Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
- Mestrado - Doutorado -

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DE UM GRUPO DE UNIVERSITÁRIOS

por

Carlos Magno Padilha Cursino

Tese apresentada à Universidade Federal da Paraíba para a obtenção do grau de Doutor

João Pessoa – Paraíba **Outubro - 2009**

CARLOS MAGNO PADILHA CURSINO

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DE UM GRUPO DE UNIVERSITÁRIOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Doutor.

Orientadores: Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire
Prof. Dr. João Bosco de Aquino Silva

João Pessoa – Paraíba **2009**

C977d Cursino, Carlos Magno Padilha.
Desenvolvimento e validação de modelos de medição da densidade corporal de um grupo de universitários / Carlos Magno Padilha Cursino. - - João Pessoa: UFPB, 2009.
191 f.: il
Orientador: Raimundo Carlos Silvério Freire e João Bosco de Aquino Silva.
Tese (Doutorado) – UFPB/CT.

1. Engenharia Mecânica. 2. Modelos de Medição. 3. Densidade corporal. 4. Dobras Cutâneas

UFPB/BC *CDU: 621:616-071.3(043)*

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DE UM GRUPO DE UNIVERSITÁRIOS

por

Carlos Magno Padilha Cursino

Tese aprovada em 02 de outubro de 2009

Período letivo 2009.1

Prof. Dr. JOÃO BOSCO DE AQUINO SILVA
Orientador

Prof. Dr. RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE
Orientador

Prof. Dr. ÂNGELO VIEIRA DE MENDONÇA
Examinador Interno

Prof. Dr. MARCOS ANTONIO WANDERLEY CAVALCANTI
Examinador Interno

Prof. Dr. JOSÉ FELÍCIO DA SILVA
Examinador Externo

Prof. Dr. FLÁVIO HENRIQUE VASCONCELOS
Examinador Externo

João Pessoa – PB *2009*

Dedico

este trabalho a minha esposa,
Rosália e aos meus filhos Rodrigo,
Raffaella e Rodolfo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo e, em particular:

aos professores Dr. Raimundo C. Silvério Freire, Dr. João Bosco de A. Silva e Dr. José Felício da Silva a participação e a dedicação com que conduziram a orientação deste estudo;

aos estudantes que participaram de forma ativa neste estudo, compondo as amostras de desenvolvimento e validação dos modelos de medição;

aos professores Dr. Manoel Costa, Dr. Fernando Guimarães, Dr. Marcelo Tavares e Dr. Alcides Codeceira e as professoras Ms. Keyla, Tatiane, Eveline e Ângela, o apoio e a amizade;

aos Professores membros da banca examinadora as sugestões e a atenção para o enriquecimento deste estudo;

aos Professores Dr. Francisco Ilo e Ms. José Roberto o apoio incondicional que deram para a realização deste estudo;

ao amigo Prof. Dr. Enilson Costa, pela parceria, incentivo e apoio, que contribuiu de forma significativa para conclusão deste estudo;

aos professores estudantes do doutorado, em especial a João Martins, Moacir e Rufino bem como ao aluno Rodrigo Regis, o incentivo, a convivência, que foram de importância fundamental para conclusão deste estudo;

a todos que fazem a Escola Politécnica de Pernambuco na pessoa do seu Diretor Prof. Pedro Alcântara, pelo espaço físico e infraestrutura disponibilizados;

à EAD na pessoa do Prof Renato Medeiros e aos servidores da Gráfica da UPE representados na pessoa de Paulo, pela impressão deste trabalho.

a todos que fazem a Escola Superior de Educação Física da Universidade de Pernambuco, nas pessoas da Diretoria, CENESP e Biblioteca, a permissão da utilização dos Laboratórios, equipamentos e instalações e a permissão de acesso dos estudantes para a efetivação deste estudo;

à CAPES, ao Prof Dr. Alésio Barros e a Prof[a] Dra Sofia Brandão, pelo apoio e bolsa;

a todos que fazem o IFPE, nas pessoas da Reitoria, DASE, Coordenação de Eletrônica e Diretoria Recife, pelo apoio e concessão de licença;

a todos que fazem o NCTI, cujo apoio na fase final deste trabalho, foi decisivo.

a minha Esposa Rosália, aos Meus filhos Rodrigo, Rafaella e Rodolfo, a Mel, a Felipe, Alessandra, Catarina, Edmundo e Mari, agradeço o incentivo, paciência e dedicação. Sem vocês, certamente, não teríamos êxito neste estudo.

Muito obrigado.

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DE UM GRUPO DE UNIVERSITÁRIOS

RESUMO

A estimativa da densidade e da gordura corporais pode ser realizada por vários métodos laboratoriais, de forma direta, indireta ou duplamente indireta. O método direto é o único que pode estimar a gordura corporal com maior exatidão, utilizando a dissecação cadavérica. Para essa estimativa, um dos métodos indiretos mais precisos é o da pesagem hidrostática, considerado como padrão nesse estudo. Utiliza-se o método duplamente indireto para essa estimativa, por meio de modelos de medição preditivos, desenvolvidos para populações de etnias diferentes, e empregados, muitas vezes sem os devidos critérios, gerando erros. Neste trabalho, estimaram-se as medidas de densidade corporal e do percentual de gordura de 199 universitários, dos quais 62 são do sexo feminino com idade entre 18 e 27 anos e 137 do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos. Realizaram-se medidas de dobras cutâneas, estatura e massa corporal dos universitários. Foram desenvolvidos e validados modelos de medição da densidade corporal, sendo treze para o sexo feminino e onze para o sexo masculino. Realizou-se a validação cruzada dos onze modelos de medição do sexo masculino desenvolvidos nesse estudo bem como de seis modelos de medição desenvolvidos por outros autores, comparando as densidades medidas pelo método padrão com as densidades estimadas pelos modelos. Três modelos, para o sexo feminino, atenderam ao critério de Heyward & Stolarczyk, bem como, ao de morfologia e ao de praticidade e apresentaram, na validação, coeficiente de correlação (R) entre 0,802 e 0,835 e erro padrão de estimativa (EPE) entre 0,0070 g/cm^3 e 0,0075 g/cm^3. Quatro modelos de medição, desenvolvidos nesse estudo para o sexo masculino, no procedimento de validação cruzada, apresentaram fortes correlações entre 0,774 e 0,805 e EPE entre 0,0065 g/cm^3 e 0,0070 g/cm^3, classificados segundo Lohman, como muito bom, atenderam aos critérios de Heyward & Stolarczyk, ao de morfologia e ao de praticidade. Nenhum dos seis modelos de medição desenvolvidos por outros autores foram recomendados para serem utilizados nessa amostra, pois não atenderam aos critérios de validação.

Palavras-chaves – Modelos de medição, densidade corporal, dobras cutâneas.

DEVELOPING AND VALIDATING THE MODELLING OF CORPOREAL DENSITY MEASURING IN A GROUP OF UNDERGRADUATE STUDENTS

ABSTRACT

Estimating corporeal density and fat in human bodies can be realized by using several laboratory methods: directly, indirectly or double indirect. The direct method is the only one which allows estimating the corporeal fat with such a better precision by means of dissecting the cadaver. In order to get this estimative, one of the most precise indirect method is the one of hydrostatic weight, which is considered the reference one in this study. For estimating the corporeal fat the double indirect method has been used by predicting measure models, which have been developed for populations of different ethnic groups. Many times these models have been employed with no criterion, occasioning errors. In this thesis the corporeal density measuring and fat percentage of 199 undergraduate students were estimated, with 62 female students in the age between 18 and 27 and 137 male students in the age between 18 and 35. Measuring skinfold thickness, height and body mass have been done in the group of undergraduate students. Models for estimating the body density were developed and validated. Thirteen of the models were made for the females and eleven of them were developed for the males. It has been conducted a cross validation of the eleven male measuring models which have been developed in this thesis, as well as of six measuring models which have been developed by other authors. A comparison has been made between the body densities measured by using the standard method and the densities which were estimated by the models.Three models used for the females attended the Heyward & Stolarczyk criterion, as well as the morphology one and the practical one. Through validation they presented a correlation coefficient (R) between 0.802 and 0.835, and an estimating standard error (EPE) between 0.0070 g/cm^3 and 0.0075 g/cm^3. Four measuring models which have been developed in this study for the male sex, within the cross validation procedure, presented strong correlations between 0.774 and 0.805, and EPE between 0.0065 g/cm^3 and 0.0070 g/cm^3. These values were classified by Lohman as very good. They attended the Heyward & Stolarczyk criteria, the morphology one and the practical one. No one of the six measuring models which have been developed by other authors was recommended for being used in this sample once they did not attend the validation criteria.

Keywords: Measuring models, body density, skinfold thickness.

SUMÁRIO

I	**INTRODUÇÃO**	1
II	**OBJETIVOS**	3
II.I	**Objetivos Gerais**	3
II.II	**Objetivos Específicos**	3
III	**ORGANIZAÇÃO DA TESE**	3
1	**CAPÍTULO I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**	5
1.1	**INTRODUÇÃO**	5
1.2	**COMPOSIÇÃO CORPORAL**	5
1.3	**MÉTODOS DA CINEANTROPOMETRIA**	8
1.3.1	**Método Direto**	9
1.3.2	**Método Indireto**	10
1.3.3	**Método Duplamente Indireto**	12
1.4	**ASPECTOS RELATIVOS AOS MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS**	16
1.4.1	**Critérios para o Desenvolvimento de Modelos de Medição Antropométricos**	17
1.4.2	**Critérios para a Validação de Modelos de Medição Antropométricos**	17
2	**CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	19
2.1	**INTRODUÇÃO**	19
2.2	**ESTUDOS REFERENTES AO PROTOCOLO DE PESAGEM HIDROSTÁTICA**	19
2.3	**ESTUDOS REFERENTES AO DESENVOLVIMENTO E À VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS**	27
2.4	**ESTUDOS REFERENTES À VALIDAÇÃO CRUZADA DE MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS**	39

3 CAPÍTULO III SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA BASEADO EM MICROCONTROLADOR UTILIZANDO CÉLULA DE CARGA 46

3.1 INTRODUÇÃO 46

3.2 SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA 46

3.3 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA 50

3.3.1 Análise do Conjunto de Massas Calibradas Submersas 52

3.3.2 Conjunto de 26 Medidas de Massas Calibradas 53

3.3.3 Análise do Conjunto de 16 Medidas de Massas Calibradas 53

3.4 PESAGEM HIDROSTÁTICA COM HUMANOS UTILIZANDO O SISTEMA 53

4 CAPÍTULO IV MATERIAIS E MÉTODOS 56

4.1 INTRODUÇÃO 56

4.2 POPULAÇÃO DE ESTUDO 57

4.3 AMOSTRA DE ESTUDO 57

4.4 PROCEDIMENTOS ANTROPOMÉTRICOS 58

4.4.1 Medida da Estatura 58

4.4.2 Medida da Massa Corporal 58

4.4.3 Determinação da Densidade da água 59

4.4.4 Realização da Pesagem Hidrostática 59

4.4.5 Volume Residual Pulmonar 62

4.4.6 Determinação da Densidade Corporal 63

4.4.7 Cálculo do Percentual de Gordura 63

4.4.8 Cálculo da Massa Gorda 64

4.4.9 Cálculo da Massa Magra 64

4.4.10 Medidas da Espessura das Dobras Cutâneas 64

4.4.11 Grupo de Variáveis Geradas 70

4.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS 70

4.5.1 Procedimentos para o Desenvolvimento dos Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal 71

4.5.2 Procedimentos para a Validação dos Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal..... 73
4.5.3 Validação Cruzada de Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal para o Sexo Masculino Desenvolvidos neste Estudo e por Outros Autores..... 75
4.6 CÁLCULOS DE INCERTEZAS..... 76
5 CAPÍTULO V RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 79
5.1 INTRODUÇÃO..... 79
5.2 CARACTERÍSTICAS DESCRITIVAS DA AMOSTRA TOTAL.... 80
5.3 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE DESENVOLVIMENTO E DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO..... 82
5.4 MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO..... 83
5.4.1 Modelo de Medição *Df 1*..... 83
5.4.2 Modelo de Medição *Df 2*..... 84
5.4.3 Modelo de Medição *Df 3*..... 85
5.4.4 Modelo de Medição *Df 4*..... 86
5.4.5 Modelo de Medição *Df 5*..... 86
5.4.6 Modelo de Medição *Df 6*..... 87
5.4.7 Modelo de Medição *Df 7*..... 88
5.4.8 Modelo de Medição *Df 8*..... 89
5.4.9 Modelo de Medição *Df 9*..... 90
5.4.10 Modelo de Medição *Df 10*..... 91
5.4.11 Modelo de Medição *Df 11*..... 92
5.4.12 Modelo de Medição *Df 12*..... 93
5.4.13 Modelo de Medição *Df 13*..... 94
5.4.14 Consistência do Desenvolvimento dos Modelos de Medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino..... 95
5.5 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO..... 98

5.5.1 Conclusão Relativa à Recomendação sobre os Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Feminino Validados..... 101

5.6 CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS DE DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO..... 106

5.7 MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO..... 107

5.7.1 Modelo de Medição *Dm_1*..... 107

5.7.2 Modelo de Medição *Dm_2*..... 108

5.7.3 Modelo de Medição *Dm_3*..... 108

5.7.4 Modelo de Medição *Dm_4*..... 109

5.7.5 Modelo de Medição *Dm_5*..... 110

5.7.6 Modelo de Medição *Dm_6*..... 111

5.7.7 Modelo de Medição *Dm_7*..... 112

5.7.8 Modelo de Medição *Dm_8*..... 113

5.7.9 Modelo de Medição *Dm_9*..... 114

5.7.10 Modelo de Medição *Dm_{10}*..... 115

5.7.11 Modelo de Medição *Dm_{11}*..... 115

5.7.12 Consistência do Desenvolvimento dos Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Masculino..... 116

5.8 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO..... 119

5.8.1 Conclusão Relativa à Recomendação dos Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Masculino Validados..... 123

5.9 CARACTERÍSTICAS DO GRUPO DE VALIDAÇÃO CRUZADA DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO..... 125

5.10 VALIDAÇÃO CRUZADA DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DE DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA O SEXO MASCULINO NESTE ESTUDO E POR OUTROS AUTORES..... 126

5.10.1 Conclusão Relativa à Recomendação sobre os Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Masculino que passaram por Validação Cruzada..... 132

CONCLUSÃO..... 139

REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 143

APÊNDICE A – FICHA DE COLETA DE DADOS - COMPOSIÇÃO CORPORAL..... 152

APÊNDICE B – INSTRUÇÕES PARA TESTES DE AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL..... 154

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO..... 155

ANEXO A – CERTIFICAÇÃO DE CALIBRAÇÃO..... 158

ANEXO B - AUTORIZAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO..... 167

ANEXO C – TERMOS METROLÓGICOS..... 168

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Parâmetros de Composição Corporal do Homem Referência, propostos por Benkhe em 1969. Adaptada de (McArdle *et al*., 2008)..... 6

Figura 1.2 Parâmetros de Composição Corporal da Mulher Referência, propostos por Benkhe em 1969. Adaptada de (McArdle *et al*., 2008)..... 7

Figura 1.3 Efeito da massa muscular e do tecido adiposo no processo da pesagem hidrostática..... 12

Figura 1.4 Distribuição anatômica da pele, da gordura, do músculo e do osso..... 14

Figura 1.5 Distribuição anatômica da gordura subcutânea, do músculo e da gordura visceral..... 15

Figura 2.1 Pesagem hidrostática, usando-se um sistema transdutor de força com o volume residual sendo medido simultaneamente com a pesagem hidrostática. Fonte: Organ et al., (1994)..... 24

Figura 2.2 Realização da pesagem hidrostática, na qual o indivíduo se encontra na posição grupada. Fonte: Carvalho (1998). Foto cedida por Dr. Édio Petroski..... 25

Figura 3.1 Diagrama de blocos do sistema baseado em microcontrolador de pesagem hidrostática usando célula de carga. Fonte: Cursino (2003)..... 47

Figura 3.2 Teclado do SPHμCel. Fonte: Cursino (2003)..... 48

Figura 3.3 Diagrama de sequência do SisPH. Fonte: Cursino (2003)..... 49

Figura 3.4 Sistema de pesagem hidrostática baseado em microcontrolador utilizando célula de carga. Fonte: Cursino, 2009..... 50

Figura 3.5 SPHμCel, dinamômetro, célula, massas calibradas e microcomputador. Fonte: Cursino (2003)..... 51

Gráfico 3.1	Massas calibradas - Correlação entre MSub(célula) e MSub(dinamômetro). Fonte Cursino (2003).....	52
Figura 3.6	Tanque em fibra de vidro, dinamômetro e célula de carga associados em série para pesagem hidrostática. Fonte Cursino (2003).....	54
Gráfico 3.2	Indivíduos - Correlação entre a MSub(célula) e MSub(dinamômetro). Fonte Cursino (2003).....	55
Figura 4.1	Tanque de pesagem hidrostática e posicionamento da célula de carga. Fonte: Cursino (2003).....	59
Figura 4.2	Trapézio tubular usado para o indivíduo se apoiar durante a realização da pesagem hidrostática. Fonte: Cursino (2003).....	60
Figura 4.3	Indivíduo submerso executando o máximo esforço expiratório. Fonte: Cursino (2003).....	61
Figura 4.4	Indivíduo, após expiração máxima em apneia, constituindo o momento ideal para a realização da medida da massa submersa. Fonte: Cursino (2003).....	62
Figura 4.5	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea do bíceps.....	66
Figura 4.6	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea do tríceps.....	66
Figura 4.7	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea subescapular.....	66
Figura 4.8	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea suprailíaca.....	67
Figura 4.9	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea axilar média.....	67
Figura 4.10	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea abdominal.....	68
Figura 4.11	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea coxa medial.....	68
Figura 4.12	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea panturrilha medial.....	69
Figura 4.13	Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea peitoral.....	69

Gráfico 5.1	Gráfico 5.1 Comparação das médias de massa corporal, do percentual de gordura, da massa gorda e da massa magra dos indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino.....	81
Gráfico 5.2	Gráfico 5.2 – Comparação das espessuras das dobras cutâneas entre os indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino.....	81
Gráfico 5.3	Reta de regressão do modelo de medição Df_7 e reta identidade.....	102
Gráfico 5.4	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	102
Gráfico 5.5	Reta de regressão do modelo de medição Df_{12} e reta identidade.....	103
Gráfico 5.6	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	104
Gráfico 5.7	Reta de regressão do modelo de medição Df_{13} e reta identidade.....	105
Gráfico 5.8	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	105
Gráfico 5.9	Reta de regressão do modelo de medição Dm_3 e reta identidade.....	133
Gráfico 5.10	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	133
Gráfico 5.11	Reta de regressão do modelo de medição Dm_5 e reta identidade.....	134
Gráfico 5.12	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	135
Gráfico 5.13	Reta de regressão do modelo de medição Dm_6 e reta identidade.....	136
Gráfico 5.14	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	136
Gráfico 5.15	Reta de regressão do modelo de medição Dm_3 e reta identidade.....	137
Gráfico 5.16	Análise residual – Teste de Bland & Altman.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Erro padrão de estimativa – Escala qualitativa. Adaptada de Lohman, (1992).....	18
Tabela 1.2	Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis. Fonte: Callegari-Jacques, (2003).....	18
Tabela 4.1	Variáveis geradas utilizando as dobras cutâneas.....	70
Tabela 4.2	Grupos utilizados no desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.....	71
Tabela 4.3	Grupos utilizados no desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.....	72
Tabela 4.4	Modelos de medição da densidade corporal de indivíduos do sexo masculino desenvolvidos por outros autores que foram submetidos à validação cruzada.....	76
Tabela 4.5	Relação entre o grau de liberdade efetivo (ν_{ef}) e o fator de abrangência a 95 % ($k_{95\%}$).....	78
Tabela 5.1	Características descritivas e antropométricas dos universitários.....	80
Tabela 5.2	Características descritivas e antropométricas dos indivíduos do sexo feminino que participaram do desenvolvimento e validação dos modelos de medição.....	82
Tabela 5.3	Classificação dos modelos de medição da densidade corporal dos Indivíduos do Sexo Feminino.....	96
Tabela 5.4	Resultado da regressão linear para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal para universitários do sexo feminino.....	97
Tabela 5.5	Validação dos modelos de medição da densidade corporal desenvolvidos para os indivíduos do sexo feminino - Aplicação do test t para amostras pareadas.....	99

Tabela 5.6 Validação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino - Cálculo dos coeficientes da reta, dos erros EC, ET e EPE..... 100
Tabela 5.7 Características descritivas e corporais das amostras de desenvolvimento e validação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino..... 106
Tabela 5.8 Classificação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino..... 117
Tabela 5.9 Resultado da regressão linear para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal em universitários do sexo masculino..... 118
Tabela 5.10 Validação dos modelos de medição desenvolvidos para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino Aplicação do test t para amostras pareadas..... 120
Tabela 5.11 Validação dos modelos de medição desenvolvidos para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino - Cálculo dos coeficientes da reta, dos erros EC, ET e EPE..... 121
Tabela 5.12 Características descritivas e corporais da amostra formada por indivíduos do sexo masculino para validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal..... 126
Tabela 5.13 Resultado relativo à validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal em indivíduos do sexo masculino..... 128
Tabela 5.14 Validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino..... 129

LISTA DE SIGLAS

AB – Dobra cutânea abdominal

ANOVA – Análise de variância

AX – Dobra cutânea axilar medial

A-310 – Medidor de bioimpedância

BCD – Binary coded decimal

BF – 900 – Medidor de bioimpedância

BF – 906 - Medidor de bioimpedância

BI – Dobra cutânea do bíceps

BIA-RJL – Analisador de composição corporal

CAD – Conversor analógico digital

CC – Composição corporal

CEP/UPE – Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco

CENESP – Centro de Excelência Esportiva da Escola Superior de Educação Física / Universidade de Pernambuco

CI – Circuito integrado

CTRL -Controle

CX – Dobra cutânea da coxa

D – Densidade corporal

Dágua – Densidade da água

DEXA – Absortometria de Raios X de dupla energia

$D_{duninwomerFem}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Durnin&Womersley para indivíduos do sexo feminino

Df_i – Densidade corporal estimada pelo modelo de medição feminina i

$D_{guedesMasc}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Guedes para o sexo masculino

$D_{guedesFem}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Guedes para o sexo feminino

$D_{jp3dcMasc}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Jackson&Pollock com 3 dobras cutâneas para indivíduos do sexo masculino

$D_{jp7dcMasc}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Jackson&Pollock com 7 dobras cutâneas para indivíduos do sexo masculino

$D_{J,P\&WFem}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Jackson,Pollock&Worm para indivíduos do sexo masculino

Dm_i – Densidade corporal estimada pelo modelo de medição masculina i-ésima

$D_{petroMasc}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Petroski para o sexo masculino

$D_{petroFem}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Petroski para o sexo feminino

$D_{ESTIMADA}$ - densidade corporal de cada indivíduo estimada pelo modelo de medição

$\overline{D}_{ESTIMADA}$ = valor médio da densidade corporal estimada pelo modelo de medição

Df_i– Densidade corporal feminina estimada pelo modelo de medição i-ésima

Dph_{desenv} - Densidade corporal medida pelo processo da pesagem hidrostática, utilizando a amostra de desenvolvimento dos modelos de medição

D_{PHVAL} - Densidade calculada de cada indivíduo da amostra de validação, obtida pela técnica da pesagem hidrostática

$\overline{D}_{PHVAL}$ - Valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática

$Dph_{validcruz}$ - Densidade corporal medida pelo processo da pesagem hidrostática, utilizando a amostra de validação cruzada dos modelos de medição

DnasuzMasc- Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Nagamine&Suzuki para indivíduos do sexo masculino

DnasuzFem- Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Nagamine&Suzuki para indivíduos do sexo feminino

$D_{salemFem}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Salem para o sexo masculino

$D_{sloanMasc}$ - Densidade corporal estimada pelo modelo de medição de Sloan para

indivíduos do sexo masculino

D_{sloan} – Modelo de Medição de Sloan (1967)

$D_{pollock}$ – Modelo de Medição de Pollock (1976)

D_{guedes} – Modelo de Medição de Guedes (1985)

$D_{petroski}$ – Modelo de Medição de Petroski (1995)

$D_{jack\&poll}$ – Modelo de Medição de Jackson&Pollock (1978), soma de 7 dobras cutâneas

$D_{naga\&suzu}$ – Modelo de Medição de Nagamine&Suzuki (1964)

EC – Erro constante

EEPROM – Electrical, Erasable and Progammable, Read Only Memory

EPE – Erro padrão de estimativa

EST - Estatura

ET – Erro total

EUA –Estados Unidos da América

ID -Idade

IMC – Índice de massa corporal

MC – Massa corporal

MCal – Massa calibrada

MG – Massa corporal gorda

$MG_{huertaMasFem}$ - Massa corporal gorda estimada pela equação de Huerta para indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino

MM – Massa corporal magra

M(CÉCULA) – Massa medida com a célula de carga

M(DINA) – Massa medida com o dinamômetro

MSub – Massa submersa

MSub(CÉLULA) – Massa submersa medida, utilizando a célula de carga

MSub(DINA) - Massa submersa medida, utilizando o dinamômetro

OMROM –Analisador de bio impedância

p – Nível de significância

PE – Dobra cutânea peitoral

PH – Pesagem hidrostática

PT – Dobra cutânea da panturrilha medial

PVC – Policloreto de Vinila

R - Coeficiente de correlação de Pearson

R^2 – Coeficiente de determinação

RAM – Randon Access Memory

RS – Rio Grande do Sul

RS-232 = Porta serial

SAE - Sistema de Análise Estatística

SE – Dobra cutânea subescapular

SI – Dobra cutânea suprailíaca

SISNEP – Sistema Nacional de Ética em Pesquisa

SisPH – Software para armazenar os dados da pesagem hidrostática

s_{PHval} - Desvio-padrão da amostra de validação dos modelos de medição

SPHμCel - Sistema de pesagem hidrostática microcontrolado utilizando célula de carga

SPSS - Statistical Package for the Social Sciences, versão 13.0 for Windows

SLOPE – Coeficiente angular da reta de regressão

t – Teste t de Student

TR – Dobra cutânea do tríceps

UPE – Universidade de Pernambuco

VR = Volume residual pulmonar

%G – Percentual de gordura corporal

3DPS – Scaner fotônico tridimensional

α - coeficiente angular da reta

β = coeficiente linear da reta

INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

O corpo humano é composto por uma diversidade de estruturas, incluindo massa muscular, ossos, gordura, sangue e outros tipos de fluidos e tecidos. Diversos cientistas, para fins didáticos, sugerem um modelo para o fracionamento do corpo em dois componentes: a massa de gordura, que compreende o tecido adiposo e os lipídios essenciais, e a massa corporal magra, definida como sendo todos os componentes do corpo, excluindo a gordura (TRITSCHLER, 2003). Portanto, quantificar esses componentes corresponde a determinar a composição corporal do indivíduo.

Para a quantificação da composição corporal, vários métodos são utilizados por meio de procedimentos direto, indireto e duplamente indireto, que variam de forma significativa nos aspectos: praticidade na obtenção das medidas, disponibilidade dos instrumentos necessários para realizar as medidas e exatidão com que essas medidas são realizadas (McARDLE *et al*., 2001), (COSTA, 2003).

Os métodos diretos baseiam-se na análise por dissecação física e análise química de cadáveres humanos, cujos tecidos do corpo são diretamente manipulados pelo pesquisador. Já os métodos indiretos e duplamente indiretos são utilizados para quantizar a composição corporal em pessoas vivas.

No modelo clássico de dois componentes, os métodos não invasivos mais comuns e frequentemente utilizados para estimar a composição corporal são o método indireto da pesagem hidrostática e os métodos duplamente indiretos das dobras cutâneas e da bioimpedância (FORSLUND *et al*., 1996).

Os procedimentos duplamente indiretos compreendem técnicas antropométricas para a obtenção dos perímetros corporais, das dobras cutâneas, dos diâmetros ósseos e da bioimpedância, que utilizam modelos teóricos para relacionar as variáveis antropométricas,

entre eles o modelo de regressão com o objetivo de predizer variáveis que estimam parâmetros da composição corporal (McARDLE *et al*., 2008).

Nota-se que, com o passar do tempo, muitos desses modelos para a determinação da densidade corporal foram utilizados sem o controle dos erros e das suposições associadas ao seu uso. Essa aplicação descontrolada das estimativas da gordura corporal é uma das preocupações dos pesquisadores dessa área, visto a existência de mais de uma centena de modelos de medição disponíveis para a predição da densidade corporal a partir de medidas antropométricas (HEYWARD & WAGNER, 2004, NORTON & OLDS, 2005).

Segundo Marques *et al*. (2000), a maioria dos modelos de predição de composição corporal, usados atualmente, foram desenvolvidos para a população norte americana. Portanto, em populações de outras etnias ou origens raciais, esses modelos podem não ser válidos. Estudiosos da composição corporal recomendam o uso de modelos de medição de regressão somente quando forem validados em subgrupos específicos da população (HEYWARD & STOLARCZYK, 1996).

No Brasil, de acordo com Salem *et al*. (2007), vários estudos para o desenvolvimento e a validação de modelos de medição antropométricos foram realizados e, em sua grande maioria, utilizou-se a população universitária ou militar dos estados do sul do País, com uma concentração maior no estado do Rio Grande do Sul.

Sendo esses modelos desenvolvidos para populações específicas, faz-se necessário que, para sua utilização, a amostra populacional em estudo deva ser semelhante àquela para a qual o modelo foi desenvolvido bem como realizar a validação dos modelos e as devidas correções, visando minimizar os erros. Para isso, é necessário ter um método padrão para comparar as medidas estimadas pelos modelos e as estimadas pelo padrão.

Devido ao problema apresentado em que fica evidenciada a ausência de modelos de medição específicos, para estimar a densidade corporal dos indivíduos, utilizando a pesagem hidrostática como padrão e as dobras cutâneas como variáveis, têm-se utilizado modelos de medição desenvolvidos para outras populações, com biotipo e características diferentes da população universitária do Recife, sem proceder às devidas validações e correções dos erros. Os seguintes questionamentos são realizados:

- ✓ Será que esses modelos de medição existentes estimariam, com exatidão, a densidade corporal dos universitários participantes desse estudo?

- ✓ Deve-se utilizar modelos existentes ou desenvolver modelos de medição específicos para estimar a densidade corporal desses universitários?

Nesse contexto, verificou-se a necessidade de proceder ao desenvolvimento e à validação de modelos de medição específicos para a população universitária de ambos os sexos bem como proceder à validação cruzada de modelos de medição desenvolvidos por outros autores para estimar a densidade corporal dos indivíduos.

II. OBJETIVOS

II.I Objetivos Gerais

- Desenvolver e validar modelos de medição da densidade corporal de um grupo de universitários.

- Realizar a validação cruzada de modelos de medição da densidade corporal, desenvolvidos por outros autores.

II.II Objetivos Específicos

- Realizar medidas das massas submersas dos indivíduos por meio do procedimento da pesagem hidrostática.
- Determinar a densidade corporal a partir da massa submersa.
- Realizar medidas de dobras cutâneas, de massa corporal e de estatura dos indivíduos.
- Gerar variáveis a partir dessas medidas para realizar a regressão linear dos modelos de medição.

III. ORGANIZAÇÃO DA TESE

Essa tese é composta por cinco capítulos, como discriminados a seguir:

No capítulo I, apresentam-se os fundamentos teóricos necessários ao

desenvolvimento desse estudo.

No capítulo II, é realizada uma revisão bibliográfica, em que são apresentados estudos relativos ao desenvolvimento e à validação de modelos de medição antropométricos.

No capítulo III, descreve-se o sistema de pesagem hidrostática, baseado em microcontrolador, utilizando célula de carga que foi usado neste estudo com o objetivo de estabelecer as medidas padrões a serem empregadas no desenvolvimento, na validação e na validação cruzada dos modelos de medição.

No capítulo IV, apresentam-se os materiais e os métodos utilizados no desenvolvimento desse estudo.

No capítulo V, são apresentados os resultados obtidos bem como a discussão destes.

No Apêndice, são apresentados:

- Apêndice A - Ficha de Coleta de Dados - Composição Corporal;
- Apêndice B - Instruções para Testes de Avaliação da Composição Corporal;
- Apêndice C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

No Anexo são apresentados:

- Anexo A - Certificado de Calibração;
- Anexo B - Autorização do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco;
- Anexo C - Termos Metrológicos.

O procedimento de validação cruzada foi aplicado aos modelos de medição da densidade corporal, desenvolvidos neste estudo para os indivíduos do sexo masculino bem como aos desenvolvidos por outros autores. Esse procedimento, devido ao tamanho da amostra, não foi aplicado aos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, tem-se como objetivo a apresentação de aspectos relativos à composição corporal, aos métodos da cineantropometria e aos modelos de medição antropométricos.

1.2 COMPOSIÇÃO CORPORAL

Apesar de as técnicas de avaliação da composição corporal terem sido sistematizadas há pouco tempo, existem indicativos de que a preocupação com a medição do corpo é antiga (PETROSKI, 1995).

Dessa forma, de acordo com Petroski (1995), a história das medidas corporais se inicia nas civilizações da Índia, Egito e Grécia com o uso das dimensões e proporções corporais, como sendo o primeiro passo para a determinação de um padrão de medida corporal, com o objetivo de se estabelecer um padrão das proporções corporais.

Contudo, o povo grego possivelmente tenha sido o primeiro a cultuar a forma corporal como sinônimo de beleza, estética e saúde; seus deuses eram figuras compostas por formas consideradas perfeitas. Protágoras, um filósofo grego do século V a.C., afirmava que "... o homem é a medida padrão de todas as coisas" (PETROSKI, 1995). Nesse sentido, muitos povos chegaram a usar partes do corpo como padrão e unidade de medida que ainda hoje são usadas, como, por exemplo, as medidas do pé, do braço (distância entre as extremidades das duas mãos, quando os braços estiverem no plano

horizontal, chamada de braça) e da polegada adotada em vários países que estiveram sob influência britânica.

No entanto, foi só a partir do século XX que começaram os estudos relativos à composição corporal que fracionava a massa corporal em massa de gordura, massa óssea, massa muscular e massa residual (GUEDES & GUEDES, 1998).

Sabe-se que o corpo humano é composto por uma diversidade de estruturas, incluindo massa muscular, ossos, gordura, sangue e outros tipos de fluidos e tecidos. Logo, determinar a composição corporal significa quantificar esses seus componentes.

Na década de 1940, o Dr. Albert Behnke, médico da Marinha dos Estados Unidos, considerado a maior autoridade em composição corporal, realizou um trabalho de medidas corporais, tendo em vista o fracionamento da composição corporal. No seu trabalho, ele utilizou medidas de estatura, de forma e de estrutura de 25 jogadores profissionais do futebol americano. Desses jogadores, 17 foram considerados obesos, quando se utilizou a tabela de peso e altura como padrão de medida da composição corporal na época. Ele constatou que desses 17 jogadores, apenas seis possuíam a gordura corporal elevada e que os 11 considerados obesos, de fato, possuíam uma massa muscular mais desenvolvida (KATCH & McARDLE, 1996).

Em 1969, o Dr. Albert Benhke propôs valores de referência para os constituintes corporais de adultos jovens de ambos os sexos que podem ser observados nas Figuras 1.1 e 1.2, com base nas 20 dimensões médias obtidas de medições detalhadas de milhares de indivíduos em levantamentos antropométricos, em larga escala (McARLDE *et al.*, 2008).

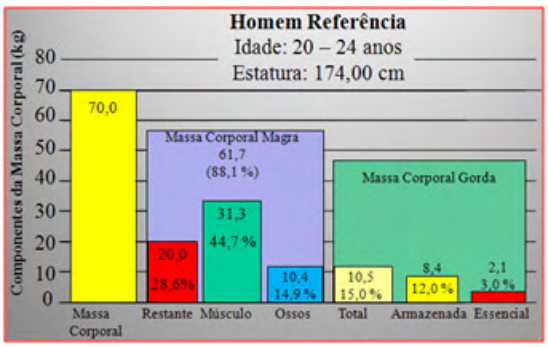


Figura 1.1 – Parâmetros de Composição Corporal do Homem Referência, propostos por Benkhe em 1969.
Adaptada de (McArdle *et al.*, 2008).

Em se tratando do Homem Referência (Figura 1.1) estima-se que a massa corporal magra, composta por músculos, ossos e restantes, gira em torno de 88,1 % da massa corporal total. Já a massa corporal gorda, ou simplesmente gordura corporal, é em torno de 15 % da massa corporal total.

