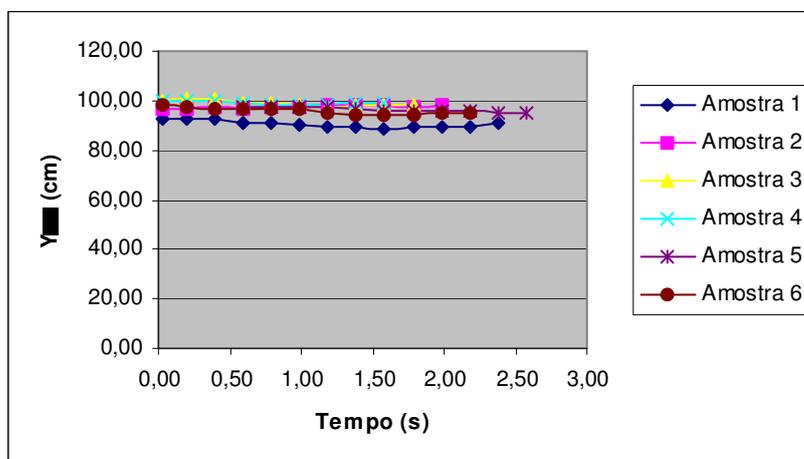


Figura 20 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/ Carga 15 kg

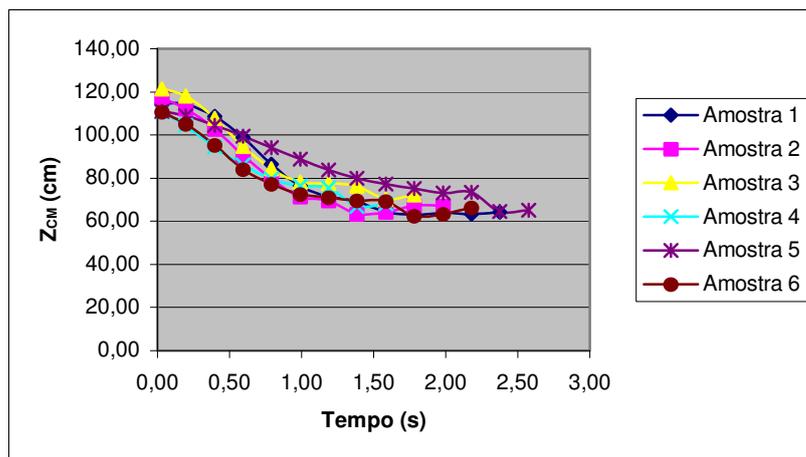


Figura 21 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

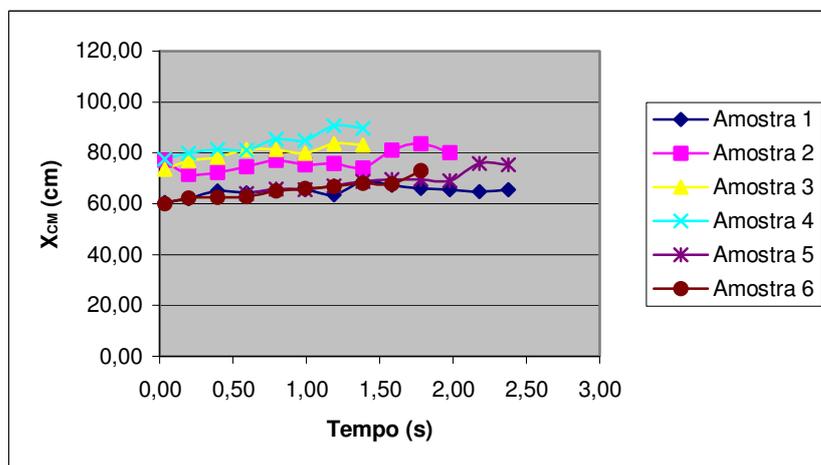


Figura 22 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

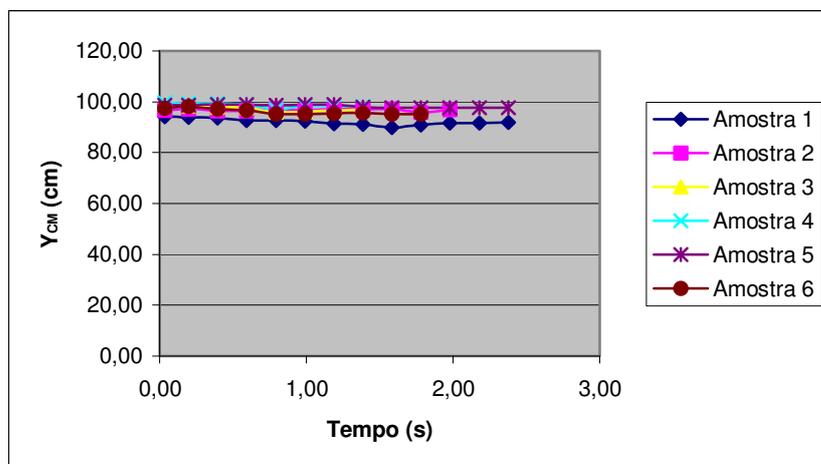


Figura 23 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

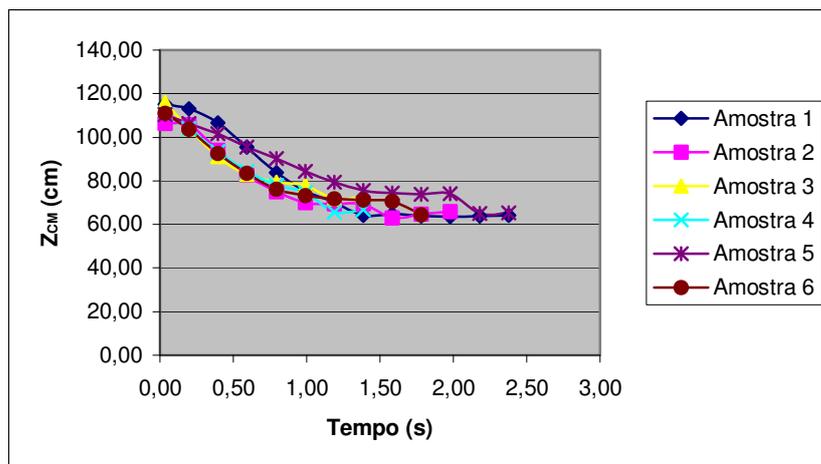


Figura 24 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 2 - Ciclo Esquerda/ Carga 15 kg

