UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES
EM BIOENGENHARIA - EESC/FMRP/IQSC

MICHEL ALVES LACERDA

Aprimoramento do método de estimação de
gordura corporal por meio de um Scanner 3D
antropométrico

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2015

MICHEL ALVES LACERDA

Aprimoramento do método de estimação de
gordura corporal em um Scanner 3D
antropométrico

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades Bioengenharia - Escola de Engenharia de São Carlos / Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto / Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Bioengenharia

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cláudio Botazzo Delbem

Co-Orientador: Prof. Dr. Mário Alexandre Gazziro

São Carlos,

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L131a LACERDA, Michel Alves
Aprimoramento do método de estimação de gordura
corporal por meio de um Scanner 3D antropométrico /
Michel Alves LACERDA; orientador Alexandre Claudio
Botazzo Delbem; coorientador Mario Alexandre Gazziro.
São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
Interunidades Bioengenharia e Área de Concentração em
Bioengenharia -- Escola de Engenharia de São Carlos;
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; Instituto de
Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo,
2015.

1. Scanner 3D. 2. Antropometria. 3. Obesidade. 4.
Composição Corporal. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este conjunto a Deus, sem o qual nada teria começado prosseguido e terminado.

À minha família, meu pai João, minha mãe Adalgisa e minha irmã Anna, que me deram apoio, incentivo e força em todos os momentos desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João e Adalgisa por todo suporte, incentivo e palavras de sabedoria. Agradeço também à minha irmã Anna Carolina pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Alexandre Delbem pela orientação acadêmica essencial e por todo auxílio, sabedoria, suporte e aconselhamento durante o mestrado.

Ao Prof. Dr. Mario Gazziro pela co-orientação acadêmica, por sua dedicação ao objeto de pesquisa, e por todo auxílio, suporte e apoio em todas as etapas da jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia da USP e aos seus membros, principalmente à Profa. Dra. Ana Plepis pelo apoio e auxílio em momentos adversos, e à Janete e Juliana por toda ajuda e disposição.

Ao Departamento de Fisioterapia da UFSCar, especialmente à Prof. Dra. Audrey Borghi-Silva e sua equipe, pela parceria no estudo e disposição.

Aos colaboradores Lima Neto, Osti, Mendonça, Luciana Di Thomazzo, Lívia Carvalho e Suzuki que participaram do estudo e auxiliaram no desenvolvimento.

A todos os demais amigos e colegas que de uma forma ou de outra colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho e com palavras de apoio e amizade.

Eu não gosto de nada que a resposta
seja TEM QUE SER. Eu quero saber o
PORQUÊ

Isaac Asimov

RESUMO

L ACERDA, M. A. **Aprimoramento do método de estimação de gordura corporal por meio de um Scanner 3D antropométrico.** 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia – EESC/IQSC/FMRP, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Este trabalho apresenta o estudo realizado no aprimoramento de um método de estimação de gordura corpórea por meio de um Scanner antropométrico ALLBODYSCAN 3D® (São Carlos, SP, 2012) que constrói imagens 3D do corpo humano. Procedimentos computacionais de análise de modelo corporal gerado pelo scanner têm sido desenvolvidos na USP. Este estudo considerou medições em voluntários de vários grupos de interesse, de forma que a estimação de gordura pudesse ter abrangência satisfatória e com poucos fatores de erro, aprimorando a técnica. A pesquisa envolveu aspectos de gênero, etnia e idade de cada um dos voluntários. Os resultados foram comparados com estimações obtidas por Bioimpedância e por Adipometria e apresentaram alta correlação. O Scanner antropométrico apresentou suas medições com certas vantagens, comparado a outras técnicas, principalmente em relação à simplificação de procedimentos com o paciente para se obter medições confiáveis.

Palavras-chave: Scanner 3D, Antropometria, Obesidade, Composição Corporal.

ABSTRACT

LACERDA, M. A. **Improvement of a body fat mass estimation method through a 3D anthropometric Scanner**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia – EESC/IQSC/FMRP, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

The present paper shows the research done in the improvement of a method to estimate the body fat mass using an anthropometric Scanner AllBodyScan3D® (São Carlos, SP, 2012) that builds up 3D images from the human body. Computational procedures for body composition analysis have been developed at USP. The present study has considered measurements in different groups of volunteers, in a way that it can lead to satisfactory coverage, with relatively low error, improving the approach. The research has considered gender, ethnics and age of each volunteer. The results were compared to estimations from Bioimpedance and Adipometry and they presented high correlation. The anthropometric Scanner has shown some advantages in comparison to other techniques, mainly due to its simplified procedures imposed on patients for obtaining reliable measures.

Key-words: Scanner 3D, Anthropometry, Obesity, Body Composition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Exemplo de modelo corporal.....	28
Figura 2.1.1	Desconforto do método de pesagem hidrostática.....	33
Figura 2.1.2	Compasso de dobras cutâneas.....	33
Figura 2.1.3	Exame de DEXA.....	36
Figura 2.1.3	Exame de DEXA com imagens.....	36
Figura 2.3.1	Aquisição de dados pelo Microsoft Kinect.....	45
Figura 2.3.2	Malha pré ajustada.....	47
Figura 2.3.3	Scanner 3D da empresa TC2.....	47
Figura 2.3.4	Relação de volume adquirido com aquisição a laser.....	48
Figura 2.3.5	Protótipo inicial de Scanner 3D.....	49
Figura 2.3.6	Scanner 3D atual.....	50
Figura 2.3.7	Malha bruta obtida com Scanner 3D.....	52
Figura 2.3.8	Retirada de alguns pontos indesejados.....	53
Figura 2.3.9	Modelo final após suavização.....	54
Figura 2.3.10	Scanner 3D em uso.....	55
Figura 2.3.11	Aquisição de esfera.....	55
Figura 3.1.1	Scanner 3D utilizado.....	60
Figura 3.1.2	Equipamento de Bioimpedância utilizado.....	61
Figura 3.1.3	Equipamento de Adipometria utilizado.....	61
Figura 4.1.1.1	Relação do IMC dos participantes (Bio).....	63
Figura 4.1.2.1	Correlação entre IMC e Porcent. de Gordura (Bio).....	65
Figura 4.1.2.2	Correlação entre IMC e Porcent. de Gordura (Scanner).....	66
Figura 4.1.3.1	Comparação entre métodos (Bio e Scanner).....	69
Figura 4.1.3.2	Comparação entre métodos para masculino.....	70
Figura 4.1.3.3	Comparação entre métodos para feminino.....	71

Figura 4.1.3.4	Comparação entre métodos para etnias.....	73
Figura 4.1.3.5	Comparação entre métodos para faixas etárias.....	74
Figura 4.2.1.1	Relação do IMC dos participantes(Adipometria).....	75
Figura 4.2.2.1	Correlação entre IMC e Porcent. de Gordura(Adipometria).....	76
Figura 4.2.3.1	Comparação entre métodos(Adipometria e Scanner).....	77
Figura 4.2.3.2	Comparação entre métodos para etnias(Adipometria).....	78
Figura 4.2.3.3	Análise comparativa entre métodos-feminino(Adipometria).....	79
Figura 4.2.3.4	Análise Bland-Altman entre métodos-feminino(Adipometria)...	80
Figura 4.2.3.5	Análise comparativa entre métodos-masculino(Adipometria)...	81
Figura 4.2.3.6	Análise Bland-Altman entre métodos-masculino(Adipometria).	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
A	Afrodescendente
AMA	<i>American Medical Association</i>
C	Caucasiano
CMOS	<i>Complimentary Metal-Oxide Semiconductor</i>
CNR	<i>Consigli Nazionale de Ricerca - Italia</i>
D	Densidade
DEXA	<i>Dual X-ray Absorptiometry</i>
F	Feminino
ID	Identidade do Voluntário
IMC	Índice de Massa Corporal
ISTI	<i>Istituto de Scienza e Tecnologia dell'Informazione</i>
M	Masculino
O	Oriental
OMS	Organização Mundial da Saúde
VCG	<i>Visual Computing Graphic</i>
VP	Volume do Pulmão

LISTA DE SÍMBOLOS

G	Aceleração gravitacional
bpp	<i>bit por pixel</i>
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
g	Grama
°	Grau
Hz	Hertz
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
%	Porcentagem
K	Potássio
Kg	Quilograma
Na	Sódio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	Métodos de estimação de gordura.....	31
2.2	Composição corporal.....	39
2.3	Scanner 3D.....	43
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.1	Ajustes do método proposto.....	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1	Scanner 3D e Biomedância.....	63
4.2	Scanner 3D e Adipometria.....	72
5	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS.....	85
	APÊNDICE A – Dados obtidos.....	91
	APÊNDICE B – Comunicação do Comitê de Ética.....	105
	APÊNDICE C – Resumo Participante em Congresso.....	107

1 INTRODUÇÃO

A motivação inicial para este estudo é a importância dos cuidados à saúde na sociedade atual. É de conhecimento comum que a manutenção da saúde é ligada a importantes aspectos fisiológicos, principalmente a circulação sanguínea bem como o pleno funcionamento cardíaco. Entretanto, quando há desequilíbrio nutricional como no caso de excessiva ingestão de alimentos, esses aspectos fisiológicos podem ser alterados, tornando a pessoa obesa e comprometendo sua saúde.

De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde), a obesidade mundial quase dobrou desde 1980. No Brasil, um terço das crianças se encontrava acima do peso ideal no ano de 2009 [1]. Segundo a AMA (*American Medical Association*), a obesidade é classificada como uma doença [2]. Visto isso, é importante o desenvolvimento de tecnologias que possam mensurar e auxiliar o diagnóstico de gordura corporal.

Tecnologias de baixo custo, que possam ser acessíveis e, ao mesmo tempo, forneçam resultados de alta precisão, são necessárias, em especial na realidade do sistema de saúde brasileiro [1]. Preferencialmente, busca-se por tecnologias que possam aliar baixo custo, alta confiabilidade, com poucas ou nenhuma restrição para os diversos tipos físicos e de obesidade.

Técnicas de estimação de porcentagem de gordura corporal são essenciais em diversos campos. Na medicina, a estimativa pode ser usada para diagnóstico de doenças, bem como acompanhamento de tratamentos, uma vez que o percentual de gordura é tanto um fator de risco para doenças cardiovasculares quanto um sintoma de disfunções hormonais e circulatórias. No campo do esporte e bem-estar, serve de acompanhamento e evolução de indivíduos que frequentam academias, de atletas e de fisiculturistas. No campo do desenvolvimento corporal e nutrição, a porcentagem de gordura corporal pode trazer interessantes aspectos sobre o crescimento de crianças e acompanhamento de dietas nutricionais.

Um Scanner 3D antropométrico, como o ALLBODYSCAN3D® (ALLBODYSCAN, São Carlos, SP, 2012) é um sistema que utiliza dados de sensores de luz estruturada para a avaliação da quantidade da massa gordurosa corporal. Neste

trabalho, estudou-se o aprimoramento do método de estimação de gordura corporal que utiliza as informações geradas pelo Scanner 3D. Este possui como principais vantagens, o fato de não ser invasivo, não requerer dietas especiais, e ter um baixo custo. O método aprimorado proposto foi comparado com o método de Bioimpedância [3] e o método de Adipometria [4], que são técnicas reconhecidas na área de estimação de gordura corporal.

Figura 1.1 – Exemplo de modelo corporal obtido com o Scanner ALLBODYSCAN3D®.