Essa gordura corporal, de acordo com Kacth & McArdle (1996), pode ser classificada no organismo humano sob duas formas: a primeira, denominada de gordura essencial, consiste na gordura armazenada internamente nos principais órgãos, intestinos, músculos e nos tecidos ricos em lipídeos presentes no sistema nervoso central. Esse tipo de gordura é indispensável para o funcionamento fisiológico satisfatório do organismo; a segunda, denominada de gordura armazenada, consiste na gordura estocada no tecido adiposo, internamente, revestindo vários órgãos e em grande volume na camada de gordura subcutânea.

No caso do Homem Referência, a gordura essencial é em torno de 3,0 % da massa corporal total, e a gordura armazenada é em torno de 12 % da massa corporal total.

Uma limitação do método antropométrico é a não possibilidade de separar da massa magra a gordura essencial. Daí, observa-se que para o homem referência, a soma da massa magra (88,1%) e da massa gorda (15%) é igual a 103,1 % da massa corporal, ultrapassando em 3,1 %, que é aproximadamente o percentual da gordura essencial.

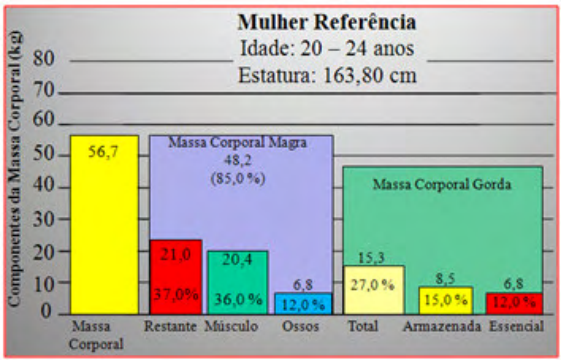


Figura 1.2 – Parâmetros de Composição Corporal da Mulher Referência, propostos por Benkhe em 1969.
Adaptada de (McArdle *et al.*, 2008).

No caso da Mulher Referência, Figura 1.2, estima-se que a massa corporal magra, composta por músculos, ossos e restantes, é em torno de 85,0 % da massa corporal total. Observa-se que a massa corporal gorda é de aproximadamente 27 % da massa corporal

total, a gordura armazenada em torno de 15,0 % da massa corporal total e a gordura essencial em torno de 12,0 % da massa corporal total.

Nesse caso, observa-se que a soma da massa magra (85 %) com a massa gorda (27 %) é igual a 112 %, ultrapassando em 12 %, que é exatamente a componente de gordura essencial.

Vale ressaltar também que estudos realizados por Rodríguez *et al*. (2004), em uma amostra de 4634 recém-nascidos pré-termo e a termo, utilizando o procedimento de medidas de dobras cutâneas, detectaram que os do sexo feminino apresentaram uma quantidade maior de gordura subcutânea do que os do sexo masculino, evidenciando que existem diferenças morfológicas entre os recém-nascidos do sexo masculino e os do sexo feminino. Observa-se, portanto, que os padrões de distribuição de gordura entre homens e mulheres são diferentes.

Sendo assim, a maioria dos modelos teóricos da composição corporal é baseada na premissa de que a massa corporal total de um indivíduo é a soma da massa de gordura mais a massa corporal magra, também sendo os modelos denominados de dois compartimentos.

O desenvolvimento e a aplicação do modelo de dois compartimentos de composição corporal cresceram muito nos últimos anos, em virtude da associação entre excesso de gordura corporal e risco de doença cardiovascular (ELLIS, 2000).

1.3 MÉTODOS DA CINEANTROPOMETRIA

Cineantropometria não é um termo novo com fins de rotular uma área de estudo que, por tradição, cabia à antropometria e/ou biometria, mas, sim se trata de uma nova concepção de estudo de pensamento em direção ao ser humano e aos movimentos que ele realiza (MAIA & JANEIRA, 1991).

Esse neologismo deriva-se da língua grega, em que kines significa “movimento” e reflete o estudo do movimento, das trocas que ocorrem no homem, enquanto anthropo genericamente identifica homem, e metry, medida.

No entanto, o termo cineantropometria foi utilizado pela primeira vez por BILL ROSS em 1972, no periódico belga cineantropologia (BEUNEN & BORMS, 1990, DAY, 1986). A cineantropometria foi incluída pela primeira vez, em um Congresso Científico Olímpico, no ano de 1976, nos jogos olímpicos de Montreal; desde então, têm sido

realizados congressos internacionais da área bianualmente, cujos anais com os trabalhos na íntegra têm sido publicados sistematicamente (DAY, 1986; DUQUET & DAY, 1993; OSTYN *et al*., 1980).

Porém, foi no Congresso Científico Olímpico, realizado em 1984, que a cineantropometria foi considerada uma disciplina científica (DAY, 1986). É definida como "a aplicação da medida para o estudo do tamanho, forma, proporção, composição, maturação e função geral do ser humano; seu objetivo é o de auxiliar a entender o movimento humano no contexto de crescimento, exercício, desempenho e nutrição" (OSTYM *et al*., 1980).

De acordo com Beunen & Borms (1990), a cineantropometria está envolvida com mensuração e avaliação de diversos aspectos do homem em movimento e com as suas características físicas, tendo como propósito estudar variações inter-humanas. Dessa forma, não está apenas interessada em características e qualidades de um indivíduo mas também de um grupo.

Pode-se observar que a cineantropometria tem aplicações em uma extensa variedade de áreas, incluindo, por exemplo, a biomecânica, a ergonomia, crescimento e desenvolvimento, ciências humanas, medicina, nutrição, educação física e ciência do esporte (ESTON & REILLY, 1996).

Para se determinar a composição corporal, vários métodos são utilizados por meio de procedimentos direto, indireto e duplamente indireto (McARDLE *et al*., 2001). Idealmente, segundo Heber *et al*. (1996), deveria ser utilizado o método direto. Contudo, as técnicas de medida direta não podem ser feitas *in vivo*. De acordo com Barata (1994) e Branco (1996), os métodos diretos, embora mais rigorosos, são muito dispendiosos e de pouca aplicabilidade prática devido aos seus elevados custos, à complexidade e imobilidade dos equipamentos, sendo, no entanto, mais utilizados em investigações de avaliação dos métodos indiretos. Por outro lado, os métodos indiretos são menos rigorosos, menos dispendiosos e de maior aplicabilidade prática, embora não dispensem o uso de um procedimento adequado e um determinado período de aprendizagem.

1.3.1 Método Direto

Por meio do método direto, o avaliador obtém informações "in loco", derivando, assim, da análise por dissecação física e análise química, fornecendo suporte teórico às

demais técnicas de medida. A primeira técnica envolve a dissecação de componentes corporais, enquanto, na outra, o corpo é dissolvido numa solução química e determinam-se os componentes de gordura e isentos de gordura existentes na mistura. Um fator complicador para esse tipo de análise são os problemas éticos e legais envolvidos na obtenção de cadáveres e tecidos humanos com finalidade de pesquisa (NEVES, 2006).

Nesse sentido, apesar da elevada exatidão, os procedimentos de técnica diretos requerem equipamentos laboratoriais específicos, corpo técnico especializado e demanda grande quantidade de tempo. Nos últimos 50 anos, poucas análises utilizaram os métodos diretos (GUEDES & GUEDES, 1998).

1.3.2 Método Indireto

Os procedimentos associados aos métodos indiretos são utilizados a partir de princípios físicos e químicos, fundamentados nas suposições teóricas do método direto. Entre os procedimentos indiretos, pode-se citar, entre outros, o da pesagem hidrostática, o da absortometria de raios X de dupla energia, o da ultrassonografia, o da tomografia computadorizada e o da plestimografia por dispersão do ar.

Dentre os métodos indiretos, dar-se-á ênfase ao da **pesagem hidrostática** usado como padrão nesse estudo, devido ao fato de este ser o método mais utilizado na avaliação da gordura corporal total, envolvendo a determinação da densidade corporal.

- **Pesagem Hidrostática** - esse procedimento foi inspirado no princípio físico de Arquimedes, pois para a obtenção da composição corporal, busca-se determinar a densidade corporal e, para tanto, é necessário conhecer a massa corporal e o volume corporal do indivíduo (BEHNKE & WILMORE, 1974, BATES & HANSON, 1996). A pesagem hidrostática é a técnica não-invasiva mais válida e comumente usada, que envolve a pesagem na água, a pesagem no ambiente natural e a medição do volume residual pulmonar.

Segundo o princípio de Arquimedes, quando um corpo é parcial ou totalmente imerso em um fluido em repouso, ocorre uma força de empuxo para cima, igual ao peso do volume do fluido deslocado. Para Kruel (1994), a partir do princípio de Arquimedes, pode-se afirmar que o peso hidrostático nada mais é do que o peso corporal (força gravitacional) menos a força do empuxo.

Assim, a utilização desse princípio no estudo da composição corporal torna-se viável na medida em que se pode computar a diferença entre a massa corporal e a massa corporal submersa, o que é medido com o indivíduo submerso. Logo, segundo Behnke & Wilmore (1974), quando um indivíduo está sendo submetido à pesagem hidrostática, o seu volume corporal total é igual à perda do seu peso corporal dentro da água, corrigido pela densidade da água correspondente à temperatura desta na hora da pesagem.

De acordo com Mendez & Lukaski (1981), a pesagem hidrostática geralmente é utilizada como referência na validação de outros métodos, pois apresenta uma elevada exatidão na medida da densidade do corpo humano de 0,002 – 0,003 g/cm^3, correspondendo a um erro de estimativa do percentual de gordura corporal entre 1 e 1,5 %, quando comparado com estudos de dissecação de cadáveres. Entretanto, é de difícil aplicação em pessoas não adaptadas ao meio líquido e em alguns grupos específicos, como crianças, idosos e obesos (BAUMGARTER & JACKSON, 1995).

O procedimento da pesagem hidrostática deve ser repetido de 8 a 12 vezes, visto que, à medida que executam o processo mais vezes, os indivíduos vão adquirindo confiança, passando a dominar o processo de expiração máxima, quando submersos. É usada uma média das duas ou três últimas pesagens, visto que esses ensaios representam o valor verdadeiro convencional do peso subaquático do indivíduo, apresentando uma variação intraindividual mínima (KATCH, 1968). Após cada medida, espera-se pelo restabelecimento do indivíduo. Se, nas três últimas pesagens, ainda persistir uma diferença maior do que 100 gramas, outras tentativas devem ser realizadas. A pesagem hidrostática segue os procedimentos descritos por Katch (1968) e o procedimento recomendado por Heyward (1991).

De acordo com Behnke & Wilmore (1974), o seguinte procedimento pode ser utilizado:

1- seleção da massa mais alta observada, caso esta tenha sido obtida mais de uma vez;

2- se o critério 1 não for satisfeito, selecionar a segunda medida de massa mais elevada que tenha sido registrada mais de uma vez;

3- se os critérios 1 e 2 não forem satisfeitos, selecionar a terceira medida de massa mais elevada.

Muito embora o método da pesagem hidrostática seja considerado padrão para determinação da composição corporal, algumas observações devem ser levadas em

consideração: os procedimentos são relativamente simples, sua aplicação requer cuidados e equipamentos específicos pouco comuns a estudos de campo, ficando restrito a aplicações em clínicas e laboratórios (BEHNKE & WILMORE, 1974, POLLOCK & WILMORE, 1993).

Partindo da suposição de que é possível dividir o corpo humano em dois componentes – tecido gordo e tecido magro (BEHNKE *et al*.,1953), uma vez que a densidade do tecido gordo é de 0,90 g/cm^3, sendo menor que a da água, que, por sua vez, é menor do que a do tecido magro 1,1 g/cm^3. Assim, verifica-se a existência de uma relação inversamente proporcional entre a densidade corporal e o percentual de gordura corporal. Portanto, quanto menor for a quantidade de gordura de um indivíduo, maior será sua densidade corporal e vice-versa (BROZEK, GRANDE, ANDERSON & KEYS, 1963), ou seja, como observado na Figura 1.3, um indivíduo com pouca quantidade de gordura pesará durante a pesagem hidrostática mais do que outro indivíduo que tenha uma grande quantidade de tecido adiposo.

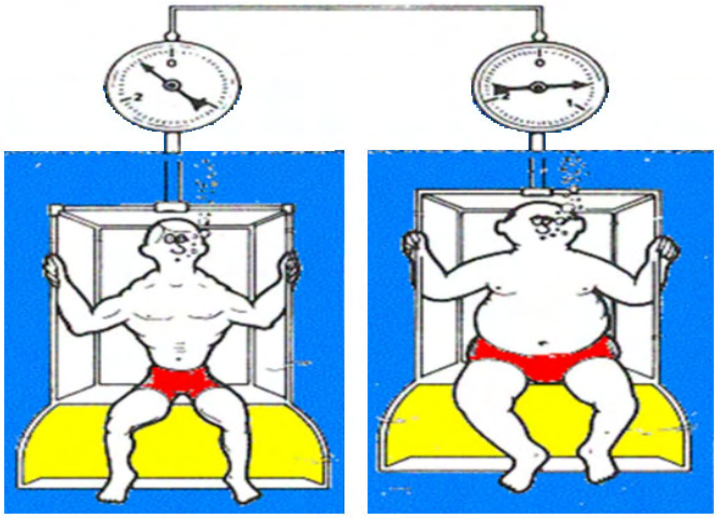


Figura 1.3 Efeito da massa muscular e do tecido adiposo no processo da pesagem hidrostática

1.3.3 Método Duplamente Indireto

Os procedimentos duplamente indiretos compreendem técnicas antropométricas para a obtenção dos perímetros corporais, das dobras cutâneas, dos diâmetros ósseos e da

bioimpedância, que utilizam equações de regressão com o objetivo de predizer variáveis que estimam parâmetros da composição corporal (McARDLE *et al*., 2008).

A antropometria é uma palavra greco-latina, que deriva dos primeiros estudos e investigações produzidos sobre as dimensões do corpo humano e as doenças a ele associadas, realizados por Hipócrates. A sua origem remonta-se à Antiguidade, pois os Egípcios e Gregos já observavam e estudavam a relação das diversas partes do corpo.

Nesse contexto, afirma Sobral (1985) e Fernandes (2003) que o método antropométrico baseia-se na medição sistemática e na análise quantitativa das variações dimensionais do corpo humano, estimando, assim, os vários componentes corporais de sedentários ou atletas no crescimento, desenvolvimento e envelhecimento.

Dessa forma, esse método antropométrico apresenta várias contribuições em diferentes campos de aplicação, tais como: permite identificar indivíduos com risco de saúde; pode auxiliar no acompanhamento do desenvolvimento e crescimento de crianças; permite estabelecer a estimativa da massa corporal; determinar o estado nutricional do indivíduo; possibilita estudos de caracterização da étnica; permite verificar as adaptações ao treinamento e seleção de atletas, entre outras.

Observa-se que a antropometria é uma ciência interdisciplinar, pois aborda o conhecimento no campo da Biomecânica, estrutura mecânica, e o conhecimento da Biomédica, comportamento dos materiais biológicos. Refere-se, principalmente, às dimensões, composições e à propriedade de massa dos segmentos do corpo; às articulações que interligam os segmentos do corpo, à mobilidade das articulações, às ações voluntárias do corpo em relação ao controle dos movimentos, na aplicação de forças, torções, energia e potência, em relação a objetos externos, controles, ferramentas e outros equipamentos (BOUERI FILHO, 1991).

Nesse sentido, a antropometria é de grande importância nos estudos relacionados às dimensões e formas corporais do homem. Ela é, sem dúvida, a técnica mais usada para caracterizar diferentes grupos populacionais.

Portanto, as vantagens do uso da técnica antropométrica são: uma significativa relação das medidas antropométricas com a densidade corporal, obtida por meio de métodos laboratoriais; o uso de equipamentos de baixo custo financeiro e a necessidade de pouco espaço físico; a facilidade e rapidez na coleta de dados e a não invasividade da técnica. Logo, entre as técnicas antropométricas mais utilizadas na determinação dos componentes da composição corporal, destacam-se as dobras cutâneas.

- **Dobras Cutâneas** - segundo McArdle *et al*. (2008), aproximadamente metade do conteúdo corporal total da gordura fica localizada nos depósitos adiposos existentes diretamente debaixo da pele. Daí a lógica para a medida das dobras cutâneas basear-se no fato de que a pele está diretamente relacionada à gordura total.

Nesse sentido, a medida da espessura de dobras cutâneas em determinados locais anatômicos pode ser um bom subsídio para a predição da quantidade de gordura corporal.

Existem aproximadamente 93 possíveis locais anatômicos onde uma dobra cutânea pode ser destacada, mas normalmente são utilizados de 3 a 8 locais de medida, que são suficientes para dar uma visão significativa do componente de gordura subcutânea. Logo, os pontos anatômicos mais utilizados para a determinação das dobras cutâneas são os localizados nas regiões do tríceps, subescapular, suprailíaca, abdominal e da coxa; além dessas, é comum, também, a utilização da medida de dobras cutâneas nas regiões do bíceps, tórax ou peitoral, axilar medial e da panturrilha medial (MOURA, 2004).

Na Figura 1.4, é mostrado um exemplo da distribuição anatômica da pele, da gordura, do músculo e do osso.

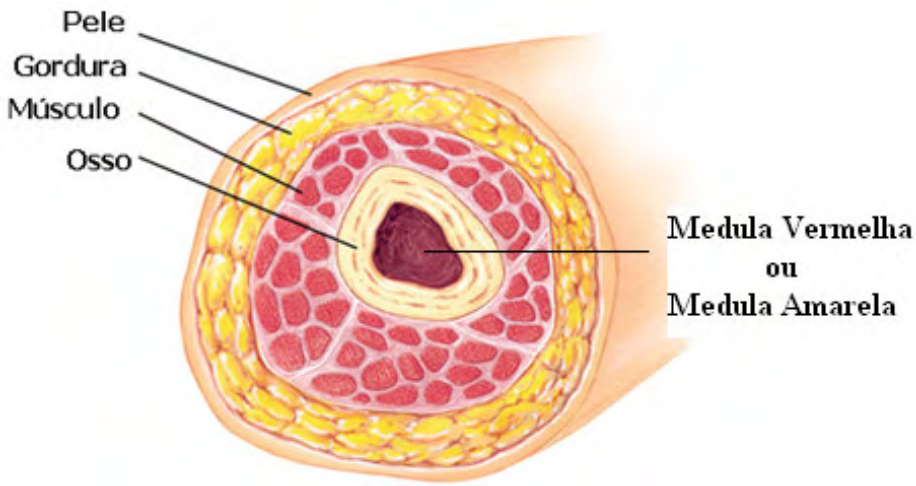


Figura 1.4 Distribuição anatômica da pele, da gordura, do músculo e do osso.

Na Figura 1.5 pode-se ver um exemplo da distribuição anatômica da gordura subcutânea, do músculo e da gordura visceral.

No caso dos indivíduos idosos, as medidas de dobras cutâneas apresentam algumas limitações devido às alterações, como: redistribuição e internalização da gordura

subcutânea, atrofia dos adipócitos, espessura e elasticidade da pele. Essas modificações podem contribuir para maior compressão entre a gordura e a massa muscular, o que pode afetar, de forma significativa, a confiabilidade das estimativas da gordura corporal, por meio desse método (CHUMLEA & BAUMGARTNER, 1989, CHUMLEA *et al*.,1993).

Figura 1.5 Distribuição anatômica da gordura subcutânea, do músculo e da gordura visceral.

Segundo Norton & Olds (2005), alcançar o valor preciso de dobras cutâneas exige do avaliador bastante critério, pois, para se obter reprodutibilidade das medidas, é necessário o uso de uma técnica de medida acurada. O avaliador deve identificar o local da dobra cutânea a partir dos pontos de referência anatômicos corretos.

Em estudo realizado por Womersley & Durnin (1973), não foram evidenciadas diferenças significativas nas medidas de espessuras de dobras cutâneas, quando comparadas com as tomadas do lado direito e do lado esquerdo do corpo.

O lado direito do corpo é usado para a medida da espessura das dobras cutâneas (PETROSKI, 1995).

A construção de índices antropométricos que envolvem medidas equivalentes ao peso corporal e à estatura é a proposta mais simples direcionada para a análise da composição corporal. Entre esses índices, destacam-se o índice de massa corporal, a espessura de dobras cutâneas, as medidas de perímetros, o índice de conicidade e as equações preditivas (GUEDES, 2006).

1.4 ASPECTOS RELATIVOS AOS MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS

Os valores das medidas de espessura de dobras cutâneas ou do somatório de espessuras dessas dobras são utilizados em modelos de medição para a predição da densidade corporal e/ou do percentual de gordura corporal.

No entanto, é importante salientar que os modelos de medição desenvolvidos para predizer a densidade corporal e/ou percentual de gordura corporal para populações específicas podem produzir resultados distorcidos, quando utilizados em indivíduos com características diferentes daqueles que fazem parte da amostra que originou esses modelos.

Estudos realizados por Durnin & Womersley (1974) constataram que o sexo e a idade são fatores importantes em relação às medidas de dobras cutâneas e densidade corporal, visto que um mesmo valor de dobra cutânea pode estar relacionado, em diferentes idades, às alterações no padrão de distribuição de gordura.

Os modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos podem ser classificados como modelos generalizados e modelos específicos. Os modelos generalizados são desenvolvidos, utilizando-se populações com características bastante heterogêneas (com uma variedade de faixa etária muito ampla e nível de atividade física bastante diversa), enquanto que os modelos de medição específicos se destinam aos grupos mais homogêneos (com características comuns, mesma faixa etária, etc.).

Por um lado, os modelos generalizados normalmente podem ser utilizados, porém suas conclusões não são tão precisas quanto se desejaria. Por outro, os modelos específicos só podem ser utilizados por grupos que tenham as mesmas características dos quais foram tirados os dados para sua construção. Quando isso não acontece, verifica-se uma grande variabilidade de resultados encontrados pelos diferentes modelos. Portanto, a escolha de um modelo para análise da composição corporal em determinado grupo é fundamental para se obterem conclusões confiáveis.

Dessa forma, ao se utilizar um modelo para grupos heterogêneos no que concerne à idade, ao sexo, ao nível de atividade física e à etnia, pode ocorrer uma menor probabilidade de exatidão na estimativa da composição corporal dos sujeitos. Os vários modelos específicos e generalizados, quando utilizados por indivíduos com características similares às populações que as originaram, diminuem a probabilidade de ocorrer um erro na estimativa da composição corporal.

Portanto, ao se utilizarem modelos de medição desenvolvidos para uma população com características antropométricas diferentes daqueles para o qual foram originados torna-se necessário proceder à validação destes encontrando-se um índice de correção com o objetivo de minimizar os erros.

1.4.1 Critérios para o Desenvolvimento de Modelos de Medição Antropométricos

Em se tratando do desenvolvimento de modelos de medição, é necessário dividir, de forma aleatória, a amostra total em estudo em duas: a primeira utilizada para o desenvolvimento dos modelos, e a segunda para proceder à validação desses modelos (LORD & NOVICK,1964, GUEDES, 1985, PETROSKI, 1995, RODRIGUEZ–AÑEZ, 1997; MOURA *et al*., 2003, RECH *et al*., 2006).

1.4.2 Critérios para a Validação de Modelos de Medição Antropométricos

A validação de um modelo de medição reflete o grau de exatidão com que ele estima a densidade corporal ou o percentual de gordura de uma amostra populacional. A validação cruzada é a forma utilizada para definir os limites da generalização do modelo de medição para outro grupo populacional (PETROSKI, 1995).

Segundo Rech (2006), um dos primeiros princípios a ser obedecido na análise da validação cruzada é a escolha da medida-critério. Em modelos que estimam a densidade corporal, por exemplo, a medida da pesagem hidrostática (PH) é considerada como "padrão-ouro", ou seja, uma medida válida dessa variável.

Depois de definida a medida-critério e estabelecidos os procedimentos de coleta de dados, a análise de comparação (validação) entre as medidas estimadas pelos modelos de regressão e pela medida-critério deve ser realizada baseada em alguns princípios estatísticos (LOHMAN, 1992, GUO *et al*., 1996).

Esses princípios levam em consideração os seguintes tópicos: aplicar o teste de Student para amostras pareadas ($t < t$ crítico e $p < 0,05$), em que as médias não devem evidenciar diferenças significativas; calcular o erro padrão de estimativa (EPE); calcular o erro total (ET); calcular o erro constante (EC) e realizar a análise residual.

Na Tabela 1.1, é apresentada uma escala qualitativa para o erro padrão de estimativa, sugerida por Lohman, (1992).

Tabela 1.1 – Erro padrão de estimativa – Escala qualitativa

EPE D(g/cm^3) Masc. e Fem.	Escala Qualitativa
$\langle 0{,}0045$	Ideal
$0{,}0045 \mapsto 0{,}0055$	Excelente
$0{,}0055 \mapsto 0{,}0070$	Muito bom
$0{,}0070 \mapsto 0{,}0080$	Bom
$0{,}0080 \mapsto 0{,}0090$	Razoavel
$0{,}0090 \mapsto 0{,}0110$	Ruim
$\rangle 0{,}0110$	Péssimo

Adaptada de Lohman (1992)

Segundo Callegari-Jacques (2003), uma vez determinada a existência de correlação na amostra, pode-se avaliá-la qualitativamente quanto à intensidade. Usando-se o critério apresentado na Tabela 1.2, é apresentada uma avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis.

Tabela 1.2 Avaliação qualitativa do grau de correlação entre duas variáveis

$\lvert R \rvert$	A correlação é dita
0	Nula
$0 - 0{,}3$	Fraca
$0{,}3 \mapsto 0{,}6$	Regular
$0{,}6 \mapsto 0{,}9$	Forte
$0{,}9 \mapsto 1$	Muito forte
1	Plena ou Perfeita

Fonte: Callegari-Jacques, (2003)

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresentam-se uma revisão bibliográfica de estudos relativos ao protocolo de pesagem hidrostática, de desenvolvimento e validação de modelos de medição antropométricos e de validação cruzada de modelos de medição.

Quanto à pesagem hidrostática, com o objetivo de determinar a densidade corporal do indivíduo, é necessário analisar as seguintes metodologias:

- Processo de obtenção do volume residual pulmonar;
- Processo de obtenção da massa corporal submersa.

No que diz respeito ao desenvolvimento e à validação de modelos de medição, específicos ou generalizados, para estimativa da densidade corporal, do percentual de gordura corporal, da massa corporal magra, da massa corporal gorda, buscou-se apresentar vários estudos realizados por pesquisadores.

Da mesma forma, procurou-se apresentar vários trabalhos realizados por pesquisadores, procedendo à validação cruzada de modelos de medição existentes, desenvolvidos para outras populações.

2.2 ESTUDOS REFERENTES AO PROTOCOLO DE PESAGEM HIDROSTÁTICA

De acordo com o princípio de Arquimedes, um objeto, quando submerso n'água, desloca uma quantidade d'água igual ao volume do próprio objeto. Para a execução dessa técnica, existe a necessidade de um tubo graduado (escala de comprimento) e fixado ao

lado do tanque para que se possa fazer a leitura correspondente do nível d'água, quando o objeto estiver submerso. O grande inconveniente desse procedimento é a oscilação d'água no tubo graduado. (McARDLE *et al*., 2008).

Segundo Carvalho (1998), para a determinação da densidade corporal por meio da pesagem hidrostática, um dos maiores problemas encontrados envolve a medida de dois volumes: o primeiro, o volume de gases presentes no aparelho gastrointestinal, e o segundo, o volume residual pulmonar.

Como fator de correção, sugerido por Buskirk (1961), uma constante para representar o volume de ar no trato gastrointestinal foi definida como sendo igual a 10^{-4} m^3. A margem de erro da utilização dessa constante, para se calcular a densidade corporal, pode diminuir, desde que o avaliado esteja em jejum, com a bexiga e o intestino esvaziados no momento da pesagem (HEYWARD, 1991).

De acordo com Cursino *et al*. (2009a), o volume residual representa a quantidade de ar que fica armazenado nos pulmões, após uma expiração máxima e tem uma importância bastante significativa para a estimativa da densidade corporal.

Carvalho (1998) afirma que, no procedimento para a realização da pesagem hidrostática, deve-se assegurar que, ao submergir, o indivíduo deve realizar uma expiração forçada dentro d´água. O problema relacionado a esse procedimento é que, mesmo após uma expiração máxima, ainda permanece certa quantidade de ar armazenada nos pulmões, isto é, o volume residual pode contribuir para a flutuabilidade do indivíduo, alterando, assim, o valor da sua massa corporal submersa e, consequentemente, o valor da densidade corporal, que é corrigido pelos valores do volume residual.

O volume residual, de acordo com Behnke & Wilmore (1974), pode ser medido por meio da análise de gases pela lavagem de nitrogênio em circuito aberto ou pela diluição de oxigênio ou hélio em circuito fechado.

Entretanto Goldman & Becklake (1959) desenvolveram dois modelos de medição para estimar o volume residual, a partir de valores estimados por meio da média populacional, que levam em consideração o sexo, a idade e a estatura.

O Modelo de medição 2.1 é utilizado para estimativa do volume residual em indivíduos do sexo masculino.

$$VR\ (litros) = 0{,}017 \times Idade(anos) + 0{,}027 \times Estatura(cm) - 3{,}477 \qquad (2.1)$$

Da mesma forma, o Modelo de medição 2.2 é usado para estimativa do volume residual dos indivíduos do sexo feminino.

$$VR\ (litros) = 0{,}009 \times Idade(anos) + 0{,}032 \times Estatura(cm) - 3{,}900 \qquad (2.2)$$

De acordo com estudos realizados por Magazoni (2000), a espirometria é um teste de função pulmonar largamente utilizado para a medida do ar inalado e expirado, por meio de um espirômetro, o qual fornece informações sobre os volumes e as capacidades pulmonares. A capacidade vital é o máximo volume de ar expirado após uma inspiração máxima. Segundo Wilmore (1969a), para estimar o volume residual, recomenda-se multiplicar a capacidade vital por 0,24 para o sexo masculino e por 0,28 para o sexo feminino.

Conforme estudo realizado por Wilmore (1969b), que avaliou 197 estudantes universitários, sendo 69 do sexo masculino e 128 do sexo feminino, todos normais e saudáveis com o objetivo de analisar as possíveis diferenças na estimativa do volume residual obtidas pelos três métodos, verificou que a diferença média na densidade corporal entre os grupos, utilizando-se os três métodos, foi inferior a 0,001 g/cm^3.

Para avaliar a densidade corporal e o percentual de gordura com maior exatidão, a análise direta para a determinação do volume residual é mais recomendável, porém, apresenta algumas limitações: sua aplicação requer equipamentos sofisticados e relativamente caros, além de demandar um maior tempo para sua execução, o que torna tal procedimento inacessível em alguns casos (WILMORE,1969a; BAUMGARTNER & JACKSON,1995).

Os modelos utilizando expressões preditivas, principalmente o desenvolvido por Goldman & Becklake (1959), que tem como principal vantagem a idade, a estatura e o sexo como grandezas influenciantes, para a estimativa do volume residual com o objetivo de determinar a densidade corporal, são os mais recomendados (POLLOCK & WILMORE, 1993, GOING, 1996, HEYWARD & STOLARCZYK, 1996).

A capacidade pulmonar do indivíduo varia de acordo com o crescimento e, principalmente, em situações que envolvam programas de exercícios físicos, portanto a utilização da capacidade vital corrigida por 0,24 e 0,28 para homens e mulheres, respectivamente, como recurso na estimativa do volume residual, parece não ser uma boa opção e precisa ser analisada com cautela (MALINA & BOUCHARD, 1991).

Em estudos realizados por Cursino *et al*. (2009a), os autores tomaram por base 22 indivíduos do sexo masculino que trabalham como bombeiros militares com média de idade de 28 anos, com o objetivo de examinar a influência do volume residual obtido por diferentes protocolos sobre o percentual de gordura desses indivíduos. Utilizou-se o processo sugerido por Goldman & Becklake (1959), do modelo de medição preditiva do volume residual, utilizando como variáveis independentes a idade e a estatura, e o processo de obtenção da capacidade vital por meio da espirometria, multiplicando por 0,24 o valor encontrado da capacidade vital obtendo, portanto, o valor do volume residual. Determinou-se a densidade corporal e, a partir dela, estimou-se o percentual de gordura utilizando o modelo de medição de Siri (1961). Observou-se uma variação na estimativa do percentual de gordura, quando comparado às duas alternativas para a estimativa do volume residual, em torno de 4,7 %, o que pode ser significativo na mudança de classificação dos padrões de gordura. Concluiu-se que a estimativa do volume residual realizada por meio do modelo de medição de Goldman & Becklake (1959) apresentou valores mais confiáveis.

Sloan (1967) desenvolveu sua pesquisa utilizando uma amostra de sul africanos, constituída de 50 jovens brancos, do sexo masculino, com idades entre 18 e 26 anos, estudantes do curso de medicina ou de ciências da University Cape Town, África do Sul. Para a pesagem subaquática, orientou-se que o sujeito sentasse, mantendo as pernas cruzadas, numa cadeira de metal suspensa e ligada a uma balança pendular. Em seguida, o conjunto (cadeira, sujeito e balança) foi suspenso por meio de um guindaste elétrico para ser introduzido no tanque com água. Nesse momento, o sujeito foi instruído a inspirar o máximo de ar possível, enquanto estava sendo colocado na água e, depois de submerso, ele realizou uma expiração forçada e o seu peso submerso foi medido. Realizou-se o procedimento para determinação do volume residual pulmonar, com o sujeito, após a pesagem, ainda sentado na cadeira e mergulhado, mantendo apenas a cabeça do lado de fora. Esse volume foi determinado utilizando-se o método de diluição de nitrogênio em circuito aberto. Após determinar a massa submersa e o volume residual pulmonar, determinou-se a densidade corporal, transformando-a em percentual de gordura, utilizando-se a fórmula de Brozek *et al*., (1963). A temperatura da água permaneceu em torno de 35 ^{o}C.

Em estudo realizado por Pollock *et al*. (1976), com objetivo de predizer a densidade corporal em jovens e em homens de meia idade de Carolina do Norte, EUA, participaram, de forma voluntária, 179 sujeitos do sexo masculino. Dividiram o grupo em

duas amostras: a primeira, constituída de noventa e cinco estudantes universitários do sexo masculino com idade entre 18 e 22 anos. A segunda composta por oitenta e quatro homens de meia idade (40 a 55 anos). Determinaram o volume residual pulmonar dos sujeitos, utilizando a técnica de diluição do hélio em circuito fechado. Realizaram o procedimento da pesagem hidrostática e utilizaram um tanque cilíndrico de dimensões 1,20 m x 1,80 m, uma cadeira de metal com 4,5 kg associada a uma balança com capacidade de 15 kg. O procedimento da pesagem hidrostática foi repetido de 6 a 10 vezes, até que fossem obtidas três medidas semelhantes, com a aproximação de 25 g. Informaram que os procedimentos da pesagem hidrostática e da determinação do volume residual foram realizados separadamente, porém mantendo os sujeitos sentados. A temperatura da água foi registrada após cada ensaio.

Com o objetivo de determinar a densidade corporal de 206 universitários, Guedes (1985), utilizou uma piscina com dimensões de 23 m x 12 m x 1,4 m. Projetou uma caixa com dimensões 1,5 m x 1,5 m x 1,5 m, sem fundo, em madeira, em que se evitou que a movimentação da água afetasse os valores da massa submersa. Construiu uma cadeira em ferro galvanizado, com dimensões de 0,40 m x 0,50 m, para que os indivíduos se acomodassem no momento do mergulho. Optou pelo modelo desenvolvido por Goldman & Becklake (1959) para a estimativa do volume residual.

A pesagem hidrostática pode ser realizada na forma tradicional, estando o indivíduo sentado na cadeira tubular. Outra forma de posicionamento é sugerida por Petroski & Pires Neto (1992), a posição grupada, também conhecida na natação como posição de medusa. Essa posição em relação à tradicional permite ao indivíduo uma maior adaptação, segurança e maior possibilidade de expiração máxima com menor esforço durante a pesagem. Em ambos os casos, quando necessário, coloca-se um cinto de mergulhador para uma melhor condição de submersão, sendo a sua massa compensada pela balança.