### Fase 3

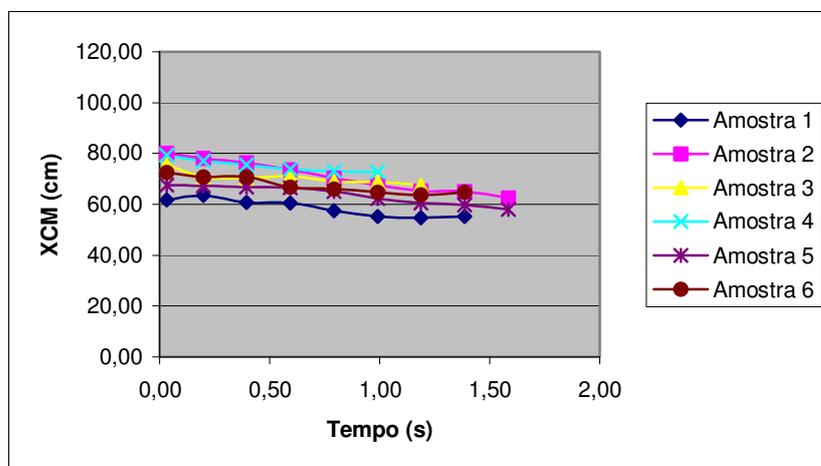


Figura 25 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Sem carga

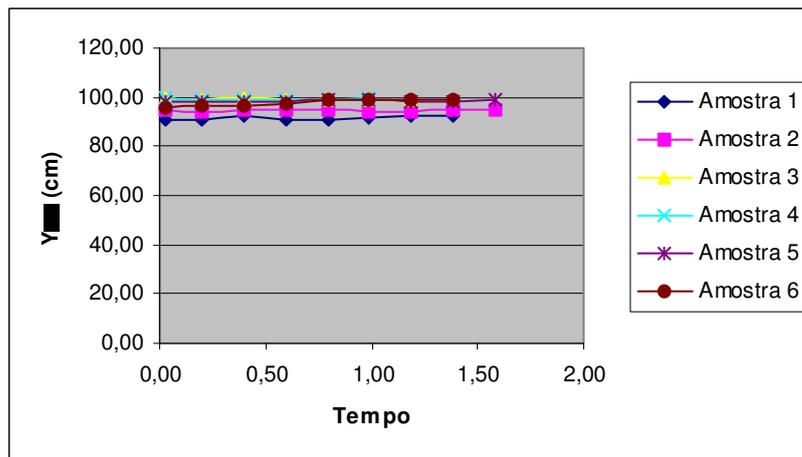


Figura 26 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Sem carga

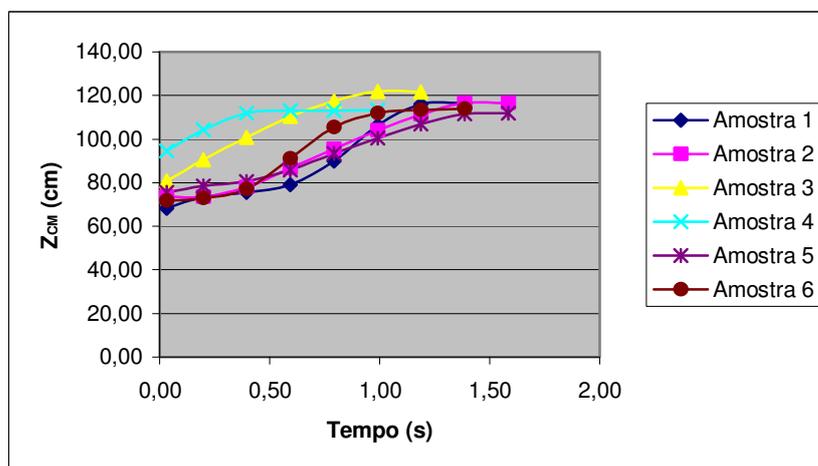


Figura 27 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Sem carga

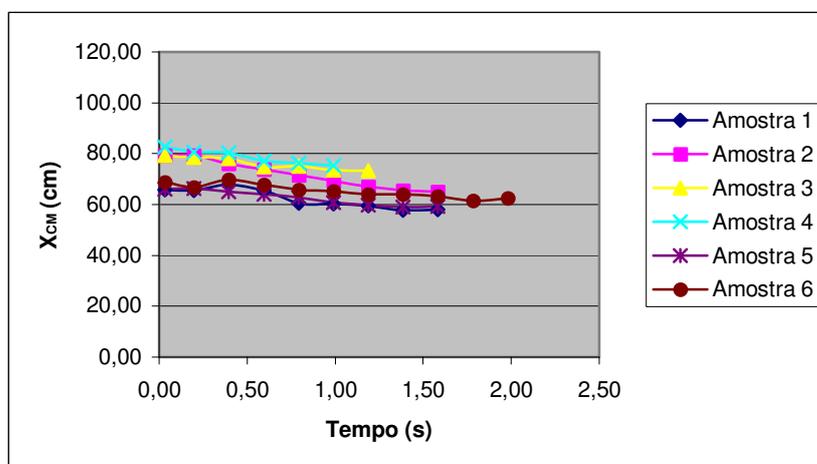


Figura 28 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/ Sem carga

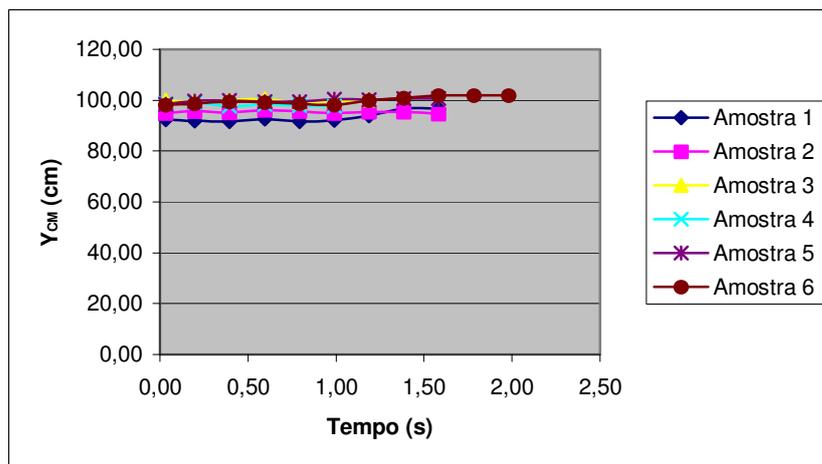


Figura 29 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Sem carga

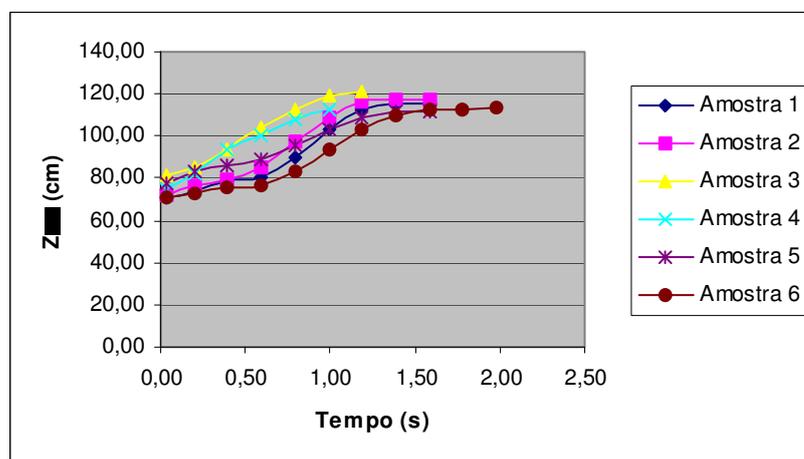


Figura 30 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Sem carga

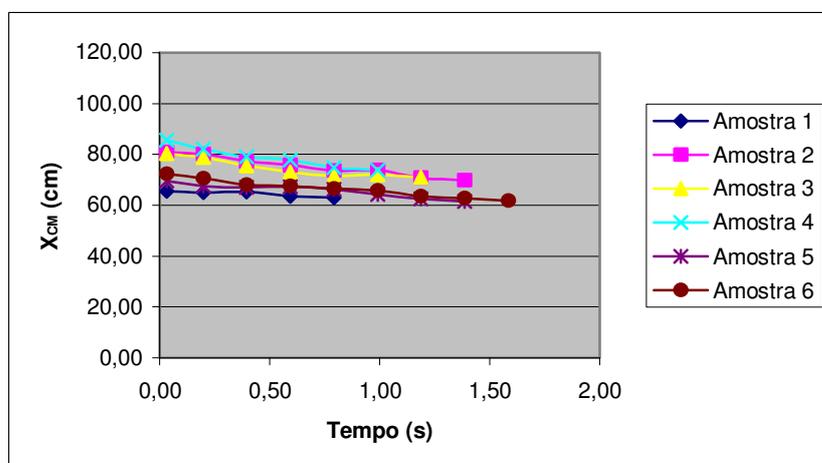


Figura 31 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

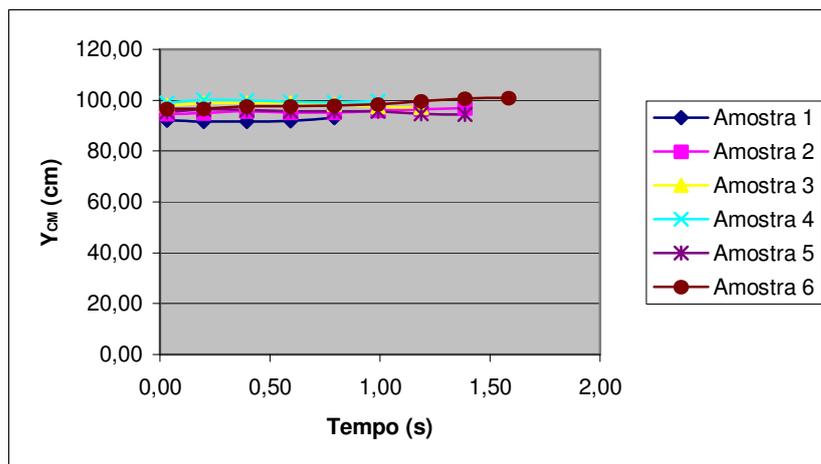


Figura 32 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

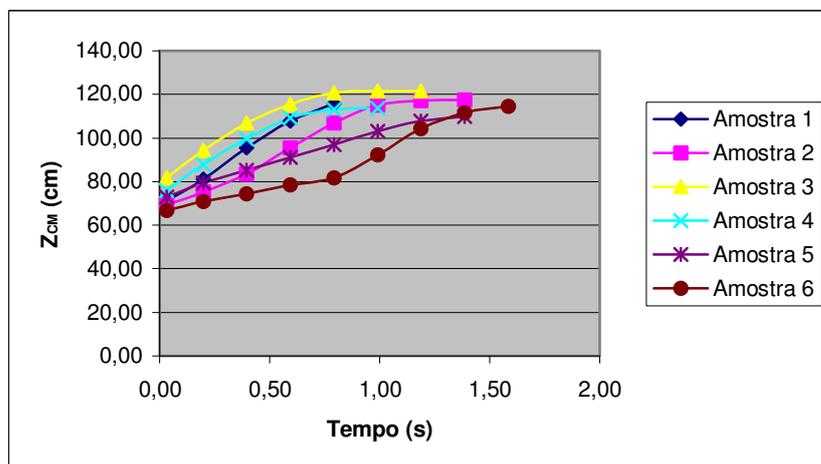


Figura 33 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

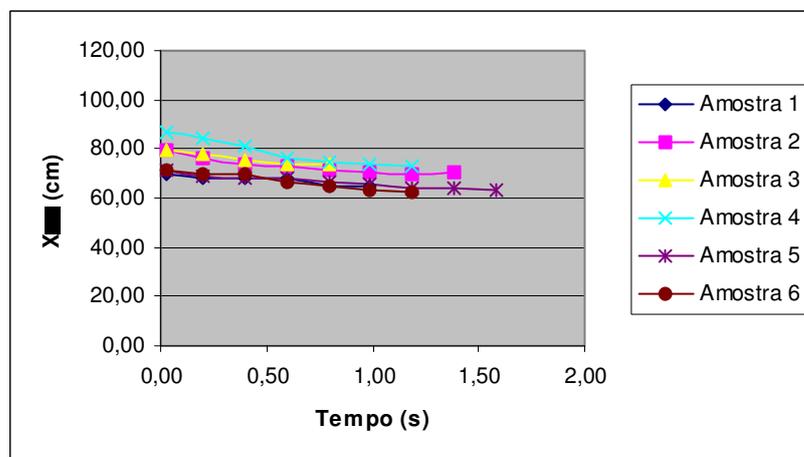


Figura 34 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

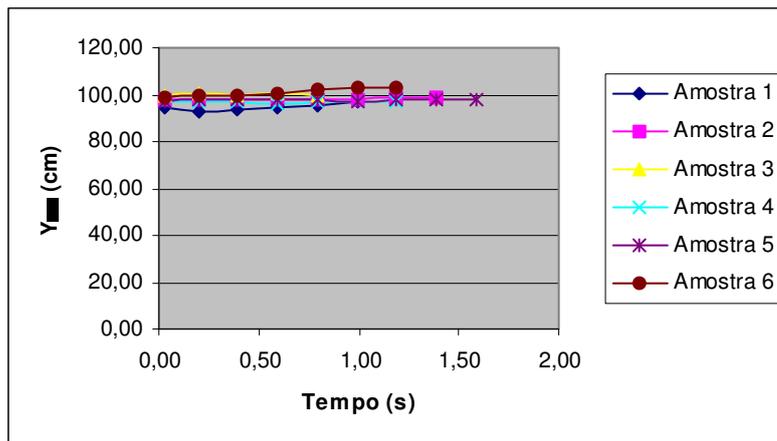


Figura 35 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/ Carga 5 kg

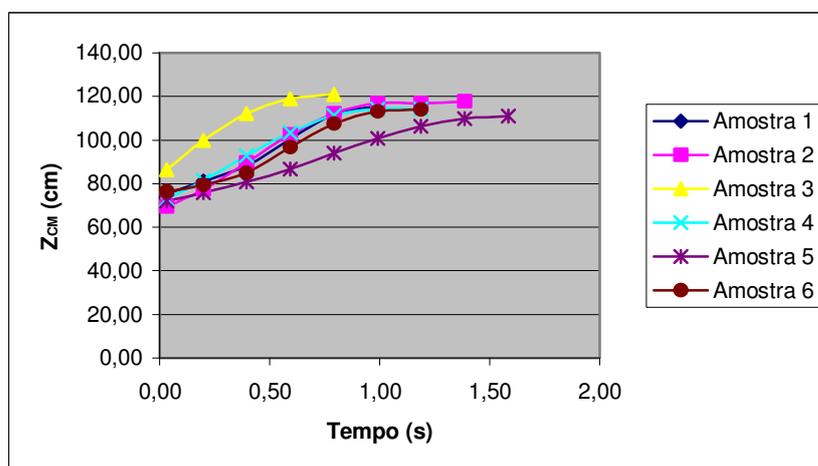


Figura 36 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/ Carga 5 kg

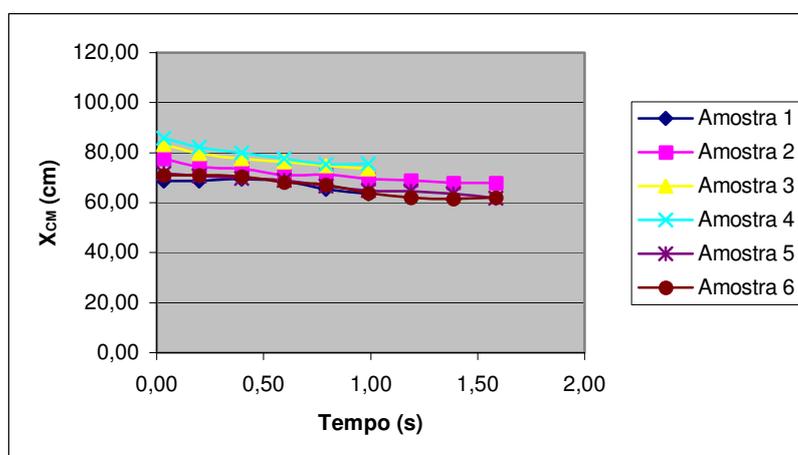


Figura 37 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Carga 10 kg

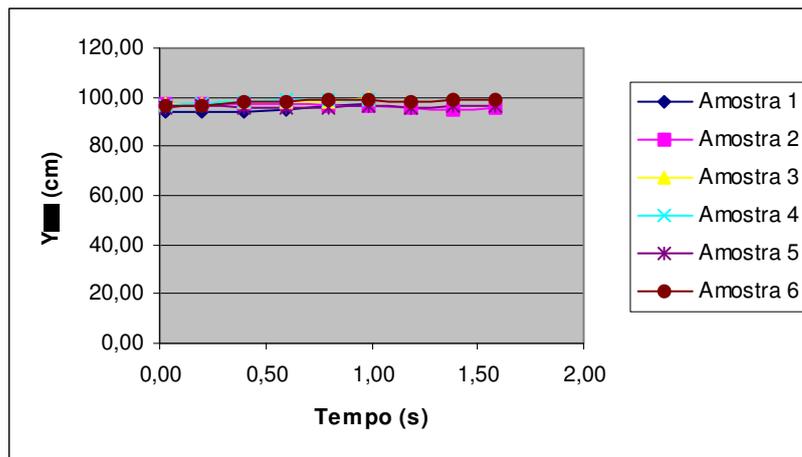


