

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRCIO FONTANA CATAPAN

ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA HUMANA PARA
DIMENSIONAMENTO DE CAPACETES BALÍSTICOS

CURITIBA
2014

MÁRCIO FONTANA CATAPAN

ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA HUMANA PARA
DIMENSIONAMENTO DE CAPACETES BALÍSTICOS

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica do Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração Fenômenos de Transporte e Mecânica dos Sólidos.

Orientadora: Prof^a Maria Lucia L. R.Okimoto, Dra. Eng^a.

CURITIBA
2014

C357a

Catapan, Márcio Fontana

Análise antropométrica da cabeça humana para dimensionamento de capacetes balísticos / Márcio Fontana Catapan. – Curitiba, 2014.
136f. : il. color. ; 30 cm.

Tese - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2014.

Orientador: Maria Lucia L. R. Okimoto.
Bibliografia: p. 126-130.

1. Cabeça - Antropometria. 2. Capacetes. 3. Fotogrametria. 4. Imagem tridimensional. I. Universidade Federal do Paraná. II. Okimoto, Maria Lucia L. R.. III. Título.

CDD: 623.441

TERMO DE APROVAÇÃO

MÁRCIO FONTANA CATAPAN

ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA HUMANA PARA DIMENSIONAMENTO DE CAPACETES BALÍSTICOS

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica do Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração Fenômenos de Transporte e Mecânica dos Sólidos.

Banca Examinadora:

Profª Drª Maria Lucia Leite R. Okimoto
PG-MEC / UFPR
Presidente da Banca

Prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli
PPG Design / UNESP FAAC

Prof. Carlos Cziulik, PhD
PPGEM / UTFPR

Prof. Dr. Ramón Sigefredo Cortés Paredes
PG-MEC / UFPR

Prof. Alexandre Vieira Pelegrini, PhD
PPGDesign / UTFPR

Profª. Drª. Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun
PG-MEC / UFPR

Curitiba, 29 de agosto de 2014.

Dedico este trabalho aos meus filhos, Giovanni
Persicotti Catapan e Bruno Persicotti Catapan
pela batalha que irão enfrentar chamada vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, não só por iluminar a minha vida, mas apresentar-me pessoas tão importantes que agradecerei a seguir.

À Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto, meu muito obrigado pela valiosa orientação, amizade, carinho, paciência e pelo empenho na disponibilização dos recursos necessários à condução desta pesquisa;

Aos professores da banca examinadora, meus sinceros agradecimentos pelas valiosas contribuições nas correções e arguições.

À minha família, Luciana, Giovanni e Bruno P. Catapan, pelo amor, paciência, coragem, carinho e por respeitarem a minha ausência durante esses anos.

Aos meus pais, Antonio Eonori e Rosi Fontana Catapan pelo “berço de ouro” que me deram, pela paciência, amor e imensos sacrifícios que fizeram e, por me darem as irmãs lindas e queridas Andréa e Ângela que me proporcionaram exemplos de vida, junto aos seus maridos Guilherme Rivera e Roberto Zelinski.

Aos meus afilhados Leonardo Catapan, Gustavo da Silva, Pedro Mota e Giulia Persicotti, pelo amor que me dão; aos meus sobrinhos Juan, Fernanda, Felipe e Francisco pelas brincadeiras e diversões.

A minha segunda família: João Luis Persicotti, Lurdinha, Fabiana e Tiago, Marcelo e Débora, Jacira, Camila e Alex pelo incentivo e ajuda.

Aos amigos Lucas, Rodrigo, Leonardo, Gustavo, Salgueiro, Adrianinho, Luiz Fernando, Giovanni, Cleto, Ernani, Rafael (primo), Emerson, Jairo e Alexandre (pelas pedaladas e alívios das tensões), Claudimir, Strobel, Schneider, Neil, Ibrahim, Roberto, Tuta, Binho, Ricardo (Girso), Naideron, Alexandre, a todos eles e suas respectivas, pelos convívios e ensinamentos da vida e principalmente pelas risadas, sem contar por se redobrem em mim a perseverança e fé na humanidade.

Aos alunos Mateus Noro Villas Boas e ao Roberto Waldhauer, meus bolsistas durante o período de realização do doutorado, que me ajudaram na execução dos experimentos, tratamento e análises das imagens. Sem dúvidas tiveram grande participação nesta conquista.