Organ *et al.* (1994) desenvolveram um sistema automatizado de pesagem hidrostática em tempo real baseado em microcontrolador. Utilizaram para aquisição de dados um módulo entrada/saída com microcontrolador, amplificador diferencial e conversor analógico digital. Para obterem a medida da massa submersa, utilizaram uma cadeira montada em cima de três células de carga que se encontravam submersas, posicionadas num arranjo triangular. Para estimativa do volume residual, optaram pela técnica de diluição de oxigênio, além do analisador de nitrogênio. Os sinais já em formato

digital, provenientes das células de carga bem como do medidor do volume residual foram transferidos para o microcomputador por meio da porta serial RS 232. Na Figura 2.1, pode se observar o procedimento da pesagem hidrostática, usando-se o sistema transdutor de força com o volume residual, sendo medido simultaneamente com a pesagem hidrostática, e para isso, o sujeito permaneceu totalmente submerso. Desenvolveram um programa de aquisição de dados que processaram as informações recebidas e geraram os resultados para possibilitar ao sistema o uso do percentual de gordura como um critério de seleção das tentativas.

Figura 2.1 – Pesagem hidrostática, usando-se um sistema transdutor de força com o volume residual sendo medido simultaneamente com a pesagem hidrostática.
Fonte: Organ *et al*., (1994).

Petroski (1995) avaliou uma população composta por 672 adultos de ambos os sexos. Realizou o procedimento da pesagem hidrostática, com o objetivo de determinar a densidade corporal desses indivíduos. O equipamento usado para a pesagem hidrostática constou de um tanque de dimensões, 1,30 m x 1,30 m, com 1,40 m de altura, sem fundo, construído em madeira com 2,5 cm de espessura. Utilizou uma balança da marca Filizola, com capacidade para 6 kg e com divisão de 5 g, que foi fixada sobre uma prancha com 30 cm de largura e 5 cm de espessura, suspensa a 190 cm de altura, apoiada por dois suportes fixos na posição central, em dois lados opostos da caixa. No local do prato da balança, foi adaptada uma base em alumínio com 50 cm de comprimento, em cujas extremidades fixou uma corrente para a sustentação do trapézio utilizado pelos sujeitos no

momento da pesagem submersa. O trapézio era tubular, em PVC, cano 40 mm, com dimensão de 50 cm. Um cinto de mergulhador com 1,8 kg foi colocado em volta da cintura para garantir a submersão e facilitar a estabilização dos sujeitos durante as pesagens. O peso do cinto foi subtraído do peso submerso. Utilizou os procedimentos descritos por Katch *et al*. (1967); e as recomendações de Heyward (1991), para a realização da pesagem hidrostática. Utilizou os modelos de Goldman & Becklake, (1959) para estimar o volume residual. Para o procedimento da pesagem hidrostática, o indivíduo permaneceu na posição grupada, conhecida na natação, como posição de medusa. Esse procedimento é ilustrado na Figura 2.2.

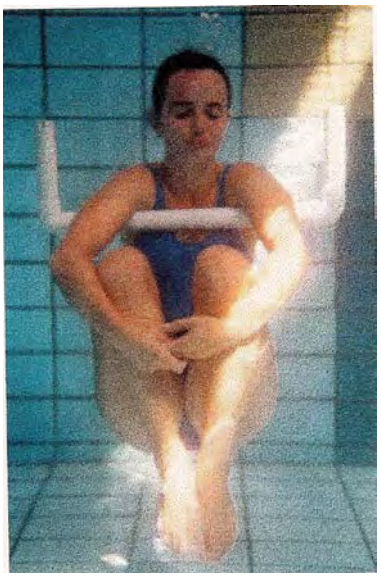


Figura 2.2 – Realização da pesagem hidrostática, na qual o indivíduo se encontra na posição grupada.
Fonte: Carvalho (1998). Foto cedida por Dr. Édio Petroski.

Carvalho (1998) procedeu à avaliação e pesagem hidrostática em 115 universitários, sendo 57 do sexo masculino e 58 do sexo feminino. Utilizou uma piscina com dimensões 25,00 m x 12,00 m x 1,20 m e colocou uma caixa de madeira de formato quadrado, com dimensões 1,20 m x 1,20 m x 1,40 m no interior da piscina, para proceder à pesagem hidrostática dos indivíduos, não permitindo, dessa forma, que o efeito da marola da água interferisse na realização da medida. A posição adotada pelos indivíduos foi a grupada, seguindo as orientações de Petroski & Pires Neto (1992). Motivou o indivíduo, no momento da pesagem, a realizar o máximo esforço expiratório. Os procedimentos para a

pesagem hidrostática foram realizados seguindo os protocolos sugeridos por Katch *et al*.(1967); Katch (1968); Katch & Michael (1968) e de acordo com o recomendado por Heyward (1991). O procedimento da pesagem de cada indivíduo foi repetido de 7 a 10 vezes. Utilizou os modelos de Goldman & Becklake (1959) para estimar o volume residual.

Cursino (2003) realizou um estudo com uma amostra de estudantes da Universidade de Pernambuco e do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco, composta por 78 indivíduos escolhidos de forma aleatória, sendo 62 do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos e 16, do sexo feminino com idade entre 21 e 25 anos. Fizeram parte da amostra indivíduos que aparentavam gozar de boa saúde. Desenvolveu um sistema de pesagem hidrostática, baseado em microcontrolador, utilizando célula de carga (SPHμCel), com entrada para duas células de carga, uma para medir a massa corporal do indivíduo fora d'água, e outra para medir a massa corporal dentro d'água. Com o objetivo de comparar a medida realizada pela célula de carga, associou um dinamômetro em série com ela. Desenvolveu um software para realizar os cálculos da densidade corporal, do percentual de gordura e da massa magra dos indivíduos. Utilizou, para a realização da pesagem hidrostática, um tanque confeccionado em fibra de vidro com reforço de madeira, com dimensões 2,00 m x 1,50 m x 1,50 m, fixando a célula de carga por uma corrente de aço, a uma barra de ferro em formato de U com 1,50 m de largura e 1 m de altura, suspensas na parte superior do tanque a 1,50 m de altura e apoiadas em lados opostos da caixa. À célula de carga, fixou um suporte de pesagem de formato U, para ser usado pelo indivíduo no momento da pesagem. Para determinação da capacidade vital do indivíduo, utilizou um espirômetro tipo Barns, com capacidade de 5500 ml com divisão de escala 100 ml e estimou o volume residual (em litros) de acordo com Wilmore (1969), multiplicando a capacidade vital de cada indivíduo por 0,24 para os indivíduos do sexo masculino e por 0,28 para os indivíduos do sexo feminino. Utilizou um densímetro com capacidade de 0,700 a 1,000 g/cm^3, com divisão de escala de 0,003 g/cm^3, para a determinação da densidade da água. O observador realizou o registro da massa submersa após o máximo esforço expiratório do indivíduo, estando esse indivíduo totalmente submerso, observando que ele se encontrava em posição estável. A respiração foi mantida bloqueada por aproximadamente 5 a 10 segundos, quando a leitura da massa foi, então, registrada. Após cada tentativa, aguardou-se o restabelecimento do indivíduo, tendo sido o mesmo procedimento repetido de 7 a 10 vezes. Para a determinação da massa submersa, foram utilizados os procedimentos descritos por Behnke & Wilmore, 1974. A massa

submersa foi medida na posição grupada e seguiu a descrição sugerida por Petroski & Pires Neto (1992). Sempre que necessário, o indivíduo utilizou um cinto de mergulhador de 1,8 kg para uma melhor condição de submersão, sendo a sua massa compensada pela balança.

Em estudo realizado por Cursino *et al*., (2006) com o objetivo do aprimoramento da técnica de pesagem hidrostática, verificaram-se as limitações da utilização do dinamômetro, utilizado para medir a massa submersa do indivíduo. Nesse método, o avaliador tem dificuldade de tomar decisão pelo valor verdadeiro convencional das medidas. Normalmente, o avaliador é levado a tomar a mediana entre valores extremos máximos e mínimos observados, além de não apresentar uma automatização do processo para aquisição e processamento de dados.

2.3 ESTUDOS REFERENTES AO DESENVOLVIMENTO E À VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS

Nagamine & Suzuki (1964) realizaram um estudo e estimaram a composição corporal e medidas antropométricas de 208 universitários japoneses, sendo 96 do sexo masculino, com média de idade de 22,1 anos, de uma faixa etária variando de 18 a 27 anos e em 112 do sexo feminino, com média de idade de 21,3 anos, de uma faixa etária variando de 18 a 23 anos. Realizaram as medidas de dobras cutâneas em seis pontos anatômicos bem como, a pesagem hidrostática (método referência) para estimar a densidade corporal. Verificaram que o coeficiente de correlação entre a densidade corporal e as dobras cutâneas em vários pontos anatômicos variou de 0,700 a 0,800 para o sexo masculino e de 0,404 a 0,703 para o sexo feminino. Utilizaram a densidade corporal como variável dependente e as dobras cutâneas como variáveis independentes para o desenvolvimento de 12 modelos de medição, sendo 6 modelos para o sexo masculino e 6 para o sexo feminino. Desses, o Modelo 2.3, desenvolvido para o sexo masculino, e o Modelo 2.4, para o sexo feminino, utilizam a soma de duas dobras cutâneas, tríceps e subescapular.

$$Dnaga\&\,suzu = 1{,}0913 - 0{,}00116 \times (TR + SE) \tag{2.3}$$

$$DnasuzFem = 1{,}0897 - 0{,}00133 \times (TR + SE) \tag{2.4}$$

Em que:

- $Dnaga\&suzu$ = densidade corporal para o sexo masculino, em g/cm^3;
- $D_{nasuzFem}$ = densidade corporal para o sexo feminino, em g/cm^3;
- *(TR + SE)* = soma das dobras cutâneas do tríceps (TR) e subescapular (SE), em mm;
- A constante 1,0897, em g/cm^3, e o coeficiente 0,00133, em g/(cm^3 . mm).

Sloan (1967) utilizou uma amostra de sul-africanos, do sexo masculino, constituída de 50 universitários, de cor branca, com idade variando entre 18 e 26 anos, com o objetivo de propor modelos de medição para estimar a densidade corporal a partir de dobras cutâneas, medidas por dois equipamentos distintos. Procedeu à pesagem hidrostática, tomando esse método como padrão para determinar a densidade corporal (variável dependente). Realizou as medidas das dobras cutâneas (coxa, abdômen, suprailíaca, peito, subescapular, tríceps e nádega) do lado direito do corpo, usando um plicômetro do E.U. Army Medical Nutrition Laboratory. Realizou medidas da espessura da camada de gordura subcutânea nos mesmos pontos anatômicos adotando a técnica de ultrassom. Para tal, utilizou um ultranoscópio (Detetor de fluxo ultrassônico, série 7, da Divisão Industrial da Smith). Verificou que a dobra cutânea que apresentou a maior correlação com a densidade corporal foi a destacada na parte da frente da coxa (R = 0,800), e a mais alta correlação múltipla das duas dobras cutâneas com a densidade foi dada por aqueles na parte frontal da coxa e do ângulo inferior da escápula (r = 0,845). Verificou que quando usou todas as medidas das dobras a precisão da previsão não aumentou significativamente, (R = 0,861). Verificou que o tecido adiposo subcutâneo, medido com o método do ultrassom que apresentou a maior correlação com a densidade corporal, foi o da parte da frente da coxa (R = 0,787), e a mais alta correlação múltipla de duas medições com ultrassom com a densidade foi fornecida pela frente da coxa e da crista ilíaca (R = 0,805). A precisão da predição baseada em todas as medições de ultrassom (R = 0,822) foi ainda inferior à precisão da previsão de duas dobras cutâneas. Desenvolveu dois modelos, um utilizando as medidas das dobras cutâneas obtidas por ultrassom, e o outro, Modelo 2.5, em que as dobras cutâneas foram obtidas por meio do plicômetro.

$$D_{sloan} = 1{,}1043 - 0{,}001327 \times CX - 0{,}00131 \times SE \qquad (2.5)$$

Em que:

- D_{sloan} = densidade corporal, em g/cm^3;
- CX = dobra cutânea da coxa, em mm e
- SE = dobra cutânea subescapular, em mm.
- A constante 1,1043, em g/cm^3, e os coeficientes 0,001327 e 0,00131, em g/(cm^3 . mm).

Durnin & Womersley (1974) realizaram um estudo com o objetivo de determinar a densidade corporal por meio da adoção de dobras cutâneas. Utilizaram uma amostra composta por 209 homens e 272 mulheres, na faixa etária de 16 a 72 anos, subdividindo-a em 12 subamostras, classificadas em faixas etárias e por sexo, para o desenvolvimento de 12 modelos de medição. Para o desenvolvimento do Modelo 2.6, foram colhidos dados de 100 indivíduos do sexo feminino, na faixa etária de 20 a 29 anos, obtendo-se um erro padrão de estimativa EPE = 0,0109 g/cm^3.

$$D_{duninwomerFem} = 1{,}1599 - 0{,}0717 \times Log_{10}(TR + BI + SE + SI) \qquad (2.6)$$

Em que:

- $D_{duninwomerFem}$ = densidade corporal para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $Log_{10}(TR + BI + SE + SI)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras cutâneas, TR (tríceps), BI (bíceps), SE (subescapular) e SI (suprailíaca), em mm;
- A constante 1,1599, em g/cm^3, e o coeficiente 0,0717, em g/(cm^3 . mm).

Em estudo realizado por Pollock *et al*. (1976), com objetivo de predizer a densidade corporal em jovens e em homens de meia idade da Carolina do Norte, EUA, participaram de forma voluntária 179 sujeitos do sexo masculino. Dividiram o grupo em duas amostras: a primeira, constituída de noventa e cinco estudantes universitários do sexo masculino com idade entre 18 e 22 anos. A segunda composta por oitenta e quatro homens de meia idade (40 a 55 anos). O propósito desta investigação foi o de predizer densidade corporal em relação às amostras dos homens jovens e de meia idade. Realizaram a seguinte pergunta: os modelos generalizados para populações de homens jovens e de meia idade atenderiam ou era necessário o desenvolvimento de modelos específicos por amostra? Em

busca de respostas, realizaram os procedimentos de modo que um mesmo investigador realizasse as medidas organizadas na seguinte sequência: medidas antropométricas, espirometria para predizer o volume residual e pesagem hidrostática. Realizaram as medidas, sempre do lado direito do corpo, de 7 dobras cutâneas nos pontos anatômicos (tórax, axila, tricipital, subescapular, abdômen, suprailíaca e coxa), utilizando um plicômetro da marca Lange (pressão constante de 10 g/mm^2). Os dados de dobras cutâneas foram medidos e registrados com uma aproximação de 0,5 mm. Realizaram também medidas de diâmetros e circunferências em vários locais anatômicos. Realizaram e definiram como padrão para esse estudo o procedimento da pesagem hidrostática para determinar a densidade corporal dos sujeitos. Concluíram que era necessário o desenvolvimento de modelos específicos por população. Dessa forma, desenvolveram 6 modelos de medição para amostra de jovens, em que o coeficiente de correlação (R) variou no intervalo de 0,81 a 0,88, o erro padrão de estimativa (EPE), em g/cm^3, variou no intervalo de 0,0069 a 0,0082. Em relação aos modelos para amostra de homens de meia-idade, o coeficiente de correlação R variou no intervalo de 0,78 a 0,84, e o EPE, em g/cm^3, variou no intervalo de 0,0074 a 0,0082. O Modelo 2.7 é um dos seis desenvolvidos para a amostra dos jovens.

$$D_{poll} = 1{,}07660 - 0{,}00098 \times PE - 0{,}00053 \times AX \qquad (2.7)$$

Em que:

- D_{poll} = densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, em g/cm^3;
- PE = dobra cutânea peitoral, em mm;
- AX = dobra cutânea axilar, em mm;
- A constante 1,07660, em g/cm^3, e os coeficientes 0,00098 e 0,00053, em g/(cm^3. mm).

Jackson & Pollock (1978), com o propósito de deduzir modelos de medição generalizados de regressão que permitissem a estimativa da densidade corporal para homens com variação em idade e em composição corporal, utilizaram uma amostra de 403 homens com idade variando entre 18 e 61 anos e que apresentavam uma ampla variação em estrutura corporal, na composição corporal bem como no exercício físico. Dividiram a

amostra total, de forma aleatória, em dois grupos: o de desenvolvimento dos modelos constituído de 308 homens e o de validação cruzada dos modelos composto por 95 homens que não participaram do grupo de desenvolvimento. Realizaram as medidas de estatura, de massa corporal, de 7 dobras cutâneas (tórax ou peitoral, axilar, tricipital, subescapular, abdômen, suprailíaca e coxa) e de 2 circunferências (cintura e antebraço). Verificaram que a soma de várias dobras cutâneas fornece uma estimativa mais representativa da gordura subcutânea. Utilizaram dois somatórios de dobras cutâneas: o de sete dobras (tórax ou peitoral, axilar, tricipital, subescapular, abdômen, suprailíaca e coxa) e o de três dobras (peitoral, abdômen e coxa). Selecionaram a soma de três dobras cutâneas com base na sua elevada intercorrelação com a soma de sete dobras, podendo proporcionar um teste de campo mais viável. Utilizaram o protocolo da pesagem hidrostática como referência para a determinação da densidade corporal. Determinaram o volume residual pulmonar por meio da análise direta de gases medidos por meio da lavagem de nitrogênio em circuito aberto ou pela diluição de hélio em circuito fechado. Dentre os modelos de medição que desenvolveram e validaram, destacam-se aquele que utilizou a soma de dobras cutâneas e a idade como variáveis independentes, que levou em consideração a densidade calculada com sete dobras cutâneas e obteve uma correlação R = 0,902 e um erro padrão de estimativa EPE = 0,0078 g/cm^3 e o que utilizou a densidade calculada com três dobras cutâneas obteve uma correlação R = 0,905 e um erro padrão de estimativa EPE = 0,0077 g/cm^3. Concluíram que, em ambos os casos, esses valores de correlação e erro padrão de estimativa apresentaram uma heterogeneidade em idade e gordura corporal, que é um fator determinante para o desenvolvimento de modelos de medição generalizados. Dentre os modelos desenvolvidos, os mais utilizados são o Modelo 2.8 e o Modelo 2.9, apresentando, respectivamente, coeficientes de correlação R = 0,902 e R = 0,905.

$$D_{jack\&poll,\ 7dc} = 1{,}11200000 - 0{,}00043499\ (X_1) + 0{,}00000055\ (X_1)^2 - 0{,}00028826\ (X \quad (2.8)$$

$$D_{jack\&poll,\ 3dc} = 1{,}1093800 - 0{,}0008267\ X_2 + 0{,}0000016\ (X_2)^2 - 0{,}0002574\ (X_3) \quad (2.9)$$

Em que:

- $D_{jack\&poll,\ 7dc}$ = densidade corporal, em g/cm^3;
- $D_{jack\&poll,\ 3dc}$ = densidade corporal, em g/cm^3;

- X_1 = ∑soma de 7 dobras cutâneas (tríceps, subescapular, peitoral, axilar, suprailíaca, abdominal e coxa), em mm;
- $(X_1)^2$, em mm^2;
- X_2 = ∑soma de 3 dobras cutâneas (peitoral, abdominal e coxa), em mm;
- $(X_2)^2$, em mm^2;
- X_3 = Idade, em anos;
- As constantes 1,11200000 e 1,1093800, em g/cm^3, os coeficientes 0,00043499 e 0,0008267, em $g/(cm^3 . mm)$, os coeficientes 0,00000055 e 0,0000016, em $g/(cm^3 . mm^2)$ e os coeficientes 0,00028826 e 0,0002574, em $g/(cm^3 . anos)$.

Jackson *et al*. (1980) realizaram um estudo para estimar a densidade corporal de 249 mulheres adultas com idade entre 18 e 55 anos e desenvolveram vários modelos de medição. Um desses é representado pelo Modelo 2.10, usando a regressão linear múltipla com fator quadrático em que foi empregado o somatório de quatro dobras cutâneas bem como a idade.

$$D_{J,P\&WFem} = 1{,}0960950 - 0{,}000952 \times X_4 + 0{,}0000011 \times X_4^2 - 0{,}0000714 \times X_3 \quad (2.10)$$

Em que:

- $D_{J,P\&WFem}$ = densidade corporal, como variável dependente, em g/cm^3;
- X_4 = soma de quatro dobras cutâneas (tríceps, abdominal, suprailíaca e coxa), em mm,
- X_4^2 = quadrado da soma de quatro dobras cutâneas (tríceps, abdominal, suprailíaca e coxa), em mm^2 e,
- X_3 = idade, em anos;
- A constante 1,0960950, em g/cm^3, o coeficiente 0,000952, em $g/(cm^3 . mm)$, o coeficiente 0,0000011, em $g/(cm^3 . mm^2)$, e o coeficiente 0,0000714, em $g/(cm^3. anos)$.

Guedes (1985), considerado, segundo Salem *et al*. (2007), como o primeiro pesquisador brasileiro a desenvolver e validar modelos de medição específicos nacionais para a estimativa de densidade corporal, a partir de medidas antropométricas, relacionando

dobras cutâneas e densidade corporal, realizou um estudo em que avaliou 206 universitários, sendo 110 do sexo masculino, com idade entre 17 e 27 anos, e 96 do sexo feminino, com idade entre 17 e 29 anos, em sua maioria estudantes de educação física da Universidade Federal de Santa Maria – RS. Possibilitou um grande avanço no estudo da composição corporal no Brasil, desenvolvendo modelos logarítmicos e específicos para ambos os sexos. Realizou também as medidas de estatura, de massa corporal, de 8 dobras cutâneas (peitoral, axilar, tricipital, subescapular, abdômen, suprailíaca, bíceps e coxa) e utilizou de uma dobra cutânea até a soma de oito dobras cutâneas para o desenvolvimento dos modelos e, ainda, o protocolo da pesagem hidrostática como padrão para a determinação da densidade corporal. Desenvolveu e validou oito modelos para o sexo masculino com o coeficiente de correlação (R) entre 0,864 e 0,904 e o erro padrão de estimativa (EPE), em g/cm^3, entre 0,0055 e 0,0064. Da mesma forma, desenvolveu e validou oito modelos para o sexo feminino com R entre 0,751 e 0,859 e EPE, em g/cm^3, entre 0,0052 e 0,0067. O Modelo 2.11, desenvolvido para os indivíduos do sexo masculino, e o Modelo 2.12, para os indivíduos do sexo feminino estimaram a densidade corporal com um EPE = 0,0057 g/cm^3 e um EPE = 0,0052 g/cm^3, respectivamente.

$$D_{guedes} = 1{,}17136 - 0{,}06706 \times Log_{10}(TR + SI + AB) \tag{2.11}$$

$$D_{guedesFem} = 1{,}18588 - 0{,}07417 \times Log_{10}(TR + BI + CX + SI + SE) \tag{2.12}$$

Em que:

- D_{guedes} = densidade corporal para indivíduos do sexo masculino, em g/cm^3;
- $D_{guedesFem}$ = densidade corporal para indivíduos do sexo feminino, em g/cm^3;
- $Log_{10}(TR + SI + AB)$ = logaritmo decimal da soma de três dobras cutâneas TR(tríceps), SI (suprailíaca) e AB (abdominal), em mm;
- $Log_{10}(TR + BI + CX + SI + SE)$ = logaritmo decimal da soma de cinco dobras cutâneas TR(tríceps), BI (bíceps), CX (coxa), SI (suprailíaca) e SE (subescapular), em mm;

- As constantes 1,17136 e 1,18588, em g/cm^3, e os coeficientes 0,06706 e 0,07417, em g/(cm^3 . mm).

Petroski (1995), segundo Salem *et al*. (2007), considerado como sendo o primeiro a desenvolver modelos de medição generalizados no Brasil para estimar a densidade corporal, em sua tese de doutorado defendida na Universidade Federal de Santa Maria, avaliou uma população composta por 672 adultos de ambos os sexos, com faixa etária entre 18 e 66 anos, oriundos das regiões central do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Nessa avaliação, realizou as medidas de estatura, de massa corporal, de nove dobras cutâneas (peitoral, axilar, tricipital, subescapular, abdômen, suprailíaca, bíceps, panturrilha e coxa), duas circunferências (antebraço e abdômen) e utilizou a soma de duas dobras cutâneas até a soma de nove dobras cutâneas para o desenvolvimento dos modelos e, ainda, o protocolo da pesagem hidrostática como referência para a determinação da densidade corporal. Para aferição da massa submersa, utilizou uma balança analógica, com capacidade de 6 kg e divisão de 5 g. Para o desenvolvimento dos modelos, dividiu os sujeitos em dois grupos de regressão: o primeiro composto por 213 mulheres, e o segundo, por 304 homens. Para o processo de validação dos modelos desenvolvidos, utilizou dois grupos que não participaram da amostra de regressão, sendo eles constituídos de: o primeiro com 68 mulheres, e o segundo, com 87 homens. Desenvolveu e validou dezesseis modelos para o sexo masculino com o coeficiente de correlação (R), variando entre 0,871 e 0,896 e o erro padrão de estimativa (EPE), em g/cm^3, variando entre 0,0070 e 0,0076. Da mesma forma, desenvolveu e validou dezesseis modelos para o sexo feminino com o R variando entre 0,827 e 0,864, e EPE, em g/cm^3, variando entre 0,0064 e 0,0072. O Modelo 2.13, desenvolvido para indivíduos do sexo masculino, apresentou R de 0,875. Da mesma forma, utilizando uma amostra feminina, desenvolveu o Modelo 2.14, apresentando R de 0,848 e EPE de 0,0068 g/cm^3.

$$D_{petroski} = 1{,}10726863 - 0{,}00081201 \times X_5 + 0{,}00000055 \times X_5^2 + 0{,}00041761 \times X_3 \qquad (2.13)$$

$$D_{petroFem} = 1{,}02902361 - 0{,}00067159 \times X_5 + 0{,}00000242 \times X_5^2 - 0{,}00026073 \times X_3 - 0{,}00056009 \times MC + 0{,}00054649 \times EST \qquad (2.14)$$

Em que:

- $D_{petroski}$ = densidade corporal sexo masculino, em g/cm^3;
- $D_{petroFem}$ = densidade corporal sexo feminino, em g/cm^3;
- X_5 = soma de 4 dobras cutâneas (SE+SI+TR+PT), em mm, em que: SE (subescapular), SI (suprailíaca), TR (tríceps) e PT (panturrilha);
- X_5^2 = quadrado da soma de 4 dobras cutâneas, em mm^2, em que: SE (subescapular), SI (suprailíaca), TR (tríceps) e PT (panturrilha);
- X_3 = idade, em anos;
- MC = massa corporal, em kg;
- EST = estatura, em cm;
- As constantes 1,1726863 e 1,02902361, em g/cm^3, os coeficientes 0,00081201 e 0,00067159, em g/(cm^3 . mm), os coeficientes 0,00000055 e 0,00000242, em g/(cm^3 . mm^2), os coeficientes 0,00041761 e 0,00026073, em g/(cm^3 . anos), o coeficiente 0,00056009, em g/(cm^3 . kg), e o coeficiente 0,00054649, em g/(cm^3 . cm).

Ainda sobre o estudo realizado por Petroski (1995), ao analisar 42 modelos de medição para estimar a densidade corporal do sexo masculino, verificou que as dobras cutâneas mais utilizadas foram: tríceps (16,8%), subescapular (16,1%) e abdominal (15,5%), seguidas de peitoral (12,3%), suprailíaca (11,6%), coxa (11,0%), axilar média (7,7%), bíceps (5,8%) e panturrilha (2,6%). Para o sexo feminino, entretanto, analisou 32 modelos, e, nitidamente, se destacam as dobras cutâneas: coxa (21,6%), suprailíaca (21,0%), tríceps (20,5%), subescapular (13,6%) e, na sequência, abdominal (8,5%), bíceps (5,1) e axilar média (5,1%), peitoral (3,4%) e panturrilha (1,2%).

Carvalho (1998), em dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Maria – RS, determinou e comparou as diferenças dos percentuais de gordura, a massa magra e a massa gorda, obtidas pelos métodos da pesagem hidrostática e o da bioimpedância bem como desenvolveu e validou modelos de regressão para a estimativa da massa corporal magra para ambos os sexos. Para tanto, avaliou uma população composta por universitários da Universidade Federal de Pernambuco, Universidade de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco num total de 115 sujeitos, sendo 57 homens entre 18 e 30 anos e 58 mulheres entre 18 e 28 anos. Nessa avaliação, realizou as medidas de estatura, de massa corporal, de sete dobras cutâneas (peito, tríceps, subescapular, abdômen,

suprailíaca, panturrilha e coxa), de cinco perímetros (braço, antebraço, abdômen, coxa e panturrilha). Utilizou o protocolo da pesagem hidrostática como padrão para a determinação da densidade corporal e, posteriormente, da massa corporal magra. Para aferição da massa submersa, utilizou uma balança de escala analógica, com capacidade de 5 kg e resolução de 20 g. Utilizou o protocolo da bioimpedância para determinar as variáveis de resistência e reatância. Desenvolveu cinco modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino com o coeficiente de correlação (R) variando entre 0,940 e 0,948 e erro padrão de estimativa (EPE), em g/cm^3, variando entre 2,42 kg e 2,46 kg. Da mesma forma, desenvolveu e validou cinco modelos de medição para indivíduos do sexo feminino com R variando entre 0,924 e 0,927 e EPE, em g/cm^3, variando entre 1,59 kg e 1,70 kg. Em nenhum dos modelos desenvolvidos utilizou dobras cutâneas ou sua soma. Para o desenvolvimento dos modelos, dividiu os indivíduos em dois grupos de regressão: o primeiro composto por 47 indivíduos do sexo feminino e o segundo por 50 indivíduos do sexo masculino. Para o processo de validação dos modelos desenvolvidos, utilizou dois grupos, sendo o primeiro com 15 indivíduos do sexo feminino, e o segundo com 15 indivíduos do sexo masculino, oriundos da mesma população, em que quase na totalidade, foram formados por indivíduos que não fizeram parte da amostra de regressão.

Foram desenvolvidos e validados por Salem *et al*. (2004), dez modelos de medição, a partir de variáveis antropométricas, específicas para a determinação da densidade corporal de mulheres militares do Exército Brasileiro, com idade entre 18 e 45 anos, que serviam na cidade do Rio de Janeiro. A partir da população das 100 mulheres participantes da pesquisa, foi formado o grupo de regressão para o desenvolvimento dos modelos composto por 80 mulheres e o grupo de validação composto por 20 mulheres que não participaram do grupo de regressão. Realizaram medidas de dobras cutâneas, perímetros, diâmetros, massa corporal e estatura. A densidade corporal foi obtida por meio do método da pesagem hidrostática (padrão), utilizando uma célula de carga para a medida da massa submersa. O desenvolvimento dos modelos foi baseado na análise da regressão linear múltipla, método stepwise, e sua validação, na análise do coeficiente de correlação de Pearson, teste t de Student, cálculo dos erros constante, erro total e erro padrão de estimativa. Os modelos desenvolvidos apresentaram um coeficiente de correlação (R) entre 0,681 e 0,822 e erro padrão de estimativa (EPE), em g/cm^3, entre 0,00516 e 0,00652 g/cm^3. Na validação desses modelos, o EPE, em g/cm^3, variou entre 0,00516 e 0,00645.

Recomendaram que novos estudos fossem realizados no sentido de validar os modelos desenvolvidos nesse estudo para outros grupos de mulheres brasileiras. O Modelo 2.15, desenvolvido para o sexo feminino, apresentou R = 0,681 e EPE = 0,00645 g/cm^3.

$$D_{salemFem} = 1{,}069 - 0{,}000796 \times (BI + TR) \tag{2.15}$$

Em que:

- $D_{salemFem}$ = densidade corporal, em g/cm^3;
- (BI + TR) = soma das dobras cutâneas BI (bíceps) e TR (tríceps), em mm,
- A constante 1,069, em g/cm^3, e a constante 0,000796, em g/(cm^3 . mm).

Lera *et al.* (2005) desenvolveram modelos de medição específicos por sexo, baseados nas medidas antropométricas, para estimar a estatura, de pessoas acima de 60 anos, em três países da América Latina (Brasil, Chile e México) com faixa etária variando entre 60 e 99 anos. Os dados foram coletados simultaneamente nos três países, usando procedimentos padronizados. A amostra consistiu de pessoas de 60 anos ou mais, oriundas das seguintes cidades: (a) São Paulo, Brasil: de um total de 1657 indivíduos, dos quais 713 homens e 944 mulheres; (b) Santiago, Chile: 389 homens e 615 mulheres, num total de 1004 indivíduos e (c) Cidade do México, México: 995 indivíduos, dos quais 388 homens e 607 mulheres. Realizaram as medidas antropométricas de altura, estatura, massa corporal, circunferências e dobras cutâneas. Para cada país e por sexo, selecionaram as amostras de forma aleatória, dividindo em duas subamostras de igual tamanho. A primeira (amostra de desenvolvimento) foi usada para originar os modelos preditivos, e a segunda, (amostra de validação) no processo de validação cruzada. Os modelos específicos por sexo, para estimar a estatura, baseados na altura do joelho e idade como preditores, apresentaram para os indivíduos do sexo feminino: coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão de estimativa (EPE) Brasil (0,58 e 3,58 cm), Chile (0,54 e 3,24 cm) e México (0,59 e 4,00 cm) e da mesma forma para os indivíduos do sexo masculino: R^2 e EPE Brasil (0,69 e 3,66 cm), Chile (0,70 e 3,67 cm) e México (0,67 e 3,67 cm).

Em se tratando do estudo realizado por Rech *et al.* (2006), foram desenvolvidos e validados os modelos de medição antropométricos específicos para predição da gordura

corporal em mulheres entre 50 e 75 anos, tomando o processo da absortometria de raios X de dupla energia como padrão. Foram avaliadas 75 mulheres, divididas em dois grupos: 60 mulheres no grupo para desenvolver os modelos, e 15 mulheres no grupo de validação, para análise da validação cruzada destes. Foram mensuradas dobras cutâneas, perímetros corporais, massa corporal, estatura e o percentual de gordura corporal, mensurado por meio da absortometria de raios X de dupla energia. Utilizou-se o procedimento de regressão múltipla, método stepwise com opção forward, sendo utilizados para a análise dos modelos, os critérios: coeficiente de correlação múltiplo, coeficiente de determinação, erro padrão de estimativa e a significância dos modelos determinados por meio da análise de variância. A análise da validação cruzada dos modelos foi realizada, utilizando-se a amostra do grupo de validação, obedecendo-se aos seguintes critérios: coeficiente de correlação linear de Pearson (R › 0,80), análise das diferenças entre as médias (teste t de Student), cálculo do erro constante (EC), erro padrão de estimativa (EPE) e erro total (ET) entre os valores medidos e estimados. Desenvolveram sete modelos, com R variando entre 0,80 e 0,84, e EPE variando entre 3,23% e 3,58%. Foram validados 3 modelos de medição a partir de medidas antropométricas e idade, com R no intervalo entre 0,86 e 0,90, e EPE entre 2,40% e 3,81%. Concluíram que os modelos desenvolvidos a partir da absortometria de raios X de dupla energia são válidos para predizer a gordura corporal entre mulheres de 50 a 75 anos. Também verificaram que as variáveis de perímetro do quadril, espessura de dobras cutâneas abdominal vertical, subescapular e a medida da estatura foram os melhores preditores da gordura corporal no grupo estudado.

Huerta *et al*. (2007) realizaram um estudo para desenvolvimento e validação de modelos antropométricos a fim de estimar a gordura corporal em adultos mais velhos, usando o modelo de 4 compartimentos como método de referência. Formaram uma amostra de participantes desse estudo composta por 202 indivíduos, sendo 100 homens (69,1 ± 6,3) anos e 102 mulheres (69,0 ± 6,8) anos. Realizaram as medidas de massa de água total por meio da diluição com óxido de deutério, utilizando o protocolo da absortometria de raios X de dupla energia para determinar o conteúdo mineral ósseo e, para determinar a densidade corporal, adotaram o protocolo da plestimografia. Por meio de um plicômetro da marca Holtain, realizaram as medidas de sete dobras cutâneas (bicipital, tricipital, subescapular, suprailíaca, abdômen, coxa e panturrilha). Com o objetivo de desenvolver e validar os modelos para estimar a gordura corporal, dividiram a amostra principal, de forma aleatória, em duas subamostras de igual tamanho, em que a primeira

subamostra, composta por 50 homens e 51 mulheres com valor médio de idade e desvio-padrão (69,4 ± 6,5), anos foi utilizada para desenvolvimento dos modelos, e a segunda subamostra composta por 50 homens e 51 mulheres com valor médio de idade e desvio-padrão (68,0 ± 6,4) anos foi utilizada para a validação destes. Para o desenvolvimento do modelo, utilizou-se o método de regressão linear múltiplo, tendo como variável dependente a massa gorda determinada pelo método de 4 compartimentos e, como variáveis independentes, a dobra cutânea da panturrilha, a dobra cutânea do bíceps, a massa corporal e o sexo (S = 0, mulher e S = 1, homem). Encontraram o Modelo 2.16 gerado para ambos os sexos que apresentou um coeficiente de determinação (R^2) 0,84 e um erro padrão de estimativa (EPE) de 3,2 kg.

$$MG_{huertaMascFem} = (0{,}165 \times PT) + (0{,}355 \times BI) + (0{,}521 \times MC) - (6{,}054 \times S) + 13{,}171 \quad (2.16)$$

Em que:

- $MG_{huertaMascFem}$ = massa gorda, em kg;
- PT = dobra cutânea da panturrilha, em mm;
- BI = dobra cutânea do bíceps, em mm;
- MC = massa corporal, em kg;
- S = sexo, feminino S = 0, masculino S = 1;
- A constante 13,171, em kg, os coeficientes 0,165 e 0,355, em kg/mm, e o coeficiente 0,521, adimensional.