A técnica de Bioimpedância foi escolhida como o principal método de comparação pela necessidade de uma técnica que produz estimativas de forma relativamente rápida. Além disso, essa técnica tem sido uma referência na estimação de gordura, em geral, com disponibilidade de equipe especializada para validação da aplicação correta da técnica e da qualidade dos resultados obtidos. De forma complementar, o método de Adipometria também foi aplicado para avaliação da proposta. O estudo foi realizado com colaboração do Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, que possui equipe altamente especializada e equipamentos da área, e em parceria com o Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC, que conta com equipe e material especializado para a realização do estudo.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho pode ser resumido da seguinte forma: avaliar a capacidade de estimar porcentagem de gordura a partir de dados de um Scanner 3D antropométrico em comparação com o método de Bioimpedância [3] e o método de Adipometria [4]. Além disso, busca-se verificar aspectos do método de estimação a partir do Scanner 3D que possam ser melhorados e propor soluções de forma a aumentar a qualidade de suas estimativas.

Na sequência, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, relacionando o contexto deste trabalho com o estado da arte na área. O Capítulo 3 apresenta o método proposto e resultados experimentos preliminares (descrevendo os métodos e materiais utilizados), que motivaram alguns avanços no método, descritos também no mesmo capítulo. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos a partir do método melhorado. O Capítulo 5 conclui o texto destacando as principais contribuições do trabalho e apontando possíveis estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os primeiros trabalhos na área são relativamente antigos, mas ainda considerados em certas análises. A revisão bibliográfica apresenta concordância entre livros e artigos clássicos bem como certas discordâncias que são apontadas neste Capítulo. Como o método de estimação de gordura corporal envolve diversos aspectos, é necessária a verificação de fatores importantes tanto do corpo humano quanto da tecnologia empregada.

Os métodos de estimação de gordura e composição corporal apresentados têm sido os mais utilizados, porém cada método possui pontos positivos e negativos, os quais serão abordados neste Capítulo. Na sequência: A Seção 2.1 descreve os métodos de estimação de gordura e composição corporal. A Seção 2.2 descreve a composição corporal. A Seção 2.3 descreve o Scanner 3D.

2.1 Métodos de estimação de gordura e composição corporal

Os métodos indiretos de estimação, avaliação de gordura e composição corporal [4] são:

- Densitometria;
- Adipometria;
- Índice de Massa Corporal;
- Calorimetria Indireta;
- Absorciometria de Feixe Duplo (DEXA – Dual X-ray Absorptiometry);
- Pletismografia;
- Bioimpedância;

Densitometria

A Densitometria, ou pesagem hidrostática, refere-se ao procedimento de se estimar a composição corporal através da densidade corporal. A densidade do corpo humano, como em qualquer material é equivalente à razão de sua massa e volume.

O método é indireto e não invasivo. Baseia-se no princípio de Arquimedes, que avalia o deslocamento de água quando um corpo é imerso. O volume do peso de água deslocado é igual ao volume do corpo [5].

O método consiste nas seguintes etapas: i) a medição da massa do indivíduo; ii) a medição do peso do indivíduo imerso com máxima exalação de ar dos pulmões, descontando a massa da plataforma imersa; iii) o cálculo do volume pulmonar residual (que pode ser obtido com um analisador de hélio) [6]. Então a densidade corporal é obtida pela Equação 2.1.1 obtida de [6].

$$Densidade = \frac{Massa\ seca}{\left(\frac{Massa\ seca - Massa\ imersa}{densidade\ água}\right) - Volume\ Pulmonar\ Residual - 0,1} \quad (2.1.1)$$

Porém, o método não pode ser aplicado a crianças devido ao descontrole da criança submersa e não é prático, uma vez que o indivíduo pode sentir-se incomodado ao ter que se submergir em água. Uma percepção do desconforto do usuário na aplicação deste método pode ser visto na Figura 2.1.1. O método para medição requer de 3 a 5 horas para ser configurado, e a imersão tende a ser desconfortável também para indivíduos com fobias. O método requer a presença de técnicos treinados e diversas repetições são recomendadas. Sua utilização com obesos mórbidos possuem restrição, pois o grande volume do obeso reduz tanto a densidade corporal que está próxima da densidade da água, reduzindo a precisão das estimativas.

Adipometria

Adipometria é uma técnica que visa avaliar a quantidade de gordura que existe no tecido subcutâneo e, a partir daí, estimar a proporção de gordura em relação ao peso corporal do indivíduo. Trata-se de um método indireto, e se utiliza de equações de regressão para a predição da gordura corporal [7].

Para a execução das medições é necessário um compasso de dobras cutâneas. Determinados pontos do corpo são pinçados a fim de se obter os indicadores, passando por peitoral, bíceps, abdome, coxa e panturrilha. Com os dados obtidos, são aplicadas as equações de regressão, discretizadas em tabelas para facilitar a utilização, das equações na estimação da gordura. Na Figura 2.1.2 pode-se visualizar um exemplo de compasso de dobras cutâneas em utilização.

Figura 2.1.1 – Desconforto do método de pesagem hidrostática. Fonte: http://www.ithaca.edu/depts/gallery_img/925_full.jpg

Figura 2.1.2 - Compasso de dobras cutâneas, modelo SANNY®.

A dificuldade de diferentes avaliadores em manter um padrão em relação aos pontos de medidas é uma limitação do método. Entre 3,0% e 9,0% de variabilidade em medidas de dobras são atribuídas a erros de medida interavaliadores [8]. São

desvantagens do método: i) a diferença de gordura localizada no tecido adiposo; ii) diferença na espessura da pele; iii) compressibilidade do tecido.

Mesmo com tais limitações, a técnica de Adipometria é uma das mais utilizadas por educadores físicos, fisioterapeutas e nutricionistas na avaliação de porcentagem de gordura, devido a sua facilidade de utilização e aceitação por grande parte dos profissionais.

Índice de Massa Corporal

O Índice de Massa Corporal (IMC) é um fator preditivo de estado nutricional, usado para classificar se uma pessoa está dentro de uma faixa considerada ideal. O IMC é dado pela razão entre a massa e a altura ao quadrado. Os valores de referência são os mesmos para qualquer indivíduo. Na TABELA 2.1.1 pode-se visualizar os valores referência para o IMC e suas classificações [9].

O IMC é muito utilizado em estudos para detecção de sobrepeso, obesidade (e seus respectivos graus) na população adulta em geral [11]. O IMC não estima a gordura, mas tem sido utilizado para avaliação geral de obesidade [12]. O IMC fornece de certa forma uma estimativa da distribuição de gordura no corpo, o que é importante na avaliação de sobrepeso e obesidade, porque a gordura visceral (intra-abdominal) é um fator de risco potencial para doenças cardiovasculares [13].

Calorimetria Indireta

A Calorimetria indireta é um método não invasivo que determina as necessidades nutricionais e a taxa de utilização dos substratos energéticos. Para isto, medem-se o consumo de oxigênio e a produção de gás carbônico obtidos por análise do ar inspirado e expirado pelos pulmões [14]. Com o conhecimento da quantidade de oxigênio que o organismo consome em relação à quantidade de caloria consumida é possível calcular quantas calorias o corpo está queimando no momento. Dessa forma, é possível estabelecer um padrão metabólico para o indivíduo, a partir da qual se pode prever se o excesso ou falta de peso é ocasionado pelo organismo da pessoa. Entretanto, uma variação de até 10,0% na

taxa metabólica pode ser esperada. Além disso, esta técnica não indica diretamente a porcentagem de gordura. Porém, fornece um bom indicativo relevante da composição corporal.

TABELA 2.1.1: Índice de Massa Corporal(IMC) e sua Classificação [10].

IMC (Kg / m²)	Classificação
< 16,0	Desnutrição grau III
16,0 – 16,9	Desnutrição grau II
17,0 – 18,4	Desnutrição grau I
18,5 – 24,9	Peso Ideal
25,0 – 29,9	Sobrepeso
30,0 – 34,9	Obesidade
35,0 – 39,9	Obesidade Severa
40,0 – 44,9	Obesidade Mórbida
> 44,9	Super Obesidade

Absorciometria de feixe duplo

A Absorciometria de feixe duplo (DEXA – *Dual X-ray absorptiometry*) é um método para avaliação da composição corporal. A técnica possibilita a medição de massa magra e tecido adiposo, além de gordura visceral. Na Figura 2.1.3 apresenta um exame de DEXA sendo realizado. Aa Figura 2.1.4 mostra o resultado gráfico de um exame DEXA em um indivíduo obeso [15].

A técnica de Absorciometria consiste na emissão de dois feixes de Raios-X com diferentes intensidades de energia. A partir das diferentes absorções dos diferentes tecidos (compondo a massa magra e massa gorda) pode-se determinar a presença de cada camada da composição corporal.

Figura 2.1.3: Execução de exame de Absorciometria de feixe duplo.

Figura 2.1.4: Resultado gráfico de um exame de Absorciometria de feixe duplo.

Entretanto, tal técnica exige equipamento de alto custo para aquisição, além de manutenção e equipe especializada. Obesos mórbidos são impedidos de realizar a medição por DEXA devido à escassa disponibilidade de equipamentos que possuam área e estrutura suficientes para realizar medições neles. Devido à emissão de Raios-X, medições não podem ser repetidas em um curto período de tempo. Isso tem reduzido sua aplicação quanto ao uso de um grande número de voluntários, e a realização de diversas medições em um mesmo paciente para aumento da confiabilidade nos resultados. Por outro lado, a técnica possui alta correlação com a densitometria por pesagem hidrostática [16].

Pletismografia

A Pletismografia é um método de estimação de gordura corporal que utiliza a relação inversa entre Pressão e Volume para determinar o Volume Corporal. Uma vez calculado o volume, é possível aplicar os princípios de densitometria para a estimação da composição corporal com base no cálculo da densidade corporal.

Um equipamento de Pletismografia dispõe de uma balança acoplada e uma câmara, a qual o indivíduo realiza uma incursão. Então são aferidas relações de mudança de pressão e volume na câmara, com e sem o indivíduo [17]. A técnica é um método com boa correlação com a densitometria por pesagem hidrostática, porém exige equipamento de alto custo e equipe altamente especializada [17].

Bioimpedância

A Bioimpedância baseia-se na medição de alterações da condução de corrente elétrica de diminuta intensidade através do corpo humano. O volume corporal é composto por fluidos intracelulares e extracelulares, que conduzem eletricidade. Também as membranas celulares conduzem eletricidade [4]. O fundamento da bioimpedância é que a massa magra tem mais eletrólitos e menos resistência elétrica do que a massa gorda.

Assim, a impedância e o fluxo de corrente elétrica estão relacionados à quantidade de massa gorda [7]. Com isso, uma corrente elétrica alternada (imperceptível, em torno de 100 uA) é aplicada no corpo do indivíduo, geralmente entre braço e perna do mesmo lado da pessoa. São medidos valores de resistência e reatância. Esses valores, assim como altura, peso, idade, sexo e nível de atividade física diária são variáveis de entrada para o cálculo da composição corporal, da taxa metabólica basal e da estimativa do gasto diário de energia do indivíduo.

O método retorna resultados como abaixo (em Kg ou % de cada parâmetro), seguido de seus significados:

- Gordura:
 - Gordura total corporal.
- Massa Sem Gordura:
 - Massa magra do corpo, que envolve músculos, ossos e água corporal.
- Massa Magra Seca:
 - Massa corporal magra sem água.
- Água Corporal Total:
 - Total da água do corpo. É um indicador de hidratação.
- Água Intracelular:
 - Total de água dentro das células.
- Água Extracelular:
 - Total de água no corpo que está fora das células, como fluido espinhal, fluido das juntas, edema, etc.
- Gasto Diário de Energia:
 - Gasto energético diário do indivíduo
- Taxa Metabólica Basal:
 - Número de calorias gasto pelo indivíduo sem nenhuma atividade motora.