Figura 38 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Carga 10 kg

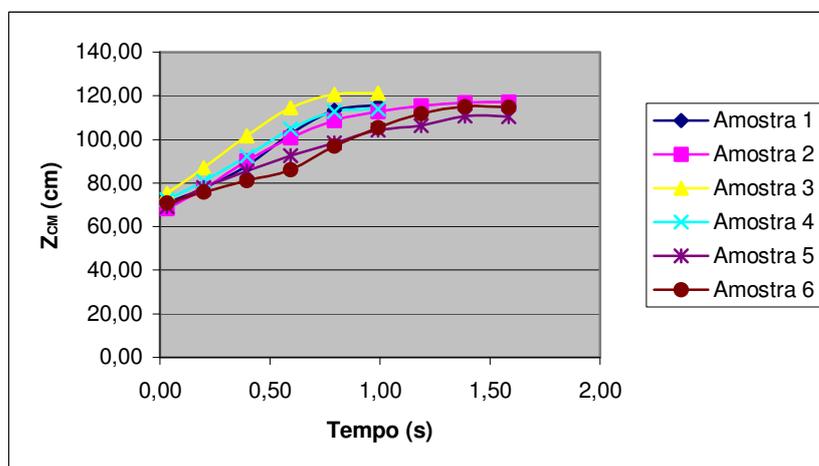


Figura 39 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/ Carga 10 kg

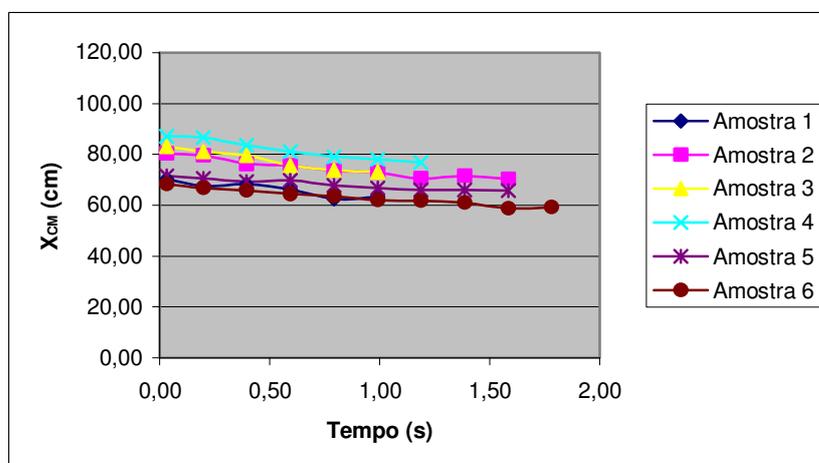


Figura 40 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/ Carga 10 kg

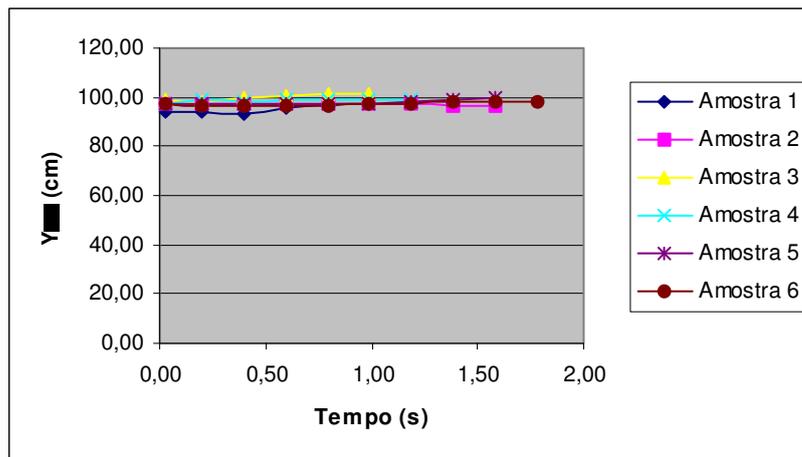


Figura 41 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

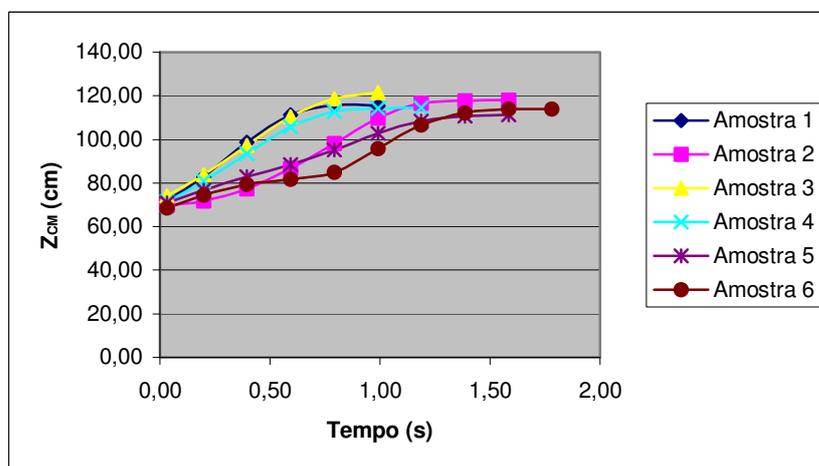


Figura 42 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

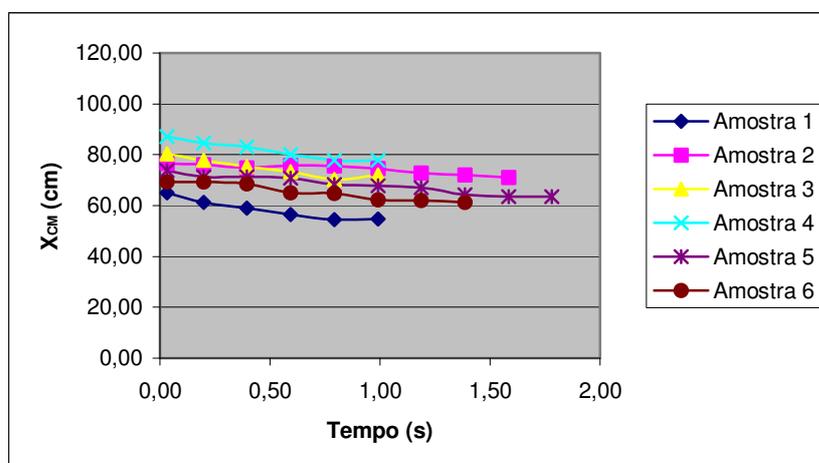


Figura 43 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

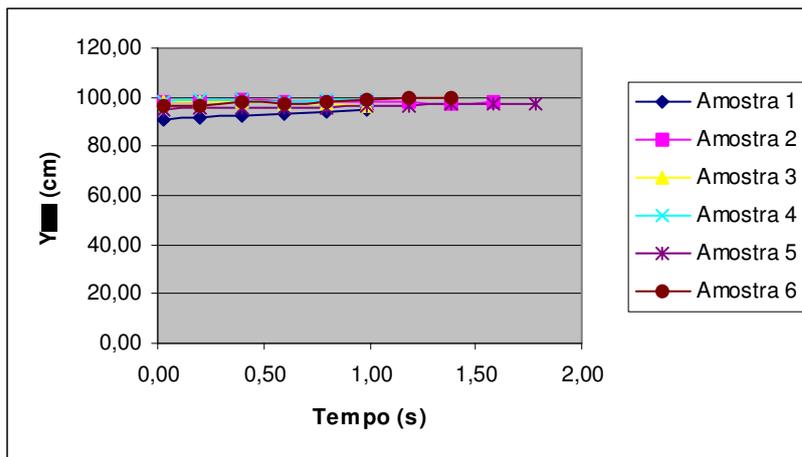


Figura 44 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

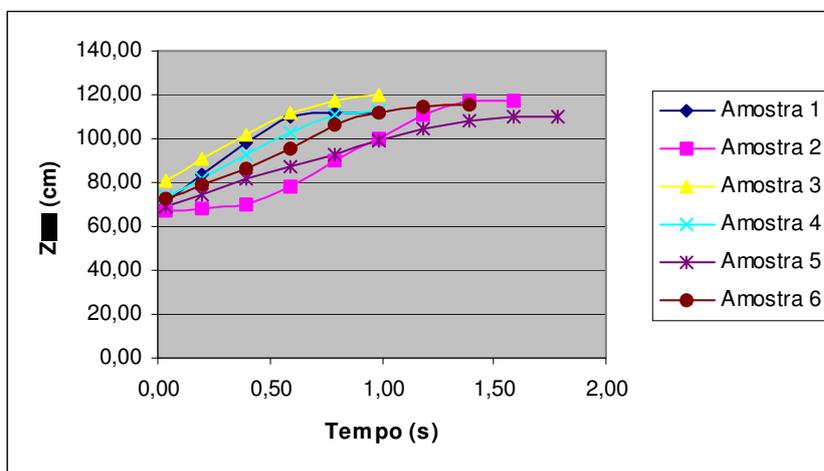


Figura 45 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

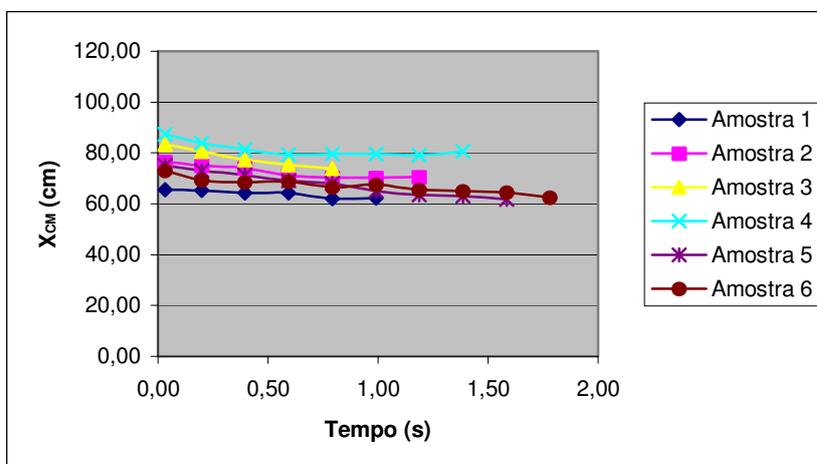


Figura 46 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

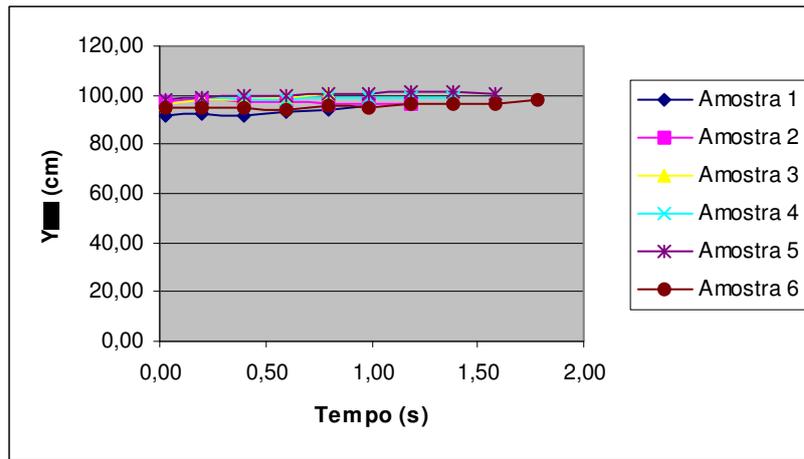


Figura 47 - Trajetória da coordenada Y<sub>CM</sub> durante Fase 3 - Ciclo Esquerda/ Carga 15 kg

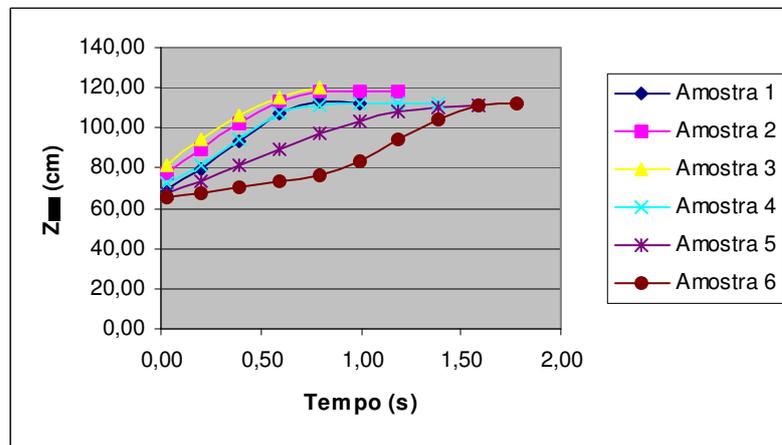


Figura 48 - Trajetória da coordenada Z<sub>CM</sub> durante Fase 3 – Ciclo Esquerda/ Carga 15 kg

**Fase 4**

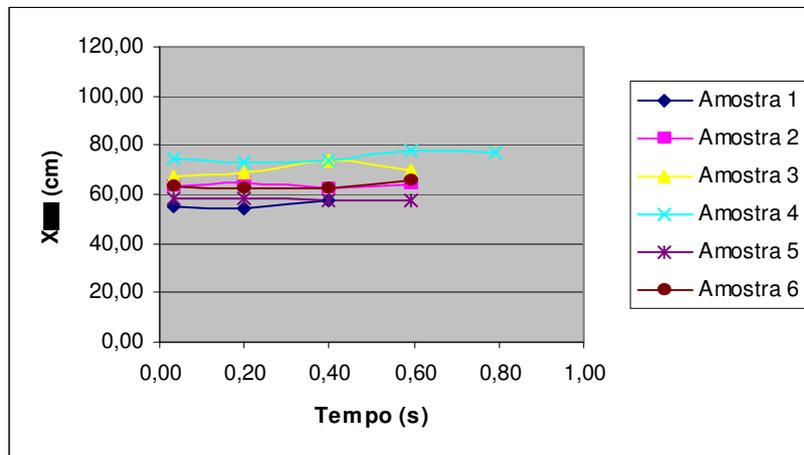


Figura 49 - Trajetória da coordenada X<sub>CM</sub> durante Fase4 – Ciclo Direita/ Sem carga

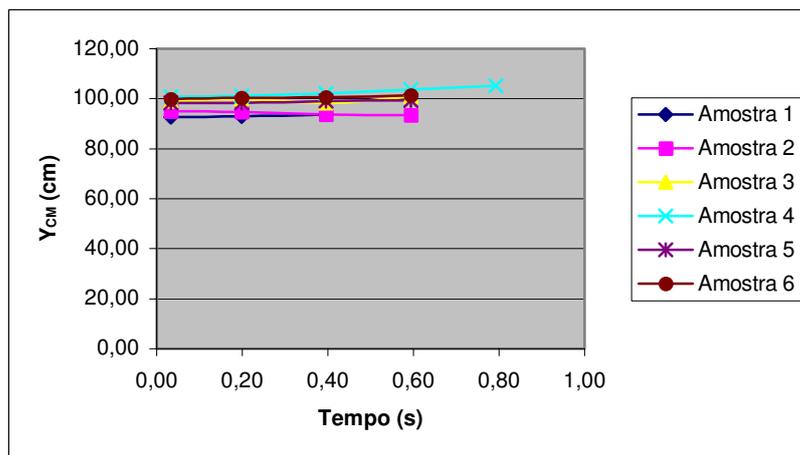


Figura 50 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 4 – Ciclo Direita/ Sem carga