2.4 ESTUDOS REFERENTES À VALIDAÇÃO CRUZADA DE MODELOS DE MEDIÇÃO ANTROPOMÉTRICOS

Em estudo realizado por Fanelli & Kuczmarski (1984), para validação de modelos de medição, utilizaram a técnica de medidas de dobras cutâneas por meio de ultrassom e compararam com as realizadas por meio do plicômetro. Participaram dessa amostra 124 homens brancos, com idade variando entre 18 e 30 anos, e foram realizadas medidas das espessuras de dobras cutâneas em sete pontos anatômicos. Obtiveram a densidade corporal por meio do protocolo da pesagem hidrostática de acordo com os procedimentos sugeridos por Pollock *et al*. (1976), que foi utilizada como variável dependente para o

desenvolvimento dos modelos. Utilizaram o pacote estatístico SAE (Sistema de Análise Estatística). Realizaram a análise de regressão múltipla, usando a densidade como variável dependente e a gordura subcutânea como variável independente, tomadas separadamente pelo plicômetro e pelo medidor de ultrassom. Verificaram que as dobras cutâneas medidas com o plicômetro que proporcionaram uma melhor predição da densidade corporal foram a do tríceps e a suprailíaca, uma vez que apresentaram maior coeficiente de correlação (R) igual a 0,779 e menor erro padrão de estimativa (EPE) de 0,0083 g/cm^3. Da mesma forma, as dobras cutâneas medidas com o aparelho de ultrassom que apresentaram uma melhor predição da densidade corporal foram as dobras cutâneas suprailíaca e coxa, tendo em vista apresentarem o maior valor de R = 0,809 e menor EPE = 0,0078 g/cm^3. Constataram que, ao usar em modelos de medição para estimar a densidade corporal, coletando as medidas com o plicômetro e com o medidor de ultrassom, não foram evidenciadas diferenças significativas.

Souza *et al*. (1998) compararam e realizaram a validação cruzada dos valores da massa magra de 18 alunos do Núcleo de Preparação de Oficiais da Reserva de Santa Maria, com idade aproximada de 18 anos, por meio de dois modelos de medição antropométricos de Wilmore & Behnke (1969) e o de Slaughter & Lohman (1980), dois modelos da impedância bioelétrica de Lohman (1992) e de Segal *et al*. (1988), e pelo analisador Valhalla (equipamento utilizado para medir bioimpedância), utilizando como variável dependente a massa magra obtida por meio da densidade corporal. Realizaram as medidas de massa corporal, estatura, perímetro abdominal umbilical, dobra cutânea abdominal horizontal e a densidade corporal pelo processo da pesagem hidrostática, servindo como método padrão. O estudo estatístico para a validação desses modelos constou da correlação de Pearson, coeficiente de determinação, regressão linear simples e teste t. Os erros padrões de estimativas provenientes dos modelos para as amostras utilizadas mostraram-se menores do que os EPE encontrados nos estudos originais. Somente o modelo 2 de Wilmore & Behnke apresentou validação cruzada em relação à massa magra.

De acordo com Marques *et al*. (2000), foi promovida a validação cruzada de modelos de medição de bioimpedância num grupo de 44 mulheres com idade entre 20 e 44 anos, utilizando a técnica absortometria de raios X de dupla energia como padrão. Tendo sido analisados os modelos de Lohman (1992), de Gray *et al*. (1989), de Segal *et al*. (1988), modificada por Stolarczyk *et al*., (1997) e a do analisador de bioimpedância OMROM. Nesse estudo, o coeficiente de correlação (R) variou de 0,84 a 0,92, e o erro

padrão de estimativa (EPE), de 1,61 kg a 2,51 kg. Como conclusão, recomenda-se o uso do modelo de medição de Stolarczyk *et al*. (1997), que apresentou na sua validação R = 0,92 e EPE = 1,61 kg ou o modelo de medição específico de Lohman (1992), com base na idade, para estimativa da composição corporal de mulheres brasileiras jovens e sadias, apresentando R = 0,84 e EPE = 2,27 kg.

Com o objetivo de comparar a gordura corporal de mulheres idosas, utilizando os procedimentos da antropometria, bioimpedância e absortometria de raios X de dupla energia, Barbosa *et al*. (2001) avaliaram 20 mulheres idosas (62 a 69 anos), utilizando dois modelos de medição para estimar a densidade corporal como variável dependente, o modelo de regressão linear de Jackson & Pollock (1978), utilizando a soma de três dobras cutâneas (tríceps, suprailíaca e coxa) como variável independente, e o modelo de regressão de Durning & Womersley (1974), utilizando o logaritmo na base decimal da soma de quatro dobras cutâneas (tríceps, bíceps, subescapular e suprailíaca) como variável independente, um analisador de composição corporal (modelo BIA 101Q, RJL Systems, Detroit) e a avaliação por absortometria de raios X de dupla energia (DEXA), utilizando o medidor (modelo DPX-L, LUNAR Radiation, Madison, WI). Concluíram que todas as técnicas forneceram diferentes estimativas do percentual de gordura corporal dos idosos, não podendo afirmar entre elas qual a mais eficaz e que os modelos de BIA-RJL e Jackson & Pollock (1978) foram os únicos que não apresentaram diferenças significativas na comparação das médias das densidades, contudo não apresentaram boa concordância. Concluíram que ainda se constitui como um problema a escolha do melhor modelo de medição de bioimpedância e dobras cutâneas para estimar a composição corporal em indivíduos idosos e que as limitações do DEXA não permitem escolhê-lo como método referência. Apesar dessas diferenças significativas, as comparações dos modelos são necessárias, pois permitem identificar as limitações de cada método.

Com a finalidade de comparar a estimativa do percentual de gordura obtido pelas técnicas da bioimpedância, das medidas de dobras cutâneas e da pesagem hidrostática, Rodrigues *et al*. (2001) realizaram medidas em 25 indivíduos voluntários da raça branca, do sexo masculino e com idade variando entre 19 e 36 anos, em sua maioria universitários e militares, recrutados entre os alunos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e da Universidade da Força Aérea. Essas medidas de bioimpedância foram realizadas, utilizando-se os aparelhos A-310 (Byodinamics Corporation, EUA), BF-900 e BF-906 (Maltron, Reino Unido) e o modelo 101 (RJC Inc., EUA), seguindo o protocolo de Lukaski

et al. (1986). As medidas de dobras cutâneas foram realizadas com a utilização de um plicômetro (Lange, EUA). A pesagem hidrostática foi realizada, utilizando-se um tanque próprio, e, para a determinação da massa submersa, foi utilizada uma balança (Kratus, Brasil) com exatidão de 5 g. Os modelos de medição de Jackson & Pollock (1978), do somatório de 3 e 7 dobras cutâneas, foram utilizados para predizer o percentual de gordura corporal e para a pesagem hidrostática. O volume residual pulmonar foi estimado pelo modelo de Goldman e Becklake (1959), determinando-se a densidade corporal, e, para se predizer o percentual de gordura corporal, foi usado o modelo de medição de Siri (1961). Utilizaram a técnica da pesagem hidrostática como padrão. Foi realizada uma análise estatística, obtendo-se, entre outros, os seguintes resultados: a) não foram constatadas diferenças significativas nas medidas de bioimpedância, entre si, para o percentual de gordura estimado; b) as medidas dos aparelhos A-310 e BF-906 não coincidiram com as realizadas pela pesagem hidrostática; c) em geral, o erro padrão de estimativa apresentado pela bioimpedância foi alto; d) as técnicas de dobras cutâneas apresentaram coeficientes de correlação maiores e erro padrão de estimativa menor com a pesagem hidrostática, quando comparados com os da bioimpedância. Os resultados evidenciaram haver concordância na obtenção do percentual de gordura corporal pela bioimpedância, porém a técnica de dobras cutâneas mostra-se tão ou mais confiável para tanto. Concluíram, ainda, que a bioimpedância continua a ser uma técnica de futuro promissor, precisando de mais estudos, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos específicos. Entretanto, a técnica de dobras cutâneas, conforme a metodologia/modelos propostos por Jackson & Pollock (1978), mostra-se uma boa opção de utilização para a estimativa confiável da gordura corporal.

Segundo Rush *et al*. (2003), o índice de massa corporal nos adultos é amplamente utilizado para se definir o limiar para o sobrepeso ou obesidade, e existe uma bibliografia ampla relacionando esse índice às medidas do percentual de gordura corporal. Esse estudo teve como objetivo estimar o percentual de gordura corporal, comparando as medidas por meio do índice de massa corporal e da bioimpedância, de crianças da Nova Zelândia, Maori e Ilhas Pacíficas. O grupo de estudo foi composto por 172 crianças, sendo 83 do sexo masculino e 89 do sexo feminino, com média de idade de 9,4 anos, variando entre 5 e 14 anos. Foram observadas como variáveis a estatura, a massa corporal, o sexo e a etnia. A massa magra foi obtida das medidas da massa corporal total, por meio da diluição do deutério, e a resistência e reatância foram medidas pela análise da bioimpedância.

Verificaram que, para um índice de massa corporal fixo, as meninas de Maori e das Ilhas Pacíficas tinham média 3,7% a menos que o percentual de gordura corporal das meninas europeias. Uma relação similar não foi encontrada para os meninos, pois o índice de massa corporal não influencia significativamente no percentual de gordura corporal dos meninos europeus. Baseando-se na medição por bioimpedância, foi desenvolvido um modelo de medição preditiva simples, para ser utilizado com os dados de todas as crianças. Verificaram, ainda, que a idade, o sexo e a etnia não foram preditores significativos. Devido à necessidade de desenvolvimento de um modelo de medição robusto para estimativa de massa magra para as crianças da Nova Zelândia, de Maori e das Ilhas Pacíficas, concluíram ser mais adequada que o índice de massa corporal utilizado na determinação do percentual de gordura corporal nesse estudo.

De acordo com Giampietro *et al*. (2003), os modelos de Jackson & Pollock (1978), freqüentemente utilizados por atletas, e os modelos de Sloan-Weir foram empregados para predizer a densidade corporal, conhecendo-se as medidas de dobras cutâneas. Desse estudo, obteve-se uma amostra de 35 atletas lutadores de karatê, divididos em dois grupos: 14 atletas profissionais e 21 atletas amadores. Concluíram, após a análise dos resultados, que a composição corporal (CC) dos grupos de atletas praticantes de karatê em um nível competitivo alto e médio foi semelhante.

Em se tratando de Glaner (2005), foi analisada a validade concorrente de modelos de medição de bioimpedância para estimar a massa magra e o percentual de gordura corporal em homens. Para isso, foi utilizada como critério, para mensurar a massa magra e o percentual de gordura corporal, a absortometria de raios X de dupla energia, e, na obtenção dessas variáveis oriundas dos modelos de bioimpedância, utilizou-se o Biodinamics (modelo 31). Os modelos de bioimpedância analisados foram: dois de Carvalho & Pires Neto (1998), um de Rising *et al*. (1991), um de Oppliger *et al*. (1991), dois de Segal *et al*., (1988). Os critérios propostos por Lohman (1991) foram utilizados nessa validação. Obtiveram-se todas as correlações altas e significativas, e o modelo de medição de Segal *et al*. (1988), para homens com percentual de gordura corporal maior ou igual a 20% apresentou validade concorrente muito boa, para se estimar a massa magra da amostra estudada com um erro padrão de estimativa de 0,90 kg.

Em relação a Wang *et al*. (2006), foi realizado um estudo para validação de um scaner fotônico tridimensional (3DPS) para medidas de volume corporal, circunferências e percentual de gordura corporal, tomando-se como técnica padrão a pesagem hidrostática.

Essa técnica foi utilizada na década passada, na indústria de modas e para levantamento epidemiológico com o propósito de estimar medidas do corpo humano. Foi utilizada uma amostra de 92 indivíduos, sendo 44 mulheres e 48 homens, com idade variando entre 6 e 83 anos e massa corporal entre 23 e 182 kg. Todos os indivíduos foram mensurados com o 3DPS e uma fita métrica. O procedimento da pesagem hidrostática e o da medida do volume residual pulmonar foram realizados em 63 indivíduos. Não foram evidenciadas diferenças significativas referentes às medidas realizadas com o 3DPS e à pesagem hidrostática ($p < 0,0001$). Concluíram que o 3DPS, mede com exatidão, o volume corporal, circunferência e comprimento.

Recentemente, Fonseca *et al*. (2007) validaram modelos que estimam a densidade corporal em atletas profissionais de futebol, tendo, para isso, analisado 11 modelos de medição antropométricos por meio de procedimentos estatísticos, como a correlação de Pearson, o teste t dependente, o erro central, o erro total e o erro padrão de estimativa, utilizando a pesagem hidrostática como técnica padrão para a estimativa da densidade corporal. Verificou-se que apenas os modelos de três e sete dobras cutâneas, propostos por Jackson e Pollock (1978), são válidos para a estimativa da densidade corporal nos atletas analisados.

Em estudo realizado por Guedes & Rechenchosky (2008), com o objetivo de determinar a concordância entre os valores de gordura corporal estimados por modelos de medição envolvendo medidas de espessuras de dobras cutâneas e modelos envolvendo valores equivalentes ao índice de massa corporal (IMC). Esse estudo afigurou-se como uma tentativa de oferecer informações quanto à opção por métodos de maior praticidade para serem empregados na análise da composição corporal. Utilizaram uma amostra composta por 431 universitários do curso de Educação Física da Universidade Estadual de Londrina, sendo 174 do sexo feminino e 257 do sexo masculino. Realizaram as medidas de estatura, massa corporal e espessuras das dobras cutâneas. Selecionaram quatro modelos de medição para cada sexo, para predizer os valores de densidade corporal como referencial da quantidade de gordura corporal, envolvendo o somatório das medidas de espessura de três e quatro dobras cutâneas, propostos por Jackson & Pollock (1978), Jackson *et al*.,(1980), Durnin & Womersley (1974), Petroski (1995) e Guedes & Guedes (1991). Utilizaram o modelo de medição desenvolvido por Siri (1961), baseando-se nos valores de densidade corporal preditos por cada modelo, para estimar a proporção de gordura corporal relativa ao peso corporal (%Gordura). Optaram pelo modelo desenvolvido por Deurenberg

et al.(1991), para estimar o %Gordura, envolvendo os valores equivalentes ao IMC, as informações quanto ao sexo e à idade cronológica, completando o grupo das variáveis independentes. Verificaram a ocorrência de importantes variações que podem fragilizar eventual tentativa de comparação entre os valores de %Gordura estimados pelos modelos, envolvendo medidas de espessura das dobras cutâneas e pelo modelo IMC. Sugeriram que, em estudos futuros, possam ser realizadas análises comparativas entre os valores de %Gordura estimados pelas medidas de espessura de dobras cutâneas e pelo IMC diante de indicadores quanto à quantidade de gordura corporal de maior grau de validade e exatidão, como é o caso da técnica de pesagem hidrostática.

Gobbo *et al.* (2008), realizaram um estudo com o objetivo de validar modelos de medição antropométricos para estimativa da massa magra por meio de absortometria radiológica de dupla energia (DEXA) em universitários brasileiros do sexo masculino. Selecionaram, de forma voluntária, 131 estudantes universitários do sexo masculino, com faixa etária entre 18 e 36 anos, pertencentes aos cursos de educação física e em esportes, da Universidade Estadual de Londrina. Realizaram as medidas antropométricas de massa corporal, de estatura, de circunferências (braço, antebraço, coxa medial e panturrilha) e de dobras cutâneas (tríceps, bíceps, suprailíaca, coxa medial e perna medial). Utilizaram a DEXA como método de referência, que forneceu o valor da massa magra, em kg, adotado como a variável dependente para a validação dos demais modelos. Para o procedimento de validação cruzada utilizaram, quatro modelos, em que dois (Martin *et al.*, (1990) e Doupe *et al.*, (1997)) foram propostos a partir do método direto da dissecação de cadáveres, utilizando-se como variáveis independentes a estatura e as medidas de circunferências. Os outros dois, propostos por Lee *et al.* (2000), desenvolvidos a partir de métodos multicompartimentais, adotaram como variáveis independentes a estatura, as medidas de circunferências, a massa corporal, além das variáveis discretas, como sexo, idade e raça. Concluíram que dos dois modelos propostos por Lee *et al.* (2000), o primeiro foi validado, R = 0,83, coeficiente de determinação R^2 = 0,68, erro padrão de estimativa EPE = 2,08 kg, erro constante EC = 0,21 kg e erro total ET = 2,09 kg.

CAPÍTULO III

SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA BASEADO EM MICROCONTROLADOR UTILIZANDO CÉLULA DE CARGA

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, procurou-se apresentar o sistema de pesagem hidrostática baseado em microcontrolador utilizando célula de carga (SPHμCel), desenvolvido e validado por Cursino (2003), que foi utilizado neste estudo para a determinação das medidas de massa corporal e massa corporal submersa dos indivíduos. Apresentou-se, também, o processo de validação ao qual este foi submetido.

3.2 SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA

Este sistema é composto por duas células de carga, dois amplificadores diferenciais, um relé, um conversor analógico digital, um oscilador, um microcontrolador, um teclado e um display. O diagrama de blocos do SPHμCel está apresentado na Figura 3.1.

As células de carga utilizadas foram do tipo Z de tração e de fabricação da Alfa Instrumentos.

A célula de carga 1 com capacidade de 300 kg e a célula de carga 2 com capacidade de 20 kg foram utilizadas para medir a massa dos indivíduos no ar e submerso, respectivamente. As células de carga apresentaram as seguintes características: erro combinado < 0,03 % da saída nominal, tempo mínimo de medida de 1 s, alimentada por 10 V e sensibilidade de 2 mV/V.

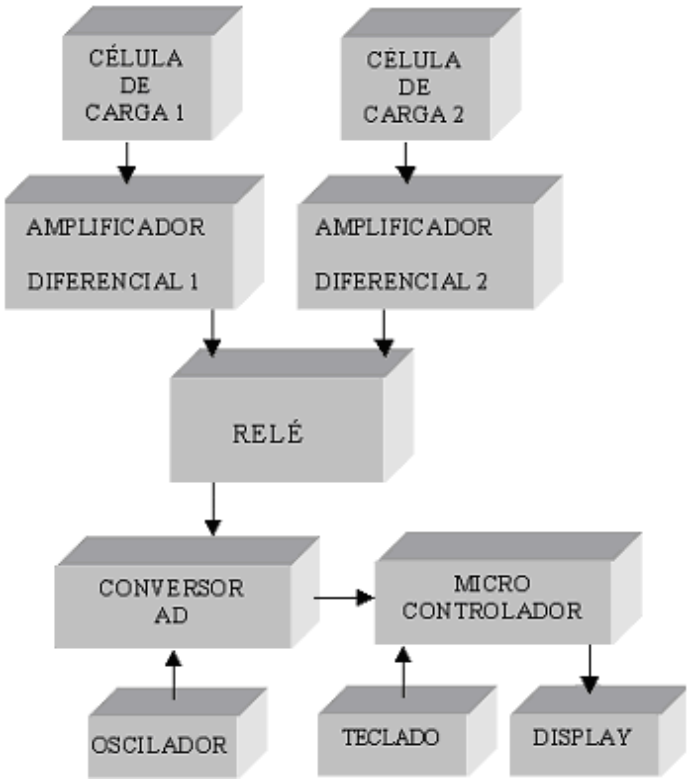


Figura 3.1 – Diagrama de blocos do sistema baseado em microcontrolador de pesagem hidrostática usando célula de carga.
Fonte: Cursino (2003).

O componente OP07 fabricado pela Analog Devices, utilizado na função do amplificador diferencial de instrumentação, possui a característica de não variar a tensão de desvio mais que 1,5 μV/mês, o que torna possível a realização de medidas para dar resposta próxima a um valor verdadeiro convencional. Outra característica muito importante é o fato de possuir uma rejeição de modo comum típica de 123 dB, o que permite que sejam medidos sinais, mesmo em um ambiente ruidoso.

O relé utilizado é do tipo duplo, reversível, em que um dos contatos foi usado para comutar a alimentação das células de carga, e o outro foi usado para selecionar qual dos dois amplificadores diferenciais terá a sua informação conduzida ao conversor analógico digital.

Utilizou-se o CI 7414 com portas inversoras com objetivo de desenvolver o oscilador cuja frequência de operação foi de 120 kHz. Esta frequência é utilizada pelo

conversor analógico digital para garantir uma melhor rejeição a ruídos provenientes de 50 Hz e 60 Hz e suas harmônicas.

O conversor analógico digital utilizado foi o CAD ICL 7135, 4 ½ dígitos com saídas BCD multiplexadas fabricado pela Maxim. Ele é um circuito clássico utilizado para instrumentação, de dupla rampa e resolução de ± 20.000 divisões. O CAD foi alimentado com tensão unipolar de 5 V e centrado em 2,5 V (zero analógico) e garante ± 1,5 V de amplitude; funciona com amostragem e tem a função de centralizar a frequência de tal forma que estas frequências a serem prejudicadas na conversão sejam as múltiplas da frequência da rede elétrica residencial, neste caso 60 Hz. Ele recebe o sinal do oscilador com uma frequência de 120 kHz.

O microcontrolador AT 89S8252 da Atmel de 8 bits foi utilizado nesse projeto e possui as seguintes características: 2K octetos de memória EEPROM; 256 octetos de memória RAM; interface serial síncrona; porta serial; 3 contadores/temporizadores de 16 bits e 8 K octetos de memória flash.

O Display utilizado neste estudo foi o IDC 2 x 8 M de cristal líquido de 2 linhas 16 colunas, muito utilizado no mercado e com melhor solução, respeitando-se a relação custo-benefício.

Com a finalidade principal de programar a forma de operação do hardware e de definir suas condições iniciais de funcionamento, o firmware foi escrito na linguagem C e apresentou as seguintes funções: seleção das células de carga; calibração das células de carga; gravação das medidas; visualização das medidas; zerar registros; mudar de sequência.

A forma de acesso que o observador tem de interagir com o SPHµCel é por meio do teclado. Na Figura 3.2, pode ser observado um conjunto de quatro teclas que constitui o teclado desse equipamento e, quando acionadas, as seguintes funções são executadas por meio do firmware:

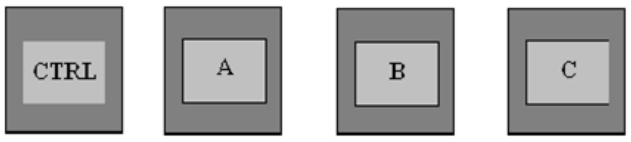


Figura 3.2 Teclado do SPHµCel.

Fonte: Cursino (2003).

- **Seleção da tecla A**: quando a tecla A é selecionada, realiza-se a comutação por meio do relé, recebendo o comando do microcontrolador entre as células de carga de 20 kg e a célula de carga de 300 kg;
- **Seleção da tecla B**: a função executada, quando a tecla B é pressionada, permite o acesso aos registros de forma linear, disponibilizados de forma visual no display, partindo, inicialmente, do primeiro registro ao último registro;
- **Seleção da tecla C**: a gravação dos registros acontece toda vez que a tecla C for pressionada. Nesta opção, mantém-se a mesma sequência e se grava tantos registros quanto o observador desejar, até o limite de 99 registros;
- **Seleção das teclas A e B simultaneamente**: quando as teclas A e B são pressionadas simultaneamente, realiza-se o ajuste eletrônico do SPHµCel. Para sair da função ajuste eletrônico, pressiona-se a tecla A;
- **Seleção das teclas CTRL e A simultaneamente**: quando as teclas CTRL e A são pressionadas simultaneamente, realiza-se a função de zerar o marcador, zero eletrônico, ou seja, realiza-se a compensação do peso devido ao porta peso ou ao trapézio utilizado na pesagem hidrostática;
- **Seleção das teclas CTRL e B simultaneamente**: o contador de registros é zerado toda vez que as teclas CTRL e B forem pressionadas simultaneamente.
- **Seleção das teclas CTRL e C simultaneamente:** um incremento de sequência é necessário toda vez que se mudar a massa ou o indivíduo que será pesado. Este incremento é obtido pressionando-se as teclas CTRL e C simultaneamente.

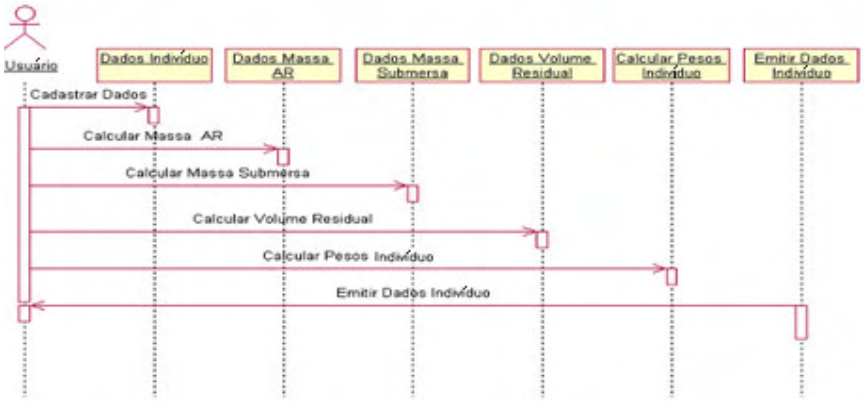


Figura 3.3 – Diagrama de sequência do SisPH.

Fonte: Cursino (2003).

Na Figura 3.3, mostra-se o diagrama de sequência do software desenvolvido, denominado de sistema de pesagem hidrostática (SisPH), executado no microcomputador, para determinação da composição corporal, por meio dos dados obtidos pelo SPHµCel. Este foi elaborado em linguagem Delphi 3.0 e realiza os cálculos da densidade corporal, do percentual de gordura, da massa magra e da massa gorda dos indivíduos.

Na Figura 3.4, mostra-se o sistema baseado em microcontrolador, utilizando-se célula de carga.

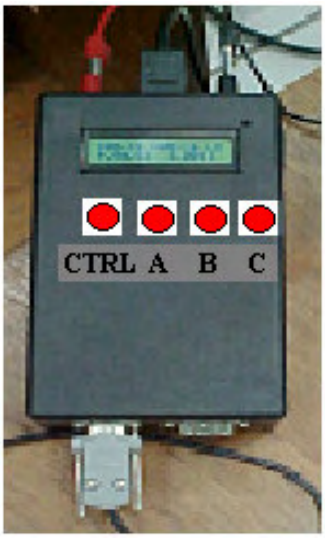


Figura 3.4 Sistema de pesagem hidrostática baseado em microcontrolador utilizando célula de carga.
Fonte: Cursino, 2003.

3.3 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA

Um conjunto de massas, com valores entre 0,5 kg e 5,0 kg, submeteu-se ao procedimento de calibração, com objetivo de validar o SPHµCel, de acordo com os certificados de números 1177/2003 e 1178/2003, emitidos pela TECLABOR LTDA e estão disponibilizados no ANEXO A.

Foi utilizado um dinamômetro, equipamento tradicional usado na pesagem hidrostática, em série com a célula de carga e com um dispositivo para colocar as massas calibradas, com o objetivo de realizar a comparação entre os dois equipamentos e a

validação do SPHμCel, como pode ser observado na Figura 3.5. O microcomputador foi usado para receber as informações do SPHμCel e para executar os cálculos por meio do SisPH.

Figura 3.5 - SPHμCel, dinamômetro, célula, massas calibradas e microcomputador.
Fonte: Cursino (2003).

Foram realizados três procedimentos para a calibração e validação do equipamento, com o objetivo de verificar se o equipamento apresenta reprodutibilidade, repetitividade e se as medidas com ele realizadas se aproximam do valor verdadeiro convencional. Para a realização desses procedimentos, utilizou-se um dinamômetro acoplado em série com uma célula de carga e um dispositivo para a colocação da massa, efetuando-se a compensação, zerando-se mecanicamente o dinamômetro e eletronicamente o SPHμCel. Os procedimentos foram os seguintes:

- Medidas de massa submersa em que as massas calibradas foram combinadas de modo a obter 18 medidas de massa;
- Medidas de massa em que as massas calibradas foram combinadas de modo a obter 26 medidas. Para cada conjunto de massas, esse processo foi repetido 6 vezes, sendo obtida a média aritmética destas;

- Medidas de massa em que as massas calibradas foram combinadas, efetuadas 16 medidas e repetidas 6 vezes em curto período de tempo, com o mesmo observador e no mesmo local, totalizando 96 medidas.

Por reprodutibilidade, entende-se o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, efetuadas sob condições variadas de medição (VIM, 2007).

Enquanto a exatidão é a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro (VIM, 2007), a repetitividade reflete o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição (VIM, 2007).

3.3.1 Análise do Conjunto de Massas Calibradas Submersas

Neste conjunto de massas calibradas, foram realizadas 18 medidas e, ao serem analisadas, as amostras pareadas de massa submersa, utilizando a célula de carga (MSub(CÉLULA)), e a massa submersa, utilizando o dinamômetro (MSub(DINA)), apresentaram uma correlação (R) igual a 1,000, de acordo com o Gráfico 3.1, concluindo que o sistema tem reprodutibilidade. Foi verificado que, ao se aplicar o teste t de Student nas amostras pareadas, houve diferenças significativas (p = 0,001) quando comparados os valores de MSub(CÉLULA) e MSub(DINA).

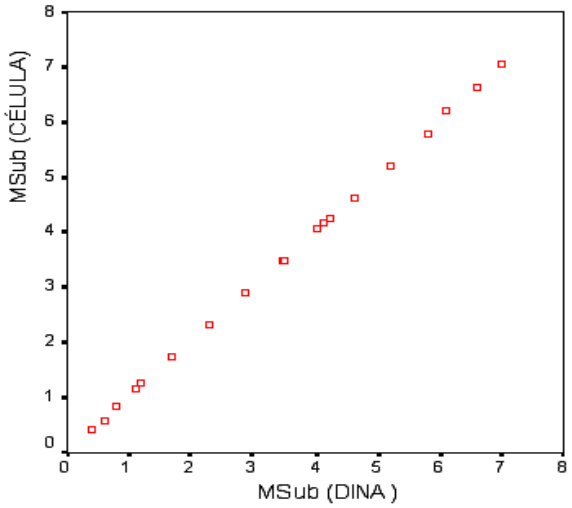


Gráfico 3.1 – Massas calibradas - Correlação entre MSub(célula) e MSub(dinamômetro).
Fonte Cursino (2003)

3.3.2 Conjunto de 26 Medidas de Massas Calibradas

Foram realizadas 26 medidas do conjunto de massas calibradas, e, procedeu-se à análise estatística das amostras pareadas de MCal x M(DINA), MCal x M(CÉLULA) e M(CÉLULA) x M(DINA), em que MCal = massa calibrada; M(DINA) = massa medida com o dinamômetro; M(CÉLULA) = massa medida com a célula de carga. Todos os grupos apresentaram uma correlação R = 1,000, concluindo, portanto, que o sistema com o dinamômetro e o SPHμCel apresentam reprodutibilidade. Foram evidenciadas diferenças significativas quando comparados os valores das MCal com as M(DINA) e M(CÉLULA) e M(DINA) (p = 0,000), porém, quando comparadas as MCal com as M(CÉLULA), não houve diferenças significativas (p = 0,273). Chegou-se à conclusão de que o SPHμCel, além de apresentar reprodutibilidade, as medidas por ele realizadas se aproximam do valor verdadeiro convencional.

3.3.3 Análise do Conjunto de 16 Medidas de Massas Calibradas

Neste conjunto de massa calibrada, foram realizadas 16 medidas, com procedimento repetido 6 vezes em um curto espaço de tempo pelo mesmo observador. A análise compreendeu a comparação entre as MCal x M(DINA), MCal x M(CÉLULA) e M(CÉLULA) x M(DINA) por meio da ANOVA Oneway com medidas repetidas, seguidas de testes Post-Hoc de Scheffe. Foi realizado o teste de homogeneidade das variáveis dos 6 momentos, e não foram evidenciadas diferenças significativas. Observou-se que, quando comparados os momentos dos valores médios obtidos por meio da MCal, M(CÉLULA) e M(DINA), não foram evidenciadas diferenças significativas.

A incerteza expandida da massa medida pelo sistema, considerando-se a propagação da incerteza da massa calibrada, obtida para a massa de valor nominal 5000 g, é igual a 8,1 g com um fator de abrangência $k_{95\%}$ = 2,65.

3.4 PESAGEM HIDROSTÁTICA COM HUMANOS UTILIZANDO O SISTEMA

Com uma amostra composta por 78 indivíduos escolhidos de forma aleatória, sendo 62 indivíduos do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos e 16 indivíduos do sexo feminino com idade entre 21e 25 anos, realizaram-se todas as medidas necessárias

para a determinação da densidade corporal, do percentual de gordura, da massa gorda e da massa magra.

O SPHµCel foi utilizado para medir a massa corporal do indivíduo (selecionando a célula de carga de 300 kg) e para a medida da massa submersa do indivíduo (selecionando a célula de carga de 20 kg). Essas medidas foram realizadas, ao mesmo tempo, com o dinamômetro acoplado à célula de carga.

Utilizou-se para a realização da pesagem hidrostática um tanque construído em fibra de vidro com reforço de madeira, com dimensões 2,00 m x 1,50 m x 1,50 m, fixando o dinamômetro em série com a célula de carga por uma corrente de aço, a uma barra de ferro em formato de U com 1,50 m de largura e 1 m de altura, suspensos na parte superior do tanque a 1,50 m de altura e apoiados em lados opostos da caixa como pode ser observado na Figura 3.6. Ao dinamômetro, foi fixado um suporte de pesagem de formato U, para fixação do indivíduo no momento da pesagem.

Figura 3.6. Tanque em fibra de vidro, dinamômetro e célula de carga associados em série para pesagem hidrostática.
Fonte: Cursino (2003).

No que diz respeito à análise das MSub, observa-se, no Gráfico 3.2, que, quando correlacionadas a MSub(CÉLULA) com a MSub(DINA), tais medidas apresentaram uma correlação R = 0,996. Foram evidenciadas diferenças significativas (p = 0,001), quando comparadas a MSub(CÉLULA) com a MSub(DINA).

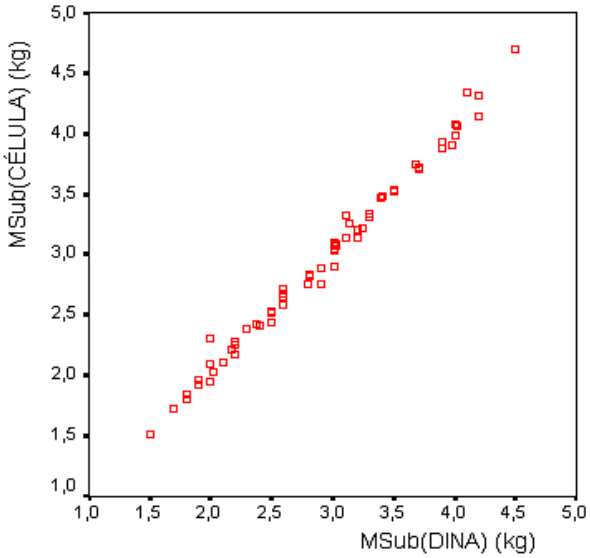


Gráfico 3.2 – Indivíduos - Correlação entre a MSub(célula) e MSub(dinamômetro).
Fonte: Cursino (2003)

Observa-se que o SPHµCel apresenta repetibilidade, reprodutibilidade, e as medidas com ele realizadas se aproximam do valor verdadeiro convencional das massas calibradas, não havendo diferenças significativas. É um equipamento robusto, portátil, podendo, portanto, ser conduzido para qualquer lugar, para realização de medidas no campo. Para o seu funcionamento, não é necessário que esteja acoplado a um microcomputador. O SPHµCel tem a capacidade de armazenamento dos dados de até 99 medidas e, após a realização dessas medidas no campo, ao chegar ao laboratório, os dados serão transferidos para o microcomputador por meio da porta RS-232, comunicando-se com o SisPH para o processamento de todos os cálculos da composição corporal dos indivíduos.