A Bioimpedância, uma das técnicas mais utilizadas para avaliar a composição corporal [18] [19]. As equações associadas possuem validade específica para o grupo populacional na qual foi desenvolvida. Assim essa técnica pode produzir erros

em diferentes grupos étnicos, assim como a técnica de Adipometria [20]. As limitações desta técnica se referem ao limite máximo de peso do paciente e à restrição desse exame em gestantes e lactantes. O paciente no momento do exame deve ter feito jejum líquido de oito horas e não ter praticado exercícios físicos nas últimas vinte e quatro horas. A Bioimpedância possui um erro que pode chegar em 5,0 %. O principal fator de erro do método é o preparo anterior que o indivíduo deve fazer no tocante ao jejum líquido, uma vez as possíveis variações de líquido que o organismo irá apresentar no período podem resultar em erro nas estimativas. No que se refere ao conforto, o método tem desvantagem, pois na avaliação de esportistas no geral, o jejum líquido e a ausência de atividade física nas últimas vinte e quatro horas são restrições significativas.

2.2 Composição corporal

A composição corporal está relacionada ao genótipo do indivíduo, o consumo e gasto de energia e o ambiente circundante [1]. A análise da composição corporal é a quantificação dos principais componentes estruturais do corpo humano. O tamanho e forma corporais têm suas proporções baseadas nos maiores componentes estruturais do corpo humano: osso, músculo e gordura. Esses componentes são as causas da variação da massa corporal.

Os modelos antropométricos para a composição corporal são divididos em [21]:

- 1) Modelo básico de dois compartimentos;
- 2) Modelos de multi-compartimentos [22].

O modelo básico de dois compartimentos tem sido desenvolvido considerando a divisão do corpo em duas partes: uma consiste da massa gorda e a outra de todos os tecidos remanescentes, formando a massa livre de gordura, ou massa magra. A mensuração direta da gordura é um desafio para as técnicas de composição corporal. Entretanto, com a estimação da massa magra, a massa gorda pode ser definida como a diferença entre massa corporal e massa magra. Este modelo tem sido usado por diversas técnicas baseadas na densidade total corporal, como densitometria [23].

O modelo de três compartimentos é derivado do modelo de dois compartimentos, pela adição da estimativa de água corporal total. Neste modelo, a massa livre de gordura é dividida em água corporal e massa seca livre de gordura. São usadas medidas de densidade da água, da gordura e de sólidos corporais. Entretanto, em indivíduos com perdas de minerais e de proteínas, esse modelo não tem apresentado resultados satisfatórios [23].

O modelo de quatro compartimentos estende o modelo de três compartimentos, com adição da medição de minerais e proteínas. Entretanto, para obtenção dos mesmos, técnicas de DEXA e de avaliação proteica têm sido necessárias. A junção de técnicas diferentes resulta em um aumento na equipe especializada e um aumento no custo das avaliações.

Além disso, conforme necessidades de determinações específicas são apresentadas para completar a composição corporal, mais compartimentos são considerados. Isso tem restringido a aplicabilidade de modelos de multi-compartimentos. [24] [6] [25]. Naturalmente, o modelo de dois compartimentos necessita de menos equipamentos e possui no geral custos menores. A especificidade da massa gorda é definida como pouco variável entre as diferentes populações, entretanto a especificidade da massa magra é variável de acordo com gênero, etnia e faixa etária.

Em termos práticos, para se determinar o total da massa gorda pode se calcular a diferença entre o peso corporal e a massa magra. Para tanto, a equação apresentada em [26] utiliza o método de dois compartimentos para a composição corporal, conforme mostrado na Equação 2.2.1,

$$\%G = \frac{495}{D} - 450 \quad (2.2.1)$$

em que %G é porcentagem de gordura corporal e D é densidade corporal.

A Equação 2.2.1 pode ser deduzida conforme segue:

$$D = \frac{Massa\ gorda + Massa\ magra}{\left(\frac{Massa\ gorda}{densidade\ gorda}\right) + \left(\frac{Massa\ magra}{densidade\ magra}\right)}$$

A densidade da gordura tem sido estimada em 0,9 g/cm³ [27] [28] [29]. Por outro lado, a densidade da massa magra tem sido estimada em 1,1 g/cm³ [29]. Além disso, o modelo de dois compartimentos considera que:

$$Massa\ magra = 1 - Massa\ gorda$$

(2.2.3)

Com base nas Equações 2.2.1 e 2.2.3, nos valores de densidade de massa gorda de 0,9 g/cm³ e de massa magra de 1,1 g/cm³, obtém-se:

$$\%G = \frac{495}{D} - 450$$

(2.2.4)

Deve-se observar que o valor de densidade magra de 1,1 g/cm³ foi estimado [29] em virtude de pesquisas iniciais considerando indivíduos do sexo masculino, adultos e brancos caucasianos (descendentes de populações originárias do Cáucaso na Europa Oriental).

Por outro lado, os benefícios das aplicações do desenvolvimento do Scanner 3D (como proposto neste trabalho) para estimação de gordura podem extrapolar uma determinada etnia, gênero e idade. Com isso, um aprimoramento sugerido é a investigação de uma população amostral com uma maior diversidade de aspectos a serem considerados. Nesse novo contexto, a densidade de massa magra estimada em [26] precisa ser reestimada.

No presente trabalho, o aprimoramento proposto considera a etnia, o gênero, bem como a idade do indivíduo. Mais recentemente, foi estabelecido [29] que a densidade de massa magra (densidade magra) varia entre 1,1082 g/cm³ e 1,113 g/cm³ entre diferentes populações étnicas, gêneros e idade. Com isso, a Equação 2.2.4 pode ser reescrita como segue:

$$\%Gordura = \frac{\frac{densidade\ magra}{D} - 1}{\frac{densidade\ magra}{0.9} - 1}$$

(2.2.5)

Com a equação desenvolvida, sumariamente, tem-se que a porcentagem de gordura será determinada a partir da densidade total, que será a massa total pelo volume total e da densidade magra D, ajustada de acordo com [26]. Na Tabela 2.2.1 é possível verificar os valores estimados para a densidade magra de acordo com os tipos de população, a idade e o sexo. Durante o restante deste trabalho, não foi intuito apresentar o rigor matemático com três casas decimais, conforme a Tabela 2.2.1. Para que seja feita uma clara explanação do trabalho de pesquisa aqui apresentado, adotou-se uma casa decimal, limitando os cuidados com esse aspecto aos algoritmos computacionais utilizados para realizar cálculos.

Em relação ao uso do Scanner 3D, alguns outros fatores mostram-se importantes na estimação do volume, como: volume de cabelo, o fato da paciente ser gestante ou lactante, o uso de próteses de silicone e ortopédicas. Esses fatores podem alterar significativamente a densidade. Alguns hábitos dos indivíduos podem gerar distorções na estimação também, como tabagismo.

Além disso, existe o volume no corpo que é preenchido com ar. Esse é o volume do pulmão, que deve ser considerado no cálculo, e forme que seu volume seja subtraído do volume total. O volume do pulmão pode ser estimado pela Equação 2.2.7[29].

$$VP_{masculino} = ((4,72Altura + 0,009Massa) - 59,2)$$

$$VP_{feminino} = ((3,6Altura + 0,0031Massa) - 31,82)$$

(2.2.7)

TABELA 2.2.1 - Densidade da Massa Magra em função de aspectos populacionais [29]. As medidas foram feitas por dissecação cadavérica.

População	Idade	Sexo	Densidade de Massa Magra (g/cm³)
Índios americanos	18-60	Feminino	1,108
Negros	18-32	Masculino	1,113
	24-79	Feminino	1,106
Hispânicos	20-40	Feminino	1,105
Orientais	18-48	Masculino	1,099
		Feminino	1,111
	61-78	Masculino	1,105
		Feminino	1,100
Caucasianos	7-12	Masculino	1,084
		Feminino	1,082
	13-16	Masculino	1,094
		Feminino	1,093
	17-19	Masculino	1,098
		Feminino	1,095
	20-80	Masculino	1,100
		Feminino	1,097

2.3 Scanner 3D

O equipamento que é o foco desta pesquisa é o Scanner 3D Antropométrico ALLBODYSCAN3D®. Este tem como principal base de seu funcionamento a função de medir elementos no mundo físico, criando modelos (bonecos virtuais) que reproduzam forma e volume proporcionais do elemento no mundo real. Para isso, o

Scanner 3D gera uma nuvem de pontos que é convertida em malha poligonal. Então, com base nessa malha, pode-se capturar a geometria de objetos físicos.

A variedade de tipos de elementos que um Scanner 3D pode modelar é variada, podendo ser objetos, estruturas, esculturas. No uso clínico com humanos, os fins podem ser de diagnóstico de porcentagem de gordura, perimetria (medição dos perímetros corporais) e análise postural. O uso das informações do modelo construído pode ser para uma simples cópia ou modelagem virtual, quanto para análises. Por exemplo, para uma impressão tridimensional ou mesmo para determinar características de saúde de um indivíduo, como é o caso investigado neste trabalho.

O ALLBODYSCAN3D® usa a técnica de triangulação [30] em conjunto com o sensor Kinect™ (Microsoft, Redmond -WA, EUA ,2009) [31]. Este sensor possui diversas aplicações, principalmente em relação à medição de profundidade [32].

O princípio básico de funcionamento do sensor de profundidade do Kinect é baseado na emissão de um feixe no padrão infravermelho e a simultânea captura do infravermelho refletido pelo objeto através de um sensor CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) [33] tradicional que está sintonizado por filtro passa banda na faixa de infravermelho. O processador de imagem interno do Kinect usa a posição relativa dos pontos presentes no padrão de emissão para calcular a profundidade de cada posição de *pixels* da imagem. O valor de profundidade é a distância entre o plano câmera-laser (e não a distancia até o próprio sensor) e o plano do objeto. Um sensor de profundidade pode ser visto como um dispositivo que retorna a posição no espaço físico 3D (coordenadas x , y , z) de um objeto. A Figura 2.3.1 ilustra esse processo. O Quadro 2.3.1 sumariza as propriedades desse equipamento.

O Scanner 3D com o uso do sensor Kinect, possibilita a criação de uma malha de pontos significativamente representativa de um indivíduo ou objeto. Aliado a isso, por exemplo, o *software* ReconstructMe® (PROFACTOR GmbH, Steyr, Austria, 2010) da empresa PROFACTOR GmbH [34] [35] fornece um conjunto de métodos e algoritmos que podem ser utilizados no auxílio das funções do sensor

Kinect. O Scanner pode ser utilizado também com mais de um sensor de profundidade, aumentando a área coberta do indivíduo em função do tempo.

Após a malha 3D do corpo do indivíduo ser devidamente obtida pelo sensor de profundidade, pode-se utilizar o *software* Meshlab (ISTI-CNR, Pisa, Itália, 2005) [36] para um tratamento final, em que se suaviza e se corrige possíveis imperfeições no volume final. Este *software* baseia-se na biblioteca VCG Library [37] que é conhecida por oferecer várias funcionalidades do estado da arte para o processamento de malhas tridimensionais [38].

Figura 2.3.1 - Aquisição de dados pelo sensor Kinect™, utilizando o princípio da triangulação.

Quadro 2.3.1 - As características de *hardware* do sensor de profundidade do Scanner 3D.