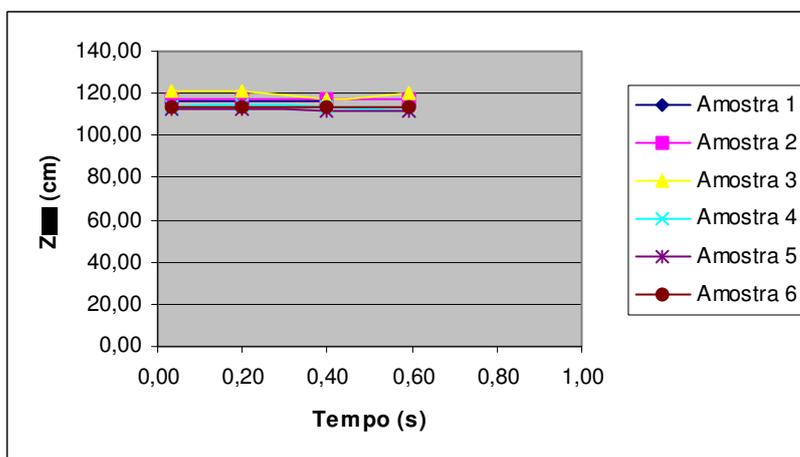


Figura 51 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 4 – Ciclo Direita/ Sem carga

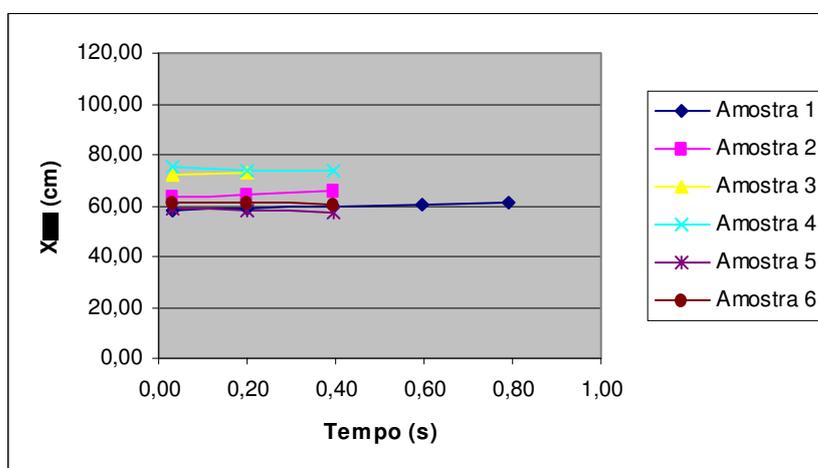


Figura 52 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 4 – Ciclo Esquerda/ Sem carga

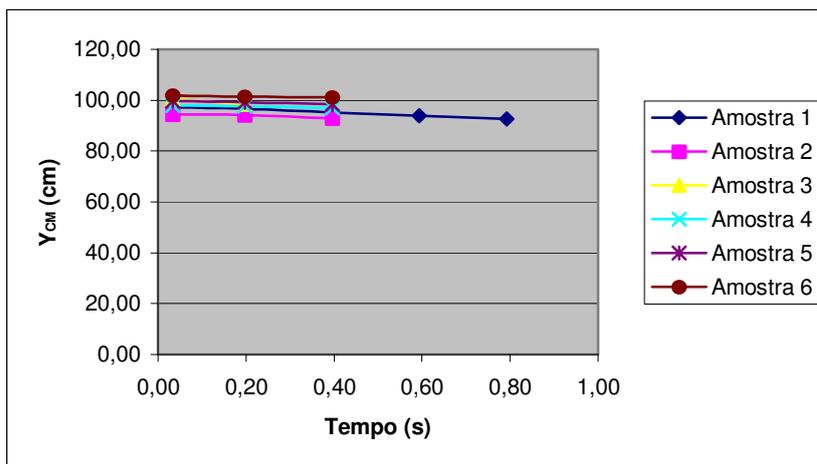


Figura 53 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 4 – Ciclo Esquerda/  
Sem carga

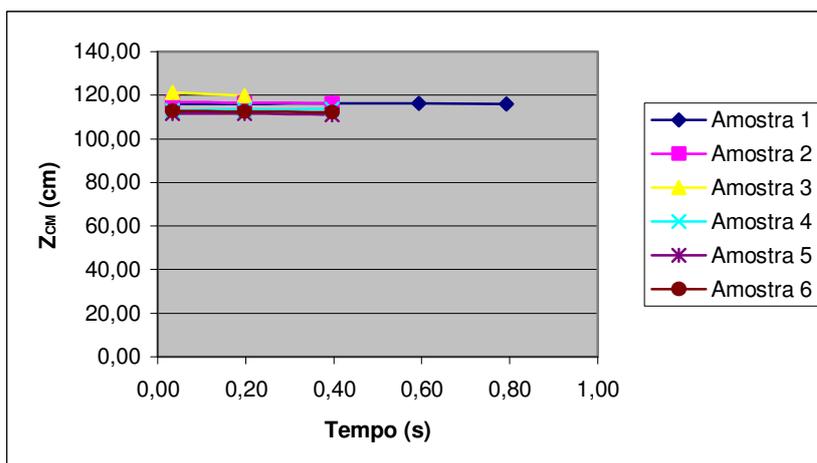


Figura 54 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 4 – Ciclo Esquerda/  
Sem carga

Fase 5

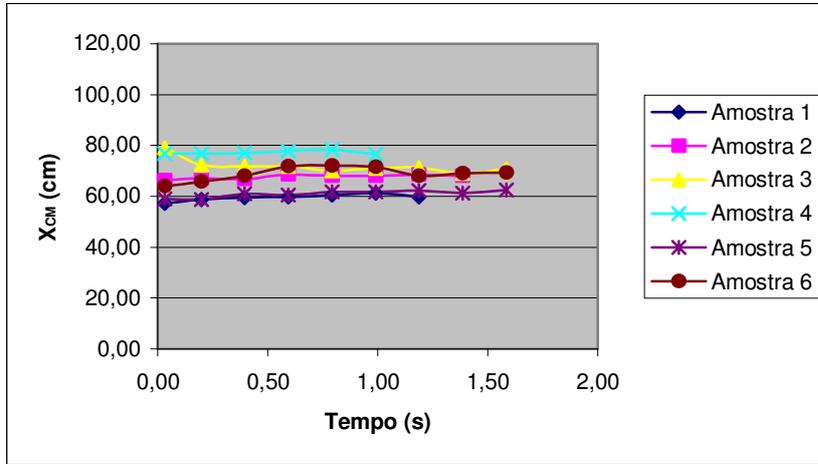


Figura 55 - Trajetória da coordenada X<sub>CM</sub> durante Fase 5 – Ciclo Direita/ Sem Carga

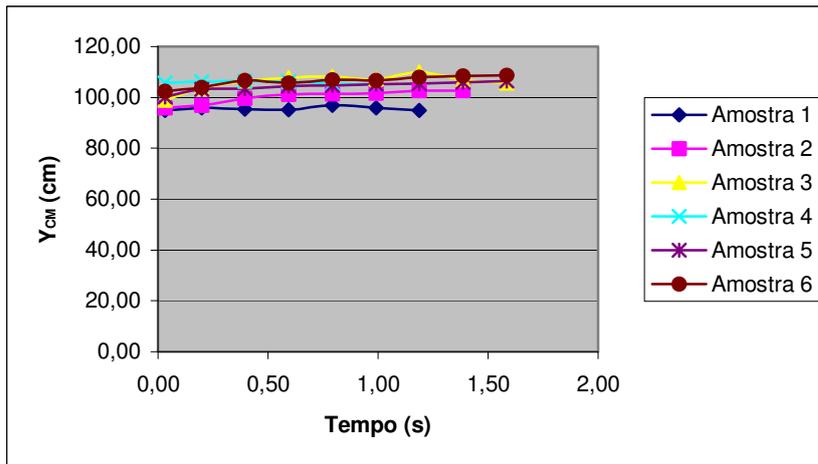


Figura 56 - Trajetória da coordenada Y<sub>CM</sub> durante Fase 5 – Ciclo Direita/ Sem Carga

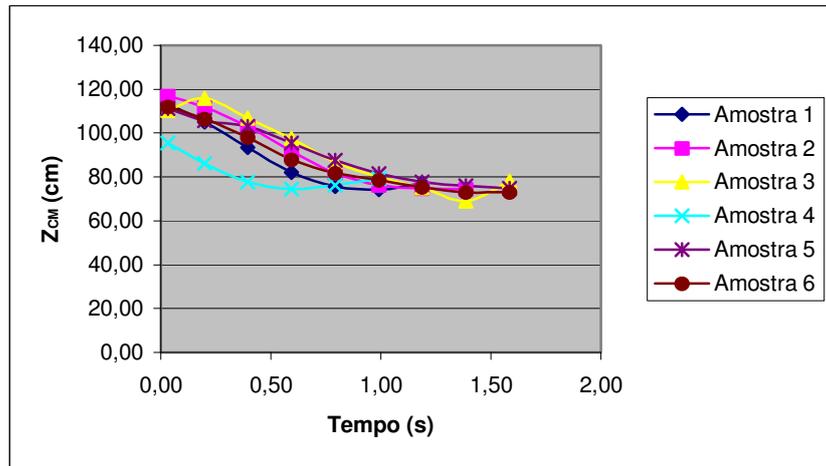


Figura 57 - Trajetória da coordenada Z<sub>CM</sub> durante Fase 5 – Ciclo Direita/ Sem Carga

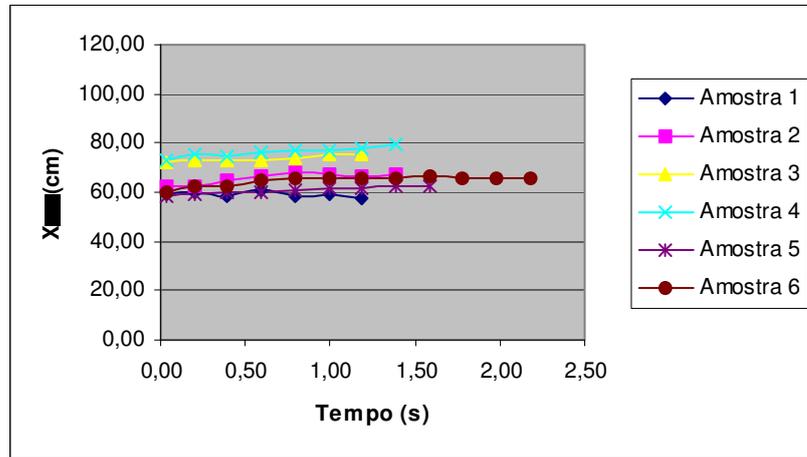


Figura 58- Trajetória da coordenada X<sub>CM</sub> durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/ Sem carga

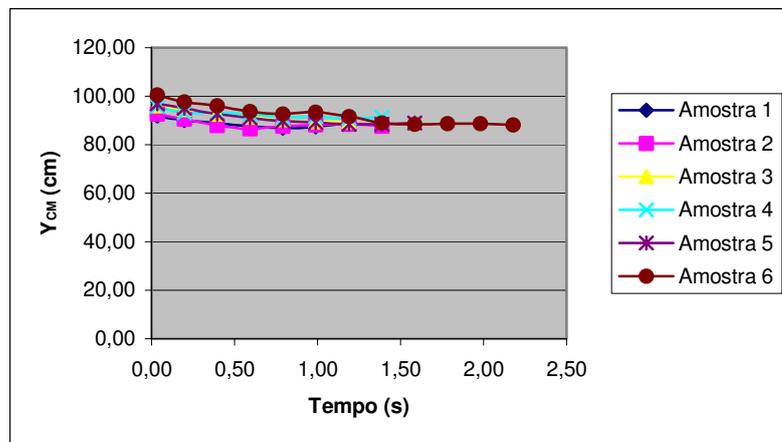


Figura 59 - Trajetória da coordenada Y<sub>CM</sub> durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/ Sem carga