Quando o avaliador entender que está no momento exato da medida, aciona a tecla gravar (tecla C), e o SPHµCel irá gravar a média das últimas 8 medidas dos três últimos segundos. Para a aquisição dessa medida, o avaliador focará a sua atenção, apenas, no indivíduo, observando o seu posicionamento, o seu comportamento, e, em nenhum momento, será necessário desviar a atenção para observar o equipamento. Sendo assim, o avaliador acionará a tecla "gravar" apenas no momento do registro da medida. Portanto, verifica-se que todas as dificuldades encontradas por meio da leitura dinâmica na pesagem hidrostática com o dinamômetro foram superadas e atendidas com a utilização do SPHµCel.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 INTRODUÇÃO

Foram utilizadas, na realização deste estudo, as instalações do Centro de Excelência Esportiva (CENESP), localizado na Escola Superior de Educação Física da Universidade de Pernambuco, onde foram disponibilizados todos os equipamentos necessários para a coleta de dados, laboratórios e recursos humanos.

Foi confeccionada uma ficha para o registro de dados antropométricos (APÊNDICE A) bem como as instruções para testes de avaliação da composição corporal (APÊNDICE B). Todos os voluntários assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE C), de acordo com as normas éticas exigidas pela Resolução n^{o} 1961, do Conselho Nacional de Saúde (AGUIAR, 1998).

Cada voluntário foi submetido a duas técnicas de avaliação corporal, realizadas num único dia. A coleta de dados foi realizada sempre pelo mesmo avaliador, obedecendo à sequência de medidas de: estatura; massa corporal; volume residual pulmonar; dobras cutâneas; pesagem hidrostática; densidade da água.

O protocolo para a realização do estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco - CEP/UPE sob o registro CEP/UPE: 006/07 e F.R. SISNEP 120941 (ANEXO B).

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa do tipo descritivo correlacional, pois tem como objetivo desenvolver e validar modelos de medição específicos para a estimativa da densidade corporal em homens e mulheres com idade variando entre 18 e 35 anos, tomando-se como método de referência o procedimento indireto da pesagem hidrostática.

Neste capítulo, buscou-se apresentar a metodologia e os materiais utilizados para o desenvolvimento deste estudo. Trabalhou-se na formação das amostras a serem utilizadas para o desenvolvimento e para a validação dos modelos de medição bem como nos procedimentos das medidas antropométricas dos indivíduos.

4.2 POPULAÇÃO DE ESTUDO

A população de estudo foi composta por universitários adultos da Universidade de Pernambuco, oriundos dos cursos de Educação Física, Ciências Biológicas, Medicina, Odontologia e Enfermagem.

4.3 AMOSTRA DE ESTUDO

A amostra foi composta por 199 alunos voluntários, sendo 62 indivíduos do sexo feminino com idade entre 18 e 27 anos e 137 indivíduos do sexo masculino com idade entre 18 e 35 anos.

A formação dos grupos masculino e feminino foi realizada de modo intencional, buscando a participação, nesse estudo, de indivíduos saudáveis, adaptados ao meio líquido, praticantes ou não de programas de treinamento ou exercícios físicos orientados, tendo caráter não aleatório, pois os indivíduos foram selecionados por voluntariedade, convidados por meio de cartazes fixados ou por comunicações verbais, nas unidades de ensino.

Com o objetivo de desenvolver e validar modelos de medição específicos para estimar a densidade corporal de indivíduos do sexo feminino, dividiu-se a amostra de 62 mulheres, de forma aleatória, em duas subamostras:

- A primeira, chamada de subamostra de regressão composta por 46 indivíduos, com o objetivo de desenvolvimento dos modelos de medição para estimar a densidade corporal;
- A segunda subamostra composta por 16 indivíduos que não participaram da subamostra de desenvolvimento, com o objetivo de realizar a validação dos modelos gerados.

A amostra do sexo masculino composta por 137 indivíduos, utilizando o processo aleatório, foi dividida em três subamostras:

- A primeira, denominada de subamostra de regressão, composta por 84 indivíduos, utilizada com o objetivo de proceder ao desenvolvimento de modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino;
- A segunda, chamada de subamostra de validação, formada por 28 indivíduos que não participaram da amostra de regressão, teve a finalidade de proceder à validação dos modelos de medição desenvolvidos neste estudo;
- A terceira, nomeada de subamostra de validação cruzada, formada por 25 indivíduos que não participaram da subamostra de desenvolvimento nem da subamostra de validação dos modelos, teve como objetivo a realização da validação cruzada dos modelos de medição desenvolvidos neste estudo bem como a de 6 modelos desenvolvidos por outros autores.

4.4 PROCEDIMENTOS ANTROPOMÉTRICOS

As medidas realizadas nos indivíduos tiveram como objetivo determinar a estatura, a massa corporal, o volume residual pulmonar, a espessura das dobras cutâneas, a pesagem hidrostática e, por consequência, a densidade corporal.

4.4.1 Medida da Estatura

Com o objetivo de medir a estatura dos indivíduos, utilizou-se um estadiômetro de madeira com divisão de escala de 0,1 cm. Seguindo as orientações de Gordon et al., (1988) providenciou-se para que o indivíduo estivesse descalço, em posição ereta, com os pés unidos, calcanhares, nádegas, costas e parte posterior da cabeça em contato com a escala. Utilizou-se um cursor, registrou-se a estatura que compreendeu a distância entre a planta dos pés e o ponto mais alto da cabeça – vértex - (orientada no plano de Frankfurt), estando o indivíduo em expiração máxima.

4.4.2 Medida da Massa Corporal

Para medir a massa corporal, adotou-se o SPHμCel (Sistema de Pesagem Hidrostática baseado em Microcontrolador utilizando Célula de Carga), desenvolvido e validado por Cursino (2003), Cursino et al., (2003). Utilizou-se a célula de carga, com capacidade de 300 kg (selecionada ao pressionar a tecla A), que foi fixada em um

suporte por meio de uma corrente de aço e, na outra extremidade, uma cadeira tipo rapel, que teve a sua massa compensada (ao selecionar as teclas CTRL e A simultaneamente), sendo realizada a função de eliminar o erro no zero (zero eletrônico). O indivíduo vestindo a menor quantidade de roupa possível para não interferir nos resultados da medida da massa corporal, posicionou-se na cadeira a fim de ter sua massa medida. O avaliador pressionou a tecla C e o equipamento gravou e armazenou o resultado da massa corporal (CURSINO et al., 2009b).

4.4.3 Determinação da Densidade da Água

Para a determinação da densidade da água, com o objetivo de ser utilizada no processo da pesagem hidrostática, usou-se um densímetro com capacidade de 0,700 a 1,000 g/cm^3, com divisão de escala de 0,003 g/cm^3.

4.4.4 Realização da Pesagem Hidrostática

Para a realização da pesagem hidrostática, utilizou-se um tanque, construído especificamente para esse fim, em fibra de vidro com reforço de madeira, com dimensões 2,00 m de comprimento, 1,50 m de largura e com 1,50 m de altura, no qual foi fixada uma haste de ferro em formato de "U" com 1,50 m de largura e 2,5 m de altura como pode ser observado na Figura 4.1. O nível da água foi mantido em relação ao piso do tanque a uma altura de 1,30 m.

Figura 4.1 – Tanque de pesagem hidrostática e posicionamento da célula de carga.
Fonte: Cursino (2003)

Optou-se pelo uso do SPHµCel (Sistema de Pesagem Hidrostática baseado em Microcontrolador utilizando Célula de Carga), para a realização da pesagem hidrostática, uma vez que possibilitou a automação do processo, fornecendo como resultado da medida um valor que não depende da decisão do avaliador. Quando este entender que está no momento ótimo de medição, ou seja, quando o indivíduo submerso em água já tiver expelido o ar dos pulmões por meio de uma expiração forçada, permanecendo em apneia (ausência de respiração), o avaliador aciona a tecla C (função gravar registro) do equipamento que processa a gravação dessa medida.

Com o objetivo de medir a massa submersa do indivíduo, utilizou-se a célula de carga de 20 kg que foi fixada a uma corrente de aço, como pode ser observado na Figura 5.1.

À célula de carga foram fixadas duas correntes de aço com comprimento aproximado de 1 m cada. Nas extremidades dessas correntes, foi fixado um trapézio tubular de formato "U", construído em PVC, cano de 50 mm, com dimensões 50 cm x 100 cm x 50 cm, como observado na Figura 4.2. O trapézio foi utilizado e serviu de apoio aos indivíduos no momento da pesagem hidrostática.

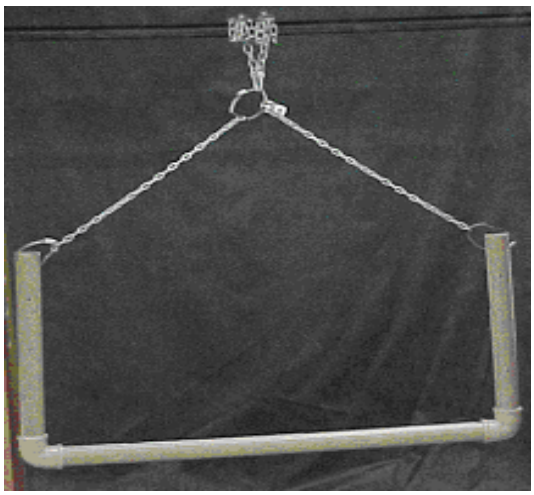


Figura 4.2 – Trapézio tubular usado para o indivíduo se apoiar durante a realização da pesagem hidrostática.
Fonte: Cursino (2003)

A massa submersa do indivíduo foi medida na posição grupada e seguiu a descrição sugerida por Petroski & Pires Neto (1992). O indivíduo posicionou-se com os braços cruzados e elevados à frente, formando um ângulo de ± 90^{o} em relação ao

tronco, tocando a mão direita no antebraço esquerdo, próximo ao cotovelo e vice-versa. Em seguida, submergiu o corpo até ficar suspenso no trapézio pelos braços, apoiando lentamente o peso do corpo, seguido da elevação dos joelhos em direção ao peito, quando, então, as mãos seguraram os joelhos, assumindo a posição grupada.

A pesagem hidrostática de cada indivíduo foi realizada com o sujeito, totalmente submerso e motivado a executar o máximo esforço expiratório. De acordo com o observado na Figura 4.3, verifica-se que o indivíduo está flutuando devido à quantidade de ar armazenada nos pulmões, não constituindo o momento ideal da medida, pois se encontra em posição instável. Pode-se observar que a corrente do trapézio tubular não se encontra totalmente tensionada (CURSINO et al., 2009b).

Figura 4.3 – Indivíduo submerso executando o máximo esforço expiratório.
Fonte: Cursino (2003)

Após a execução da expiração máxima, o indivíduo manteve-se em apneia por um período aproximado de 5 a 10 segundos, e pode-se observar, na Figura 4.4, que o indivíduo encontra-se em posição estável, a corrente do trapézio totalmente tracionada, constituindo o momento ideal para a realização da medida pelo avaliador que, para proceder à gravação dessa medida, pressionou a tecla C do equipamento. Após cada tentativa, aguardou-se o restabelecimento do indivíduo, tendo sido o mesmo procedimento repetido de 7 a 10 vezes. Para a determinação da massa submersa, foram utilizados os procedimentos descritos por Behnke & Wilmore, (1974). Utilizou-se um cinto de mergulhador de massa igual a 1,8 kg na cintura do indivíduo, sempre que

necessário, com o objetivo de facilitar a estabilização deste no momento da pesagem. Nesse caso, antes de colocar o cinto no indivíduo, o avaliador realizou a pesagem hidrostática do cinto, selecionou as teclas CTRL e A simultaneamente, obtendo o zero eletrônico do equipamento, ou seja, compensando o peso do cinto.

Figura 4.4 – Indivíduo, após expiração máxima em apneia, constituindo o momento ideal para a realização da medida da massa submersa.
Fonte: Cursino (2003)

Algumas recomendações para realização dos procedimentos da pesagem hidrostática foram observadas:

- Realização das medidas pela manhã, em que os indivíduos deveriam estar em jejum ou após um intervalo de, no mínimo, quatro horas após qualquer refeição;
- Mesmo com a recomendação acima, os indivíduos, na hora da pesagem hidrostática, foram orientados a esvaziarem a bexiga e o intestino, antes que as medidas fossem realizadas;
- Todas as medidas foram realizadas com os indivíduos trajando roupa de banho, tendo sido desprezado o peso destas.

4.4.5 Volume Residual Pulmonar

Foi estimado o volume residual pulmonar a partir do Modelo 3.1 (pág. 20) para os indivíduos do sexo masculino e do Modelo 3.2 (Pág. 21) para os indivíduos do sexo

feminino. Ambos os modelos foram desenvolvidos por Goldman & Becklake (1959), que levam em consideração o sexo, a idade e a estatura.

O valor do volume residual foi utilizado para o cálculo da densidade corporal na técnica da pesagem hidrostática.

4.4.6 Determinação da Densidade Corporal

Por meio do método da pesagem hidrostática, considerado como padrão, foi obtida a massa submersa. Com o objetivo de determinar a densidade corporal do indivíduo, utilizou-se o Modelo 4.1 de acordo com Behnke & Wilmore (1974).

$$D = \frac{MC}{\frac{(MC - MSub)}{Dágua} - (VR + 0{,}1)} \qquad (4.1)$$

Em que:

- D = densidade corporal do indivíduo, em g/cm^3;
- MC = massa corporal do indivíduo, em kg;
- MSub = massa corporal submersa do indivíduo na água, em kg;
- Dágua= densidade da água, em g/cm^3;
- VR = volume residual pulmonar, em litros (1 *l* = 1000 cm^3);
- 0,1 = constante de gás gastrointestinal (100 cm^3).

4.4.7 Cálculo do Percentual de Gordura

Por meio do conhecimento dos valores da densidade corporal, a próxima fase é a da determinação do percentual de gordura. De acordo com Guedes (1985), modelo de medição de Siri (1961) é o mais adequado a ser utilizado em populações jovens. Esse é o Modelo 4.2, que estabelece uma relação entre o percentual de gordura corporal e a densidade corporal.

$$\%G = \frac{495}{D} - 450 \qquad (4.2)$$

Em que:

- %G = percentual de gordura;

- D = densidade corporal do indivíduo, em g/cm^3.

De acordo com Siri (1961), para o desenvolvimento dessa fórmula, foi levado em consideração o uso da massa magra e da massa gorda.

4.4.8 Cálculo da Massa Gorda

Segundo Cursino (2003), como se trata de um modelo de dois compartimentos, a massa gorda do indivíduo é obtida pela multiplicação da massa corporal pela fração do percentual de gordura, de acordo com o Modelo 4.3.

$$MG = MC \times \frac{\%G}{100} \tag{4.3}$$

Em que:

- MG = massa gorda, em kg;
- MC = massa corporal, em kg;
- %G = percentual de gordura.

4.4.9 Cálculo da Massa Magra

Por sua vez, para a obtenção da massa magra, é necessário o conhecimento da massa corporal e da massa gorda que se relacionam por meio do Modelo 4.4, dando como resultado dessa diferença a massa magra.

$$MM = MC - MG \tag{4.4}$$

Em que:

- MM = massa magra, em kg;
- MC = massa corporal, em kg;
- MG = massa gorda, em kg.

4.4.10 Medidas da Espessura das Dobras Cutâneas

Para a medição das dobras cutâneas, foi utilizado um plicômetro científico da marca Cescorf, fabricado pela Cescorf em Porto Alegre, Brasil, possuindo as seguintes características:

- Instrumento de alta precisão;
- Relógio Mitutoyo modificado de alta precisão e sensibilidade;
- Base de alumínio polido;
- Cabo e protetor de nylon technyl;
- Molas de aço zincado de alta precisão;
- Ponteiras não metálicas para suavizar o contato com a pele do avaliado;
- Montagem em base de alumínio com revestimento epóxi;
- Resolução: 0,1 mm;
- Amplitude leitura: 88 mm;
- Pressão: 10 g/mm^2.

Foram medidas, em cada indivíduo do sexo masculino, as seguintes dobras cutâneas: bíceps, tríceps, subescapular, suprailíaca, abdominal, panturrilha, peitoral, axilar medial e da coxa. Para o sexo feminino foram medidas todas as dobras citadas acima, com exceção da peitoral. As medidas foram realizadas sempre no hemicorpo direito e repetidas três vezes sucessivas, em cada local, utilizando-se a média como o valor da medida ou o valor coincidente de duas medidas. O indivíduo se posicionou em posição agradável e com a musculatura relaxada, em posição ortostática, tendo a região a ser medida livre de qualquer roupa, seguindo os procedimentos definidos por Heyward & Stolarczyk (1996).

Para realizar a medida das dobras cutâneas, o tecido celular subcutâneo foi definido do tecido muscular por meio do polegar e do indicador da mão esquerda. Segurou-se a dobra com firmeza e, com a mão direita, posicionou-se o plicômetro perpendicularmente à dobra, distando aproximadamente 1 cm do polegar e do indicador. Realizou-se a leitura do plicômetro 2 segundos após este ter imprimido a compressão máxima.

Segue-se, apresentada nas figuras 4.5 até 4.13, uma descrição dos pontos anatômicos e dos procedimentos de medida das dobras cutâneas, de acordo com Heyward (1996).

Na Figura 4.5, pode-se observar o procedimento da medida da dobra cutânea do bíceps: determinada no sentido do eixo longitudinal do braço na sua face anterior, no ponto de maior circunferência aparente do ventre muscular do bíceps.

O procedimento da medida da dobra cutânea do tríceps: determinada paralelamente ao eixo longitudinal do braço, na face posterior, sendo seu ponto exato de

reparo a distância média entre a borda súpero-lateral do acrômio e o olecrano. Pode ser observada na Figura 4.6.

Figura 4.5 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea do bíceps.

Figura 4.6 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea do tríceps.

Na Figura 4.7, pode ser visto o procedimento de medida da dobra cutânea subescapular, obtida obliquamente ao eixo longitudinal, seguindo a orientação dos arcos costais, sendo localizada a dois centímetros abaixo do ângulo inferior da escápula.

Figura 4.7 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea subescapular.

Como pode ser verificado na Figura 4.8, o procedimento de medida da dobra cutânea suprailíaca é tomada no sentido oblíquo, a dois centímetros acima da crista-ilíaca ântero-posterior, na altura da linha axilar anterior, com a ajuda do avaliado que deve afastar levemente o braço para trás.

Figura 4.8 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea suprailíaca.

De acordo com o procedimento mostrado na Figura 4.9, a localização a partir do ponto de interseção da linha axilar média com uma linha imaginária horizontal, que passaria pelo apêndice xifoide, em que o indivíduo deverá deslocar o braço direito para trás, facilitando o manuseio do compasso, é o procedimento para medida da dobra cutânea axilar média.

Figura 4.9 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea axilar média.

A dobra cutânea abdominal, determinada paralelamente ao eixo longitudinal do corpo, aproximadamente a dois centímetros da direita da borda lateral da cicatriz umbilical, tem seu procedimento mostrado na Figura 4.10.

Figura 4.10 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea abdominal.

A dobra cutânea da coxa medial, de acordo com a Figura 4.11, tem o procedimento para sua determinação paralelamente ao eixo longitudinal da perna, sob o músculo do reto femural, a 2/3 da distância do ligamento inguinal e o bordo superior da rótula.

Figura 4.11 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea coxa medial.

Na Figura 4.12, pode se observar o procedimento para a medida da dobra cutânea da panturrilha medial, em que o avaliado deve estar sentado, com o joelho em

90º de flexão, com o tornozelo em posição anatômica e o pé sem apoio. Assim, é determinado o valor da espessura dessa dobra cutânea. Toma-se a dobra no sentido paralelo ao eixo longitudinal do corpo, na altura de maior circunferência da perna, destacando-se com o polegar apoiado no bordo medical da tíbia.

Figura 4.12 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea panturrilha medial.

A dobra cutânea peitoral, como mostrado na Figura 4.13, tem seu procedimento de medida no primeiro terço (proximal) da linha formada entre a axila anterior e o mamilo.

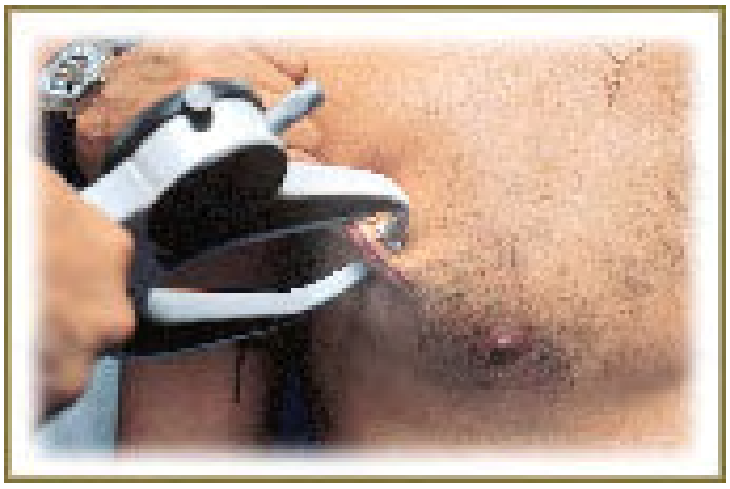


Figura 4.13 Procedimento de medida da espessura da dobra cutânea peitoral.

4.4.11 Grupo de Variáveis Geradas

Além das variáveis já conhecidas (idade, estatura, massa corporal, índice de massa corporal, sexo e as dobras cutâneas), foram geradas 831 variáveis, constando desde a soma de duas dobras cutâneas até a soma de sete dobras cutâneas, do logaritmo de base decimal dessas somas, dessas somas ao quadrado e dessas somas ao cubo.

Pode-se observar, na Tabela 4.1, os critérios utilizados para gerar as variáveis.

Tabela 4.1 – Variáveis geradas utilizando as dobras cutâneas.

Soma de Dobras Cutâneas (mm)	
Periférica (BI, TR, CX, PT)	Central (SE, PE, AX, SI, AB)
1	1
1	2
2	1
2	2
2	3
2	5
3	2
3	4
4	1
4	2
4	3

Em que: dobras cutâneas, em mm. BI (bíceps), TR (tríceps), CX (coxa), PT (panturrilha), SE (subescapular), PE (peitoral), AX (axilar), SI (suprailíaca) e AB (abdominal)

4.5 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente, procedeu-se a uma análise descritiva das variáveis antropométricas dos indivíduos em que foram disponibilizados os cálculos da média, dos valores mínimos e valores máximos, desvio-padrão e variância.

Realizou-se um estudo exploratório dos dados, de forma a avaliar os pressupostos essenciais da análise estatística, com o objetivo de verificar a normalidade

da distribuição. Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo o nível de significância de 5 %.

4.5.1 Procedimentos para o Desenvolvimento dos Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal

A amostra de regressão, com um total de 46 indivíduos do sexo feminino, foi utilizada para o desenvolvimento dos modelos de medição para estimar a densidade corporal das mulheres.

Na Tabela 4.2, estão disponibilizados os grupos de variáveis utilizadas para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Tabela 4.2 – Grupos utilizados no desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino

Grupo	Variáveis
1	ID, MC, EST, (TR + SI), (CX + AB)
2	ID, MC, EST, (TR + CX + SI + AB), $(TR + CX + SI + AB)^2$
3	ID, MC, EST, (TR + PT + SE + SI), $(TR + PT + SE + SI)^2$
4	ID, MC, EST, (BI + TR + CX + SE + SI), $(BI + TR + CX + SE + SI)^2$
5	ID, MC, EST, (BI + TR + CX + PT + SE + AX + AB)
6	ID, MC, EST, (TR + CX + PT + AB + SI + AX + SE), $(TR + CX + PT + AB + SI + AX + SE)^2$
7	ID, MC, EST, (CX + AB)
8	ID, MC, EST, (TR + CX + SI), $(TR + CX + SI)^2$, $(TR + CX + SI)^3$
9	ID, MC, EST, (BI + AB + AX), (TR + CX + SI)
10	MC, EST, (CX + PT + AB), $(CX + PT + AB)^2$
11	ID, MC, EST, Log_{10} (CX + AB)
12	ID, MC, EST, Log_{10} (BI + TR + SE+ AB), Log_{10} (BI + TR + SE+ SI)
13	ID, MC, EST, Log_{10} (TR + CX + PT + AB + SI + AX + SE)

Em que: ID = idade, em anos, EST = estatura, em cm, MC = massa corporal, em kg, Dobras cutâneas, em mm: TR =tríceps, AX = axilar, BI = bíceps, SI = suprailíaca, CX =coxa, AB = abdômen, SE = subescapular e PT = panturrilha.

Da mesma forma, a amostra de regressão, com um total de 84 indivíduos do sexo masculino, foi utilizada para o desenvolvimento dos modelos de medição a fim de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Na Tabela 4.3, estão disponibilizados os grupos de variáveis utilizadas para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal.

Tabela 4.3 – Grupos utilizados no desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Grupo	Variáveis
1	ID, MC, EST, IMC, (BI + SI), (CX + AB), (TR + AB)
2	ID, IMC, (PT + AX + SI), (CX + SE + AB)
3	ID, MC, EST, (CX + AB), (TR + SI), (TR + AB + AX), (BI + AB + SI)
4	ID, MC, EST, (TR + AX), (BI + AB), (CX + SE), (PT + SI), (PT + AX + SI)
5	ID, MC, (CX + AB + PE) ,$(CX + AB + PE)^2$, $(CX + AB + PE)^3$
6	ID, MC, EST, (CX + AB + PE), (TR + SI + SE), (TR + CX + PE + AB), $(TR + CX + PE + AB)^2$, $(TR + CX + PE + AB)^3$
7	ID, MC, EST, (TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI), $(TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI)^2$, $(TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI)^3$
8	ID, MC, EST, $(CX + AB)^2$, $(TR + AX)^2$, $(BI + SI)^2$
9	ID, MC, EST, (TR + CX + SE + AB + PE), $(TR + CX + SE + AB + PE)^2$, $(TR + CX + SE + AB + PE)^3$, $\text{Log}_{10}(TR + CX + SE + AB + PE)$
10	Id, MC, EST, IMC, (TR + SI + AB), $(TR + SI + AB)^2$, $(TR + SI + AB)^3$, $\text{Log}_{10}(TR + SI + AB)$
11	ID, MC, EST, (TR + CX SE + SI), $(TR + CX SE + SI)^2$ $(TR + CX SE + SI)^3$, $\text{Log}_{10}(TR + CX SE + SI)$

Em que: ID = idade, em anos, EST = estatura, em cm, MC = massa corporal, em kg, Dobras cutâneas, em mm: TR =tríceps, AX = axilar, BI = bíceps, SI = suprailíaca, CX =coxa, AB = abdômen, SE = subescapular, PE = peitoral e PT = panturrilha.

Após a definição dos grupos, aplicou-se a técnica de regressão linear múltipla com seleção do método stepwise em que a densidade medida pelo processo da pesagem hidrostática constou como variável dependente, e as variáveis independentes foram aquelas dos grupos observados na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3. Por meio da ANOVA (análise de variância), realizou-se o test F, com o objetivo de validar, em termos globais, o modelo e não, cada um dos parâmetros isoladamente, utilizando $p \leq 0,05$ como critério para a variável entrar no modelo e $p \geq 0,10$ para remover as variáveis. Realizou-se, também, o teste de Durbin-Watson, com o objetivo de avaliar a covariância, ou seja, a autocorrelação dos resíduos. Além desses testes, para selecionar os modelos de medição, buscou-se aqueles com maior coeficiente de determinação R^2, que apresentasse morfologia adequada bem como praticidade.

Foram desenvolvidos 13 modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino e 11 modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

4.5.2 Procedimentos para a Validação dos Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal

Para validar os modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino, utilizou-se a amostra de validação formada por 16 indivíduos que não participaram da amostra de regressão.

Da mesma forma, com o objetivo de validar os modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, utilizaram-se 28 indivíduos da amostra de validação formada por indivíduos que não participaram da amostra de regressão.

O primeiro procedimento para a validação dos modelos de medição foi o da aplicação da estatística paramétrica, em que se utilizou o teste t de Student para amostras pareadas, com nível de significância $p < 0,05$, além do erro médio padrão e do cálculo da correlação linear de Pearson (r), com o objetivo de identificar se foram evidenciadas diferenças significativas bem como a correlação entre os seguintes pares de variáveis:

- D_{phVal} e Df_i.
- D_{phVal} e Dm_i

Em que:

- D_{phVal} = densidade corporal dos indivíduos, da amostra de validação, medida pelo protocolo da pesagem hidrostática;
- Df_i = densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino estimada por cada modelo;
- Dm_i = densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino estimada por cada modelo.

O segundo procedimento foi a realização do cálculo dos erros, seguindo os critérios sugeridos por Lohman, (1992).

O erro constante (EC) foi calculado de acordo com o Modelo 4.5, definido como sendo a diferença entre o valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática e o valor médio da densidade corporal estimada pelo modelo.

$$EC = \overline{D}_{PHVAL} - \overline{D}_{ESTIMADA} \tag{4.5}$$

Em que:

- EC = erro constante, em g/cm^3;
- $\overline{D}_{PHVAL}$ = valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática, em g/cm^3;
- $\overline{D}_{ESTIMADA}$ = valor médio da densidade corporal estimada pelo modelo, em g/cm^3.

O erro total (ET), que estabelece o erro associado ao número de indivíduos avaliados, foi calculado de acordo com o Modelo 4.6.

$$ET = \sqrt{\sum \left(D_{ESTIMADA} - D_{PHVAL}\right)^2 / N} \tag{4.6}$$

Em que:

- ET = erro total, em g/cm^3;

- $D_{ESTIMADA}$ = densidade corporal de cada indivíduo estimada pelo modelo, em g/cm^3;
- D_{PHVAL} = densidade calculada de cada indivíduo da amostra de validação, obtida pela técnica da pesagem hidrostática.

O erro padrão de estimativa (EPE), que fornece a variação padrão dos escores estimados em relação à medida critério, foi calculado utilizando-se o Modelo 4.7.

$$EPE = s_{PHval}\sqrt{(1 - R^2)} \qquad (4.7)$$

Em que:

- EPE = erro padrão de estimativa, em g/cm^3;
- s_{PHval} = desvio-padrão, em g/cm^3;
- R^2 = coeficiente de determinação.

O terceiro procedimento foi a realização da análise residual proposta por Bland & Altman, (1986). Calculou-se a diferença entre a densidade estimada pelo modelo de medição e a densidade medida pelo protocolo da pesagem hidrostática (PH), gerando uma variável denominada de resíduo, plotada no eixo Y. Foi calculada a média aritmética entre os valores estimados da densidade obtida pelo modelo de medição e a densidade medida pelo protocolo da PH, gerando uma variável denominada de média, plotada no eixo X. Foi estabelecido um intervalo de confiança de 95 % ($\pm$ 2 desvios padrões), dado por $\overline{x} \pm 2s$, em que , $\overline{x}$ é o valor médio da variável resíduo, e s é o desvio-padrão do resíduo. Desse modo, foi possível identificar a existência ou não da homogeneidade dos resíduos. Os valores plotados no intervalo entre o limite superior e inferior representam o intervalo de confiança de 95 % dos dados.

4.5.3 Validação Cruzada de Modelos de Medição para Estimar a Densidade Corporal para o Sexo Masculino Desenvolvidos neste Estudo e por Outros Autores

Foi usada a amostra de validação cruzada, formada por 25 indivíduos do sexo masculino que não participaram do grupo de desenvolvimento e nem do grupo de validação.

Todos os procedimentos empregados para a validação dos modelos de medição para estimar a densidade corporal foram repetidos passo a passo, buscando-se a realização do processo de validação cruzada dos 11 modelos de medição desenvolvidos neste estudo para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino bem como de 6 modelos de medição desenvolvidos por outros autores. Além desses procedimentos, realizou-se a regressão linear entre a $Dph_{validcruz}$ (densidade corporal medida pelo processo da pesagem hidrostática) como variável dependente, e cada D (densidade corporal estimada pelos modelos) dos modelos como variável independente, naquelas em que não foram evidenciadas diferenças significativas, quando da realização do test t de amostras pareadas. Na Tabela 4.4, são apresentadas informações sobre os modelos de medição desenvolvidos por outros autores.

Tabela 4.4 – Modelos de medição da densidade corporal de indivíduos do sexo masculino desenvolvidos por outros autores que foram submetidos à validação cruzada

Modelo de Medição	Autor (ano)	Valores originais		Nesta Tese representada por	
		R	EPE		
D_{sloan}	Sloan (1967)	0,840	0,0670	Modelo 2.5	Pág. 29
$D_{pollock}$	Pollock (1976)	0,780	0,0082	Modelo 2.7	Pág. 30
D_{guedes}	Guedes (1985)	0,894	0,0057	Modelo 2.11	Pág. 33
$D_{petroski}$	Petroski (1995)	0,875	0,0075	Modelo 2.13	Pág. 34
$D_{jack\&poll}$	Jackson&Pollock (1978)	0,902	0,0078	Modelo 2.8	Pág. 31
$D_{naga\&suzu}$	Nagamine & Suzuki (1964)	NI	NI	Modelo 2.3	Pág. 27

Em que: NI = não informado pelo autor.

4.6 CÁLCULO DE INCERTEZAS

Seguiu-se a metodologia para o cálculo de incertezas, sugerida por Gonçalves Jr (2004).

Com o objetivo de estimar as incertezas padrão, buscou-se, inicialmente, encontrar o valor médio ($\bar{x}$) da medida x representado pelo Modelo 4.8, com j variando de 1 a n.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_k \tag{4.8}$$

Em seguida, determinou-se o desvio-padrão da média s(x), representado pelo Modelo 4.9, com j = 1, 2, 3,....., n.

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(x_k - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \tag{4.9}$$

Após o cálculo do desvio-padrão, obteve-se a incerteza padrão u(x) de cada fonte de incerteza, considerada no processo de medida. Para isso, utilizou-se o Modelo 4.10, em que m é o número de medidas repetidas.

$$u(x) = s\left(\bar{x}\right) = \frac{s(x)}{\sqrt{m}} \tag{4.10}$$

Com o objetivo de determinar o número de graus de liberdade (v) de cada fonte de incertezas considerada no processo de medição, utilizou-se o Modelo 4.11, em que n é o número de dados.

$$v = n - 1 \tag{4.11}$$

No Modelo 4.12, está representada a expressão para estimar a incerteza padrão combinada, em que u_1., u_2, ..., u_p são as incertezas padrão de cada uma das fontes.

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + ... + u_p^2} \tag{4.12}$$

O número de graus de liberdade efetivo (v_{ef}) é estimado por meio do Modelo 4.13, em que v_1, v_2, ..., v_p é o grau de liberdade associado a cada fonte de incerteza.

$$\frac{u_c^4}{v_{ef}} = \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \ldots + \frac{u_p^4}{v_p} \qquad (4.13)$$

Tabela 4.5 – Relação entre o grau de liberdade efetivo (v_{ef}) e o fator de abrangência a 95 % ($k_{95\%}$)

v_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
$k_{95\%}$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,23	2,20	2,17
v_{ef}	18	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	∞
$k_{95\%}$	2,15	2,13	2,11	2,09	2,07	2,06	2,06	2,05	2,04	2,03	2,02	2,00

Após o cálculo do grau de liberdade efetivo, utilizou-se a Tabela 4.5 com o objetivo de encontrar o fator de abrangência correspondente que foi denominado de $k_{95\%}$. Nessa tabela, verificou-se que, para valores de graus de liberdade efetivo de 1 a 16, o fator de abrangência teve valor máximo de 13,97 e mínimo de 2,17. Para valores de grau de liberdade efetivo, maiores do que 100, o fator de abrangência é infinito.

Por fim, o Modelo 4.14 estima a incerteza expandida $(U)_{95\%}$, multiplicando o fator de abrangência pela incerteza padrão combinada.

$$U_{95\%} = k_{95\%} \cdot u_c \qquad (4.14)$$

Por falta de um medidor padrão, a incerteza de medição na medição realizada pelo estadiômetro foi estimada como sendo a metade da menor divisão da escala (0,05 cm). Da mesma forma, a incerteza de medição das medidas realizadas pelo densímetro foram de 0,0015 g/cm^3).

Utilizou-se o SPSS (2008), versão 13.0 for Windows, em todos os procedimentos estatísticos desse estudo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INTRODUÇÃO

Os resultados da análise deste estudo são apresentados e discutidos, tendo como sequência os seguintes itens:

- Características descritivas da amostra total;
- Características das amostras de desenvolvimento e de validação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino;
- Modelos desenvolvidos e validados para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino;
- Características das amostras de desenvolvimento e de validação dos modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino;
- Modelos de medição desenvolvidos e validados para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino;
- Características da amostra de validação cruzada a ser aplicada nos modelos de medição, para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, desenvolvidos e validados neste estudo bem como de modelos de medição desenvolvidos por outros autores;
- Validação cruzada de modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino desenvolvidas neste estudo e por outros autores.