Propriedade	Valor
Ângulo de visão	57° horizontal, 43 ° vertical
Deslocamento vertical	+/- 27°
Frequência	30hz
Resolução	640x480(VGA)
Resolução espacial nominal (em 2m de distância)	3 mm
Distância de profundidade nominal	0,8m – 3,5m
Resolução da profundidade nominal (em 2m de distância)	1 cm
Tipo de conexão	USB (+ alimentação externa)
Entrada de Áudio	Conjunto de quatro microfones com um conversor analógico-digital de 24bit além de um circuito interno para processamento de eco e ruídos
Acelerômetro	Acelerômetro 2G/4G/8G configurado em 2G com precisão de 1°
Taxa de transferência de dados	16bpp, 13 bit

No trabalho de Reese et al [39] é feito uma comparação com o volume obtido por um scanner 3D por ajuste de modelo de corpo humano 3D pré-estabelecido e o volume obtido pela pesagem hidrostática. Uma imagem do Scanner 3D utilizado no trabalho de Reese et al [39], produzido pela empresa TC2 em 2000, é apresentada na Figura 2.3.3. Neste trabalho, foram medidos pontos espalhados pelo corpo, a fim de ajustá-los em uma malha tridimensional pré-especificada. Na Figura 2.3.2 é possível constatar a malha (com linhas expostas) pré-ajustada. Com isso, o volume corporal é estimado com base no ajuste da malha citada. O trabalho de Peper [39] foi feito com populações adultas de origens caucasianas e hispânicas.

Figura 2.3.2 - Malha pré-ajustada do trabalho de Reese [39].

Figura 2.3.3 - Scanner 3D da empresa TC2® utilizado para verificação do método de aquisição antropométrica do índice de gordura [40].

Na Figura 2.3.4 é possível constatar a correlação entre o volume obtido pela pesagem hidrostática, que é considerado um dos mais precisos para o cálculo de gordura corporal e o volume obtido pelo Scanner 3D da empresa TC2. O gráfico e todos os dados da Figura 2.3.4 são do trabalho de Reese [39].

Figura 2.3.4 - Relação entre o volume adquirido pelo método de pesagem hidrostática e a aquisição a laser, mostrando uma alta correlação ($R^2 = 0,9$) entre os dois métodos [39].

Dados e figuras do trabalho de Peper [39].

O desenvolvimento de um Scanner 3D antropométrico para avaliar o índice de gordura corporal e também para outras aplicações médicas é descrito no trabalho de Gazziri et al. [41] [42] [43]. A aquisição das nuvens de pontos foi efetuada por meio de câmeras de vídeo do tipo VGA. Um *laser* e o sensoriamento foram efetuados por módulos de aquisição. Para deslocar o *laser* na extensão vertical, o sistema utiliza motores de passos controlados por um módulo de controle. Este scanner também utilizava a técnica de triangulação para obter as nuvens de pontos. Na base do sistema, há uma balança de precisão que faz a aquisição do peso.

Figura 2.3.5 - Protótipo Inicial desenvolvido por Gazziro et al. [42], mostrando alguns de seus componentes: (a) estrutura principal, (b) câmeras de mapeamento e (c) sensores de posição.

O Scanner 3D conta com uma plataforma mecânica, desenhada especialmente para suportar os sistemas de sensoriamento. A rotação dessa plataforma possibilita que o indivíduo seja devidamente mapeado em 360 graus. O Scanner 3D tem passado por melhoramentos contínuos, dentre eles está o ALLBODYSCAN3D®. O protótipo mais atual dessa linha de Scanner 3D é mostrado na Figura 2.3.6.

Figura 2.3.6 – Estágio de desenvolvimento atual do Scanner 3D.

O Scanner 3D tem o seu funcionamento relativamente simples. O paciente fica sobre a plataforma, que realiza sua pesagem e obtém sua massa. Após isso, a plataforma com o paciente gira suavemente em 360 graus, enquanto que a haste central, disposta de sensores de profundidade, armazena dados de pontos do corpo do indivíduo [44] por meio do sensor Kinect.

Após a aquisição dos pontos, é necessário que a malha de pontos seja fechada de forma a construir um modelo com superfície sem discontinuidades. A reconstrução de superfície por Poisson [45] para fazer isso. Tal tarefa é mais informalmente chamada de “fechar a malha triangular”. Em seguida, são retiradas seções indesejadas da malha. Em seguida, a reconstrução de superfície por Poisson é aplicada novamente [46]. As Figuras 2.3.7, 2.3.8 e 2.3.9 ilustram esse processamento. As seções indesejadas da malha ocorrem devido a pontos de baixa aquisição do Scanner 3D. Estes pontos ficam localizados em extremidades superiores.

Após isso, o algoritmo desenvolvido a partir da biblioteca Meshlab, proposto em [46], obtém o valor do volume do indivíduo. Com isso, o Scanner 3D tem como produto um modelo 3D do indivíduo e seu volume. Na Figura 2.3.10 é possível constatar o Scanner 3D em uso. Em linguagem Python™ (*Python Software*

Foundation, Delaware, EUA, 2001) [47], foi desenvolvido um *software* para realizar os cálculos e resultados de estimação da porcentagem de gordura no Scanner 3D [41], com base nas Equações apresentadas na seção 2.2.

O Scanner 3D teve sua precisão de medição de volume estimada. Para isso, uma esfera de 55 cm de diâmetro foi escaneada repetidas vezes. O erro médio obtido foi de 1 cm³ e desvio padrão de 0,7. A obtenção foi feita com uso do *software* Geomagic Studio® (Geomagic, Chapel Hill-NC, EUA, 1997). A Figura 2.3.11 exemplifica a aquisição virtual da esfera utilizada.

Figura 2.3.7 - Malha bruta obtida pelo Scanner 3D; indicando a presença da plataforma de aquisição(a ser removida).

Figura 2.3.8 – Lacunas na malha evidenciando pontos não obtidos pela aquisição (indicados pelas setas).

Figura 2.3.9 - Modelo final após a aplicação da reconstrução de superfície por Poisson.
Preenchimento de lacunas e suavização do modelo.

Figura 2.3.10 – Scanner 3D em uso.

Figura 2.3.11: Aquisição de esfera escaneada (esquerda) a partir da esfera real (direita).

Na obtenção da precisão do Scanner 3D, o volume de um indivíduo foi adquirido sucessivas vezes com o Scanner 3D. A precisão do volume obtido foi de 200 cm³. Dado esta precisão (o erro de aquisição do Scanner 3D) e considerando o erro de +/- 50 gramas da balança de precisão, é possível inferir o erro de todo o processo de estimação. Considerando um usuário padrão de 1,75 m, 75 kg e volume de 70.000 cm³, o erro do equipamento é estimado em 1% de gordura. A Tabela 2.3.2 exhibe os erros estimados.

Ainda utilizando do modelo de um usuário padrão, um erro de leitura de 800 cm³ poderia causar um erro de 5 % de gordura. Da mesma forma, um erro de 1 Kg na pesagem, causaria um erro de 5% de gordura.

Em comparação com os outros métodos de estimação de gordura apresentados, o método pelo Scanner 3D é satisfatoriamente rápido em relação aos métodos apresentados anteriormente. Um exame dura cerca de 2 minutos, enquanto que o de Adipometria pode precisar de 10 minutos, o de Bioimpedância 5 minutos, o de Densitometria, requer 3 horas e o de Absorciometria pode atingir cerca de 30 minutos. Além disso, o Scanner 3D pode proporcionar maior conforto ao usuário, também em relação aos métodos apresentados anteriormente. Ao usuário é necessário estar em trajes de banho, dispensa a presença de equipe especializada para a realização de testes e possui apenas o custo inicial da aquisição do Scanner, cujo valor de mercado tem sido estimado em torno de 10 mil reais. Em termos de custo, apenas o equipamento de Adipometria apresenta valor menor.

Como o Scanner 3D é um método indireto e não invasivo, não existem limitações no sentido de prejuízos ao usuário. Inclusive é possibilitado o uso do equipamento por deficientes físicos e pessoas com a falta de um membro, diferentemente dos métodos de Bioimpedância e Adipometria, que requerem que o indivíduo possua todos os membros para que a estimação de gordura seja feita. Em indivíduos com próteses pesadas, os devidos ajustes no modelo de cálculo de volume podem ser feitos para que a estimação seja mais próxima da porcentagem de gordura do indivíduo. Além disso, sua plataforma e método de aquisição permitem a indivíduos com obesidade mórbida a realização da estimação de gordura, ao contrário dos métodos de Absorciometria de Raios-X de feixe duplo, e

Densitometria, nos quais a estrutura deve ser adaptada para comportar obesos mórbidos.

TABELA 2.3.2: Erros estimados do Scanner ALLBODYSCAN3D.

Scanner ALLBODYSCAN3D	
Erro de distância unidimensional	± 1 cm
Erro de massa	± 50 g
Erro de aquisição de volume	± 200 cm ³
Erro de Porcentagem de Gordura	± 1 %

3 MATERIAL E MÉTODOS

A proposta da pesquisa é o aprimoramento de um método de estimação de gordura corporal, considerando os dados específicos de densidade para cada gênero, etnia e idade. Com isso, espera-se que a estimação seja mais próxima da condição real do indivíduo. Como forma de comparação, é utilizado o método de Bioimpedância, que é relativamente confiável, possui precisão de 2% a 5% (conforme preparação do paciente) e menos limitações de uso que os outros métodos descritos na Seção 2.1.

A comparação entre métodos de estimação de gordura corporal foi tema abordado em [48] utilizando diferentes métodos de bioimpedância e em [49] para apenas o tecido adiposo. Os trabalhos da literatura não comparam o método aprimorado de Scanner 3D com métodos de Bioimpedância e Adipometria no mesmo trabalho.

3.1 Ajustes do método proposto

O método de estimação de gordura segue a Equação 2.2.6 e 2.2.7 da Seção 2.2. No aprimoramento, unem-se os valores de densidade da Tabela 2.2.1 da Seção 2.2, trazendo aspectos individuais como etnia, gênero e idade às equações.

Dessa forma, a estimação da gordura será dependente das características de cada indivíduo, como etnia, gênero e idade, dentre eles, destaca-se também a importância do volume do pulmão. A Equação 3.1.1, em que VP é o Volume do Pulmão, mostra como esse fator pode ser considerado.

$$\%Gordura = \frac{\frac{\text{densidade magra}}{\left(\frac{Massa}{Volume - VP}\right)} - 1}{\frac{\text{densidade magra}}{0,9} - 1} \quad (3.1.1)$$

O material usado para a obtenção do volume e outras medidas dos voluntários compõe-se de:

- Scanner 3D ALLBODYSCAN® com balança analítica de pesagem com erro de 50 gramas.
- Equipamento de Bioimpedância Tanita® Ironman Modelo Bc-558 (Tanita, Tokyo, Japão, 1995).
- Adipômetro SANNY® com erro de 1 mm (SANNY, American Medical do Brasil, São Bernardo do Campo, 1999).

O Scanner 3D utilizado no presente estudo pode ser visto na Figura 3.1.1. O equipamento de Bioimpedância pode ser visto na Figura 3.1.2. O Adipômetro pode ser visto na Figura 3.1.3.

Para a realização da estimação de gordura com o método aprimorado e a comparação com o método de Bioimpedância, foram selecionados 153 voluntários com dados completos, do gênero feminino e masculino, com idade entre 15 e 68 anos e de etnias relacionadas aos tipos Caucasiano, Afrodescendente e Oriental. Os voluntários foram informados sobre o procedimento proposto e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O projeto possui aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar com número de protocolo 021/04.

Figura 3.1.1 – Scanner 3D (ALLBODYSCAN3D®) utilizado nos experimentos.

Figura 3.1.2 – Equipamento de Bioimpedância– Modelo Tanita® Ironman 558.

Figura 3.1.3 – Adipômetro SANNY®.