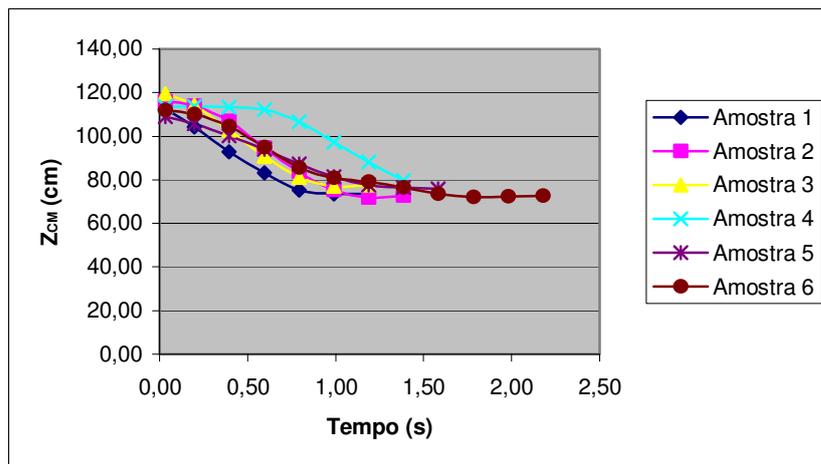


Figura 60 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/ Sem Carga

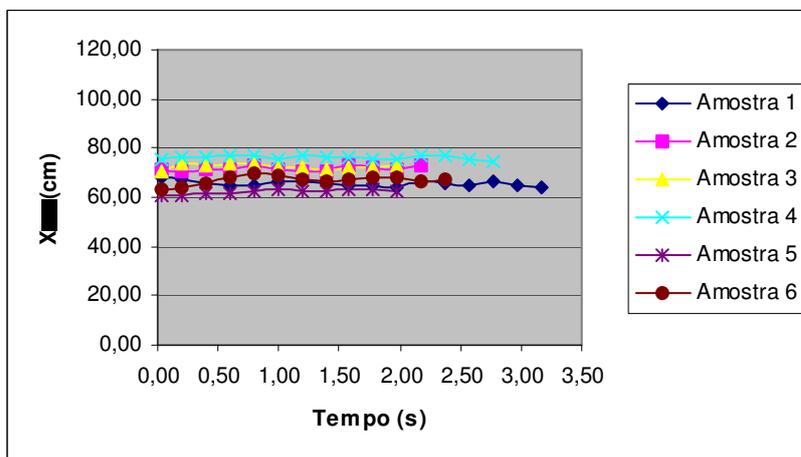


Figura 61 - Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/ Carga 5 kg

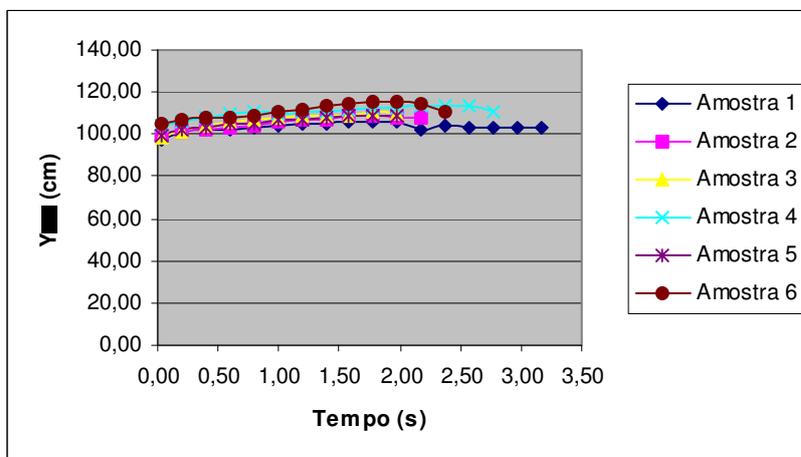


Figura 62 - Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/ Carga 5 kg

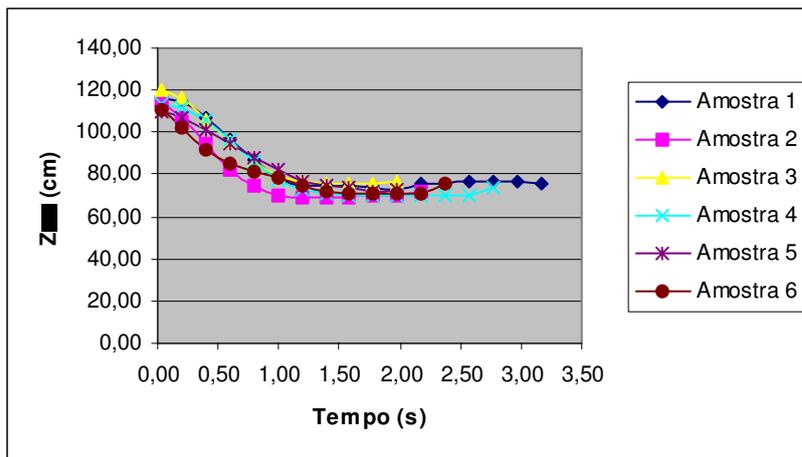


Figura 63- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

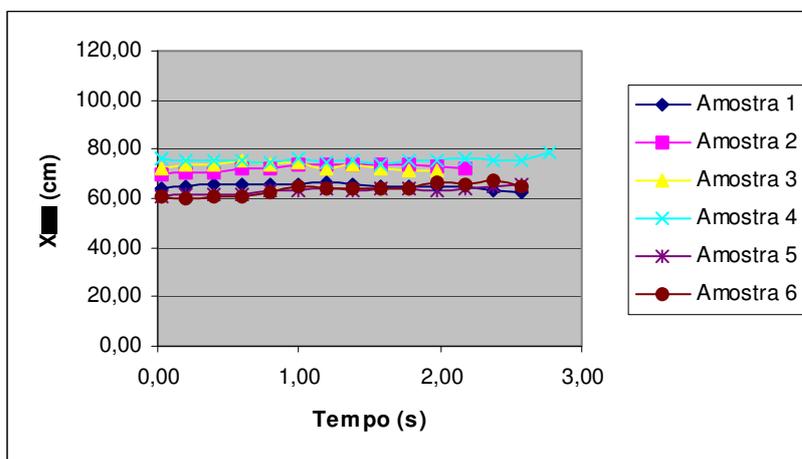


Figura 64- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

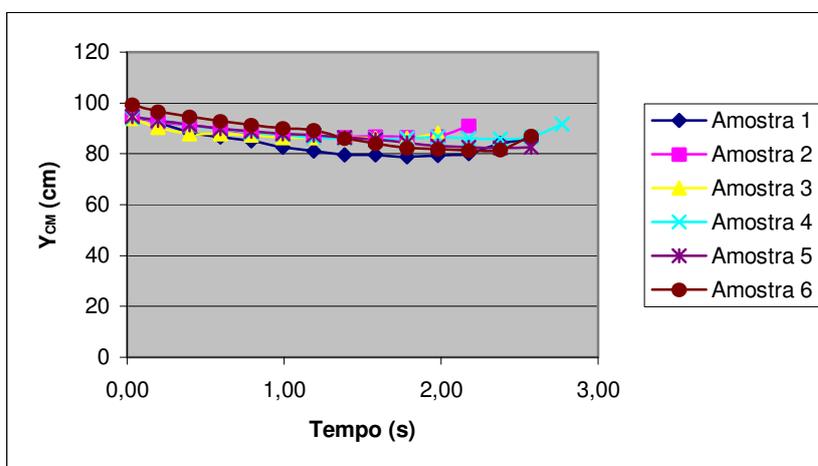


Figura 65- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

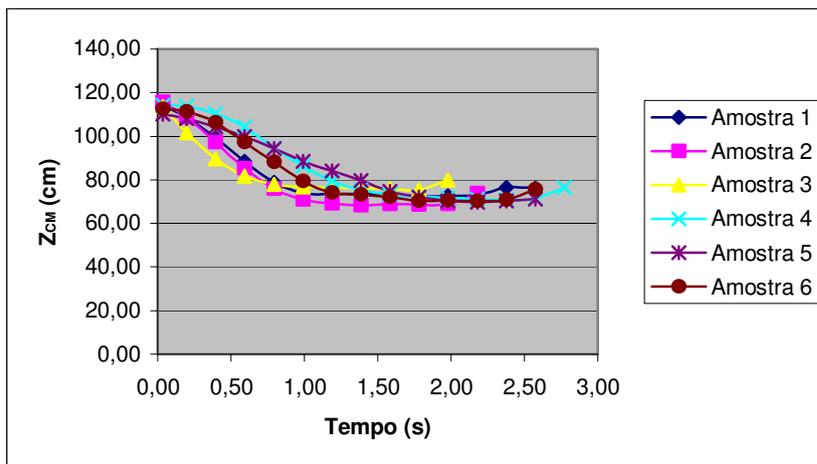


Figura 66- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

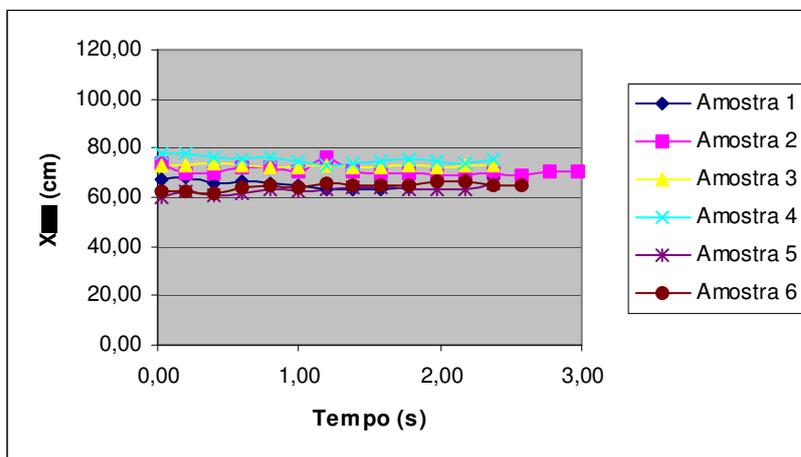


Figura 67- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

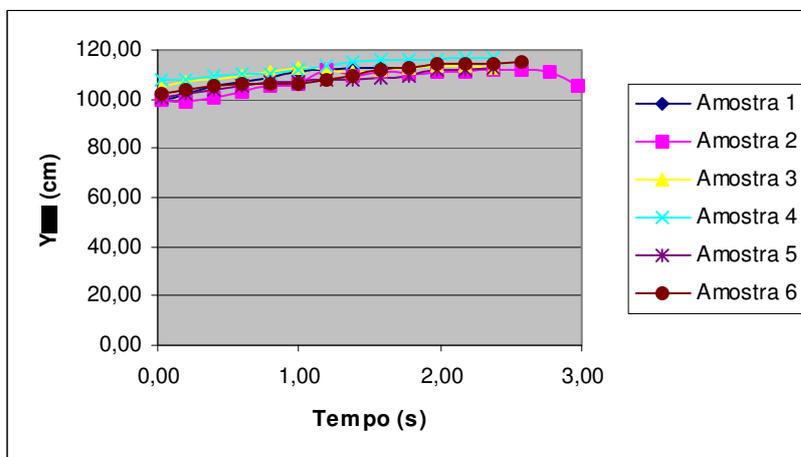


Figura 68- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

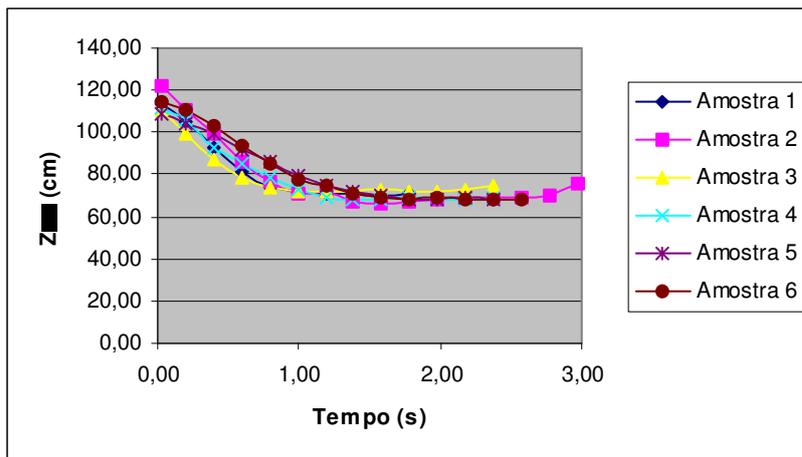


Figura 69 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

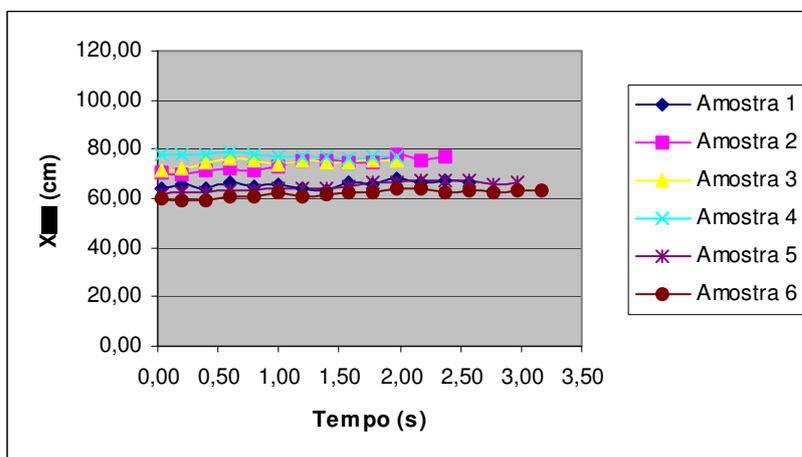


Figura 70- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

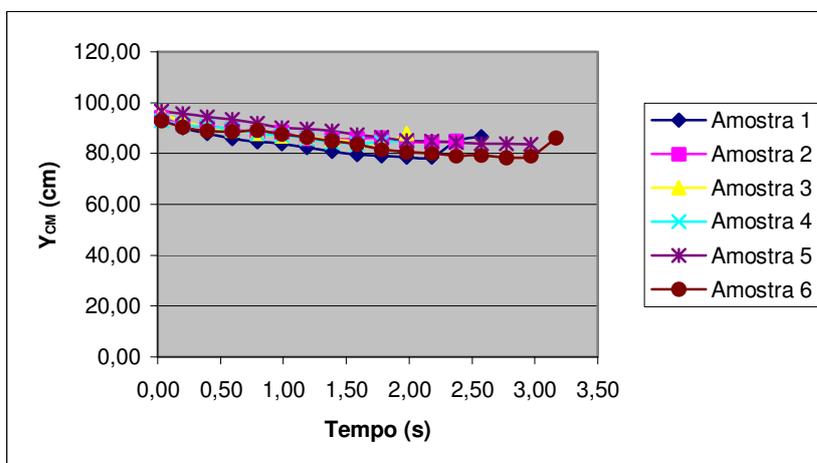