5.2 CARACTERÍSTICAS DESCRITIVAS DA AMOSTRA TOTAL

A amostra total foi constituída de estudantes universitários da Universidade de Pernambuco, composta por 199 indivíduos, dos quais 62 do sexo feminino com idade variando entre 18 e 27 anos, e 137 do sexo masculino com idade variando entre 18 e 35 anos.

Na Tabela 5.1, encontram-se as características descritivas e antropométricas dos universitários do sexo feminino e do sexo masculino.

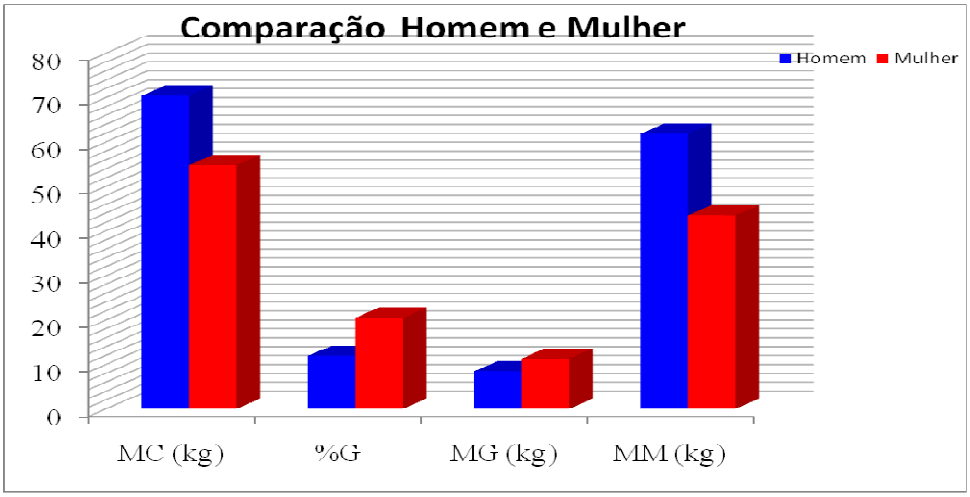
Tabela 5.1 – Características descritivas e antropométricas dos universitários

Variável	Masculino (N = 137)		Feminino (N = 62)	
	Média	s	Média	s
Idade (anos)	23,4	4,3	21,4	2,2
MC (kg)	70,4	9,0	54,8	4,8
EST (cm)	175,26	6,72	162,79	5,22
IMC (kg/m^2)	22,9	2,17	20,70	1,76
Dph (g/cm^3)	1,0718	0,0109	1,0522	0,0116
%G	11,90	4,70	20,50	5,16
MG (kg)	8,5	3,8	11,3	3,3
MM (kg)	61,9	7,4	43,5	3,6
Espessura de Dobras Cutâneas (mm)				
BI	4,8	2,0	6,2	2,4
TR	9,9	4,2	13,5	4,2
SE	13,4	5,2	13,2	5,4
AX	8,9	4,6	9,6	4,4
SI	9,9	7,8	20,0	7,2
AB	15,1	9,2	21,8	7,7
CX	17,9	6,5	28,28	8,3
PT	14,5	3,7	15,9	5,3
PE	8,5	4,1	-	-

Em que: s = desvio-padrão, Idade, em anos, MC = massa corporal, EST = estatura, IMC = índice de massa corporal, Dph = densidade corporal obtida pela pesagem hidrostática, %G = percentual de gordura corporal, MG = massa gorda, MM = massa magra, BI = bíceps, TR = tríceps, SE = subescapular, AX = axilar, SI = suprailíaca, AB = abdômen, CX = coxa, PT = panturrilha e PE = peitoral.

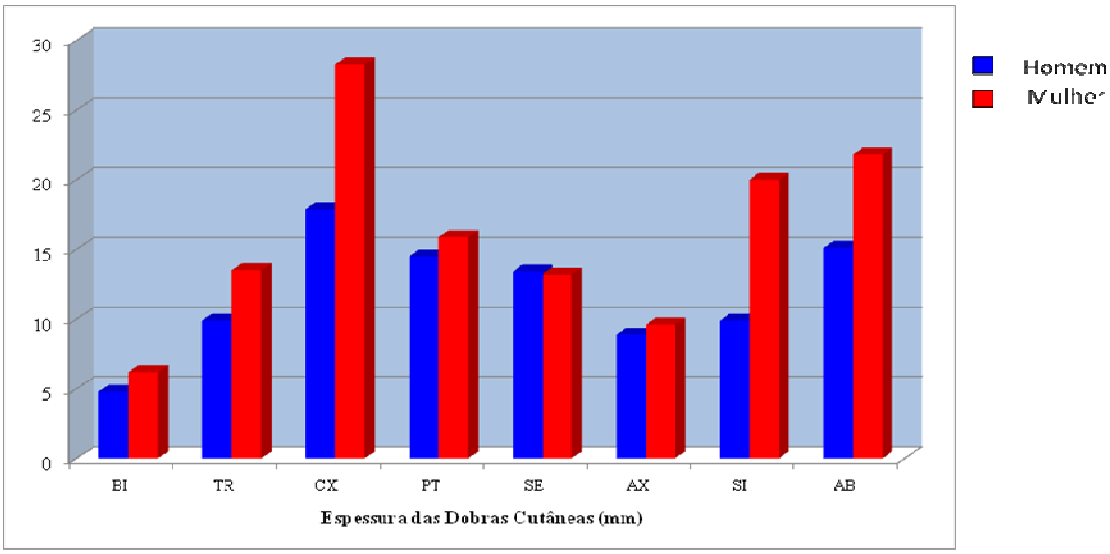
No Gráfico 5.1, podem ser observadas as comparações das características dos indivíduos da amostra total no que diz respeito à massa corporal, ao percentual de gordura, à massa gorda e à massa magra.

Gráfico 5.1 Comparação das médias de massa corporal, do percentual de gordura, da massa gorda e da massa magra dos indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino



No Gráfico 5.2, pode ser observada a comparação entre os valores das espessuras das dobras cutâneas dos indivíduos do sexo masculino e dos indivíduos do sexo feminino.

Gráfico 5.2 – Comparação das espessuras das dobras cutâneas entre os indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino



5.3 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE DESENVOLVIMENTO E DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO

A amostra dos indivíduos do sexo feminino foi dividida, de forma aleatória, em duas subamostras: a de desenvolvimento dos modelos de medição (N = 46) e a de validação dos modelos de medição (N = 16). Na Tabela 5.2, apresentam-se as características descritivas e antropométricas da amostra de desenvolvimento e da amostra de validação.

Tabela 5.2 – Características descritivas e antropométricas dos indivíduos do sexo feminino que participaram do desenvolvimento e validação dos modelos de medição

Variável	Desenvolvimento (N = 46)		Validação (N = 16)	
	Média	s	Média	s
Idade (anos)	21,2	2,3	21,9	1,9
MC (kg)	55,2	4,5	53,7	5,8
EST (cm)	163,09	5,14	161,94	5,54
IMC (kg/m^2)	20,8	1,8	20,5	1,8
Dph (g/cm^3)	1,0523	0,0113	1,0520	0,0127
%G	20,46	5,04	20,60	5,66
MG (kg)	11,4	3,2	11,3	3,9
MM (kg)	43,8	3,7	42,4	3,3
Espessura de Dobras Cutâneas (mm)				
BI	6,2	1,7	6,1	3,9
TR	13,4	3,3	14,0	6,3
SE	13,1	5,1	13,6	6,2
AX	9,3	3,3	10,7	6,7
SI	18,2	6,9	17,2	8,2
AB	21,0	6,6	24,0	10,3
CX	28,6	8,0	27,3	9,4
PT	16,4	5,5	14,4	4,8

Em que: s = desvio-padrão, MC = massa corporal, EST = estatura, IMC = índice de massa corporal, Dph = densidade corporal obtida pela pesagem hidrostática, %G = percentual de gordura corporal, MG = massa gorda, MM = massa magra, BI = bíceps,TR = tríceps, SE = subescapular, AX = axilar, SI =suprailíaca, AB = abdômen, CX = coxa e PT = panturrilha.

Na amostra de desenvolvimento dos modelos de medição para estimativa da densidade corporal, a idade dos indivíduos do sexo feminino variou de 18 a 27 anos. Na amostra de validação, entretanto, essa variação foi de 19 a 25 anos.

5.4 MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO

Neste estudo, foram desenvolvidos 13 modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino, tomando a densidade medida pelo processo da pesagem hidrostática como variável dependente com média 1,0523 g/cm^3 e desvio-padrão de 0,0113 g/cm^3. Para isso, utilizou-se a amostra de desenvolvimento com N = 46, cujas características estão disponibilizadas na Tabela 6.2.

5.4.1 Modelo de Medição *Df 1*

Utilizou-se o grupo 1, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma das dobras cutâneas tríceps e suprailíaca e soma das dobras cutâneas coxa e abdominal) disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição *Df 1*, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino. Ao final, participaram do modelo aquela que está disponibilizada no Modelo 5.1, composto por apenas uma variável (soma de 2 dobras cutâneas).

$$Df_1 = 1{,}083090 - 0{,}001164 \times (TR + SI) \tag{5.1}$$

Em que:

- Df_1 = densidade corporal, em g/cm^3;
- $(TR + SI)$= soma das dobras cutâneas TR (tríceps) e SI (suprailíaca), em mm;
- A constante 1,083090, em g/cm^3 e o coeficiente 0,001164, em g/(cm^3 . mm).

A estimativa da densidade corporal por meio do modelo de medição *Df 1* atendeu aos aspectos de morfologia e de praticidade, uma vez que é constituído da soma de duas dobras cutâneas, sendo uma periférica (TR) e outra central (SI). Apresentou um coeficiente

de correlação R = 0,753 e um erro padrão de estimativa EPE = 0,0075 g/cm^3. A soma de dobras cutâneas explica em 56,70 % da variância da densidade corporal. Já em relação à análise residual, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman, (1986) e o teste de Durbin-Watson apresentou índice de 1,045.

5.4.2 Modelo de Medição Df_2

De acordo com a Tabela 4.2 (página 71), o grupo 2, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de quatro dobras cutâneas (tríceps, coxa, suprailíaca e abdominal) e o quadrado dessa soma de quatro dobras)), foi usado para o desenvolvimento do modelo de medição Df_2, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Após os procedimentos estatísticos de regressão linear múltipla, com método Stepwise, obteve-se o Modelo 5.2, composto por duas variáveis (soma de 4 dobras, estatura).

$$Df_2 = 0{,}965986 - 0{,}000304 \times (TR + CX + SI + AB) + 0{,}000680 \times EST \qquad (5.2)$$

Em que:

- Df_2 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(TR + CX + SI + AB)$ = soma das dobras cutâneas tríceps (TR), coxa (CX), suprailíaca (SI) e abdominal (AB), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 0,965986, em g/cm^3, o coeficiente 0,000304, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000680, em g/(cm^3 . cm).

O modelo Df_2 apresentou correlação R = 0,674 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0085 g/cm^3. Quanto à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e duas dobras cutâneas centrais (suprailíaca e abdominal) e a presença da variável estatura. Neste modelo de medição, a variância da densidade corporal

é explicada em 45,50 % pela soma das dobras cutâneas e pela estatura. No que diz respeito à análise residual, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman, (1986) e o teste de Durbin-Watson apresentou índice de 0,798.

5.4.3 Modelo de Medição Df_3

Utilizou-se o grupo 3, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, a soma de quatro dobras cutâneas (tríceps, panturrilha, subescapular e suprailíaca) e o quadrado dessa soma das dobras), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), objetivando o desenvolvimento do modelo de medição Df_3, para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Ao aplicar os procedimentos estatísticos da regressão linear múltipla, método Stepwise, o Modelo 5.3 foi gerado e, ao final, foi composto por duas variáveis (soma de 4 dobras, estatura).

$$Df_3 = 0{,}966995 - 0{,}000388 \times (PT + TR + SI + SE) + 0{,}000668 \times EST \qquad (5.3)$$

Em que:

- Df_3 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(PT + TR + SI + SE)$ = soma das dobras cutâneas panturrilha (PT), tríceps (TR), suprailíaca (SI) e subescapular (SE), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 0,966995, em g/cm^3, o coeficiente 0,000388, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000668, em g/(cm^3 . cm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (panturrilha e tríceps) e duas dobras cutâneas centrais (suprailíaca e subescapular) e a presença da variável estatura. No que tange, entretanto, à análise residual, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), tendo o teste de Durbin-Watson apresentado índice de 0,801. Neste modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada em 47,80 % pela soma das dobras cutâneas e pela estatura. O modelo de

medição Df_3 apresentou correlação R = 0,692 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0083 g/cm^3.

5.4.4 Modelo de Medição Df_4

Para o desenvolvimento do modelo de medição Df_4, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino, utilizou-se o grupo 4, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de cinco dobras cutâneas (bíceps, tríceps, coxa, subescapular e suprailíaca) e o quadrado da soma dessas dobras)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71).

Procedendo com a regressão linear, por meio do método stepwise, obteve-se o Modelo 5.4, composto por duas variáveis (soma de 5 dobras, estatura).

$$Df_4 = 0{,}978031 - 0{,}000317 \times (BI + TR + CX + SI + SE) + 0{,}00061 \times EST \qquad (5.4)$$

Em que:

- Df_4 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(BI + TR + CX + SI + SE)$= soma das dobras cutâneas biceps (BI), tríceps (TR), coxa (CX), suprailíaca (SI) e subescapular (SE), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 0,978031, em g/cm^3, o coeficiente 0,000317, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,00061, em g/(cm^3 . cm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de três dobras cutâneas periféricas (bíceps, tríceps e coxa) e duas dobras cutâneas centrais (suprailíaca e subescapular) e a presença da variável estatura. Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada em 47,00 % pela soma das dobras cutâneas e pela estatura. O modelo de medição Df_4 apresentou correlação R = 0,686 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0084 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman, (1986) e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,795.

5.4.5 Modelo de Medição Df_5

Utilizou-se o grupo 5, composto por 4 variáveis (idade, massa corporal, estatura, e a soma de dobras (bíceps, tríceps, coxa, panturrilha, subescapular, axilar e abdominal))

disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Df_5, a fim de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Os procedimentos estatísticos da regressão linear, sendo a densidade corporal medida pela pesagem hidrostática como variável dependente, foram realizados e resultou no Modelo 5.5, composto por duas variáveis (soma de 7 dobras, estatura).

$$Df_5 = 0{,}981136 - 0{,}000265 \times (BI + TR + CX + PT + SE + AX + AB) + 0{,}000611 \times EST \quad (5.5)$$

Em que:

- Df_5 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(BI + TR + CX + PT + SE + AX + AB)$ = soma das dobras cutâneas bíceps (BI), tríceps (TR), coxa (CX), panturrilha (PT), subescapular (SE), axilar (AX) e abdominal (AB), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 0,981136, em g/cm^3, o coeficiente 0,000265, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000611, em g/(cm^3 . cm).

O modelo de medição Df_5 apresentou correlação R = 0,729 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0079 g/cm^3. Quanto à morfologia, observa-se a presença de quatro dobras cutâneas periféricas (bíceps, tríceps, coxa e panturrilha) e três dobras cutâneas centrais (subescapular, axilar e abdominal) e a presença da variável estatura. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,032. Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada em 53,20 % pela soma das dobras cutâneas e pela estatura.

5.4.6 Modelo de Medição Df_6

Utilizou-se o grupo 6 composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, a soma de 7 dobras cutâneas (tríceps, coxa, panturrilha, abdominal, suprailíaca, axilar e subescapular) e o quadrado dessa soma de dobras)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página

71), para o desenvolvimento do modelo de medição Df_6, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Com a densidade corporal medida por meio do processo de pesagem hidrostática, ao aplicar os procedimentos estatísticos da regressão linear, método Stepwise, resultou no Modelo 5.6, em que, das cinco variáveis utilizadas, apenas duas (soma de 7 dobras, estatura), foram incluídas no modelo de medição final.

$$Df_6 = 0{,}974005 - 0{,}000218 \times (TR + CX + PT + AB + SI + AX + SE) + 0{,}00064 \times EST \quad (5.6)$$

Em que:

- Df_6 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(TR + CX + PT + AB + SI + AX + SE)$ = soma das dobras cutâneas tríceps (TR), coxa (CX), panturrilha (PT), abdominal (AB), suprailíaca (SI), axilar (AX) e subescapular (SE), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 0,974005, em g/cm^3, o coeficiente 0,000218, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,00064, em g/(cm^3 . cm).

Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,808. Quanto ao aspecto morfológico, observa-se a presença de três dobras cutâneas periféricas (tríceps, coxa e panturrilha) e quatro dobras cutâneas centrais (abdominal, suprailíaca, axilar e subescapular) bem como a presença da variável estatura. Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada em 50,30 % pela soma das dobras cutâneas e pela estatura. O modelo de medição Df_6 apresentou R = 0,709 e EPE = 0,0081 g/cm^3.

5.4.7 Modelo de Medição Df_7

Com a utilização do grupo 7, composto por 4 variáveis (idade, massa corporal, estatura e a soma de duas dobras cutâneas (coxa e abdominal)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), obteve-se o modelo de medição Df_7, para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Após a aplicação dos processos estatísticos da regressão linear, com opção stepwise, o Modelo 5.7, composto por três variáveis (soma de 2 dobras, estatura, massa corporal), foi gerado.

$$Df_7 = 0{,}953087 - 0{,}000338 \times (CX + AB) + 0{,}000988 \times EST - 0{,}000820 \times MC \qquad (5.7)$$

Em que:

- Df_7 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(CX + AB)$ = soma das dobras cutâneas coxa (CX) e abdominal (AB), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- MC = massa corporal, em kg;
- A constante 0,953087, em g/cm^3, o coeficiente 0,000338, em g/(cm^3 . mm), o coeficiente 0,000988, em g/(cm^3 . cm), e o coeficiente 0,000820, em g/(cm^3 . kg).

Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada em 50,90 % pela soma das dobras cutâneas, pela estatura e pela massa corporal. O modelo de medição Df_7 apresentou correlação R = 0,713 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0082 g/cm^3. Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (coxa) e uma dobra cutânea central (abdominal). Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,956.

5.4.8 Modelo de Medição Df_8

Na Tabela 4.2 (página 71), utilizou-se o grupo 8 composto por 6 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de três dobras cutâneas (tríceps, coxa e suprailíaca), o quadrado dessa soma de dobras e o cubo dessa soma de dobras)), para o desenvolvimento do modelo de medição Df_8, com o objetivo de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Após os procedimentos estatísticos da regressão linear, método Stepwise, obteve-se o Modelo 5.8, composto por três variáveis (soma de 3 dobras, estatura, massa corporal).

$$Df_8 = 0{,}944359 - 0{,}000223 \times (TR + CX + SI) + 0{,}001035 \times EST - 0{,}000862 \times MC \qquad (6.8)$$

Em que:

- Df_8 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(TR + CX + SI)$ = soma das dobras cutâneas tríceps (TR), coxa (CX) e suprailíaca (SI), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- MC = massa corporal, em kg;
- A constante 0,944359, em g/cm^3, o coeficiente 0,000223, em g/(cm^3 . mm), o coeficiente 0,001035, em g/(cm^3 . cm) e o coeficiente 0,000862, em g/(cm^3 . kg).

No que diz respeito à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e uma dobra cutânea central (suprailíaca) e a presença das variáveis estatura e massa corporal. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,969. Nesse modelo de medição, as variáveis soma das dobras, estatura e massa corporal explicam em 46,50 % a variância da densidade corporal. O modelo de medição Df_8 apresentou correlação R = 0,682 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0085 g/cm^3.

5.4.9 Modelo de Medição Df_9

A utilização do grupo 9 formado por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de três dobras (bíceps, abdominal e axilar) e soma de três dobras (tríceps, coxa e suprailíaca)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), objetivando o desenvolvimento do modelo de medição Df_9, para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Obteve-se o Modelo 5.9, composto por três variáveis (soma de 3 dobras, estatura, massa corporal), após a realização da regressão linear múltipla, método Stepwise.

$$Df_9 = 0{,}977443 - 0{,}000507 \times (BI + AB + AX) + 0{,}000817 \times EST - 0{,}000724 \times MC \qquad (5.9)$$

Em que:

- Df_9 = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $(BI + AB + AX)$ = soma das dobras cutâneas bíceps (BI), abdominal (AB) e axilar (AX), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- MC = massa corporal, em kg;
- A constante 0,977443, em g/cm^3, o coeficiente 0,000507, em g/(cm^3 . mm), o coeficiente 0,000817, em g/(cm^3 . cm), e o coeficiente 0,000724, em g/(cm^3 . kg).

Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada pela soma das dobras cutâneas, estatura e massa corporal, em 56,90 %. O modelo de medição Df_9 apresentou correlação R = 0,754 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0077 g/cm^3. Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (bíceps) e duas dobras cutâneas centrais (abdominal e axilar). Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,063.

5.4.10 Modelo de Medição Df_{10}

Utilizou-se o grupo 10 composto por 4 variáveis (massa corporal, estatura, soma de três dobras cutâneas (coxa, panturrilha e abdominal) e o quadrado dessa soma de três dobras)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o o desenvolvimento do modelo de medição Df_{10}, a fim de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Após os procedimentos estatísticos da regressão linear múltipla com método stepwise, obteve-se o Modelo 5.10, composto por três variáveis (soma de 3 dobras, estatura, massa corporal).

$$Df_{10} = 0{,}9940554 - 0{,}000233 \times (CX + PT + AB) + 0{,}001067 \times EST - 0{,}000849 \times MC \quad (5.10)$$

Em que:

- Df_{10} = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;

- $(CX + PT + AB)$ = soma das dobras cutâneas coxa (CX), panturrilha (PT) e abdominal (AB), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- MC = massa corporal, em kg;
- A constante 0,9940554, em g/cm^3, o coeficiente 0,000233, em g/(cm^3 . mm), o coeficiente 0,001067, em g/(cm^3 . cm), e o coeficiente 0,000849, em g/(cm^3 . kg).

Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson, apresentou índice igual 0,955. No que diz respeito à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (coxa e panturrilha) e uma dobra cutânea central (abdominal) e a presença das variáveis estatura e massa corporal. Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada pela soma das dobras cutâneas, estatura e massa corporal, em 49,60 %. O modelo de medição Df_{10} apresentou correlação R = 0,705 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0083 g/cm^3.

5.4.11 Modelo de Medição Df_{11}

O grupo 11 da Tabela 4.2 (página 71), composto por 4 variáveis (idade, massa corporal, estatura e logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas, coxa e abdominal), foi usado para o desenvolvimento do modelo de medição Df_{11}, a fim de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Foram aplicados os procedimentos estatísticos da regressão linear com método stepwise e resultou no Modelo 5.11, composto por uma variável (logaritmo na base decimal da soma de 2 dobras).

$$Df_{11} = 1{,}152810 - 0{,}071465 \times Log_{10}(TR + SI) \qquad (5.11)$$

Em que:

- Df_{11} = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;

- $Log_{10}(TR+SI)$= logaritmo na base decimal da soma das dobras cutâneas tríceps (TR), e suprailíaca (SI), em mm;
- A constante 1,152810, em g/cm^3, o coeficiente 0,071465, em g/(cm^3 . mm).

Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada pelo logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas em 57,90 %. O modelo de medição *Df 11* apresentou correlação R = 0,761 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0074 g/cm^3. Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (tríceps) e uma dobra cutânea central (suprailíaca). Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e, o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual 1,027.

5.4.12 Modelo de Medição *Df 12*

Para o desenvolvimento do modelo de medição *Df 12*, a fim de estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino, usou-se o grupo 12, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, estatura, logaritmo de base decimal da soma das dobras (bíceps, tríceps, subescapular e abdominal) e o logaritmo de base decimal da soma de dobras (bíceps, tríceps, subescapular e suprailíaca) disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71).

Após os procedimentos estatísticos da regressão linear, usando o método stepwise, obteve-se o Modelo 5.12, composto por uma variável (logaritmo na base decimal da soma de 4 dobras).

$$Df_{12} = 1{,}173754 - 0{,}0708513 \times Log_{10}(BI + TR + SE + AB) \qquad (5.12)$$

Em que:

- Df_{12} = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $Log_{10}(BI+TR+SE+AB)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras cutâneas bíceps (BI), tríceps (TR), subescapular (SE) e abdominal (AB), em mm;
- A constante 1,173754, em g/cm^3, o coeficiente 0,0708513, em g/(cm^3 . mm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (bíceps e tríceps) e duas dobras cutâneas centrais (subescapular e abdominal). Nesse modelo de medição, a variância da densidade corporal é explicada pelo logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas em 54,80 %. O modelo de medição Df_{12} apresentou correlação R = 0,740 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0077 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,887.

5.4.13 Modelo de Medição Df_{13}

Com a utilização do grupo 13, composto por 4 variáveis (idade, massa corporal, estatura e logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas tríceps, coxa, panturrilha, abdominal, suprailíaca, axilar e subescapular), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), tornou possível o desenvolvimento do modelo de medição Df_{13}, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino.

Após a realização dos procedimentos estatísticos da regressão linear por meio do método stepwise, resultou no Modelo 5.13, e, das quatro variáveis usadas, apenas duas variáveis (logaritmo na base decimal da soma de 7 dobras, estatura) constituíram o modelo final.

$$Df_{13} = 1{,}0818962 - 0{,}0614217 \times Log_{10}(PT + TR + CX + AB + SI + AX + SE) + 0{,}000596 \times EST \quad (5.13)$$

Em que:

- Df_{13} = densidade corporal estimada para o sexo feminino, em g/cm^3;
- $Log_{10}(PT + TR + CX + AB + SI + AX + SE)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras cutâneas panturrilha (PT), tríceps (TR), coxa (CX), abdominal (AB), suprailíaca (SI), axilar (AX) e subescapular (SE), em mm;
- EST = estatura, em cm;
- A constante 1,0818962, em g/cm^3, o coeficiente 0,0614217, em g/(cm^3 . mm) e o coeficiente 0,000596, em g/(cm^3 . cm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de três dobras cutâneas periféricas (panturrilha, tríceps e coxa) e quatro dobras cutâneas centrais (abdominal, suprailíaca,

axilar e subescapular) e a presença da variável estatura. O logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas e a estatura, juntos, explicam 51,00% da variância da densidade corporal. O modelo de medição Df_{13} apresentou correlação R = 0,714 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0081 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 0,824.

5.4.14 Consistência do Desenvolvimento dos Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Feminino

Para o desenvolvimento desses modelos de medição, todos os pressupostos estatísticos, tais como o da regressão linear com método stepwise, o do coeficiente de correlação de Pearson e o da análise residual foram atendidos bem como o aspecto de praticidade.

É importante salientar que, em todos os modelos desenvolvidos, o aspecto morfológico foi atendido, buscando-se associar dobras periféricas e dobras centrais bem como, sempre que possível, a presença da estatura e da massa corporal. Observa-se que a variável idade, mesmo estando inserida em todos os grupos de desenvolvimento, não fez parte de nenhum modelo de medição desenvolvido devido à homogeneidade da amostra do sexo feminino em que a variabilidade de idade foi de 18 a 27 anos.

Esses modelos foram classificados em cinco grupos, respeitando-se as características comuns, relativo às variáveis que participaram do modelo de medição, com o objetivo de realizar a discussão.

Na Tabela 5.3, estão apresentados esses modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino. No grupo 1, composto pelo modelo de medição Df_1, a variável independente constou da soma de dobras cutâneas. No grupo 2, composto pelos modelos de medição Df_2, Df_3, Df_4, Df_5 *e* Df_6, as variáveis independentes foram a soma de dobras cutâneas e a estatura. No grupo 3, composto pelos modelos de medição Df_7, Df_8, Df_9 *e* Df_{10}, as variáveis independentes foram a soma de dobras cutâneas, a estatura e a massa corporal. No grupo 4, composto pelos modelos de medição Df_{11} *e* Df_{12}, a variável independente foi o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas. No grupo 5, composto pelo modelo de medição Df_{13}, as variáveis independentes foram o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas e a estatura.

Tabela 5.3 – Classificação dos modelos de medição da densidade corporal dos Indivíduos do Sexo Feminino

Grupo	Modelo de Medição
1	Df_1=1,083090 – 0,001164 x (TR + SI)
2	Df_2=0,965986 – 0,000304 x (TR + CX + SI + SE) + 0,000680 x EST
2	Df_3 = 0,966995 - 0,000388 x (PT + TR + SI + SE) + 0,000668 x EST
2	Df_4 = 0,978031 - 0,000317 x (BI + TR + CX + SI + SE) + 0,00061 x EST
2	Df_5 = 0,981136 - 0,000265 x (BI+TR+CX+PT+SE+AX+AB) + 0,000611 x EST
2	Df_6 = 0,974005 - 0,000218 x (TR+CX+PT+AB+SI+AX+SE) + 0,00064 x EST
3	Df_7 = 0,953087 – 0,000338 x (CX + AB) + 0,000988 x EST – 0,000820 x MC
3	Df_8 = 0,944359 – 0,000223 x (TR + CX + SI) + 0,001035 x EST – 0,000862 x MC
3	Df_9 = 0,977443 – 0,000507 x (BI + AB + AX) + 0,000817 x EST – 0,000724 x MC
3	Df_{10} = 0,9940554 – 0,000233 x (CX + PT + AB) + 0,001067 x EST – 0,000849 x MC
4	Df_{11} = 1,152810 – 0,071465 x Log_{10} (TR + SI)
4	Df_{12} = 1,173754 – 0,0708513 x Log_{10} (BI + TR + SE + AB)
5	Df_{13} =1,0818962 – 0,0614217 x Log_{10} (PT+TR+CX+AB+SI+AX+SE) + 0,000596 x EST

Na Tabela 5.4, estão apresentados os valores evidenciados na regressão linear, em que se utilizou o método stepwise com o objetivo de proceder ao desenvolvimento dos modelos de medição para se estimar a densidade corporal para o sexo feminino.

De acordo com a Tabela 1.2 (página 18), todos os modelos de medição apresentaram correlações classificadas como forte.

O primeiro grupo, apresentando apenas soma de dobras cutâneas, é representado pelo modelo de medição Df_1, obtido pelo método da regressão linear simples. Esse grupo apresentou coeficiente de correlação R = 0,753 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0075 g/cm^3. Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que o EPE apresentado por esse modelo de medição é considerado como bom.

O segundo grupo, constituído dos modelos de medição Df_2, Df_3, Df_4, Df_5 *e* Df_6, que tem como variáveis as somas das dobras cutâneas, variando de quatro a sete dobras, e a estatura, cujos modelos foram obtidos utilizando-se a regressão linear múltipla. O coeficiente de correlação variou de 0,674 a 0,729, e o erro padrão de estimativa variou de 0,0079 a 0,0085, em g/cm^3. Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que os EPEs apresentados por esses modelos de medição são classificados entre bom e razoável.

Tabela 5.4 – Resultado da regressão linear para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal para universitários do sexo feminino

Amostra (N = 46) - ($Dph_{desenv} \pm s_{ph}$) = 1,0523 ± 0,0113 (g/cm^3)							
Grupo / Modelo		Variáveis	*Df* ± s (g/cm^3)		R	R²	EPE (g/cm^3)
1	Df_1	∑ 2 dobras	1,0523	0,0085	0,753	0,567	0,0075
2	Df_2	∑ 4 dobras , EST	1,0522	0,0076	0,674	0,455	0,0085
2	Df_3	∑ 4 dobras , EST	1,0522	0,0094	0,692	0,478	0,0083
2	Df_4	∑ 5 dobras , EST	1,0523	0,0077	0,686	0,470	0,0084
2	Df_5	∑ 7 dobras , EST	1,0523	0,0082	0,729	0,531	0,0079
2	Df_6	∑ 7 dobras , EST	1,0523	0,0080	0,709	0,503	0,0081
3	Df_7	∑ 2 dobras, EST, MC	1,0522	0,0080	0,713	0,509	0,0082
3	Df_8	∑ 3 dobras, EST, MC	1,0522	0,0077	0,682	0,465	0,0085
3	Df_9	∑ 3 dobras, EST, MC	1,0522	0,0085	0,754	0,569	0,0077
3	Df_{10}	∑ 3 dobras, EST, MC	1,0524	0,0079	0,705	0,497	0,0083
4	Df_{11}	Log_{10}(∑2 dobras)	1,0523	0,0086	0,761	0,579	0,0074
4	Df_{12}	Log_{10}(∑4 dobras)	1,0523	0,0083	0,740	0,548	0,0077
5	Df_{13}	Log_{10}(∑7 dobras), EST	1,0523	0,0080	0,714	0,509	0,0081

Em que: Dph_{desenv} = média da densidade corporal obtida por meio da pesagem hidrostática, s_{ph} = desvio-padrão da média da densidade da amostra de desenvolvimento, *Df* = média da densidade corporal estimada por cada modelo de medição, s = desvio-padrão da média da densidade corporal estimada pelo modelo, R = coeficiente de correlação, R² = coeficiente de determinação e EPE = erro padrão de estimativa.

O terceiro grupo, obtido pela regressão linear múltipla, é formado pelos modelos de medição *Df_7*, *Df_8*, *Df_9 e Df_{10}*, em que são apresentadas as variáveis soma de dobras, variando de duas a três, a estatura e a massa corporal. O coeficiente de correlação variou de 0,682 a 0,754, e o erro padrão de estimativa variou de 0,0077 a 0,0085, em g/cm^3. Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que os EPEs apresentados por esses modelos são classificados entre bom e razoável.

O quarto grupo, composto pelos modelos de medição *Df_{11} e Df_{12}*, são modelos logarítmicos obtidos pela regressão linear simples, que têm como variáveis o logaritmo de base decimal da soma de duas dobras cutâneas e de quatro dobras cutâneas. O erro padrão de estimativa variou de 0,0074 a 0,0077, g/cm^3, e a correlação variou de 0,740 a 0,761.

Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que os EPEs apresentados por esses modelos são classificados como bom.

O quinto grupo, composto pelo modelo de medição Df_{13}, que é um modelo logarítmico obtido pela regressão linear múltipla, teve como variáveis o logaritmo de base decimal da soma sete dobras cutâneas e a estatura. A correlação foi de 0,714, e o erro padrão de estimativa, igual a 0,0081 g/cm^3. Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que o EPE apresentado por esse modelo de medição é classificado como razoável.

5.5 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO FEMININO

Utilizou-se a amostra de validação dos modelos de medição, composta por 16 indivíduos do sexo feminino que não participaram da amostra de desenvolvimento dos modelos de medição, em que a idade variou no intervalo de 19 a 25 anos, a massa corporal, na faixa de (47,0 – 67,6) kg, e a estatura, na faixa de (150,40 – 170,10) cm.

Com o objetivo de se proceder à validação dos modelos de medição, seguindo as orientações de Lohman (1992), comparou-se a média da densidade medida (Dph_{valid}) pelo processo da pesagem hidrostática (tomado como padrão) com as médias da densidade corporal estimada por cada modelo, e foram realizados os cálculos do erro constante (EC), do erro total (ET) e do erro padrão de estimativa (EPE) bem como se calculou o coeficiente linear da reta (β) e o coeficiente angular da reta (α). Na Tabela 5.5, estão apresentados os resultados relativos à validação dos modelos de medição a fim de estimar a densidade corporal para os indivíduos do sexo feminino, relativa à comparação das médias e realização do teste t.

Foram aplicados os procedimentos estatísticos, e procedeu-se à validação dos modelos de medição por meio da realização do teste t para amostras pareadas, com nível de significância $p < 0,05$.

Na Tabela 5.5, pode-se observar que o coeficiente de correlação (R) assumiu valores entre 0,652 e 0,835, em que, de acordo com a Tabela 1.2 (página 18), essas correlações são classificadas como forte. Ao se aplicar o teste t, assumiu coeficientes (t) variando entre – 0,021 e 0,774, com nível de significância (p), variando entre 0,451 e 0,983. Portanto, todos os modelos para estimativa da densidade corporal, quando da

realização do teste t, não evidenciaram diferenças significativas, ao se realizar a comparação entre a densidade corporal medida e a densidade corporal estimada por cada modelo de medição.