Foi realizado, nos voluntários a medição de percentagem de gordura pelo método Scanner 3D e pela Bioimpedância, em um mesmo dia. A Bioimpedância foi medida no Departamento de Fisioterapia da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos). Devido a limitações do método de Bioimpedância, os voluntários foram orientados a não ingerir líquidos 8 horas antes do exame, não praticar exercícios por 24 horas antes do exame e, se possível, utilizar trajes de banho. A participação de gestantes foi vetada, devido às restrições do método de Bioimpedância.

Com os dados antropométricos dados pelo Scanner 3D, foi determinada a porcentagem de gordura conforme método proposto nesta Seção. Os dados básicos dos voluntários estão na Tabela A.1 do Apêndice A. O Quadro 3.1.1 apresenta os dados dos voluntários divididos em gênero, idade e etnia. O Quadro 3.1.2 apresenta os dados dos voluntários divididos em gênero e idade.

QUADRO 3.1.1 – Número de voluntários por cada categoria.

Gênero	Nº
Feminino	99
Masculino	54
Etnia	Nº
Afrodescendente	18
Caucasiano	126
Oriental	9
Idade	Nº
De 15-25	42
26-35	50
36-45	26
46-55	23
56-68	12

QUADRO 3.1.2 – Distribuição dos voluntários por gênero e idade.

Gênero	Idade	15-25	26-35	36-45	46-55	56-68
Feminino		31	32	17	14	5
Masculino		11	18	9	9	7

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Resultados e Discussões estão organizados em duas Seções. A Seção 4.1 compara resultados de Bioimpedância com os do Scanner 3D. A Seção 4.2 apresenta uma comparação entre resultados de Adipometria e de obtidos pelo Scanner 3D.

4.1 Scanner 3D e Bioimpedância

Esta Seção apresenta os resultados da aquisição dos dados antropométricos (Seção 4.1.1) de Bioimpedância (Seção 4.1.2) e do aprimoramento da estimativa de gordura pelo Scanner (Seção 4.1.3).

4.1.1 Aquisição dos dados antropométricos

Na aquisição com a balança e o Scanner 3D, dados antropométricos básicos como altura e peso foram obtidos. Do total, foi possível obter os dados completos de 152 voluntários. A partir de peso e altura foi possível obter-se o IMC. A Figura 4.1.1 relaciona o IMC dos participantes. Assim, um IMC maior ou menor indica se a pessoa tem quantidade de massa desproporcional em relação a sua altura.

Na Figura 4.1.1.1 mais da metade tem sobrepeso ou obesidade, o que torna o estudo mais interessante, devido a diversos cenários que podem ser estudados.

Figura 4.1.1.1 – Relação do IMC dos participantes, obtido através do Scanner 3D. A classificação da legenda foi proposta por [9].

4.1.2 Aplicação da Bioimpedância

Na aquisição dos dados da Bioimpedância, diversos índices foram obtidos, dentre os quais, a porcentagem de gordura, utilizada para a comparação neste trabalho. Todos os demais índices obtidos estão exibidos na Tabela A.2 do Apêndice A. Na aquisição da porcentagem de gordura pela Bioimpedância, é possível cruzar-se os dados com os respectivos IMC. É importante observar que o IMC tem a limitação de não diferenciar massa gorda de massa magra, fornecendo apenas uma noção de quanto de massa total existe proporcionalmente a altura no indivíduo.

Na Figura 4.1.2.1 é possível constatar correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e a porcentagem de gordura pelo método de Bioimpedância, porém discrepâncias também são perceptíveis ($R^2 = 0,6$). Na mesma Figura é possível notar que alguns pontos mostram indivíduos com IMC de Obesidade 30 kg/m², porém com porcentagem de gordura baixo em torno de 20%. Isso mostra que uma pessoa com uma maior proporção de massa magra que a média, no geral, fisiculturistas e esportistas possuem IMC relativamente alto. Pode-se ver que a correlação é mais acentuada conforme maior o IMC, indicando que a correlação é melhor com o IMC para pacientes com alta porcentagem de gordura.

Na Figura 4.1.2.2 é possível constatar a correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e a porcentagem de gordura pelo método também por meio do Scanner. Neste caso, a correlação é menor ($R^2 = 0,4$), indicando que o método de Bioimpedância possui melhor correlação com o IMC, entretanto, isso não significa obrigatoriamente melhor medida de gordura.

Figura 4.1.2.1– Correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e Porcentagem de Gordura pelo método de Bioimpedância, em destaque (seta) indivíduos com alto IMC e baixa porcentagem de gordura. Índice de correlação $R^2 = 0,6$.

Figura 4.1.2.2– Correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e Porcentagem de Gordura pelo método do Scanner 3D. $R^2 = 0,4$.

4.1.3 Estimação de gordura pelo Scanner 3D considerando gênero, etnia e idade

A estimação de gordura pelo método proposto foi aplicada a todos os voluntários. Todos os resultados estão organizados na Tabela A.3 no Apêndice A.

Como visto no Capítulo 2, o erro do método do Scanner 3D é cerca de 1,0% de Gordura, enquanto que, no método de Bioimpedância, o erro pode chegar a 5,0%, de acordo com a preparação do usuário. Na comparação entre os métodos, aprimorado pelo Scanner 3D e Bioimpedância, obteve-se erro médio é de 4,7, desvio padrão de 4,0, mediana de 3,5 do erro e correlação de 0,8 (considerada alta).

A Figura 4.1.3.1 sintetiza a comparação do método aprimorado pelo Scanner 3D e o de Bioimpedância. Interessante notar que o sombreamento sobre as curvas representa o erro de precisão da Bioimpedância e do Scanner 3D. É possível observar a correlação existente entre o método proposto e a Bioimpedância.

O traçado do método do Scanner 3D acompanha o de Bioimpedância na maior parte dos pontos. Aparentemente, na faixa mais alta de porcentagem de gordura mostrada na Figura 4.1.3.1, o método da Bioimpedância tende a indicar alta porcentagem de gorduras para super obesos. Isso se explica devido à corrente da Bioimpedância usada estar perto do valor máximo admitido pelo equipamento, o qual pode estar operando em uma faixa de corrente com variação não linear com a impedância [18].

Ao mesmo tempo, cabe ressaltar que em super obesos, o uso de maiôs deixa de exibir bem os detalhes do volume físico ao sensor do Scanner 3D. Logo, erros maiores de volume são esperados. Acredita-se que quanto próximo do real o volume escaneado, melhor será a estimativa de porcentagem de gordura. Nesta discussão, cabe também questionar se a contribuição maior do método por meio de um Scanner 3D não estaria nessa faixa de voluntários, obesos mórbidos e super obesos, os quais encontram restrições e dificuldades para medição de gordura em todos os outros métodos apresentados no Capítulo 2. Se for utilizado um traje de banho com o mínimo de volume, então a estimação de gordura para esta faixa de voluntários encontrará uma situação adequada para a estimação de gordura.

Comparação entre gêneros

Na separação entre gêneros, obteve-se para o gênero feminino, erro médio é de 5,3, desvio padrão de 4,2, mediana do erro de 4,7 e correlação de 0,7. Para o gênero masculino, erro médio é de 3,8, desvio padrão de 3,3, mediana do erro de 2,9 e correlação de 0,7. Nas Figuras 4.1.3.2 e 4.1.3.3 pode-se visualizar a comparação. Nas faixas de porcentagem superiores, também se verifica como a comparação para super obesos se mostra diferente entre os métodos. Isso indica que o método de bioimpedância está trabalhando próximo dos valores limites de corrente e que o Scanner 3D gera modelos com volumes adicionais devido aos maiôs nos indivíduos obesos. A correlação para o gênero masculino se mostrou superior ao do gênero feminino. Uma das hipóteses é que a fonte de erros é maior em indivíduos do gênero feminino, devido a essas pacientes possuírem, em geral, maior volume de cabelo, contado como volume corporal. Nem todos os voluntários do sexo feminino se utilizaram de tocas de natação para minimizar o volume do cabelo.

Comparação entre etnias

Na Figura 4.1.3.4 pode-se comparar as etnias Caucasiano, Afrodescendente e Oriental. É interessante notar que existiu acompanhamento da curva de Bioimpedância, mesmo nos diferentes segmentos. Deve-se observar que a classificação de etnias foi feita por classificação de traços visuais. Este modo mostrou-se efetivo para o estudo apresentado. Os parâmetros usados foram traços faciais e a pigmentação da pele.

Comparação entre faixas etárias

Na comparação entre faixas etárias, não se observou disparidades relevantes. A Figura 4.1.3.5 apresenta uma comparação, na qual é feita a ordenação dos voluntários pela faixa etária.

Figura 4.1.3.1. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Bioimpedância. Sombreamento nas linhas representa erro de precisão de cada método. ID indica o paciente. Os ID's estão ordenados de forma a se ter % de gordura crescente.

Figura 4.1.3.2. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Bioimpedância para o gênero feminino. O erro de cada método foi representado por um sombreamento para destacar esta característica.

Figura 4.1.3.3. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Bioimpedância para o gênero masculino. O erro de cada método foi representado por um sombreamento para destacar esta característica.

Além disso, é interessante salientar que alguns erros de medição podem ter sido causados pelo excesso de volume na cabeça do modelo obtido pelo Scanner 3D (cabelos volumosos, compridos ou coques), próteses ortopédicas ou estéticas. Esses tipos de volumes podem acrescentar materiais de diferentes densidades ao conjunto, e o somatipo (tipo corporal e classificação física) de cada voluntário, os quais podem ser esportistas, sedentários, fisiculturistas ou atletas. Todos estes fatores poderiam afetar as estimações determinadas.

4.2 Scanner 3D e Adipometria

Os resultados da aquisição dos dados antropométricos (Seção 4.2.1) e por Adipometria em relação à estimação de gordura pelo Scanner 3D aprimorado (Seção 4.2.2) são descritos nesta Seção.

4.2.1 Aquisição dos dados antropométricos

Na aquisição com a balança e o Scanner 3D, dados antropométricos básicos como altura e peso foram obtidos. Do total, foi possível obter todos os dados de 103 voluntários, para comparação com a Adipometria. Os dados dos voluntários são mostrados na Tabela A.4 no Apêndice A. A partir do peso e da altura foi possível estimar o IMC. A Figura 4.2.1.1 relaciona o IMC dos participantes.

Na Figura 4.2.1.1 é possível constatar que mais de dois quintos dos voluntários tem sobrepeso ou obesidade. Isso é o que torna o estudo mais interessante, devido a diversos cenários que podem ser estudados (na comparação do Scanner 3D e a Adipometria), conforme ocorreu com os dados obtidos por Bioimpedância (Seção 4.1.1).

Figura 4.1.3.4. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Bioimpedância para as etnias A (Afrodescendente), C(Caucasiano), O (Oriental). O erro de cada método foi representado por um sombreamento para destacar esta característica.

Figura 4.1.3.5. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Bioimpedância, ordenado pela idade dos voluntários. O erro de cada método foi representado por um sombreamento para destacar esta característica.

4.2.2 Adipometria

Na aquisição dos dados da Adipometria, diversos índices foram obtidos, dentre os quais, a porcentagem de gordura, utilizada para a comparação neste trabalho. Todos os demais índices obtidos são apresentados na Tabela A.5 do Apêndice A. Na aquisição da porcentagem de gordura pela Adipometria, é possível cruzar-se os dados com os respectivos IMC. Entretanto, deve ser observado que o IMC tem a limitação de não diferenciar massa gorda de massa magra. A Figura 4.2.2. mostra a baixa correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e a porcentagem de gordura pelo método de Adipometria ($R^2 = 0,3$). Observar que não a correlação nem visualmente.