Figura 71- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

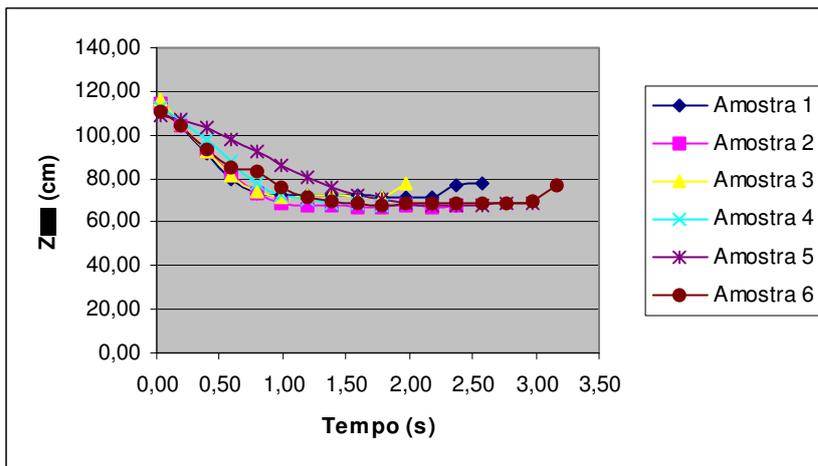


Figura 72- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

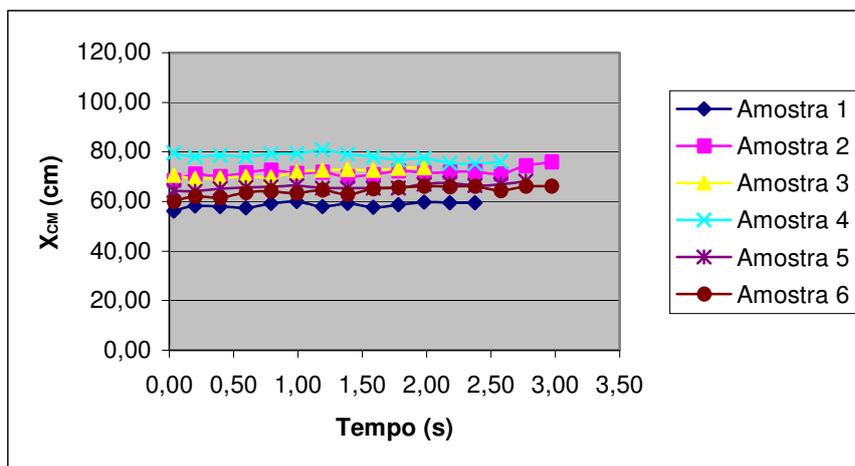


Figura 73- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

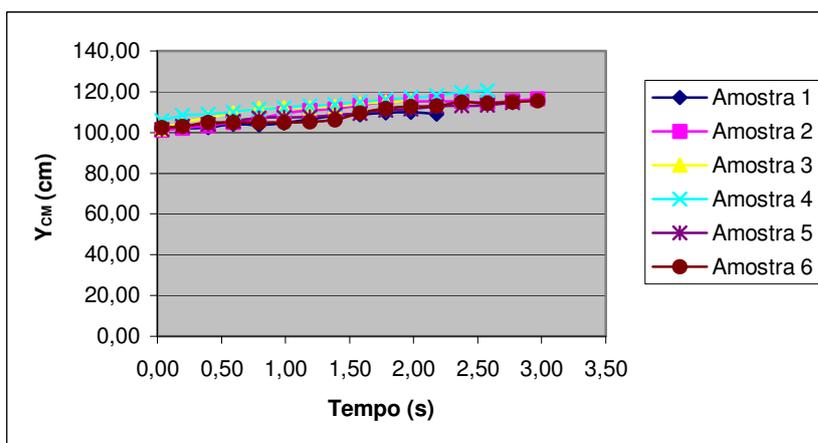


Figura 74- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

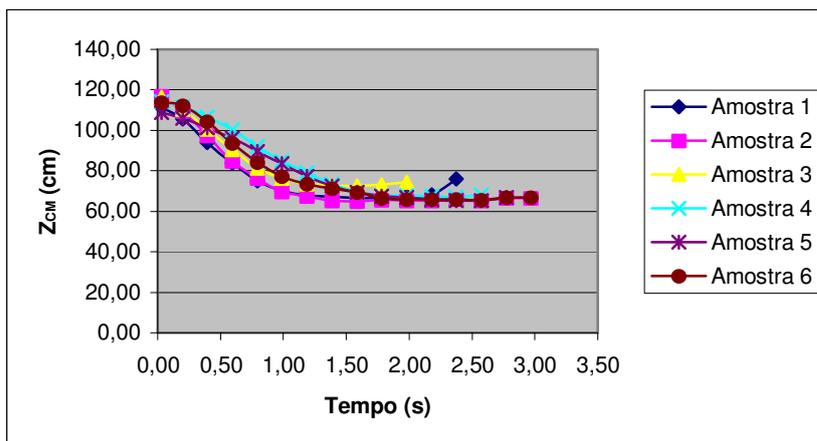


Figura 75- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

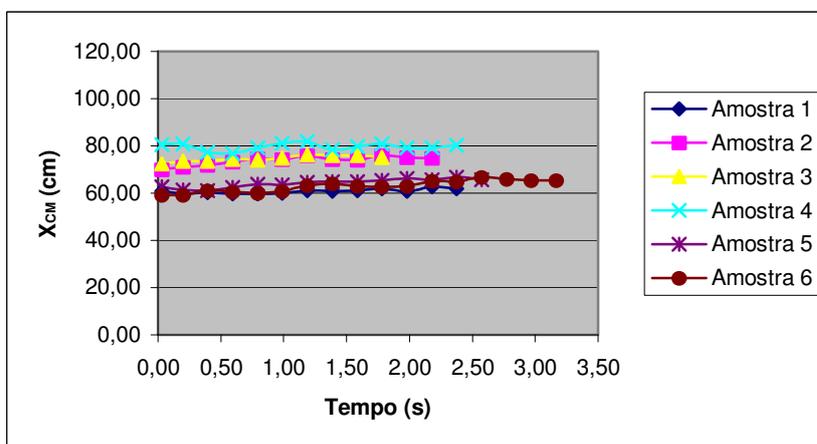


Figura 76- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

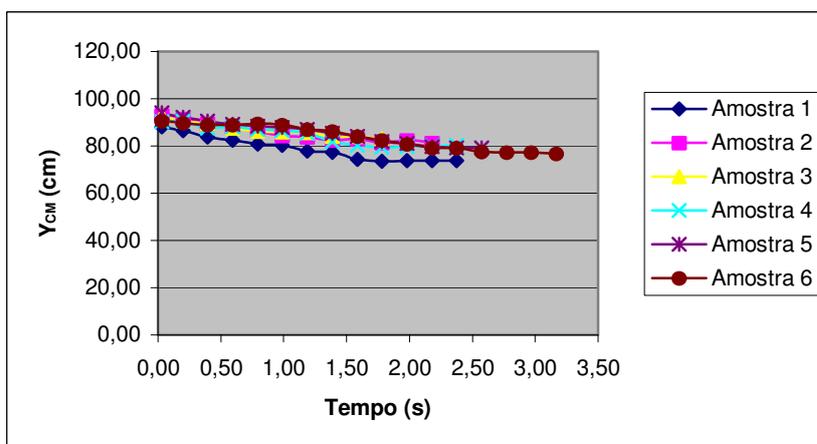


Figura 77- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

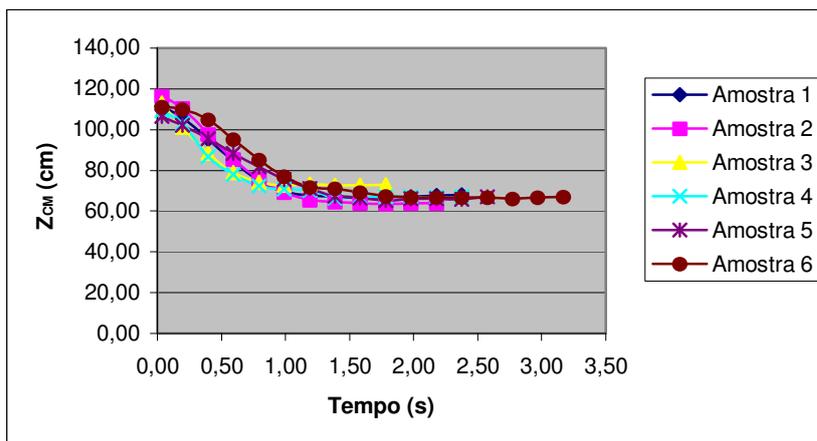


Figura 78- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 5 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

### Fase 6

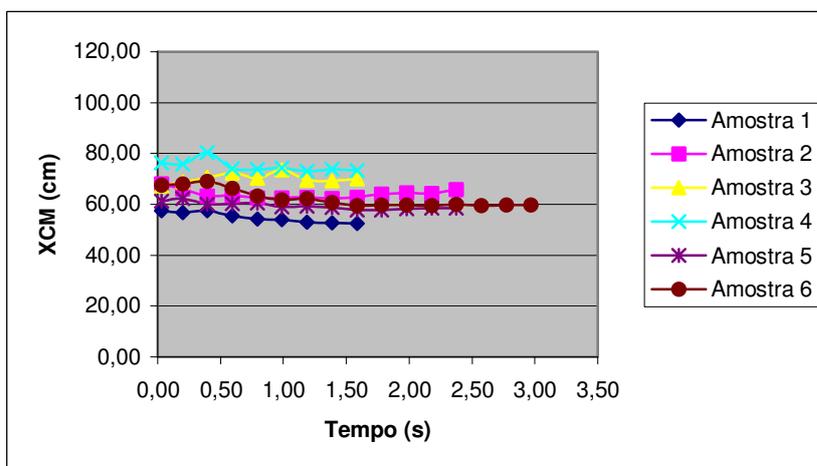


Figura 79- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Sem carga

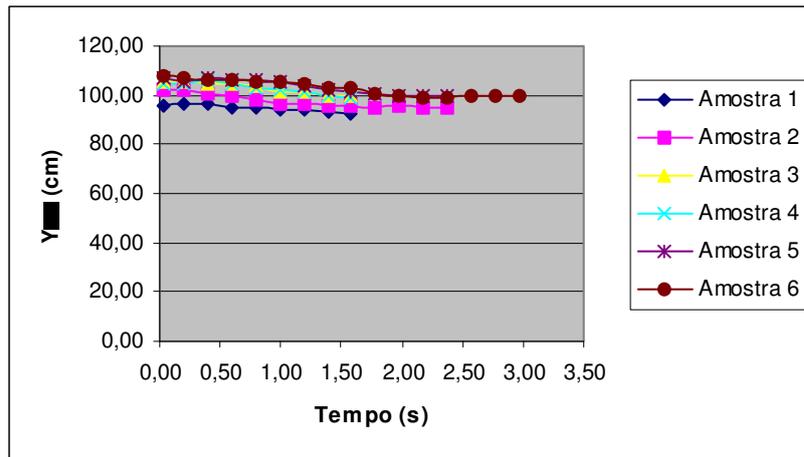


Figura 80- Trajetória da coordenada Y<sub>CM</sub> durante Fase 6 – Ciclo Direita/ Sem carga

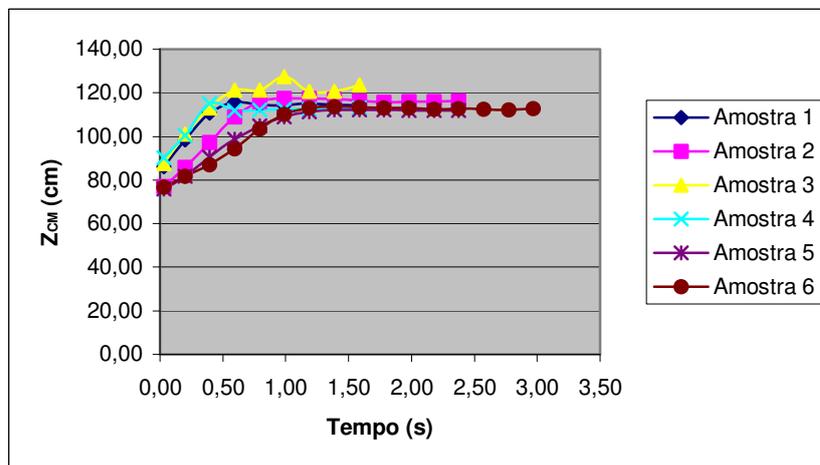


Figura 81- Trajetória da coordenada Z<sub>CM</sub> durante Fase 6 – Ciclo Direita/ Sem carga