Tabela 5.5 Validação dos modelos de medição da densidade corporal desenvolvidos para os indivíduos do sexo feminino - Aplicação do test t para amostras pareadas.
Amostra Feminina N = 16 - Dph_{valid} = (1,0520 ± 0,0127) (g/cm^3)

Grupo	Modelo	D ± s		R	t	p
1	Df_1	1,0509	0,0143	0,652	0,366	0,720
2	Df_2	1,0510	0,0101	0,764	0,465	0,648
2	Df_3	1,0522	0,0094	0,712	-0,082	0,936
2	Df_4	1,0520	0,0102	0,733	-0,021	0,983
2	Df_5	1,0509	0,0116	0,717	0,471	0,645
2	Df_6	1,0512	0,0105	0,749	0,346	0,734
3	Df_7	1,0517	0,0100	0,802	0,136	0,893
3	Df_8	1,0526	0,0090	0,751	-0,303	0,766
3	Df_9	1,0502	0,0126	0,726	0,774	0,451
3	Df_{10}	1,0524	0,0093	0,756	-0,216	0,832
4	Df_{11}	1,0519	0,0109	0,776	0,060	0,953
4	Df_{12}	1,0511	0,0114	0,812	0,444	0,663
5	Df_{13}	1,0520	0,0097	0,835	-0,032	0,975

Em que: D = média da densidade corporal, em g/cm^3, s = desvio-padrão da média da densidade, em g/cm^3, r = coeficiente de correlação,t = teste t de student e
p = probabilidade.

Na Tabela 5.6, estão disponibilizados os resultados dos cálculos dos coeficientes das retas, das correlações bem como dos erros EC, ET e EPE, em que foram utilizados os procedimentos sugeridos por Lohman (1992).

O pressuposto matemático infere que para existir uma excelente relação entre as variáveis dependente e independente, é necessário que a inclinação da reta de regressão seja significativamente diferente de 0, ou seja, apresente o coeficiente angular da reta próximo de 1 e o coeficiente linear da reta próximo de 0.

Quanto à análise dos coeficientes angular (α) e linear (β) encontrados quando aplicada uma regressão entre a variável padrão com as variáveis estimadas pelos modelos

de medição, pode-se partir da seguinte hipótese matemática: para uma excelente correlação entre duas variáveis (padrão e estimada), é sugerido que o valor do coeficiente angular seja próximo de 1 e que o valor do coeficiente linear seja próximo de 0. Com isso, a projeção gráfica desta relação estará próxima da ***linha de identidade.***

Tabela 5.6 Validação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino - Cálculo dos coeficientes da reta, dos erros EC, ET e EPE.
Amostra Feminina N = 16 - Dph_{valid} = (1,0520 ± 0,0127) g/cm^3

Grupo	Modelo	α	β	R	EC	ET	EPE
1	Df_1	0,581	0,442	0,652	0,0011	0,0139	0,0097
2	Df_2	0,968	0,035	0,764	0,0010	0,0098	0,0082
2	Df_3	0,969	0,033	0,712	-0,0002	0,0102	0,0089
2	Df_4	0,916	0,089	0,733	0,0000	0,0099	0,0087
2	Df_5	0,788	0,224	0,717	0,0011	0,0113	0,0089
2	Df_6	0,910	0,095	0,749	0,0008	0,0102	0,0084
3	Df_7	1,004	- 0,004	0,802	0,0003	0,0076	0,0075
3	Df_8	1,061	- 0,064	0,751	-0,0006	0,0088	0,0084
3	Df_9	0,736	0,279	0,726	0,0018	0,0123	0,0088
3	Df_{10}	1,039	- 0,041	0,756	-0,0004	0,0090	0,0083
4	Df_{11}	0,909	0,096	0,776	0,0001	0,0154	0,0080
4	Df_{12}	0,905	0,101	0,812	0,0008	0,0111	0,0074
5	Df_{13}	1,096	- 0,101	0,835	0,0000	0,0094	0,0070

Em que: α = coeficiente angular do modelo de medição, β = coeficiente linear do modelo de medição, R = coeficiente de correlação, EC = erro constante, em g/cm^3, ET = erro total, em g/cm^3 e EPE = erro padrão de estimativa, em g/cm^3.

No que diz respeito aos valores dos coeficientes α e β, encontrados nos diferentes modelos de medição para estimativa da densidade corporal, foram evidenciados, de acordo com a Tabela 5.6, valores do coeficiente linear (β) que variaram de -0,101 a 0,442 e valores do coeficiente angular (α) que variaram de 0,581 a 1,096.

Observa-se, na Tabela 5.6, que o erro padrão de estimativa (EPE), que fornece a variação padrão dos escores estimados em relação à medida critério, variou entre 0,0070 g/cm^3 e 0,0097 g/cm^3, e, de acordo com Lohman (1992), na Tabela 1.1 (página 18), esses erros qualitativamente estão classificados entre ruim (0,0010 g/cm^3) e bom (0,0070 g/cm^3).

O erro total (ET) que estabelece o erro associado ao número de indivíduos avaliados, de acordo com a Tabela 5.6, variou entre 0,0076 g/cm^3 e 0,0154 g/cm^3.

Já o erro constante (EC), definido como sendo a diferença entre o valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática e o valor médio da densidade corporal estimada pelo modelo de medição, de acordo com a Tabela 6.4, variou entre – 0,0006 g/cm^3 e 0,0018 g/cm^3.

5.5.1 Conclusão Relativa à Recomendação sobre os Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Feminino Validados

Observa-se, na Tabela 5.6, que, dos treze modelos de medição validados, os recomendados para uso por outras populações, com o objetivo de se realizar uma validação cruzada, são os modelos Df_7, Df_{12} e Df_{13}.

- **Em relação ao Modelo de Medição Df_7:**

Apresentou coeficiente de correlação R = 0,802 e coeficiente de determinação R^2 = 0,643, que representa a fração da variabilidade de uma característica, podendo ser explicada estatisticamente por outra variável, ou seja, quanto maior o valor encontrado para o coeficiente de determinação, maior será a variabilidade explicada de uma variável sobre a outra.

Apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0075 g/cm^3), um erro total com valor 0,0076 g/cm^3 e um erro constante com valor 0,0003 g/cm^3.

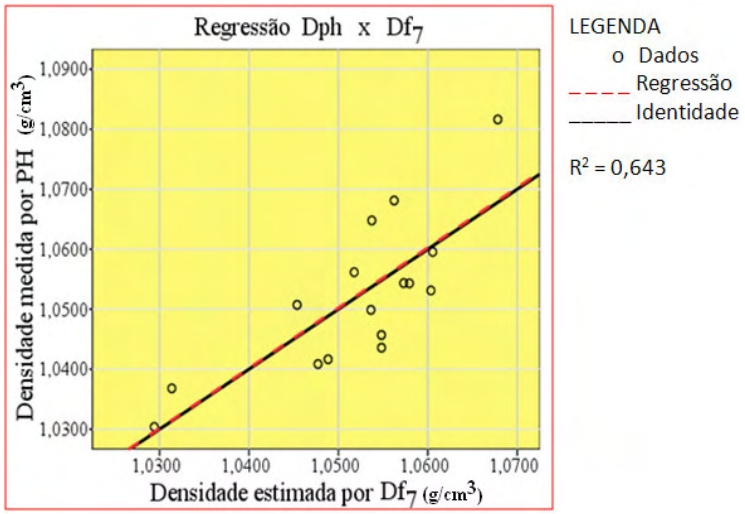
Apresentou excelentes resultados dos coeficientes angular e linear (α = 1,004, β = - 0,004), muito próximos de 1 e de 0, respectivamente.

Quanto à morfologia, verificou-se que a soma de dobras cutâneas é constituída de uma dobra periférica (coxa) e uma dobra central (abdominal), além de estarem presentes nesse modelo de medição, a estatura e a massa corporal. Essas variáveis explicam em 64,3 % da variância da densidade corporal dos indivíduos do sexo feminino estimados por esse modelo.

No que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de apenas duas dobras, da estatura e da massa corporal, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

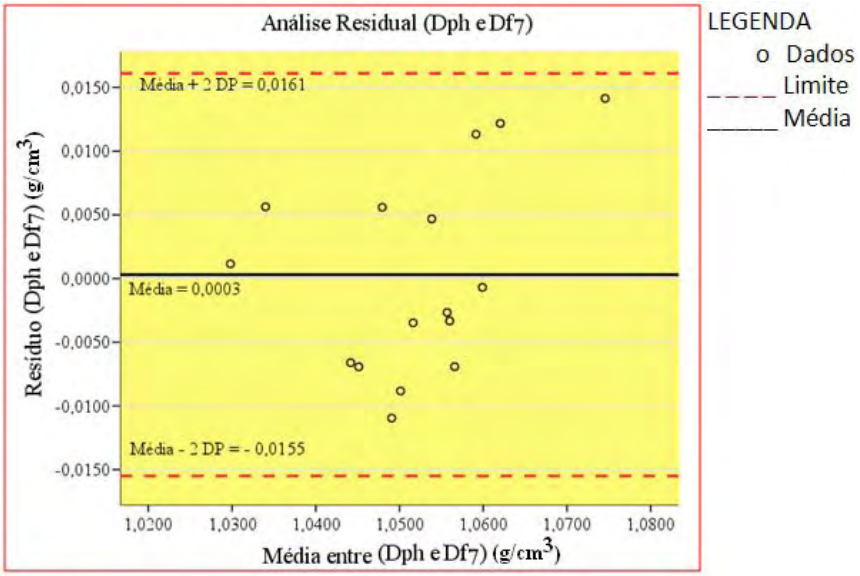
No Gráfico 5.3, pode ser observada a plotagem da reta de regressão do modelo de medição Df_7 e da reta identidade.

Gráfico 5.3– Reta de regressão do modelo de medição Df_7 e reta identidade.



Em relação à análise residual, aplicando-se o teste de Bland & Altman (1986), pode-se verificar, no Gráfico 5.4, que todas as medidas se encontram dentro da faixa do intervalo de confiança.

Gráfico 5.4 – Análise residual – Teste de Bland & Altman



- **Em relação ao Modelo de Medição Df_{12}:**

Foi comprovado um coeficiente de correlação forte (R = 0,812) e um coeficiente de determinação igual a 0,659, que representa a fração da variabilidade de uma característica que pode ser explicada estatisticamente por outra variável.

Apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0074 g/cm^3), um erro total com valor 0,0111 g/cm^3 e um erro constante com valor 0,0008 g/cm^3.

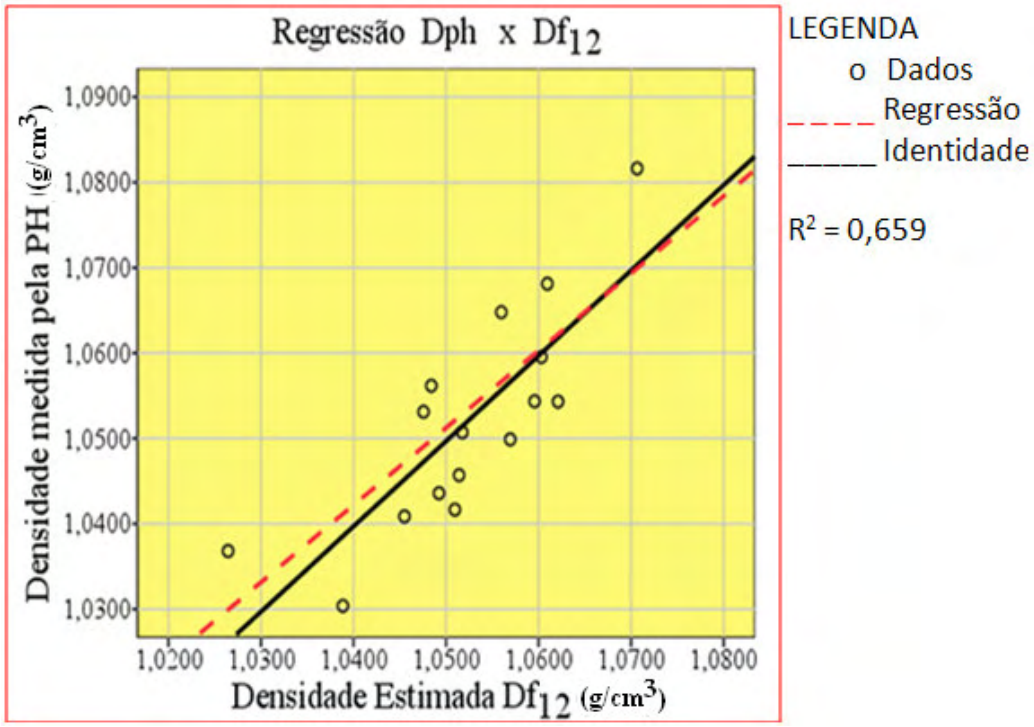
Quanto aos coeficientes da reta apresentou excelentes resultados (α = 0,905, β = 0,101), muito próximos de 1 e 0, respectivamente.

Quanto à morfologia, verifica-se que o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas, é constituída de duas dobras periféricas (bíceps e tríceps) e duas dobras centrais (abdominal e subescapular).

Em relação à praticidade, é necessária a medida de, apenas, quatro dobras, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

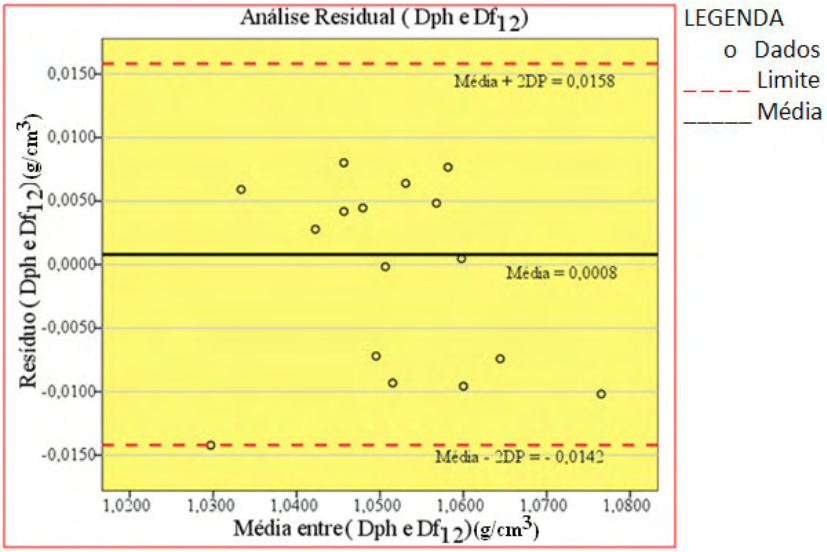
No Gráfico 5.5, pode ser observada a plotagem da reta de regressão do modelo de medição Df_{12} e da reta identidade.

Gráfico 5.5 – Reta de regressão do modelo de medição Df_{12} e reta identidade.



Em relação à análise residual, aplicando-se o teste de Bland & Altman (1986), pode-se verificar, no Gráfico 5.6, que todas as medidas se encontram dentro da faixa do intervalo de confiança.

Gráfico 5.6 – Análise residual – Teste de Bland & Altman



- **Em relação ao Modelo de Medição Df_{13}:**

Obteve-se um coeficiente de correlação R = 0,835 e um coeficiente de determinação R^2 = 0,697.

Evidenciou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0070 g/cm^3), um erro total com valor 0,00094 g/cm^3 e um erro constante igual a 0,0000 g/cm^3.

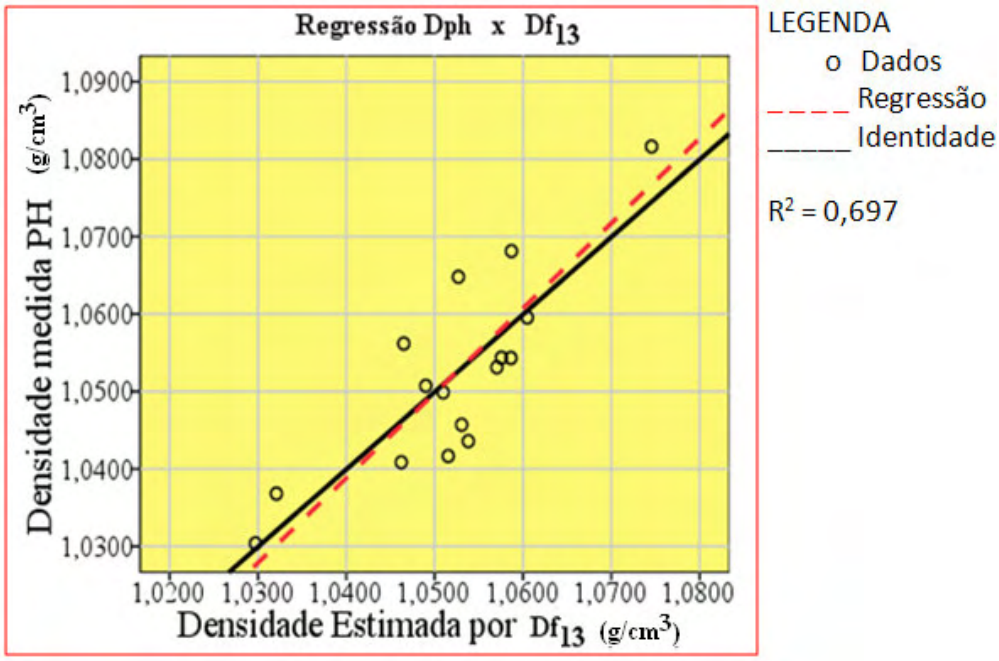
Em relação aos coeficientes da reta, apresentou excelentes resultados (α = 0,905, β = 0,101), muito próximos de 1 e de 0, respectivamente.

Quanto à morfologia, verifica-se que o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas, é constituída de duas dobras periféricas (bíceps e triceps) e duas dobras centrais (abdominal e subescapular).

No que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de quatro dobras, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

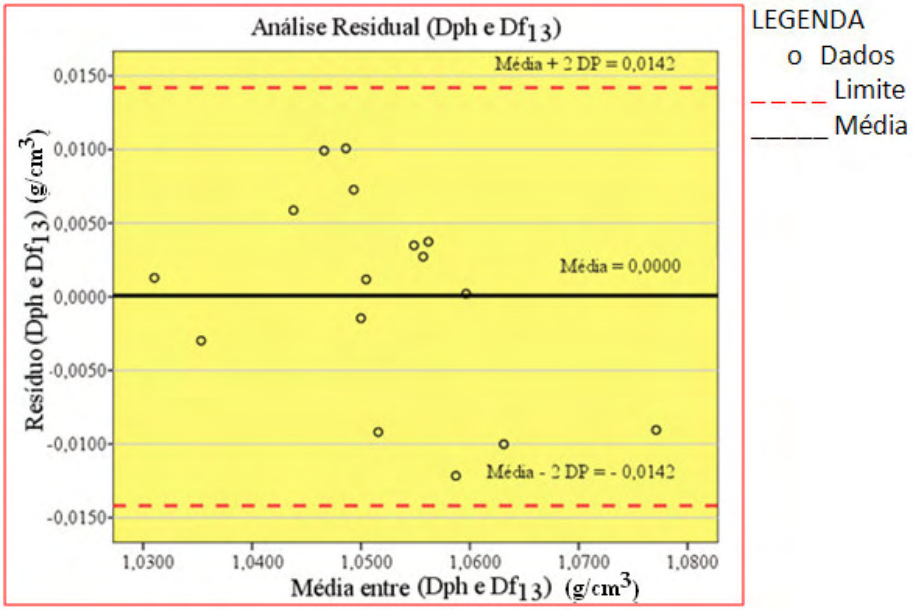
No Gráfico 5.7 pode ser observada a plotagem da reta de regressão do modelo de medição Df_{13} e da reta identidade.

Gráfico 5.7 – Reta de regressão do modelo de medição Df_{13} e reta identidade



Em relação à análise residual, aplicando-se o teste de Bland & Altman (1986), pode-se verificar, no Gráfico 5.8, que todas as medidas se encontram dentro da faixa do intervalo de confiança.

Gráfico 5.8 – Análise residual – Teste de Bland & Altman



5.6 CARACTERÍSTICAS DOS GRUPOS DE DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO

Com o objetivo de desenvolver e validar os modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, foram formadas duas amostras: uma amostra de desenvolvimento N = (84) e uma amostra de validação com N = (28).

Na Tabela 5.7, podem ser observadas as características descritivas e antropométricas da amostra de desenvolvimento e da amostra de validação.

Tabela 5.7 – Características descritivas e corporais das amostras de desenvolvimento e validação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino

Variável	Amostra de Desenvolvimento (N = 84)		Amostra de Validação (N = 28)	
	Média	s	Média	s
Idade (anos)	23,3	4,3	22,6	4,0
MC (kg)	69,9	8,9	70,4	9,4
EST (cm)	175,21	6,44	174,61	6,54
IMC (kg/m^2)	22,7	2,3	23,0	2,0
Dph (g/cm^3)	1,0728	0,0108	1,0700	0,0112
%G	11,44	4,64	12,67	4,86
MG (kg)	8,2	3,80	9,1	4,3
MM (kg)	61,7	7,3	61,3	7,1
Espessura de Dobras Cutâneas (mm)				
BI	4,5	1,9	5,0	2,2
TR	9,8	4,2	10,4	4,9
SE	13,1	5,4	12,8	4,8
PE	8,3	4,4	8,6	4,0
AX	9,5	4,6	9,8	4,5
SI	14,2	7,4	16,3	8,6
AB	16,6	8,5	18,5	10,4
CX	13,8	6,0	16,3	8,2
PT	8,4	3,2	9,5	4,0

Em que: s = desvio-padrão, MC = massa corporal, EST = estatura, IMC = índice de massa corporal, Dph = densidade corporal obtida pela pesagem hidrostática, %G = percentual de gordura, MG = massa gorda, MM = massa magra, BI = bíceps, TR = tríceps, SE = subescapular, AX = axilar, SI = suprailíaca, AB = abdômen, CX = coxa, PT = panturrilha e PE = peitoral.

A amostra utilizada para o desenvolvimento dos modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino teve a variável idade na faixa de (18 – 35) anos, a massa corporal entre (52,8 e 92,5) kg e estatura variando entre (161,30 e 191,50) cm. A amostra de validação, entretanto, teve a variável idade na faixa de (18 – 35) anos, a massa corporal entre (55,1 e 86,8) kg e estatura variando entre (161,00 e 186,80) cm.

5.7 MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO

Foram desenvolvidos 11 modelos de medição para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, adotando a densidade medida por meio do processo da pesagem hidrostática como variável dependente. Para isso, utilizou-se a amostra de desenvolvimento com N = 84, cujas características estão disponibilizadas na Tabela 5.7.

5.7.1 Modelo de Medição Dm_1

Utilizou-se o grupo 1 composto por 7 variáveis (idade, massa corporal, estatura, índice de massa corporal, soma de duas dobras (bíceps e suprailíaca), soma de duas dobras (coxa e abdominal) e soma de duas dobras (tríceps e abdominal)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71) para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_1, visando estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Ao final, o Modelo 5.14 foi composto por, apenas, uma variável (soma de 2 dobras).

$$Dm_1 = 1{,}089870 - 0{,}000645 \times (TR + AB) \tag{5.14}$$

Em que:

- $Dm_1 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(TR + AB)$ = soma das dobras cutâneas TR (tríceps) e AB (abdômen), em mm;
- A constante 1,089870, em g/cm^3, o coeficiente 0,000645, em g/(cm^3 . mm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (tríceps) e uma dobra cutânea central (abdominal). A soma das dobras cutâneas explicam

em 48,40 % a variância da densidade corporal. O modelo de medição Dm_1 apresentou correlação R = 0,695 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0077 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,733.

5.7.2 Modelo de Medição Dm_2

Para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_2, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, usou-se o grupo 2, composto por 4 variáveis (idade, índice de massa corporal, soma de três dobras cutâneas (panturrilha, axilar e suprailíaca) e soma de três dobras cutâneas (coxa, subescapular e abdominal)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71). O Modelo 5.15 foi composto por, apenas, uma variável (soma de 3 dobras).

$$Dm_2 = 1{,}090858 - 0{,}000414 \times (CX + AB + SE) \tag{5.15}$$

Em que:

- $Dm_2 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(CX + AB + SE) =$ soma das dobras cutâneas CX (coxa), AB (abdômen) e SE (subescapular), em mm.
- A constante 1,090858, em g/cm^3, o coeficiente 0,000414, em g/(cm^3 . mm).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (coxa) e duas dobras cutâneas central (abdominal e subescapular). A soma das dobras cutâneas explicam em 47,60 % a variância da densidade corporal. O modelo de medição Dm_2 apresentou correlação R = 0,690 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0078 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,633.

5.7.3 Modelo de Medição Dm_3

Foi usado o grupo 3, formado por 7 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de duas dobras cutâneas (coxa e abdominal), soma de duas dobras cutâneas (tríceps e

suprailíaca), soma de três dobras cutâneas (tríceps, abdominal e axilar) e a soma de três dobras (bíceps, abdominal e suprailíaca), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_3, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Ao final dos procedimentos da regressão linear método stepwise, o Modelo 5.16 foi composto por duas variáveis (soma de duas dobras, idade).

$$Dm_3 = 1{,}098289 - 0{,}000521 \times (CX + AB) - 0{,}000413 \times ID \qquad (5.16)$$

Em que:

- $Dm_3 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(CX + AB)$ = soma das dobras cutâneas CX (coxa) e AB (abdômen), em mm;
- ID = idade, em anos;
- A constante 1,098289, em g/cm^3, o coeficiente 0,000521, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000413, em g/(cm^3 . anos).

Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,765. O modelo de medição Dm_3 apresentou correlação R = 0,718 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0076 g/cm^3. Em relação à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (coxa) e uma dobra cutânea central (abdominal). A soma das dobras cutâneas e a idade juntas explicam em 51,60 % a variância da densidade corporal.

5.7.4 Modelo de Medição Dm_4

Utilizou-se o grupo 4, composto por 8 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de duas dobras (tríceps e axilar), soma de duas dobras (bíceps e abdominal), soma de duas dobras (coxa e subescapular), soma de duas dobras (panturrilha e suprailíaca) e soma de três dobras (panturrilha, axilar e suprailíaca)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_4, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Na expressão final, representado pelo Modelo 5.17, participaram duas variáveis (soma de 3 dobras, idade).

$$Dm_4 = 1{,}101914 - 0{,}000496 \times (PT + AX + SI) - 0{,}000564 \times ID \qquad (5.17)$$

Em que:

- $Dm_4 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(PT + AX + SI)$ = soma das dobras cutâneas PT (panturrilha), AX (axilar) e SI (suprailíaca), em mm;
- ID = idade, em anos;
- A constante 1,101914, em g/cm^3, o coeficiente 0,000496, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000564, em g/(cm^3 . anos).

O Modelo Dm_4 apresentou correlação R = 0,699 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0078 g/cm^3. Em relação à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (panturrilha) e duas dobras cutâneas centrais (axilar e suprailíaca). A soma das dobras cutâneas em conjunto com a idade explicam em 48,90 % a variância da densidade corporal. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,706.

5.7.5 Modelo de Medição Dm_5

Utilizou-se o grupo 5, composto por 5 variáveis (idade, massa corporal, soma de três dobras (coxa, abdominal, peitoral), o quadrado dessa soma de dobras e o cubo dessa soma de dobras), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_5, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

O Modelo 5.18 representa a expressão desenvolvida e das 5 variáveis utilizadas, apenas duas foram usadas (soma de 3 dobras, quadrado da soma de três dobras).

$$Dm_5 = 1{,}099198 - 0{,}000885 \times (CX + AB + PE) + 0{,}0000044 \times (CX + AB + PE)^2 \qquad (5.18)$$

Em que:

- $Dm_5 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(CX + AB + PE)$ = soma das dobras cutâneas CX (coxa), AB (abdômen) e PE (peitoral), em mm;
- $(CX + AB + PE)^2$ = quadrado da soma das dobras cutâneas CX (coxa), AB (abdômen) e PE (peitoral), em mm;
- A constante 1,099198, em g/cm^3, o coeficiente 0,000885, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,0000044, em g/(cm^3 . mm^2).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (coxa) e duas dobras cutâneas centrais (abdominal e peitoral). A soma das dobras cutâneas e o quadrado dessa soma de dobras juntos explicam em 54,80 % a variância da densidade corporal. O Modelo Dm_5 apresentou correlação R = 0,740 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0073 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986) e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,603.

5.7.6 Modelo de Medição Dm_6

Utilizou-se o grupo 6 composto por 8 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de três dobras (coxa, abdominal, peitoral), soma de três dobras (tríceps, suprailíaca, subescapular), soma de quatro dobras (tríceps, coxa, peitoral, abdominal), o quadrado da soma de quatro dobras e o cubo da soma de quatro dobras), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_6, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Obteve-se a expressão representada pelo Modelo 5.19, composto por duas variáveis (soma de 4 dobras, quadrado da soma de 4 dobras).

$$Dm_6 = 1{,}100407 - 0{,}000733 \times (TR + CX + AB + PE) + 0{,}0000029 \times (TR + CX + AB + PE)^2 \quad (5.19)$$

Em que:

- $Dm_6 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(TR + CX + AB + PE)$= soma das dobras cutâneas TR (tríceps), CX (coxa), AB (abdômen) e PE (peitoral), em mm;
- $(TR + CX + AB + PE)^2$ = quadrado da soma das dobras cutâneas TR (tríceps), CX (coxa), AB (abdômen) e PE (peitoral), em mm;
- A constante 1,100407, em g/cm^3, o coeficiente 0,000733, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,0000029, em g/(cm^3 . mm^2).

O Modelo Dm_6 apresentou correlação R = 0,747 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0072 g/cm^3. Em relação à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e duas dobras cutâneas centrais (abdominal e peitoral). A soma das dobras cutâneas em conjunto com o quadrado da soma dessas dobras explicam em 55,80 % a variância da densidade corporal. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,659.

5.7.7 Modelo de Medição Dm_7

Utilizou-se o grupo 7 da Tabela 4.2 (página 71), composto por 6 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de sete dobras (tríceps, coxa, subescapular, abdominal, peitoral, axilar, suprailíaca), quadrado da soma de sete dobras e o cubo da soma de sete dobras), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_7, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

O Modelo 5.20 foi desenvolvido, e, das 6 variáveis, apenas duas foram selecionadas (soma de 7 dobras, quadrado da soma de 7 dobras).

$$Dm_7 = 1{,}099823 - 0{,}000407 \times (TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI) + 0{,}0000009 \times (TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI)^2 \quad (5.20)$$

Em que:

- $Dm_7 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $(TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI)$= soma das dobras cutâneas TR (tríceps), CX (coxa), SE (subescapular), AB (abdômen), PE (peitoral), AX (axilar) e SI (suprailíaca), em mm;

- $(TR + CX + SE + AB + PE + AX + SI)^2$ = quadrado da soma das dobras cutâneas TR (tríceps), CX (coxa), SE (subescapular), AB (abdômen), PE (peitoral), AX (axilar) e SI (suprailíaca), em mm;
- A constante 1,099823, em g/cm^3, o coeficiente 0,000407, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,0000009, em g/(cm^3 . mm^2).

Quanto à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e cinco dobras cutâneas centrais (subescapular, abdominal, peitoral, axilar e suprailíaca). A soma das dobras cutâneas e o quadrado dessa soma de dobras juntos explicam em 51,80 % a variância da densidade corporal. O Modelo Dm_7 apresentou correlação R = 0,720 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0076 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,628.

5.7.8 Modelo de Medição Dm_8

Utilizou-se o grupo 8 composto por 6 variáveis (idade, massa corporal, estatura, quadrado da soma de duas dobras (coxa, abdominal), quadrado da soma de duas dobras (tríceps e axilar) e o quadrado da soma de duas dobras (bíceps e suprailíaca)), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_8, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Observa-se que apenas duas variáveis (quadrado da soma de 2 dobras, idade) participaram do Modelo 5.21.

$$Dm_8 = 1{,}090600 - 0{,}00000599 \times (CX + AB)^2 - 0{,}000479 \times ID \qquad (5.21)$$

Em que:

- Dm_8 = densidade corporal, em g/cm^3;
- $(CX + AB)^2$ = quadrado da soma das dobras cutâneas CX (coxa) e AB (abdômen), em mm;
- ID = idade, em anos;
- A constante 1,090600, em g/cm^3, o coeficiente 0,00000599, em g/(cm^3 . mm^2), e o coeficiente 0,000479, em g/(cm^3 . anos).

Em relação ao aspecto morfológico, verifica-se a presença de uma dobra cutânea periférica (coxa) e uma dobra cutânea central (abdominal). A soma das dobras cutâneas e a idade juntas explicam em 43,70 % a variância da densidade corporal. O Modelo Dm_8 apresentou correlação R = 0,740 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0073 g/cm^3. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,833.

5.7.9 Modelo de Medição Dm_9

O grupo 9, formado por 7 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de cinco dobras (tríceps, coxa, subescapular, abdominal, peitoral), o quadrado da soma de cinco dobras, o cubo da soma de cinco dobras e o logaritmo de base decimal da soma dessas cinco dobras), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_9, teve como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Ao final, o Modelo 5.22 foi composto por uma variável (logaritmo de base decimal da soma de 5 dobras).

$$Dm_9 = 1{,}156229 - 0{,}04745 \times Log_{10}(TR + CX + SE + AB + PE) \qquad (5.22)$$

Em que:

- $Dm_9 =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $Log_{10}(TR + CX + SE + AB + PE)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras TR (tríceps), CX (coxa), SE (subescapular), AB (abdômen) e PE (peitoral), em mm;
- A constante 1,156229, em g/cm^3 e o coeficiente 0,04745, em g/(cm^3 . mm).

O Modelo Dm_9 apresentou correlação R = 0,731 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0074 g/cm^3. Em relação à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e três dobras cutâneas centrais (subescapular, abdominal e peitoral). O logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas explica em 53,40 % a variância da densidade corporal. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,645.

5.7.10 Modelo de Medição Dm_{10}

Utilizou-se o grupo 10, composto por 8 variáveis (idade, massa corporal, estatura, índice de massa corporal, soma de três dobras (tríceps, suprailíaca, abdominal), quadrado da soma dessas dobras, cubo da soma dessas dobras e logaritmo de base decimal da soma dessas dobras), disponibilizadas na Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_{10}, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

No Modelo 5.23, pode-se observar que participaram, ao final, apenas duas variáveis (logaritmo na base decimal da soma de 3 dobras cutâneas, idade).

$$Dm_{10} = 1{,}139363 - 0{,}035012 \times Log_{10}(TR + AB + SI) - 0{,}000502 \times ID \qquad (5.23)$$

Em que:

- $Dm_{10} =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $Log_{10}(TR + AB + SI)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras TR (tríceps), AB (abdômen) e SI (suprailíaca), em mm;
- ID = idade, em anos;
- A constante 1,139363, em g/cm^3, o coeficiente 0,035012, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,000502, em g/(cm^3 . anos).

Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,779. O Modelo Dm_{10} apresentou correlação R = 0,712 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0076 g/cm^3. Em relação à morfologia observa-se a presença de uma dobra cutânea periférica (tríceps) e duas dobras cutâneas centrais (abdominal e suprailíaca). O logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas e a idade juntas explicam em 50,70 % a variância da densidade corporal.

5.7.11 Modelo de Medição Dm_{11}

Utilizou-se o grupo 11, composto por 7 variáveis (idade, massa corporal, estatura, soma de quatro dobras (tríceps, coxa, subescapular, suprailíaca), o quadrado dessa soma, o cubo dessa soma e o logaritmo de base decimal dessa soma de dobras), disponibilizadas na

Tabela 4.2 (página 71), para o desenvolvimento do modelo de medição Dm_{11}, tendo como objetivo estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

O Modelo 5.24, desenvolvido para estimar a densidade corporal Dm_{11} foi composto por duas variáveis (logaritmo de base decimal da soma de 4 dobras, idade).

$$Dm_{11} = 1{,}157304 - 0{,}0043068 \times Log_{10}(TR + CX + SE + SI) - 0{,}000528 \times ID \quad (5.24)$$

Em que:

- $Dm_{11} =$ densidade corporal, em g/cm^3;
- $Log_{10}(TR + CX + SE + SI)$ = logaritmo na base decimal da soma das dobras TR (tríceps), CX (coxa), SE (subescapular) e SI (suprailíaca), em mm;
- ID = idade, em anos;
- A constante 1,157304, em g/cm^3, o coeficiente 0,004306, em g/(cm^3 . mm), e o coeficiente 0,00052, em g/(cm^3 . anos).

O Modelo Dm_{11} apresentou correlação R = 0,725 e erro padrão de estimativa EPE = 0,0075 g/cm^3. Em relação à morfologia, observa-se a presença de duas dobras cutâneas periféricas (tríceps e coxa) e duas dobras cutâneas centrais (subescapular e suprailíaca). O logaritmo de base decimal da soma das dobras cutâneas e a idade explicam em 52,60 % a variância da densidade corporal. Em relação à análise dos resíduos, foram realizados os procedimentos sugeridos por Bland & Altman (1986), e o teste de Durbin-Watson apresentou índice igual a 1,768.