Figura 4.2.1.1 – Relação do IMC dos voluntários, obtido através do Scanner 3D.

Figura 4.2.2.1– Correlação entre IMC obtido pelo Scanner 3D e Porcentagem de Gordura pelo método de Adipometria. Apresenta $R^2 = 0,3$.

4.2.3 Método de estimaco de gordura pelo Scanner 3D considerando gnero

A Figura 4.2.3.1 compara o mtodo aprimorado pelo Scanner 3D e o de Adipometria. O sombreamento sobre as curvas representa o erro de preciso da Adipometria e do Scanner 3D. possvel observar a correlaco existente entre o mtodo proposto e a Adipometria. O traado do mtodo do Scanner 3D acompanha o de Adipometria na maior parte dos pontos. Interessante notar que em obesos mrbidos, o mtodo de Scanner 3D acompanhou a estimativa da Adipometria. Ao contrrio do que se viu na seco 4.1.3, no qual o Scanner 3D no acompanha a curva da Bioimpedncia em super obesos (devido aos possivelmente limites de corrente do mtodo da Bioimpedncia [18]).

Figura 4.2.3.1. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria. ID's ordenados com base na % de gordura.

Comparação entre etnias

A Figura 4.2.3.2 apresenta as estimativas de acordo com etnias. Nota-se que ocorreu acompanhamento da curva de Adipometria, mesmo nos diferentes segmentos. Nas medições com a Adipometria, não se contou com a participação de voluntários Orientais.

Comparação entre gêneros

Na separação entre gêneros, obteve-se uma correlação de 0,8 para o gênero feminino. As Figuras 4.2.3.3 e 4.2.3.4 apresentam a análise comparativa e de Bland-Altman [50] (avaliação de concordância entre métodos que mensuram mesma medida) para essa confrontação. Essas também destacam uma diferenciação do período menstrual das voluntárias, para que seja observado como a retenção hídrica pode influenciar um volume adicional não relacionado à gordura no corpo das voluntárias.

As Figuras 4.2.3.5 e 4.2.3.6 mostram a análise comparativa e de Bland-Altman para o gênero masculino. A correlação é de 0,8, porém com a curva levemente melhor que para o gênero feminino. Entre as hipóteses prováveis, cabe

ressaltar a retenção hídrica feminina e o Volume de cabelos femininos que tende a ser maior que o masculino, entre os voluntários deste estudo.

Figura 4.2.3.2. Comparação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria para as etnias A (Afrodescendente) e C(Caucasiano).

Figura 4.2.3.3. Análise comparativa de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria para o gênero feminino. Em destaque, a diferenciação relativa ao período menstrual das voluntárias (relativo à mudança de volume retido).

Figura 4.2.3.4. Comparação de Bland-Altman para a confrontação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria no gênero feminino. Em destaque, a diferenciação relativa ao período menstrual das voluntárias.

Figura 4.2.3.5. Análise comparativa de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria para o gênero masculino.

Figura 4.2.3.6. Comparação de Bland-Altman para a confrontação de porcentagem de gordura entre método usando Scanner 3D e Adipometria no gênero masculino. Os pontos fora da concordância de Bland-Altman representam voluntários nos quais as medidas na Adipometria e no Scanner 3D divergiram significativamente.

CONCLUSÕES

O estudo realizado com o método de estimação de gordura corpórea com base em um Scanner antropométrico (ALLBODYSCAN 3D®) envolveu medições em voluntários de vários grupos de interesse. A pesquisa envolveu aspectos de gênero, etnia e idade de cada um dos voluntários, de forma a verificar a utilidade da técnica para o maior público possível. Estimativas de gordura por Bioimpedância e por Adipometria foram também realizadas e mostraram correlações significativas com as estimativas por meio do Scanner 3D.

Em uma primeira aplicação de método, obtiveram-se resultados interessantes, apresentados no Capítulo 3. O método baseado no Scanner 3D mostrou erro médio e desvio padrão compatíveis aos obtidos por alguns dos métodos mais empregados (Bioimpedância e Adipometria). Porém, o método baseado no Scanner 3D tem as seguintes vantagens: i) não possui restrições como a Bioimpedância; ii) não há contato com o paciente como a Adipometria e a Bioimpedância ; iii) não há necessidade de seguir dietas especiais; iv) por ser um modelo de dois compartimentos, dispensa o aumento de equipe especializada e alto custo de avaliações como na técnica de DEXA; v) ao contrário dos métodos de Adipometria e Bioimpedância, não é necessário que o paciente possua todos os membros; vi) em indivíduos com próteses pesadas, devidos ajustes podem ser feitos para uma estimação mais próxima da porcentagem de gordura do paciente.

A partir dos resultados do Capítulo 4, alguns aspectos complementares puderam ser destacados: 1) uma maior correlação no gênero masculino, 2) o acompanhamento da curva (ajustada por regressão) para dados de todas as etnias e faixas etárias, tanto em comparação com as estimativas de Bioimpedância quanto com as de Adipometria, 3) a convergência de resultados entre o método com base no Scanner 3D e os métodos de Bioimpedância e Adipometria, em ambos os casos apresentando correlação de 0,8 (considerada alta). Explicações possíveis são baseadas no fato de que na Bioimpedância, a estimação da gordura e os cálculos de composição corporal possuem mesma base teórica (modo de dois compartimentos). No caso da Adipometria, por ser um método que utiliza equações de regressão, faz

com que seja mais próximo do modelo corporal de composição de gordura. O Scanner 3D, tendo como principal ferramenta a obtenção o Volume do paciente, consegue representar de forma satisfatória a composição corporal [21] em conjunto às estimações de gordura corporal e densidade específica de massa [29], aliados a pormenorização de etnia, gênero e idade que melhoram a estimacão da composicão corporal, conforme visto no Capítulo 4.

Esses resultados do método aprimorado motivaram a publicacão de um artigo em evento na área de Tecnologias Aplicadas à Saúde. Assim, foi publicado o trabalho intitulado “*Anthropomorphic 3D Scanner for corporal gross determination in obese population*” no *5th World Congress in Biotechnology* em Valencia, Espanha, em 2014. O resumo do trabalho encontra-se no Apêndice C.

Como sugestão para estudos futuros, seria interessante uma investigacão feita exclusivamente com a populacão do gênero feminino e com foco no período menstrual, em que ocorre alteracão de volume. Além disso, sugere-se a adequacão do método para modelar outras características específicas (como por exemplo, o fato do paciente ser fumante e o uso de próteses, aspectos que podem ser verificados previamente), melhorando as estimativas em relacão aos resultados obtidos neste trabalho.

Para se modelar novas características específicas, um estudo similar ao apresentado neste trabalho pode ser realizado, além da coleta dados adicionais. Com isso, será possível viabilizar o método proposto para casos em que tem sido relativamente difícil estimar a porcentagem de gordura pelos métodos usuais, beneficiando diagnósticos melhores.

Por fim, pode-se dizer que, com base no potencial verificado para o método proposto, o estudo realizado neste trabalho de mestrado mostra-se uma contribuicão interessante para o campo da Bioengenharia.

REFERÊNCIAS

- 1 WHO (World Health Organization) Obesity: preventing and managing the global epidemic – report of a WHO consultation on obesity. WHO Editor. Geneva. 253p. 2000.
- 2 Report f the Council on Science and Public Health. AMA- American Medical Association. CSAPH Report 3-A-13. 2013.
- 3 Stolarczyk, L. M. et al. The fatness specific bioelectrical impedance analysis equations of Segal et al. 2000.
- 4 Lukaski, H. C. et al . Methods for the assessment of human body composition traditional and new. The Am. Jour. of Clinical Nutrition, 46:537-556. 1987.
- 5 Salgueirosa, F. M. . Análise de Indicadores de Composição Corporal de Acadêmicos de Educação Física da Universidade Tuiuti do Paraná. In: XXV Simpósio Internacional de Ciências do Esporte, 2002, São Paulo. XXV Simp. Intern. de Ciências do Esporte. p. 224-224. 2002.
- 6 Wells J.C.K. et al. Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. Am J Clin Nutr. 69:904-12. 1999.
- 7 McArdle W.D. et al. Exercise physiology, energy, nutrition, and human performance, Baltimore: Williams & Wikins, 850p. 1996.
- 8 Machado, A.F., Dobras Cutâneas: Localização e Procedimentos Lab Fisiologia Exercício – UES – RJ. 2007.
- 9 De Lima, F. et al. Correlação das variáveis: índice de massa corporal (IMC) e percentual de gordura corporal em uma população praticante regular de atividade física – Rev. Digital EFDeportes. 2010.

- 10 Sturm, R. "Increases in morbid obesity in the USA: 2000–2005". Public Health Magaz. 121. 2006.
- 11 Malina R.M. et al. Validity of the body mass index as an indicator of the risk and presence of overweight in adolescents. Am J Clin Nutr , 70: 131S-6S. 1999.
- 12 Gutin B. et al. Effects of exercise intensity of an cardiovascular fitness, total body composition, and visceral adiposity of obese adolescents. Am J Clin Nutr, 2002, 74:818-26
- 13 ABESO. Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica. Diretrizes brasileiras de obesidade. 3 edição. 2009 .
- 14 Diener, J.R.C. Calorimetria Indireta – Rev. Assoc. Med. Bras. Vol 43 n 3 São Paulo – 1997.
- 15 Corseuil, H. X. et al. Avaliação da composição corporal por DEXA: uma revisão de estudos – Revista Digital EFDeportes – Buenos Aires. 2008.
- 16 St-Onge, M.P. et al . Dual-Energy X-Ray Absorptiometry-Measured Lean Soft Tissue Mass: Differing Relation to Body Cell Mass Across the Adult Life Span – Journal of Gerontology. 2004.
- 17 Mello, M.T. et al . Avaliação da composição corporal em adolescentes obesos: o uso de dois diferentes métodos. Rev. Bras Medicina Esportiva vol 11 n 5. 2005.
- 18 Kushner RF & Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. Am J Clin Nutr. 44:417-24. 1986.
- 19 Eckhardt C.L. et al Estimation body fat from anthropometry and isotopic dilution: A four-country comparison. Obes Res. 11:1553-62. 2003.

- 20 Deurenberg P. et al. Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Acta Diabetol*, 40:S246-S9. 2003.
- 21 Brodie, D.V. et al. Body composition measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods. *Nutrition*, 14:296-310. 1998.
- 22 Ellis, K. J. Human body composition. In vivo methods. *Physiological Reviews*, 80:649-680. 2000.
- 23 Ellis, Kenneth J. Body composition of a young, multiethnic, male population. *The Am. journal of clinical nutrition* 66.6: 1323-1331. 1997.
- 24 Wells J.C.K. et al. The contribution of fat and fat-free tissue to body mass index in contemporary children and the reference child. *Int J obes*. 26:1323-8. 2002
- 25 Wells J.C.K. et al. Validation of leg-to-leg impedance for body composition assessment in male Brazilians aged 16-19 years. *Int J Body Comp Res*. 1(2):63-7. 2003.
- 26 Siri WE. The gross composition of the body. *Adv Biol Med Phys*,. 4:239-280. 1956.
- 27 Wagner D.R. et al. Measures of body composition in blacks and whites: a comparative review. *American Society of Clinical Nutrition*. Vol 71 no 6 1392-1402. 2000.
- 28 Heyward V.H. et al. *Applied Body Composition Assessment – 2ed*. Human Kinectics. 2004.