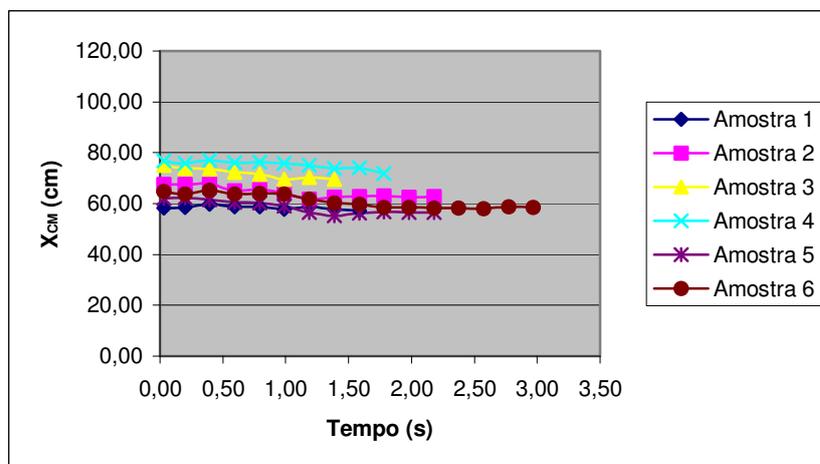


Figura 82- Trajetória da coordenada X<sub>CM</sub> durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/ Sem carga