5.7.12 Consistência do Desenvolvimento dos Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Masculino

Com o objetivo de desenvolver os modelos de medição para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, todos os pressupostos estatísticos, tais como o da regressão linear com método stepwise, o do coeficiente de correlação de Pearson e o da análise residual foram atendidos bem como o aspecto de praticidade.

É importante salientar que, em todos os modelos desenvolvidos, procurou-se atender o aspecto morfológico, buscando-se associar dobras periféricas e dobras centrais bem como, sempre que possível, a presença da variável idade. Observou-se que as variáveis massa corporal e estatura, mesmo estando inseridas praticamente em todos os grupos de desenvolvimento dos modelos, não fizeram parte de nenhum modelo de medição desenvolvido.

Esses modelos foram classificados em seis grupos, respeitando-se as características comuns, relativas às variáveis que participaram do modelo de medição, com o objetivo de realizar a discussão. Na Tabela 5.8, estão apresentados esses modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Tabela 5.8 – Classificação dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino

Grupo	Modelo de Medição
1	$Dm1 = 1{,}089870 - 0{,}000645 \times (TR + AB)$
1	$Dm2 = 1{,}090858 - 0{,}000414 \times (CX + AB + SE)$
2	$Dm3 = 1{,}098289 - 0{,}000521 \times (CX + AB) - 0{,}000413 \times ID$
2	$Dm4 = 1{,}101914 - 0{,}000496 \times (PT + AX + SI) - 0{,}000564 \times ID$
3	$Dm5 = 1{,}099198 - 0{,}000885 \times (CX+AB+PE) + 0{,}0000044 \times (CX+AB+PE)^2$
3	$Dm6 = 1{,}100407 - 0{,}000733 \times (TR+CX+AB+PE) + 0{,}0000044 \times (TR+CX+AB+PE)^2$
3	$Dm7 = 1{,}099823 - 0{,}000885 \times (TR+CX+SE+AB+PE+AX+SI) + 0{,}0000044 \times (TR+CX+SE+AB+PE+AX+SI)^2$
4	$Dm8 = 1{,}090600 - 0{,}00000599 \times (CX + AB)^2 - 0{,}000479 \times ID$
5	$Dm9 = 1{,}156229 - 0{,}04745 \times Log10 (TR + CX + SE + AB + PE)$
6	$Dm10 = 1{,}139363 - 0{,}035012 \times Log10 (TR + AB + SI) - 0{,}000502 \times ID$
6	$Dm11 = 1{,}157304 - 0{,}0043068 \times Log10 (TR + CX + SE + SI) - 0{,}000528 \times ID$

No grupo 1, pode-se observar que, nos modelos de medição Dm_1 e Dm_2, a variável independente constou da soma de dobras cutâneas. No grupo 2, composto pelos modelos de medição Dm_3 e Dm_4, as variáveis independentes foram a soma de dobras cutâneas e a idade. Nos modelos de medição Dm_5, Dm_6 e Dm_7, as variáveis independentes foram a soma de dobras cutâneas e essa soma ao quadrado e compuseram o grupo 3. No grupo 4, composto pelo modelo de medição Dm_8, a variável independente foi o quadrado da soma

de dobras cutâneas e a idade. No grupo 5, composto pelo modelo de medição Dm_9, a variável independente foi o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas. Finalmente, no grupo 6, composto pelos modelos de medição Dm_{10} *e* Dm_{11}, as variáveis independentes foram o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas e a idade.

Na Tabela 5.9, estão apresentados os valores evidenciados na regressão linear para o desenvolvimento dos modelos de medição com o objetivo de se estimar a densidade corporal para o sexo masculino, em que são apresentadas as variáveis, a média da densidade corporal estimada por cada modelo, o desvio-padrão da média da densidade de cada modelo bem como os valores da correlação (R), do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão de estimativa (EPE).

Tabela 5.9 – Resultado da regressão linear para o desenvolvimento dos modelos de medição da densidade corporal em universitários do sexo masculino
Amostra (N = 84) - ($Dph_{desenv} \pm s_{ph}$) = 1,0728± 0,0108 (g/cm^3)

Grupo	Modelo	Variáveis	Dm ± s (g/cm^3)		R	R²	EPE (g/cm^3)
1	*Dm1*	∑ 2 dobras	1,0728	0,0075	0,695	0,484	0,0077
1	*Dm2*	∑ 3 dobras	1,0728	0,0074	0,690	0,476	0,0078
2	*Dm3*	∑ 2 dobras, Idade	1,0728	0,0774	0,718	0,516	0,0076
2	*Dm4*	∑ 3 dobras, Idade	1,0729	0,0075	0,699	0,489	0,0078
3	*Dm5*	∑3dobras, (∑3dobras)²	1,0728	0,0080	0,740	0,548	0,0073
3	*Dm6*	∑4dobras, (∑4dobras)²	1,0729	0,0080	0,747	0,558	0,0072
3	*Dm7*	∑7dobras, (∑7dobras)²	1,0728	0,0078	0,720	0,518	0,0076
4	*Dm8*	(∑2dobras)², Idade	1,0729	0,0071	0,661	0,437	0,0082
5	*Dm9*	Log_{10} (∑5dobras)	1,0728	0,0079	0,731	0,534	0,0074
6	*Dm10*	Log_{10} (∑3dobras), Idade	1,0729	0,0077	0,712	0,507	0,0076
6	*Dm11*	Log_{10} (∑4dobras), Idade	1,0729	0,0078	0,725	0,526	0,0075

Em que: Dph_{desenv} = média da densidade corporal medida pelo processo da pesagem hidrostática, usada para desenvolver os modelos, s_{ph} = desvio-padrão da média da densidade corporal, medida pela pesagem hidrostática, Dm = média da densidade corporal estimada por cada modelo de medição, s = desvio-padrão da média da densidade corporal estimada pelos modelos, R = coeficiente de correlação, R^2 = coeficiente de determinação e EPE = erro padrão de estimativa.

O primeiro grupo, apresentando apenas soma de dobras cutâneas, é representado pelos modelos Dm_1 e Dm_2 obtidos por meio do método da regressão linear simples. O coeficiente de correlação teve valores 0,695 e 0,690, considerados qualitativamente como fortes correlações. Em relação ao EPE, obtiveram valores iguais a 0,0077 g/cm^3 e 0,0078 g/cm^3. Segundo Lohman (1992), observando-se a Tabela 1.1 (página 18), conclui-se que o EPE apresentado por esse modelo de medição é considerado bom.

O Grupo 2, apresentando as variáveis soma de dobras e idade, foi constituído dos modelos Dm_3 e Dm_4 obtidos pelo método da regressão linear múltipla. O erro padrão de estimativa assumiu valores iguais a 0,0076 g/cm^3 e 0,0078 g/cm^3 e, de acordo com Lohman (1992), considerados qualitativamente como bom. No que diz respeito ao coeficiente de correlação, este assumiu valores iguais a 0,718 e 0,699, também classificado como forte correlação.

Do grupo 3 participam os modelos de medição Dm_5, Dm_6 *e* Dm_7 que tiveram como variáveis a soma de dobras e o quadrado da soma de dobras. O coeficiente de correlação variou entre 0,720 e 0,747, considerados como fortes correlações. Em relação ao erro padrão de estimativa, variou entre 0,0073 g/cm^3 a 0,0076 g/cm^3, constituindo erros segundo Lohman (1992), considerados qualitativamente como bom.

O quarto grupo foi composto pelo modelo de medição Dm_8, cujas variáveis são o quadrado da soma de dobras e a idade. O coeficiente de correlação foi R = 0,661, e o erro padrão de estimativa, igual a 0,0082 g/cm^3.

O modelo de medição Dm_9 participou do quinto grupo que teve como variável o logaritmo de base decimal da soma de dobras. O erro padrão de estimativa teve valor igual a 0,0074 g/cm^3 e correlação igual a 0,731.

Participaram do sexto grupo os modelos de medição Dm_{10} e Dm_{11} cujas variáveis foram a idade e o logaritmo de base decimal da soma de dobras cutâneas. O coeficiente de correlação teve valores entre 0,712 e 0,725. O erro padrão de estimativa, considerado por Lohman (1992), na escala qualitativa como bom, teve valores respectivamente iguais a 0,0076 g/cm^3 e 0,0075 g/cm^3.

5.8 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA OS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO

Utilizou-se a amostra de validação constituída de 28 indivíduos do sexo masculino que não participaram da amostra de desenvolvimento dos modelos de medição

para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino cujas informações estão disponíveis na Tabela 5.7.

Na Tabela 5.10, estão disponibilizadas as informações relativas à validação dos modelos de medição desenvolvidos neste estudo para os indivíduos do sexo masculino, referentes à aplicação do teste t.

Tabela 5.10 Validação dos modelos de medição desenvolvidos para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino Aplicação do test t para amostras pareadas
Amostra Masculina - N = 28 - Dph_{valid} = 1,0700 ± 0,0112 g/cm^3

Grupo	Modelo	D ± s		R	t	p
1	Dm_1	1,0712	0,0093	0,716	-0,819	0,420
1	Dm_2	1,0712	0,0090	0,756	-0,856	0,400
2	Dm_3	1,0708	0,0093	0,789	-0,596	0,556
2	Dm_4	1,0715	0,0074	0,718	-1,027	0,314
3	Dm_5	1,0710	0,0090	0,812	-0,703	0,488
3	Dm_6	1,0712	0,0091	0,799	-0,799	0,431
3	Dm_7	1,0713	0,0085	0,729	-0,896	0,378
4	Dm_8	1,0707	0,0096	0,719	-0,471	0,642
5	Dm_9	1,0715	0,0088	0,786	-1,036	0,309
6	Dm_{10}	1,0717	0,0073	0,704	-1,153	0,259
6	Dm_{11}	1,0717	0,0077	0,729	-1,176	0,250

Em que: D = média da densidade corporal, em g/cm^3, s = desvio-padrão da média da densidade, em g/cm^3, R = coeficiente de correlação, t = teste t de Student e p = probabilidade.

Foram aplicados os procedimentos estatísticos, e procedeu-se à validação dos modelos de medição por meio da realização do teste t para amostras pareadas, com nível de significância $p < 0,05$, comparando a densidade corporal medida pela pesagem hidrostática com a densidade corporal estimada pelo modelo de medição.

Na Tabela 5.10, pode-se observar que o coeficiente de correlação (R) assumiu valores entre 0,704 e 0,812, em que, de acordo com a Tabela 1.2 (página 18), essas correlações são classificadas como forte. Ao se aplicar o teste t, assumiu coeficientes (t) variando no intervalo de - 1,176 a - 0,471, com nível de significância (p), variando entre 0,250 e 0,642. Portanto, todos os modelos para estimativa da densidade corporal, quando da realização do teste t, não evidenciaram diferenças significativas ao se realizar a comparação entre a densidade corporal medida e a densidade corporal estimada.

O pressuposto matemático infere que, para existir uma excelente relação entre as variáveis dependente e independente, é necessário que a inclinação da reta de regressão seja significativamente diferente de 0, ou seja, apresenta um coeficiente angular da reta próximo de 1 e um coeficiente linear da reta próximo de 0.

Quanto à análise dos coeficientes angular (α) e linear (β) encontrados quando aplicada uma regressão entre a variável padrão com as variáveis estimadas pelos modelos de medição, pode-se partir da seguinte hipótese matemática: para uma excelente correlação entre duas variáveis (padrão e estimada), é sugerido que o valor do coeficiente angular seja próximo de 1 e que o valor do coeficiente linear seja próximo de zero. Com isso, a projeção gráfica dessa relação estará próxima da ***linha de identidade.***

Na Tabela 5.11, estão disponibilizados os resultados dos cálculos dos coeficientes das retas, das correlações bem como do erro constante (EC), do erro total (ET) e do erro padrão de estimativa (EPE), em que foram utilizados os procedimentos sugeridos por Lohman (1992).

Tabela 5.11 Validação dos modelos de medição desenvolvidos para se estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino - Cálculo dos coeficientes da reta, dos erros EC, ET e EPE

Amostra Masculina - N = 28 - Dph_{valid} = (1,0700 ± 0,0112) g/cm^3

Grupo	Modelo	α	β	R	EC	ET	EPE
1	Dm_1	0,865	0,144	0,716	-0,0012	0,0092	0,0078
1	Dm_2	0,942	0,060	0,756	-0,0012	0,0089	0,0073
2	Dm_3	0,889	0,118	0,789	-0,0008	0,0071	0,0069
2	Dm_4	1,085	- 0,093	0,718	-0,0015	0,0074	0,0078
3	Dm_5	0,877	0,131	0,812	-0,0011	0,0069	0,0065
3	Dm_6	0,865	0,143	0,799	-0,0012	0,0073	0,0067
3	Dm_7	0,956	0,046	0,729	-0,0013	0,0085	0,0077
4	Dm_8	0,834	0,177	0,719	-0,0007	0,0095	0,0078
5	Dm_9	0,915	0,090	0,786	-0,0015	0,0072	0,0069
6	Dm_{10}	1,074	- 0,081	0,704	-0,0017	0,0074	0,0079
6	Dm_{11}	1,053	- 0,058	0,729	-0,0017	0,0078	0,0077

Em que: α = coeficiente angular da reta, β = coeficiente linear da reta, R = coeficiente de correlação, EC = erro constante, em g/cm^3, ET = erro total, em g/cm^3 e EPE = erro padrão de estimativa, em g/cm^3.

No que diz respeito aos valores dos coeficientes α e β, encontrados nos diferentes modelos de medição, para estimativa da densidade corporal, foram evidenciados, de acordo com a Tabela 5.11, valores do coeficiente linear (β) que variaram de - 0,093 a 0,177 e valores do coeficiente angular (α) que variaram de 0,834 a 1,085.

Observa-se na Tabela 5.11 que o erro padrão de estimativa (EPE) que fornece a variação padrão dos escores estimados em relação à medida critério, variou entre 0,0065 g/cm^3 e 0,0079 g/cm^3 e, de acordo com Lohman (1992), na Tabela 1.1 (página 18), esses erros qualitativamente estão classificados entre bom e muito bom.

O erro total (ET) que estabelece o erro associado ao número de indivíduos avaliados, de acordo com a Tabela 5.11, variou entre 0,0069 g/cm^3 e 0,0095 g/cm^3.

Em relação ao erro constante (EC), definido como sendo a diferença entre o valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática e o valor médio da densidade corporal estimada pelo modelo de medição, de acordo com a Tabela 5.11, variou entre - 0,0017 g/cm^3 e - 0,0007 g/cm^3.

No grupo 1, os dois modelos de medição apresentam coeficiente de correlação classificados como forte. O modelo Dm_2, apresentou em relação ao modelo Dm_1, maior coeficiente de correlação, menor ET, menor EPE e os melhores coeficientes angular e linear. Relativo à morfologia, os dois modelos atendem, pois o primeiro tem como variável a soma de uma dobra periférica e uma central, e o segundo possui como variável a soma de uma dobra periférica e duas dobras centrais. Quanto à praticidade, esses dois modelos também atendem.

Analisando-se os modelos de medição do grupo 2, observa-se que os coeficientes de correlação variaram entre 0,718 e 0,789, apresentando um grau de correlação classificado como forte, e a variação dos EPEs foi de 0,0069 a 0,0078, classificados qualitativamente de muito bom a bom. Quanto à morfologia, verificou-se que a soma de dobras (coxa, abdominal) se correlaciona, de forma mais acentuada, com a densidade do que com a soma de dobras (panturrilha, axilar, suprailíaca). Dessa forma, o modelo Dm_3 apresenta maior coeficiente de correlação, menor EPE, menor EC, menor ET e excelentes coeficientes angular e linear.

Em relação ao grupo 3, as correlações variaram de 0,729 a 0,812, sendo classificadas qualitativamente como fortes. Já o EPE, em g/cm^3, variou entre 0,0065 a 0,0077, classificados como muito bom. Os três modelos de medição atendem quanto à morfologia. Quanto à praticidade, ao compará-los, o modelo Dm_5 e o modelo Dm_6

praticamente se equivalem. O modelo de medição Dm_5 apresentou maior correlação, menor EPE, menor EC e menor ET e bons coeficientes angular e linear.

O grupo 4, constituído do modelo Em_8, apresentou correlação igual a 0,719 e EPE 0,0078 g/cm^3, classificados respectivamente como forte e bom. Quanto à morfologia esse modelo de medição atende, pois o quadrado da soma de dobras apresenta uma dobra periférica e uma dobra central.

O modelo de medição Dm_9, pertencente ao grupo 5, morfologicamente está bem representado, pois a variável logaritmo de base decimal da soma de 5 dobras possui duas dobras periféricas e três dobras centrais. Esse modelo de medição apresentou correlação forte R = 0,786 e EPE = 0,0069 g/cm^3 e valores dos coeficientes linear e angular excelentes.

O grupo 6 é composto dos modelos de medição Dm_{10} e Dm_{11}. Esses modelos apresentaram qualitativamente uma correlação forte, pois tiveram valores de R = 0,704 e R = 0,729. Quanto ao erro padrão de estimativa, de acordo com o sugerido por Lohman (1992), estão classificados como bom, pois tiveram valores 0,0077 g/cm^3 e 0,0079 g/cm^3. Quanto à praticidade, os dois modelos se equivalem. Relativo à morfologia, os dois modelos atendem. O modelo de medição Dm_{11} apresentou maior correlação, menor EPE e os melhores coeficientes angular e linear.

5.8.1 Conclusão Relativa à Recomendação dos Modelos de Medição da Densidade Corporal dos Indivíduos do Sexo Masculino Validados

Observa-se, na Tabela 5.9, que, dos onze modelos de medição validados, os recomendados para uso por outras populações, com o objetivo de se realizar uma validação cruzada, são os modelos Dm_3, Dm_5, Dm_6 e Dm_9.

✓ **Em relação ao modelo de medição Dm_3:**

- apresentou coeficiente de correlação R = 0,789 e um coeficiente de determinação igual a 0,622;
- apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0069 g/cm^3), um erro total com valor 0,0071 g/cm^3 e um erro constante com valor - 0,0008 g/cm^3;

- apresentou resultados dos coeficientes angular e linear e (α = 0,865, β = - 0,143), próximos de 1 e 0, respectivamente;
- quanto à morfologia, verificou-se que a soma de dobras cutâneas é constituída de uma dobra periférica (coxa) e uma dobra central (abdominal), além de estar presente nesse modelo de medição a variável idade;
- no que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de apenas duas dobras cutâneas, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

✓ **Em relação ao modelo de medição *Dm_5*:**

- apresentou coeficiente de correlação R = 0,812 e um coeficiente de determinação igual a 0,659;
- apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0065 g/cm^3), um erro total com valor 0,0069 g/cm^3 e um erro constante com valor - 0,0011 g/cm^3;
- apresentou resultados dos coeficientes angular e linear (α = 0,877, β = 0,131), próximos de 1 e 0, respectivamente;
- quanto à morfologia, verificou-se que a soma de dobras cutâneas é constituída de uma dobra periférica (coxa) e duas dobras centrais (abdominal e peitoral);
- no que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de apenas três dobras cutâneas, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

✓ **Em relação ao modelo de medição *Dm_6*:**

- apresentou coeficiente de correlação R = 0,799 e um coeficiente de determinação igual a 0,638;
- apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0067 g/cm^3), um erro total com valor 0,0073 g/cm^3 e um erro constante com valor - 0,0012 g/cm^3;
- apresentou resultados dos coeficientes angular e linear (α = 0,877, β = 0,131), próximos de 1 e 0, respectivamente;
- quanto à morfologia, verificou-se que a soma de quatro dobras cutâneas é constituída de duas dobras periféricas (tríceps, coxa) e duas dobras centrais (abdominal e peitoral);

- no que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de apenas quatro dobras cutâneas, diminuindo, com isso, as possibilidades de erro de medição.

✓ **Em relação ao modelo de medição Dm_9:**

- apresentou coeficiente de correlação R = 0,786 e um coeficiente de determinação igual a 0,618;
- apresentou um erro padrão de estimativa baixo (EPE = 0,0069 g/cm^3), um erro total com valor 0,0072 g/cm^3 e um erro constante com valor - 0,0015 g/cm^3;
- apresentou resultados dos coeficientes angular e linear (α = 0,915, β = 0,090), próximos de 1 e 0, respectivamente;
- quanto à morfologia, verificou-se que o logaritmo de base decimal da soma de quatro dobras cutâneas é constituída de duas dobras periféricas (tríceps, coxa) e três dobras centrais (subescapular, abdominal e peitoral);
- no que diz respeito à praticidade, é necessária a medida de, apenas, cinco dobras cutâneas, diminuindo com isso,as possibilidades de erro de medição.

5.9 CARACTERÍSTICAS DO GRUPO DE VALIDAÇÃO CRUZADA DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DA DENSIDADE CORPORAL DOS INDIVÍDUOS DO SEXO MASCULINO

Usou-se a amostra de validação cruzada, formada por 25 indivíduos do sexo masculino que não participaram do grupo de desenvolvimento nem do grupo de validação dos modelos de medição para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino.

Nessa amostra, os indivíduos tiveram a idade variando de 18 a 33 anos, a massa corporal com valores entre 57,1 kg a 98,8 kg, e a estatura assumiu valores no intervalo de 163,00 cm a 191,00 cm. Apresentaram, também, os seguintes valores médios: densidade corporal de 1,0701 g/cm^3; percentual de gordura (%G) igual a 12,60; massa gorda (MG) de 9,1 kg; massa magra (MM) de 63,1 kg.

Na Tabela 5.12, são apresentadas as características descritivas e antropométricas da amostra de validação cruzada, utilizada com o objetivo de validar os modelos de medição desenvolvidos nesse estudo e por outros pesquisadores para o sexo masculino.

Tabela 5.12 – Características descritivas e corporais da amostra formada por indivíduos do sexo masculino para validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal

Amostra de Validação Cruzada (N = 25) Dphvalcruzada = (1,0701 ± 0,0109) g/cm^3

Variável	Média	Desvio-padrão
Idade (anos)	24,5	4,6
MC (kg)	72,2	8,9
EST (cm)	176,18	7,92
IMC(kg/m^2)	23,2	2,1
Dph (g/cm^3)	1,0701	0,0109
%G	12,60	4,68
MG(kg)	9,1	3,5
MM (kg)	63,1	8,5
Dobras Cutâneas em mm		
BI	5,3	2,3
TR	9,6	3,5
SE	15,0	4,9
PE	9,0	2,8
AX	11,2	4,7
SI	16,9	8,3
AB	21,4	9,4
CX	15,0	6,0
PT	10,0	4,5

Em que: MC = massa corporal, EST = estatura, IMC = índice de massa corporal, Dph = densidade corporal obtida pela pesagem hidrostática, %G = percentual de gordura corporal, MG = massa gorda, MM = massa magra, BI = bíceps, TR = tríceps, SE = subescapular, AX = axilar, SI = suprailíaca, AB = abdômen, CX = coxa, PT = panturrilha e PE = peitoral

5.10 VALIDAÇÃO CRUZADA DOS MODELOS DE MEDIÇÃO DE DENSIDADE CORPORAL DESENVOLVIDOS PARA O SEXO MASCULINO NESTE ESTUDO E POR OUTROS AUTORES

Buscou-se nesse trabalho, além do desenvolvimento e validação de modelos de medição para se estimar a densidade corporal, a realização da validação cruzada,

utilizando-se uma amostra de indivíduos do sexo masculino que não participaram nem do desenvolvimento nem da validação dos modelos de medição, cujas características antropométricas estão disponibilizadas na Tabela 5.12.

Todos os procedimentos empregados para a validação dos modelos de medição foram repetidos passo a passo, buscando a realização do processo de validação cruzada dos 11 modelos de medição, desenvolvidos neste estudo, para estimativa da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino bem como de 6 modelos de medição desenvolvidos por outros pesquisadores.

Os modelos de medição, desenvolvidos por outros pesquisadores, e neste estudo submetidos à validação cruzada, estão elencados na Tabela 4.4 (página 76), em que:

- se definiu como D_{sloan} o modelo de medição desenvolvido por Sloan (1967), que apresentou originalmente coeficiente de correlação 0,840 e erro padrão de estimativa 0,00670 g/cm^3;
- o modelo de medição de Pollock (1976) está representado como $D_{pollock}$ e apresentou, ao ser desenvolvido, uma correlação 0,780 e um EPE = 0,0082 g/cm^3;
- Guedes (1985) desenvolveu modelos de medição logarítmicos, que, neste trabalho denominou-se de D_{guedes}, apresentando erro padrão de estimativa de 0,0057 g/cm^3 e coeficiente de correlação igual a 0,894;
- Chamada de $D_{petroski}$ e apresentando correlação de valor 0,895 e EPE = 0,0075 g/cm^3, foi o modelo de medição desenvolvido por Petroski (1995), utilizado nesse estudo;
- O modelo de medição desenvolvido por Jackson&Pollock (1978), de 7 dobras, foi denominado de $D_{jack\&poll}$, apresentando correlação de 0,902 e erro padrão de estimativa igual a 0,0078 g/cm^3;
- Utilizou-se o modelo de medição desenvolvido por Nagamine&Suzuki (1964), denominado neste estudo de $D_{naga\&suzu}$.

Foram aplicados os procedimentos estatísticos e procedeu-se à validação cruzada dos modelos de medição por meio da realização do teste t para amostras pareadas com nível de significância $p < 0,05$.

Na Tabela 5.13, estão disponibilizadas as informações relativas à validação dos modelos de medição, desenvolvidos neste estudo e os desenvolvidos por outros pesquisadores, referentes à aplicação do teste t.

Tabela 5.13 Resultado relativo à validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal em indivíduos do sexo masculino
Amostra - N = 25- $Dph_{validcruz}$ = 1,0701 ± 0,0109 (g/cm^3)

Modelo	Dm ± s		R	t	p
Dm_1	1,0699	0,0072	0,747	0,177	0,861
Dm_2	1,0696	0,0065	0,746	0,386	0,703
Dm_3	1,0692	0,0065	0,774	0,682	0,502
Dm_4	1,0692	0,0068	0,604	0,564	0,578
Dm_5	1,0701	0,0069	0,805	0,920	0,367
Dm_6	1,0696	0,0070	0,805	0,390	0,700
Dm_7	1,0693	0,0066	0,746	0,552	0,586
Dm_8	1,0700	0,0056	0,743	0,086	0,932
Dm_9	1,0695	0,0062	0,792	0,435	0,668
Dm_{10}	1,0693	0,0062	0,669	0,549	0,588
Dm_{11}	1,0697	0,0056	0,689	0,289	0,775
D_{sloan}	1,0647	0,0108	0,672	3,077	0,005
$D_{pollock}$	1,0618	0,0047	0,650	4,843	0,000
D_{guedes}	1,0606	0,0110	0,709	5,681	0,000
$D_{petroski}$	1,0613	0,0087	0,674	5,407	0,000
$D_{jack\&poll}$	1,0680	0,0097	0,736	1,406	0,173
$D_{naga\&suzu}$	1,0628	0,0076	0,656	4,450	0,000

Em que: $Dph_{validcruz}$ = densidade medida pela pesagem hidrostática, utilizada para validação, Dm = média da densidade estimada pelos modelos de medição, em g/cm^3, s = desvio-padrão da média da densidade estimada pelos modelos de medição, em g/cm^3, R = coeficiente de correlação, t = coeficiente do teste t, p = probabilidade.

Como pode ser observado na Tabela 5.13, foram evidenciadas diferenças significativas, quando comparadas à densidade corporal medida pela pesagem hidrostática com a densidade corporal estimada pelos seguintes modelos de medição: D_{sloan}, $D_{pollock}$, D_{guedes}, $D_{petroski}$ e $D_{naga\&suzu}$. Observando-se as diferenças mais acentuadas nos modelos de medição de D_{guedes} (t = 5,681; p = 0,000) , $D_{petroski}$ (t = 5,407; p = 0,000), $D_{pollock}$ (t = 4,843; p = 0,000), $D_{naga\&suzu}$ (t = 4,450; p = 0,000) e D_{sloan} (t = 3,077; p = 0,005). O que se sugere que para a estimativa da densidade corporal, neste tipo de amostra, não é recomendável o uso desses modelos de medição.

Analisando-se os dados disponibilizados na Tabela 5.13, observa-se que todos os modelos de medição desenvolvidos neste estudo para estimar a densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino, quando comparadas a densidade corporal medida pela pesagem hidrostática com a densidade estimada pelos modelos por meio do teste t de Student, não evidenciaram diferenças significativas.

Dos seis modelos desenvolvidos por outros pesquisadores e submetidos à validação cruzada, apenas o de Jackson & Pollock (1978), aqui representado por $D_{jack\&poll}$, não evidenciou diferença significativa.

Na Tabela 5.14, são apresentados os resultados da validação cruzada dos modelos de medição que não apresentaram diferenças significativas, evidenciando os coeficientes angular e linear, os erros EC, ET e EPE bem como o coeficiente de correlação (R) e o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 5.14 Validação cruzada dos modelos de medição da densidade corporal dos indivíduos do sexo masculino

Amostra - N = 25			$Dph_{validcruz}$ = (1,0701 ± 0,0109) (g/cm^3)				
Modelo	R	R^2	α	β	EC	ET	EPE
Dm1	0,747	0,558	1,130	-0,139	0,0002	0,0071	0,0073
Dm2	0,746	0,557	1,253	-0,270	0,0005	0,0064	0,0074
Dm3	0,774	0,599	1,300	-0,320	0,0009	0,0064	0,0070
Dm4	0,604	0,365	0,970	0,033	0,0009	0,0067	0,0088
Dm5	0,805	0,648	1,271	-0,288	0,0012	0,0069	0,0065
Dm6	0,805	0,648	1,246	-0,263	0,0005	0,0069	0,0065
Dm7	0,746	0,557	1,223	0,248	0,0008	0,0066	0,0074
Dm8	0,743	0,552	1,430	-0,460	0,0001	0,0056	0,0074
Dm9	0,792	0,627	1,378	-0,404	0,0006	0,0062	0,0067
Dm10	0,669	0,448	1,179	-0,190	0,0008	0,0061	0,0082
Dm11	0,689	0,474	1,337	-0,360	0,0004	0,0055	0,0080
$D_{jack\&poll}$	0,736	0,542	0,829	0,184	0,0021	0,0097	0,0075

Em que: α = coeficiente angular da reta, β = coeficiente linear da reta, EC = erro constante, em g/cm^3, ET = erro total, em g/cm^3 e EPE = erro padrão de estimativa, em g/cm^3, R = coeficiente de correlação e R^2 = coeficiente de determinação.

Em relação às correlações encontradas entre as densidades estimadas e a medida, ficaram evidenciadas boas correlações que variaram entre 0,669 e 0,805, classificadas como forte. Os modelos de medição Dm_5 e Dm_6 apresentaram as melhores correlações (R = 0,805), seguidos dos modelos de medição, Dm_9 (R = 0,792) e Dm_3 (R = 0,774).

No que diz respeito aos valores dos coeficientes angular e linear, encontrados nos diferentes modelos de medição para estimativa da densidade corporal, foram evidenciados, de acordo com a Tabela 5.14, valores do coeficiente linear (β) que variaram de -0,460 a 0,248, e o modelo que apresentou um melhor valor de β foi o Dm_4 (0,033), seguido pelos modelos Dm_1 (- 0,139), $D_{jack\&poll}$ (0,184), Dm_{10} (- 0,190), Dm_7 (0,263), Dm_6 (-0,263), Dm_2 (- 0,270), Dm_5 (- 0,288), Dm_3 (- 0,320), Dm_{11} (- 0,360), Dm_9 (- 0,404) e Dm_8 (- 0,460).

Em relação ao coeficiente angular, os valores variaram entre 0,970 a 1,430. O modelo de medição que apresentou um melhor valor do coeficiente angular foi o Dm_4 (0,970), seguido dos modelos Dm_1 (1,130), $D_{jack\&poll}$ (0,829), Dm_{10} (1,179), Dm_7 (1,223), Dm_6 (1,246), Dm_2 (1,253), Dm_5 (1,271), Dm_3 (1,300), Dm_{11} (1,337), Dm_9 (1,378) e Dm_8 (1,430).

Outra fonte de análise importante é o erro padrão de estimativa, que representa o afastamento dos escores individuais da linha de regressão, quando classificado nos padrões propostos por Lohman (1992), para o sexo masculino.

Observa-se, na Tabela 5.14, que, em relação ao erro padrão de estimativa, os modelos de medição que apresentaram um menor erro, em g/cm^3, foram Dm_5 (0,0065), Dm_6 (0,0065), Dm_9 (0,0067), Dm_3 (0,0070), classificados como muito bom. Os modelos Dm_1, Dm_2, Dm_7, Dm_8 e $D_{jack\&poll}$ apresentaram EPE, em g/cm^3, no intervalo de 0,0073 a 0,0075, classificadas como bom. Os modelos Dm_{11}, Dm_{10} e Dm_4, entretanto, apresentaram EPE, em g/cm^3, entre 0,0080 e 0,0088, classificados como razoável.

Referente ao EPE, Lohman (1992), em seu livro, usa duas tabelas, (EPE da massa magra estimada, quando comparado com a pesagem hidrostática, e EPE da densidade corporal estimada, comparado com a densidade corporal obtida por meio da pesagem hidrostática), que podem ser usadas no julgamento e validade de um novo modelo de medição em questão. Nesse sentido, o autor infere que em relação à densidade corporal, uma predição do EPE, na técnica padrão, de 0,0070 g/cm^3 para os homens é muito bom e reflete um EPE de 3% na estimativa do percentual de gordura, no novo modelo de medição empregado.

Assim sendo, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.14, em relação ao erro padrão de estimativa, ficou evidenciado que os modelos de medição *Dm5*, *Dm6*, *Dm9* e *Dm3* apresentaram valores de EPE, em g/cm^3, quando comparados com a pesagem hidrostática, entre 0,0065 e 0,0070. Os modelos *Dm1*, *Dm2, Dm7*, *Dm8* e $D_{jack\&poll}$, entretanto, apresentaram EPE, em g/cm^3, no intervalo de 0,0073 a 0,0075, próximos dos valores acima citados, ficando evidenciado que, dentre os outros modelos de medição, foram encontrados valores de EPE acima dos padrões de avaliação de erros de prognóstico, sugeridos por Lohman (1992).

Relativo ao erro total (ET), medida que reflete a diferença real entre o valor predito da medida e o valor estimado, na Tabela 5.14, observam-se variações, em g/cm^3, de 0,0055 a 0,0097.

Os modelos de medição *Dm11*, *Dm8*, *Dm10*, *Dm9*, *Dm2* e *Dm3* apresentaram ET, em g/cm^3, entre 0,0055 e 0,0064. Os modelos de medição *Dm7*, *Dm4*, *Dm5* e *Dm6*, apresentaram ET, em g/cm^3, entre 0,0066 e 0,0069. Os modelos *Dm1* e $D_{jack\&poll}$, entretanto, apresentaram, respectivamente, ET iguais a 0,0071 g/cm^3 e 0,0097 g/cm^3.

Em relação ao erro constante (EC), definido como sendo a diferença entre o valor médio da densidade corporal da amostra de validação medida pelo procedimento da pesagem hidrostática e o valor médio da densidade corporal estimado pelo modelo de medição, na Tabela 5.14, observam-se variações, em g/cm^3, de 0,0001 a 0,0021.

Os modelos de medição *Dm5*, *Dm8*, *Dm1*, *Dm11*, *Dm2* e *Dm9* apresentaram, em g/cm^3, uma variação do EC de 0,0001 a 0,0006. Os modelos de medição *Dm7* e *Dm10*, entretanto, apresentaram EC de 0,008 g/cm^3, os modelos *Dm3* e *Dm4* apresentaram EC de 0,0009 g/cm^3, e o modelo $D_{jack\&poll}$ evidenciou EC de 0,0021 g/cm^3.

O coeficiente de determinação (R^2) representa a fração da variabilidade de uma característica que pode ser explicada estatisticamente por outra variável, ou seja, quanto maior o valor encontrado para R^2 maior será a variabilidade explicada de uma variável sobre a outra.

Nesse sentido, na Tabela 5.14, são evidenciados os valores do coeficiente de determinação de cada modelo de medição para estimativa da densidade corporal, quando relacionada com a densidade corporal obtida pela pesagem hidrostática.

Conforme apresentado na tabela citada, observa-se que os melhores valores do R^2 foram evidenciados nos modelos de medição *Dm5* e *Dm6* com valor 0,648 e nos modelos de medição *Dm9* e *Dm3*, respectivamente iguais a 0,627 e 0,599.