- 29 Heyward, V.H. et al. Avaliação da composição corporal aplicada. Livro. Manole. 2000.
- 30 Reiss, M. Reconstrução 3D por Luz Estruturada: Calibração dos Vetores Diretores dos Feixes de Padrões Projetados, *XXI CONGRESSO BRASILEIRO*. pp. 1–5. 2003.
- 31 Zhang,Z. Microsoft kinect sensor and its effect. *MultiMedia, IEEE* 19.2. 4-10. 2012.
- 32 Senor, K. D., E. F. O. R. Computer, and V. Applications, Kinect Depth Sensor Evaluation for Computer Vision Application, *Technical Report ECE-TR-6*, p. 37. 2012.
- 33 Kozlowski, L J., et al. Theoretical basis and experimental confirmation: why a CMOS imager is superior to a CCD. *AeroSense'99*. International Society for Optics and Photonics.1999.
- 34 PROFACTOR GmbH - Leading Innovations - Home. [Online]. Disponível: <http://www.profactor.at/startseite.html>. Acessado em Maio-2015.
- 35 Reconstruct your world with ReconstructMe. [Online]. Disponível: <http://reconstructme.net/>. Acessado em Maio-2015.
- 36 Cignoni, P. et al. Meshlab: an open-source 3d mesh processing system. *Ercim news* 73: 45-46. 2008.
- 37 Cignoni, P., et al. Meshlab and Arc3D: Photo-reconstruction and processing 3D meshes. *Open Digital Cultural Heritage Systems Conference*. 2008.
- 38 VCG Library: The VCG Library. [Online]. Disponível: <http://vcg.isti.cnr.it/~cignoni/newvcglib/html/>. Acessado em Março-2013.

- 39 Reese, B. X. M. Evaluation of rotary laser body scanner for body volume and fat assessment, *NIH Pulic Acess*, vol. 39, no. 1, pp. 1–6. 2011.
- 40 TC2 - 3D Body Scanning. [Online]. Disponível: http://www.tc2.com/index_3dbodyscan.html. Acessado em Março-2015.
- 41 Gazziro, M. A. et al. Calibration-less Anthropometric Scanner Using GPU ' s. Conference: 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 16-17. 2012.
- 42 Gazziro, M. A., Projeto e Construção de um Scanner Antropométrico Baseado no Método de Triangulação a Laser. Dissertação de Mestrado-UFSCAR. 2005.
- 43 Cola, F.L. et al. Escâner 3D Antropomérfico de Baixo Custo para Análise de Gordur Corporal, Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. 2013.
- 44 Gazziro, MA . Scanner 3D - Construção e Aplicações. 1. Livro. ed. Biblioteca 24x7. v. 1. 76 p. 2011.
- 45 Kazhdan, M. et al. Poisson Surface Reconstruction, *Eurographics Symposium on Geometry Processing*. 2006.
- 46 Mirtich, B., Fast and Accurate Computation of Polyhedral Mass Properties. 2000.
- 47 Sanner, M. F. Python: a programming language for software integration and development. *J Mol Graph Model* 17.1: 57-61. 1999.
- 48 Novack, L. F. et al. Comparação do percentual de gordura entre métodos de bioimpedância elétrica–tetrapolar vs bipolar. *FIEP Bulletin On-line* 81. 2011.

- 49 CARNICIU, S. et al. A New method for assessing distribution of the adipose tissue using 3D body scanning technology The Public House of the Romanian Academy. 2014.
- 50 Dewitte, K. et al. Application of the Bland–Altman plot for interpretation of method-comparison studies: a critical investigation of its practice. Clinical Chemistry 48.5: 799-801. 2002.

APÊNDICE A – DADOS OBTIDOS DOS VOLUNTÁRIOS

TABELA A.1. Dados dos voluntários Scanner 3D/Bioimpedância(F representa Feminino e M representa Masculino . A é a etnia Afrodescendente, C é a etnia Caucasiana e O é a etnia Oriental)

ID	IDADE	SEXO	ETNIA
1	51	F	C
2	50	M	C
5	35	F	C
10	35	F	C
11	47	F	C
12	53	M	C
13	48	F	C
14	63	M	C
15	41	F	C
16	42	F	C
17	43	F	C
18	37	F	C
19	25	M	C
20	30	M	C
22	28	F	C
23	23	M	C
26	23	F	C
27	21	F	C
29	23	F	C
30	26	M	C
31	19	F	C
32	20	F	C
33	27	M	O
34	28	M	A
35	33	F	C
36	37	F	C
37	39	M	C
38	32	F	O
39	22	M	C
40	34	F	C
41	34	M	C
42	32	F	C
43	24	F	C
44	24	F	A
45	45	F	C
46	44	F	C
47	48	M	C
48	42	M	C
49	34	F	C

50	68	F	C
ID	IDADE	SEXO	ETNIA
53	32	M	C
54	53	F	C
55	28	F	C
56	32	F	C
57	27	F	A
58	29	M	C
59	40	F	C
60	42	F	C
61	43	M	C
62	30	M	C
63	21	M	C
64	50	F	C
65	50	M	A
66	49	M	C
67	56	F	C
68	57	M	C
69	47	F	C
70	49	M	C
71	34	M	C
72	34	M	C
73	30	M	C
74	31	F	C
75	23	M	O
76	23	F	C
77	20	M	C
78	26	F	C
79	27	M	C
80	46	F	C
81	57	M	C
82	44	F	A
83	36	F	A
84	39	M	C
85	27	F	C
86	31	F	C
87	38	M	C
88	26	F	C
89	32	M	C

90	46	F	C
91	20	F	C
92	24	M	C
ID	IDADE	SEXO	ETNIA
94	61	M	C
95	32	M	C
96	43	F	C
97	44	F	C
98	23	F	C
99	52	F	C
100	54	M	C
101	25	M	O
102	23	F	C
103	38	F	C
104	35	F	C
105	46	M	C
109	27	F	C
110	54	F	C
111	44	F	C
112	26	F	A
113	25	F	C
114	24	F	A
115	27	F	C
116	23	F	C
117	21	F	C
118	28	F	A
119	25	F	A
120	23	F	A
121	31	F	A
122	23	F	A
123	27	F	C
124	32	F	C
125	21	F	C
126	22	F	A
127	26	F	A
129	36	M	C
130	18	F	O
131	23	F	A
132	20	F	A

133	64	M	C
ID	IDADE	SEXO	ETNIA
135	18	F	A
136	28	F	C
139	22	F	C
140	24	F	C
141	40	M	C
142	37	M	C
143	59	F	C
144	25	F	O
145	26	F	C
146	28	F	C
147	26	M	O
148	34	M	C
149	24	M	O
150	25	M	C
151	41	F	C
152	22	F	C
153	53	F	C
155	29	F	C
156	27	F	C
158	39	F	C
159	55	F	C
160	54	F	C
161	59	M	C
163	60	F	C
164	35	M	C
165	27	F	C
166	20	M	O
168	62	M	C
170	21	F	C
171	29	F	C
172	24	F	C
173	31	M	C
174	40	M	C
178	49	M	C

TABELA A.2. Dados obtidos através do método de Bioimpedância.

ID	Água	%G Bioimpedância	Gordura Visceral	Massa Óssea
1	38,5	49,2	16	3,3
2	44,5	37,5	22	3,9
5	41,2	44,7	9	2,3
10	38,6	49,3	15	3
11	39,1	47,8	14	2,5
12	53,3	26,4	14	3,5
13	40,7	45,3	10	2,5
14	45,7	36,9	22	3,3
15	40,6	45,9	11	2,6
16	44,4	40	8	2,3
17	40,4	45,5	10	2,2
18	43,3	41,8	8	2,3
19	54,7	21,9	6	3,5
20	46,9	32,6	13	3,4
22	38,8	49	14	2,9
23	56,3	21,2	5	3
26	50,7	31,2	2	1,9
27	40,4	46,3	7	2,2
29	52	29,7	2	2,1
30	61,5	15,6	3	3,3
31	54,5	25,8	1	2,2
32	49,1	34,4	2	2,4
33	63	12,8	2	3
34	56,4	20,4	5	3
35	54,4	25,6	2	2
36	57,8	22,1	2	2,2
37	58,5	18,3	6	3,4

38	55,3	24,6	2	2,1
39	59,7	15,9	2	2,7
40	52,2	29	3	2,1
41	55,9	21,6	8	3,5
42	52,8	28,4	3	2,2
43	51,8	30,5	3	2,4
44	55,3	24,7	1	2
45	43,3	41,7	9	2,4
46	39,4	47,8	14	2,9
47		26,7		
48	55,2	22,8	10	3,5
49	48,2	34,8	5	2,2
50	45,9	36,4	9	2,1
52	39,8	46,7	14	2,7
53	46,7	33,4	15	3,6
54	60,2	16,5	3	2,1
55	56,1	23	1	1,9
56	47,3	36,1	4	2,2
57	48,5	35,1	5	2,5
58	43,9	37,5	20	4
59	39,9	47,7	16	3,5
60	38,5	48,9	14	2,7
61	52,1	27,1	12	3,2
62	58,9	17,2	4	2,9
63	63,5	10,4	1	3,6
64	46,1	37,7	8	2,5
65	50,6	29,6	15	3,4
66	52	26,6	12	3
67	40,9	45	12	2,5
68	52,9	25,7	12	3,1
69	49,8	31,7	5	2,1
70	50,2	29,3	14	3,5

71	53	25,3	8	3
72	53,5	24	8	3,1
73	59,2	16,8	4	3,3
74	47,8	35,3	4	2,1
75	47	37,8	5	2,9
76	48,7	34,8	3	2,3
77	64,7	14,5	2	3
78	54,3	27	2	2,5
79	67,4	7,4	1	3,5
80	44,2	40,5	8	2,5
81	49,8	29,4	14	3,1
82	44,6	39,6	7	2,2
83	47,7	35,4	5	2,2
84	57,4	20,6	8	3,5
85	45,4	38,9	5	2,1
86	43,5	41,7	6	2,2
87	54,2	23,7	9	3,2
88	44,7	40,2	6	2,3
89	51,6	26,2	9	3,6
90	43,1	42,5	11	2,8
91	46,3	38,2	4	2,3
92	62,3	12,7	2	3,3
93	41,5	43,2	10	2,1
94	47,6	33	18	3,6
95	60,5	17,3	5	4,2
96	40,2	46,6	12	2,7
97	49,8	32,5	5	2,4
98	49,6	33	2	2
99	52,9	26,7	5	2
100	45,7	34,9	18	3,4
101	65,7	8,8	1	3,3
102	53,7	27,3	1	2

103	43,8	41,6	8	2,7
104	51,1	30,7	3	2,2
105	61,7	16,9	7	3,5
109	39,6	47,8	10	2,7
110	46	36,9	7	2,1
111	40,1	46,6	13	2,6
112	57,3	22,5	1	2,6
113	59,2	20,6	1	2,3
114	57,6	23,8	1	2,1
115	58,4	22,3	1	2,3
116	52,2	30,6	3	2,6
117	58,1	21,7	1	2,2
118	60,7	18,8	1	2,2
119	59,8	20,2	1	2,4
120	57,7	22,7	1	2,2
121	37,4	50,9	15	2,8
122	60,6	20,4	1	2,3
123	58,1	22,4	1	2,5
124	57,2	21,8	1	2,6
125	60	19,5	1	2,9
126	61,3	16,5	1	2,4
127	59,5	23	1	2
129	54,1	23,1	8	3,2
130	53,8	29,7	1	2,2
131	58,1	22,1	1	2,3
132	55,5	26,1	1	2,5
133	46,4	37,1	24	3,7
134	60,5	19,8	1	2
135		25,7		
136	55,9	24	1	2,2
139	52,4	28,9	1	1,9
140	52,5	28,8	1	2

141	55	22,6	8	2,8
142	61,8	16,5	6	3,7
143	46,6	36,4	8	2,3
144	57,9	21,6	1	2,2
145	46,3	38,1	5	2,4
146	55,6	25,1	2	2,5
147	56,9	20,5	6	3,6
148	58,3	19,6	8	4,1
149	60,1	17,1	3	2,9
150	64,5	9,4	1	4,2
151	33	57	19	3,1
152	72,2	15,5	1	2,5
153	56,1	24,9	5	2,2
155	52,4	29	2	2,1
156	53,4	27,3	2	2
158	52,4	27,7	3	1,9
159	45	39,1	10	2,5
160	45	39,1	9	2,5
161	55,9	22,9	12	3,3
163	49,3	32,2	7	2,3
164	52,7	24,6	8	3,2
165	51	30,7	2	2
166	59,7	19,1	4	3
168	51,9	26,9	13	2,7
170	50,7	31,6	2	2
171	52	29,5	3	2,2
172	46,5	37,7	3	2,3
173	59,2	17,4	4	2,8
174	61	13,7	4	2,8
178	57	21,4	10	2,9

TABELA A.3. Porcentagem de Gordura obtida pelos métodos do Scanner 3D e pelo método de Bioimpedância (%G representa a porcentagem, ora determinada pelo método do Scanner 3D, ora pelo método de Bioimpedância).

ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
1	48,5	49,2
2	44,5	37,5
5	39,0	44,7
10	46,7	49,3
11	33,6	47,8
12	28,0	26,4
13	55,9	45,3
14	36,9	36,9
15	39,3	45,9
16	32,6	40
17	35,9	45,5
18	41,8	41,8
19	22,0	21,9
20	36,1	32,6
22	53,9	49
23	23,2	21,2
26	36,9	31,2
27	32,8	46,3
29	24,6	29,7
30	18,6	15,6
31	24,4	25,8
32	25,1	34,4
33	16,6	12,8
34	19,8	20,4
35	37,9	25,6
ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
38	21,5	24,6
39	21,9	15,9
40	28,1	29
41	18,4	21,6
42	29,7	28,4
43	30,4	30,5
44	36,0	24,7
45	39,3	41,7
46	36,4	47,8
47	26,7	26,7
48	20,5	22,8
49	36,4	34,8
50	41,1	36,4
52	40,2	46,7
53	21,0	33,4
54	15,0	16,5
55	32,8	23
56	34,8	36,1
57	32,3	35,1
58	22,9	37,5
59	35,6	47,7
60	38,1	48,9
61	23,8	27,1
62	19,0	17,2
63	15,9	10,4
ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
64	38,4	37,7
65	22,8	29,6

66	25,0	26,6
67	35,8	45
68	24,2	25,7
69	29,5	31,7
70	29,3	29,3
71	23,6	25,3
72	22,3	24
73	15,4	16,8
74	40,9	35,3
75	29,1	37,8
76	32,1	34,8
77	18,7	14,5
78	35,3	27
79	14,1	7,4
80	38,2	40,5
81	26,9	29,4
82	36,7	39,6
83	33,6	35,4
84	17,7	20,6
85	40,0	38,9
86	45,0	41,7
87	26,3	23,7
88	39,8	40,2
89	31,4	26,2
90	35,1	42,5
91	37,4	38,2
92	15,7	12,7
ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
93	40,2	43,2
94	32,0	33

95	16,7	17,3
96	35,3	46,6
97	36,7	32,5
98	34,9	33
99	32,9	26,7
100	30,2	34,9
101	20,2	8,8
102	32,0	27,3
103	38,1	41,6
104	29,6	30,7
105	18,2	16,9
109	28,0	47,8
110	41,6	36,9
111	34,8	46,6
112	23,1	22,5
113	18,5	20,6
114	28,4	23,8
115	27,7	22,3
116	26,7	30,6
117	32,4	21,7
118	13,1	18,8
119	25,4	20,2
120	21,3	22,7
121	41,1	50,9
122	21,2	20,4
123	24,8	22,4
124	22,9	21,8
ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
125	24,2	19,5
126	36,6	16,5

127	23,9	23
129	24,3	23,1
130	26,7	29,7
131	27,2	22,1
132	35,9	26,1
133	26,4	37,1
134	26,7	19,8
135	33,6	25,7
136	29,7	24
139	32,9	28,9
140	33,5	28,8
141	20,0	22,6
142	15,9	16,5
143	40,3	36,4
144	29,6	21,6
145	38,7	38,1
146	26,4	25,1
147	13,3	20,5
148	10,4	19,6
149	21,3	17,1
150	11,8	9,4

155	32,5	29
156	24,3	27,3
158	32,8	27,7
159	36,3	39,1
160	38,7	39,1
161	24,2	22,9
163	31,4	32,2
164	20,9	24,6
165	33,3	30,7
166	17,8	19,1
168	24,6	26,9
170	38,8	31,6
171	38,0	29,5
172	42,6	37,7
173	18,5	17,4
174	16,6	13,7
178	24,6	21,4

ID	%G Scanner 3D	%G Bioimpedância
151	43,5	57
152	22,8	15,5
153	29,8	24,9

TABELA A.4. Dados dos voluntários Scanner 3D/Adipometria.

ID	IDADE	SEXO	ETNIA	ID	IDADE	SEXO	ETNIA
1	23	F	C	42	-	M	C
2	22	M	C	43	29	M	C
3	21	F	C	44	31	F	A
4	-	M	C	45	-	M	C
5	-	M	C	46	34	F	C
6	18	F	C	47	-	M	C
8	25	F	C	48	23	F	C
9	29	M	A	49	30	F	C
10	21	F	A	50	37	M	C
11	21	F	C	51	22	M	C
12	21	F	C	53	26	F	C
13	24	M	C	54	25	F	O
14	19	F	C	55	50	M	C
15	22	F	C	56	36	M	C
16	20	F	C	57	21	F	C
17	21	F	C	58	30	M	C
18	24	M	A	59	37	M	C
19	39	M	C	61	-	M	C
20	38	F	A	62	-	M	C
21	-	M	C	63	35	F	A
22	25	F	C	64	31	M	C
23	-	M	C	65	26	M	C
24	23	F	C	66	43	M	C
25	-	M	C	67	19	M	C
26	-	M	C	68	22	F	C
27	-	M	C	69	21	F	A
28	-	M	C	70	21	F	C
29	-	M	C	71	21	M	A
30	29	F	C	72	21	M	C
31	-	M	C	73	22	F	C
32	26	F	C	74	36	M	C
33	-	M	A	75	39	F	A
34	-	M	A	76	26	M	C
35	33	F	C	77	-	M	C
36	-	M	C	78	20	M	C
37	-	M	C	79	22	M	C
38	-	M	C	80	55	M	C
40	39	F	C	81	33	M	C
41	32	F	C	82	36	M	C

ID	IDADE	SEXO	ETNIA
83	20	M	C
84	-	F	A
85	20	M	C
86	19	F	C
87	36	M	C
88	20	F	C
89	32	F	C
90	25	M	C
91	21	F	C
92	35	F	C
93	27	M	C
94	20	M	C
95	20	F	C
96	20	F	C
97	32	M	A
98	24	F	O
99	19	F	A
100	25	F	C
101	20	M	C
102	26	F	A

ID	IDADE	SEXO	ETNIA
103	22	M	A
104	29	M	C
105	21	F	A
106	21	M	C
107	21	F	O
108	28	M	C
109	29	F	C
110	31	F	O
111	23	F	C
112	37	M	C
113	27	M	C
114	51	F	C
115	40	F	O
116	23	M	A
117	31	M	C
118	24	M	C
119	-	F	C
120	21	F	C

TABELA A.5. Porcentagem de Gordura obtida pelos métodos do Scanner 3D e pelo método de Adipometria.

ID	%G Scanner 3D	%G Adipometria	ID	%G Scanner 3D	%G Adipometria
1	33,5	33,8	62	22,7	23,8
2	20,0	17,8	64	11,7	11,3
9	3,9	7,9	65	13,9	13,2
10	17,9	17,0	67	25,8	22,1
13	18,2	13,5	71	19,5	21,6
18	6,1	6,3	78	9,0	4,9
19	32,1	32,0	80	25,7	20,4
27	17,6	16,0	83	12,0	10,9
32	26,1	25,4	84	17,4	17,0
38	11,4	15,9	86	23,2	21,1
44	30,6	35,7	89	20,9	23,7
45	27,7	25,5	90	22,2	19,5
50	18,4	15,9	91	26,1	23,1
51	18,7	22,4	92	23,6	26,9
55	22,1	20,4	99	29,1	28,2
58	20,7	18,7	104	13,6	16,6
59	26,3	20,1			

APÊNDICE B – Comunicação do Comitê de Ética em Pesquisas – UFSCar referente ao projeto

Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos - UFSCar

De acordo com a Circular 005/2011 do CNS, o CEP deve guardar por apenas 5 anos os projetos de pesquisa.

Consta na Ata da Reunião de 14/09/2004 que o Projeto nº021/04 Scanner antropométrico para determinação do percentual de gordura”, proveniente do Departamento de Computação a ser desenvolvido por Mário Alexandre Gazziro, sob a orientação de José Hiroki Saito foi aprovado pelo CEP/UFSCar.

Att.

Henrique Affonso de André Sobrinho

Secretário Executivo

Pró-Reitoria de Pesquisa - ProPq

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

+55 16 33519683

Comunicação eletrônica do endereço: cephumanos@ufscar.br
Comissão de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
Pró-Reitoria de Pesquisa
Universidade Federal de São Carlos

APÊNDICE C – Resumo participante do Congresso *5th World Congress on Biotechnology* realizado em Junho de 2014

5th World Congress on

Biotechnology

Biotechnology-2014

June 25-27, 2014 Valencia, Spain

Anthropomorphic 3D scanner for corporal gross determination in obese population

Lacerda M.A.¹, Gazziro M.^{1,3}, Delbem A.C.B.^{1,2}, Lima Neto O.², Osti A.², Mendonça M.², Di Thomazzo L.², Carvalho L.P.⁴, Borghi-Silva A.⁴ and Suzuki P.⁴

¹Universidade de Sao Paulo, PPG Bioengenharia, Brazil

²Universidade de Sao Paulo, ICMC, Brazil

³Universidade Federal do ABC, Brazil

⁴Universidade Federal de Sao Carlos, DFISIO, Brazil

Abstract

This paper presents the research and development of 3D Anthropomorphic Scanner for Corporal Gross determination in Obese Population. Body Circulation is the key system for a good health condition. Through arteries and veins, blood flows freely to sustain all organs working. However, some conditions could put this system in a bad function, for example, the overweight. The Obesity has been the focus of several researches and equipment development. A bad assessment could lead to mistakes in treatments and diets. The correct measurement of percentage of corporal gross is an important indicator of obesity and its severity. A Scanner for Corporal Gross Determination has the function of measure the percentage of gross in a human body. That has being made using computational vision technology for a biological assessment. This type of technology will be a key area for Obesity assessment in XXI century.

This paper presents the research and development of the cited Scanner assessing obese individuals. Those have been assessed systematically with different techniques and with the present Scanner. All in all, this study is a thriving new technology to provide best measurements for the growing obese population.

Biography

Michel Alves Lacerda is a graduate student in Universidade de Sao Paulo, in Brazil. He has been working with Technologic applications to Biology and Healthcare through 5 years. He has been served as Research and Development Engineer for Philips, Healthcare division for 4 years and has achieved several advances in equipment dedicated to disease assessment and life support.

michel.usp@gmail.com