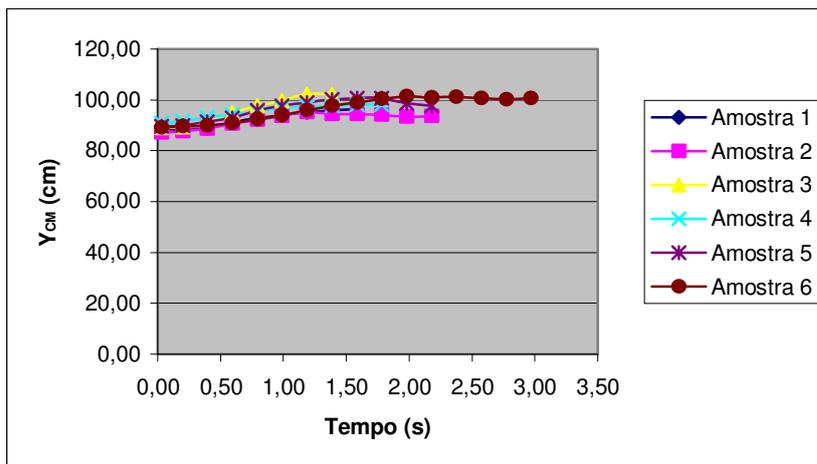


Figura 83- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Sem carga

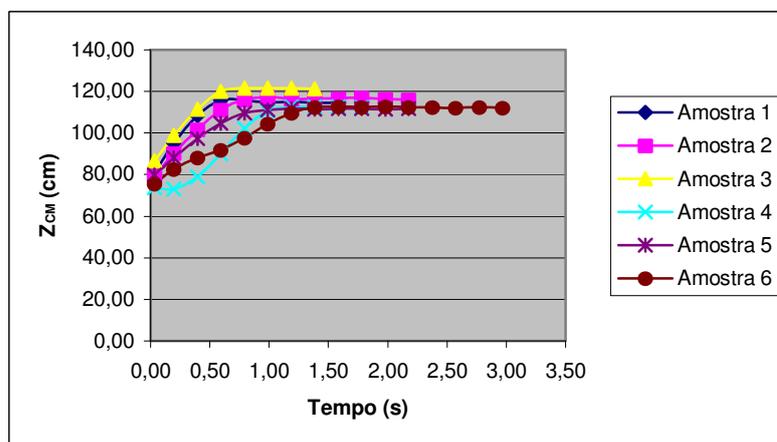


Figura 84- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Sem carga

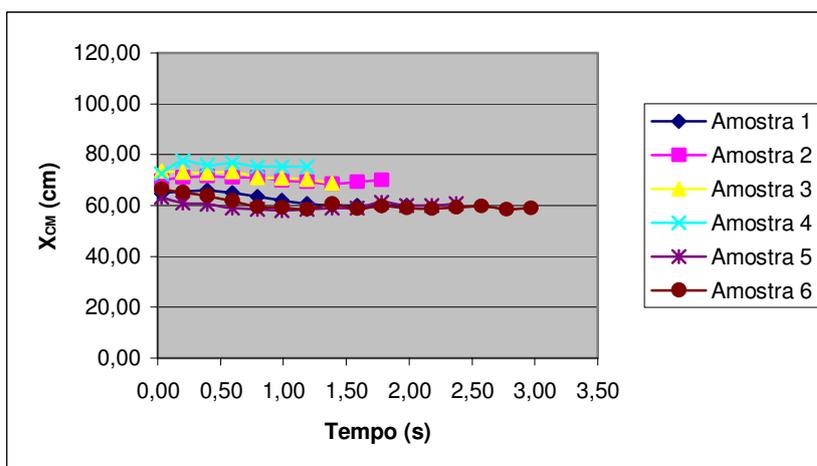


Figura 85- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

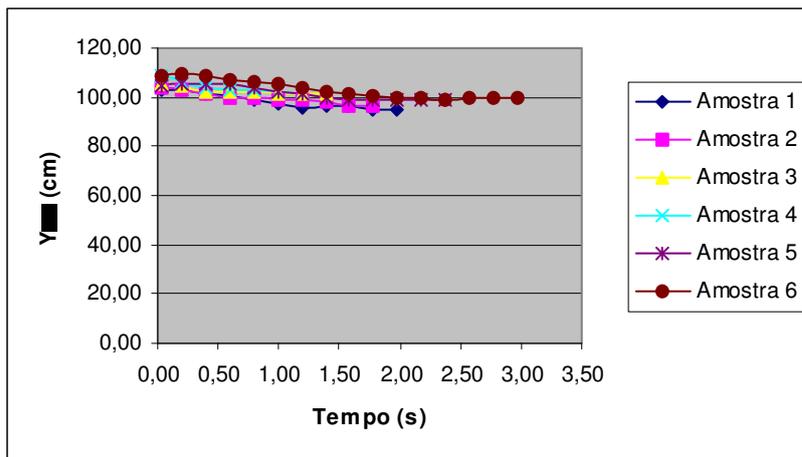


Figura 86- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

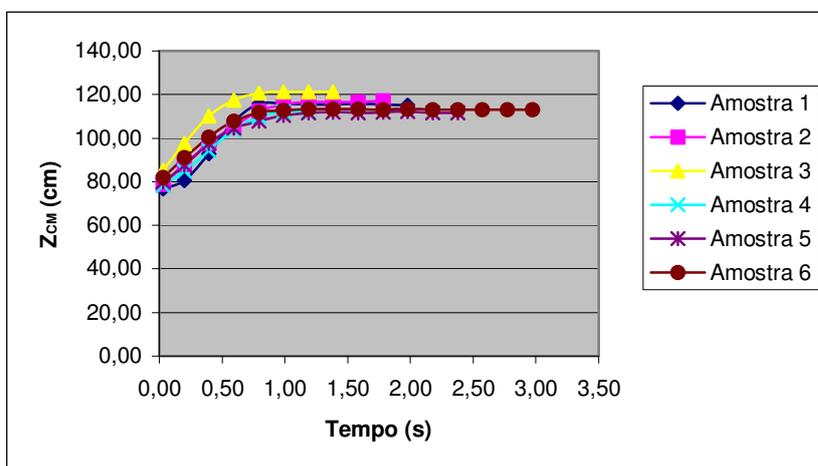


Figura 87- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 5 kg

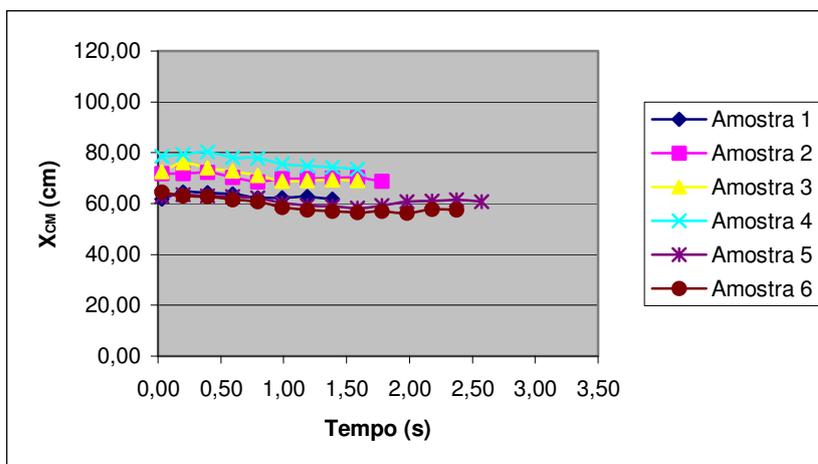


Figura 88- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

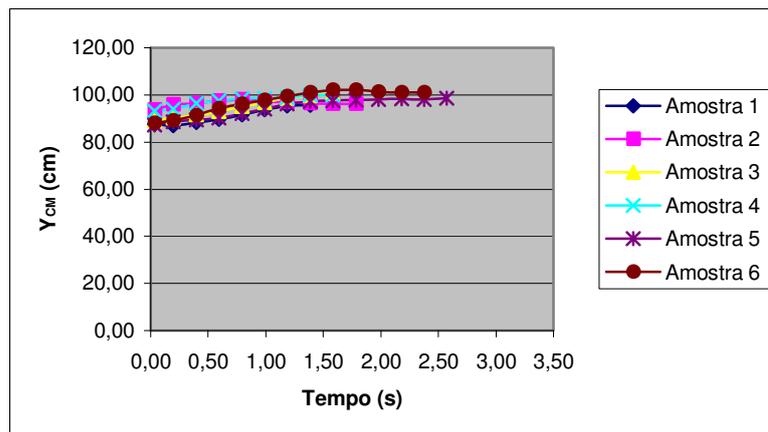


Figura 89- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

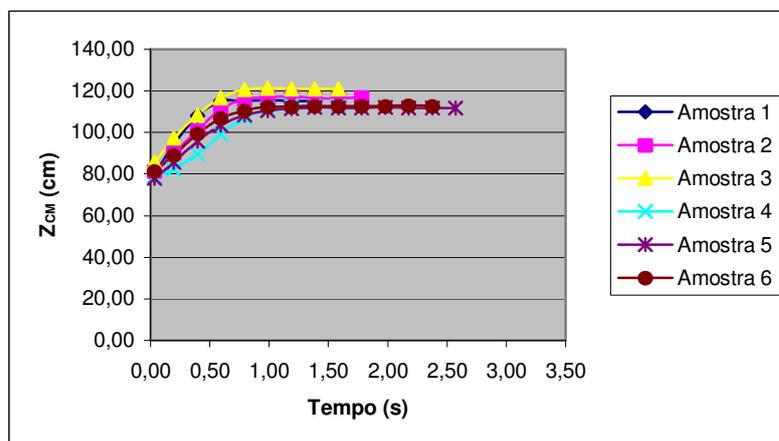


Figura 90- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 5 kg

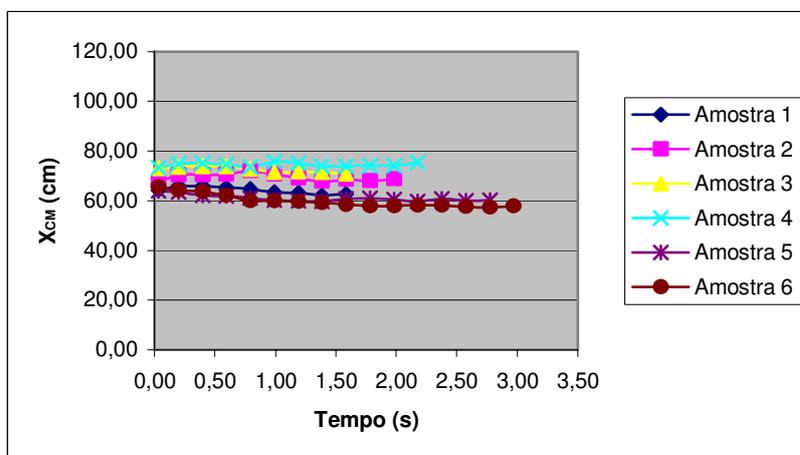


Figura 91- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

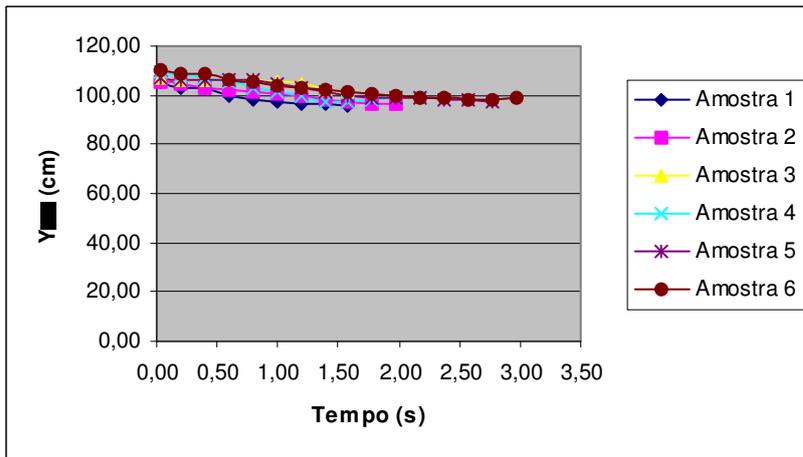


Figura 92- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

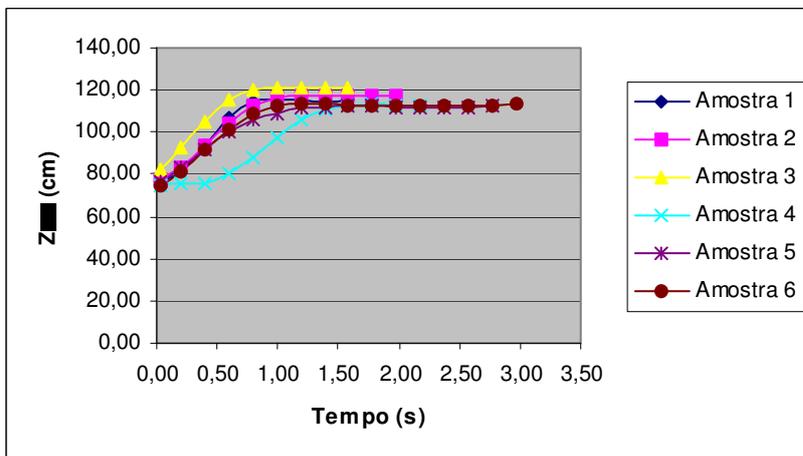


Figura 93- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 10 kg

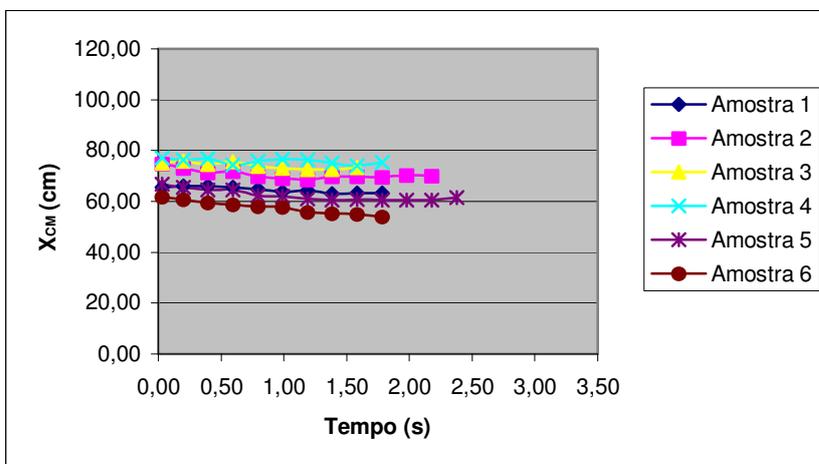


Figura 94- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

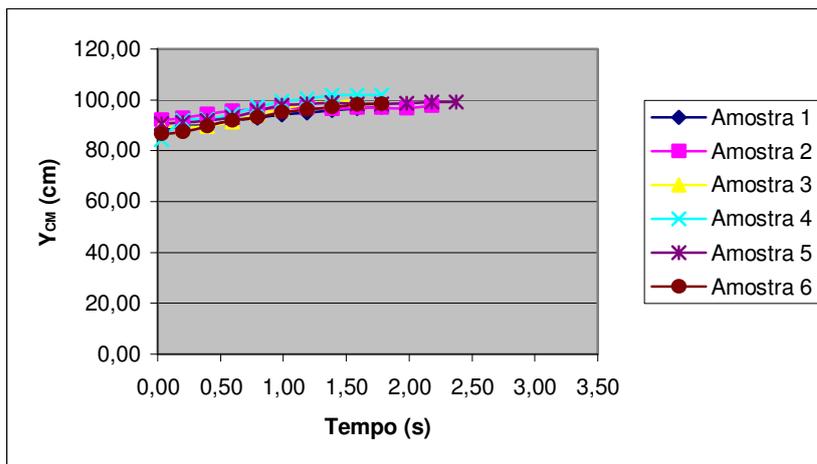


Figura 95- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

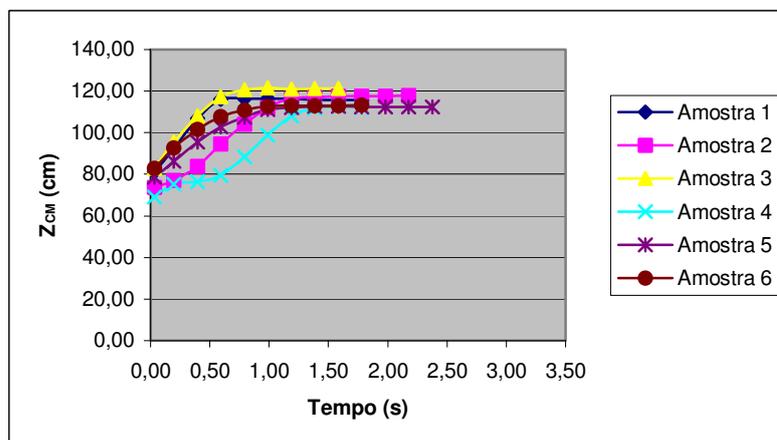


Figura 96 - Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 10 kg

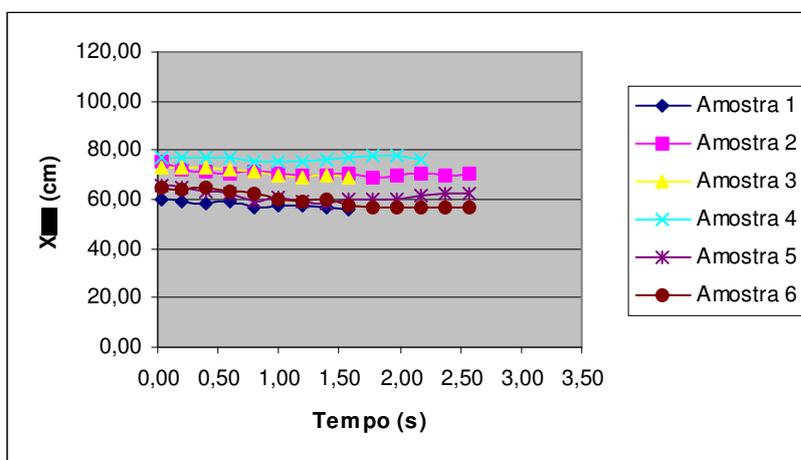


Figura 97- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

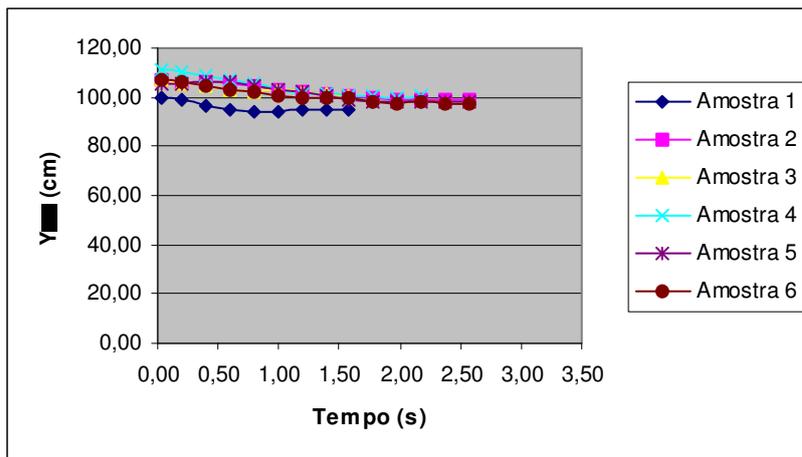


Figura 98- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

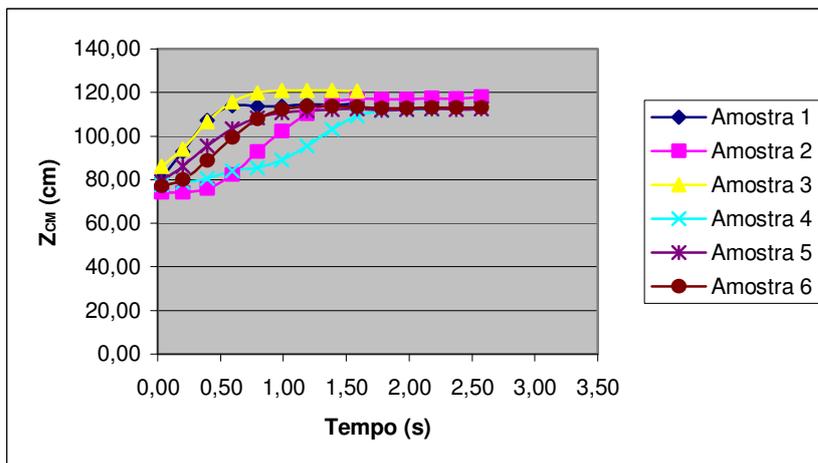


Figura 99- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Direita/  
Carga 15 kg

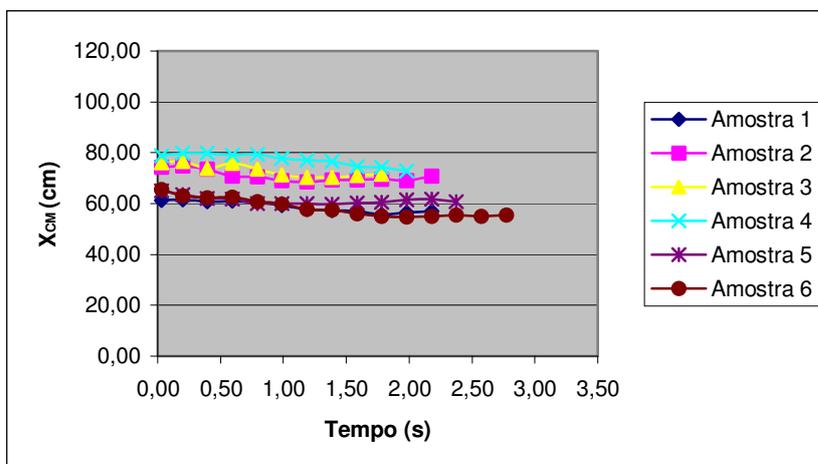


Figura 100- Trajetória da coordenada  $X_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

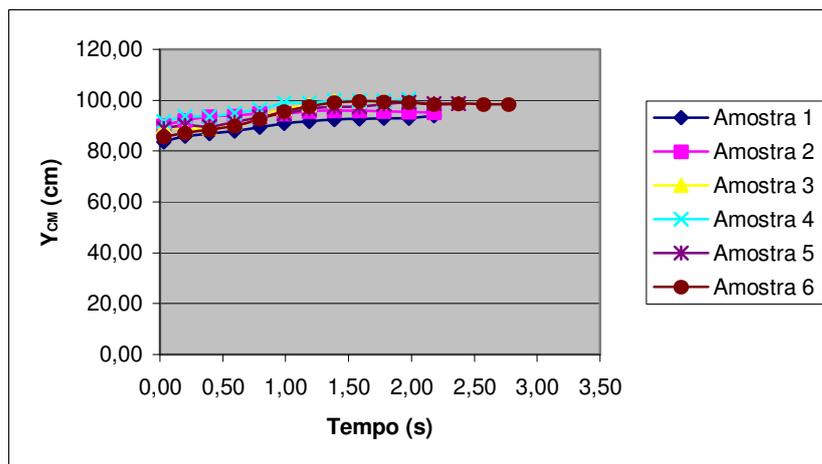


Figura 101- Trajetória da coordenada  $Y_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg

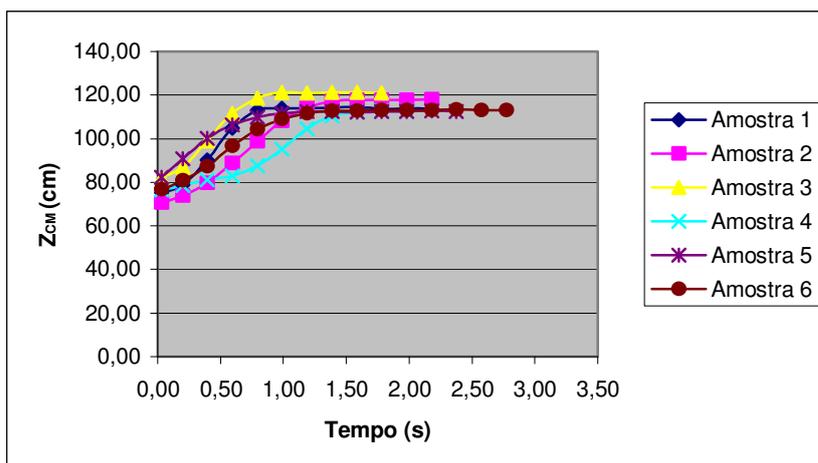


Figura 102- Trajetória da coordenada  $Z_{CM}$  durante Fase 6 – Ciclo Esquerda/  
Carga 15 kg