A toda coordenação pedagógica e professores da UFPR dos cursos de Engenharia Mecânica e Expressão Gráfica, assim como da Universidade Positivo pelas aulas ministradas, projetos e cursos realizados. Aos meus alunos que durante

esses últimos dez anos depositam seus votos de confiança e credibilidade em me fazer professor.

A todos os professores, de todo o meu histórico acadêmico como aluno e professor, que contribuíram para o meu crescimento intelectual e humano que resulta neste trabalho (e outros que virão).

À UFPR pelo espaço e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica pelo programa de doutorado, principalmente ao secretário Marcio Tenório pelos esclarecimentos precisos no dia-a-dia.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste objetivo, especialmente àquelas que, de uma forma ou de outra, acreditaram ser possível à realização de um mundo melhor, mais justo e perfeito, contribuindo para o alcance da liberdade.

RESUMO

As medidas da cabeça humana analisadas para dimensionar artefatos que a protegerão de possíveis acidentes estão associadas apenas à sua circunferência, largura e comprimento máximo. Porém, ao analisar a cabeça em uma imagem tridimensional, percebe-se uma geometria muito mais complexa, fazendo com que esses parâmetros possam ser inadequados ou insuficientes na categorização de sua antropometria. Na área militar, estudos relatam que aproximadamente a metade das mortes nos campos de batalhas é devida a projéteis deflagrados na cabeça do soldado. Isso leva a pensar que, em muitos momentos, a vítima não usava, no momento do incidente, o capacete balístico. No entanto, outros estudos mostram que este artefato após poucos minutos, em uso contínuo, torna-se pesado e instável para muitos usuários. Dessa forma, este trabalho objetivou a pesquisa das possíveis variáveis dimensionais, na região do assentamento e fixação do capacete balístico, fazendo correlações com outras dimensões utilizadas atualmente. Diagnosticou-se através de análise fotogramétrica que a altura da cabeça humana, que ainda hoje não havia sido analisada, é maior que a do artefato em questão, capacete balístico modelo PASGT (Personal Armor System Ground Troops). Sendo assim, ao dimensionar o tamanho de capacete adequado ao usuário, através do perímetro máximo de sua cabeça, essa medida não é a mesma quando verificada a circunferência na região de assentamento do capacete. Dessa maneira, foi estruturado um experimento, por escaneamento tridimensional, para comprovar o resultado preliminar discutido anteriormente. Nele, verificou-se que em 58% dos casos o usuário precisaria de um capacete de tamanho menor que o especificado pelo método atual. Ou seja, o atual método de seleção do tamanho de capacete ao usuário não condiz com a necessidade do mesmo.

Palavras-chave: Cabeça Humana. Antropometria. Capacete Balístico. Fotogrametria e Escaneamento tridimensional.

ABSTRACT

The measures examined of the human head, used to scale artifacts that protect it from possible accidents, are only associated with its circumference, width and maximum length. However, when analyzing the head in a three-dimensional image, it has a more complex geometry, so that these measures may be inadequate or insufficient in categorizing its anthropometry. In military field, studies report that approximately half of the deaths in the battle fields is due to projectiles triggered in the mind of the soldier. This suggests that in many instances the victim would not use the ballistic helmet. However, other studies show that this artifact, after a few minutes in continuous use, becomes heavy and unstable for many users. Thus, this study aimed to survey the possible dimensional variables in the settlement and attachment of ballistic helmet region, making correlations with other measures currently used. It was diagnosed by the height photogrammetric analysis of the human head, which still had not been analyzed, that it is larger than the device in question. Thus, by scaling the appropriate size to the helmet user, the measure for this is not the same when found in the region of origin of the helmet. Thus, another experiment was generated by three-dimensional scanning, to confirm the preliminary results discussed above. In this experiment, it was found that in 58% of cases the user would need a smaller helmet than the size specified by the current method. That means that the current method of selecting the helmet size the user does not match the need of it.

Key words: Human Head. Complex Geometry. Anthropometry. Ballistic Helmet and Photogrammetry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Maneiras de medir a cabeça quanto à circunferência (1a), largura (1b) e comprimento (1c).....	21
Figura 2: Medida dos contornos frontal, parcial da cabeça (2a) e mediano da cabeça e pescoço (2b)	24
Figura 3: Gráfico do limite de confiança e percentis.....	29
Figura 4: Vista lateral da cabeça.....	33
Figura 5: Vista lateral da cabeça.....	33
Figura 6: Pontos cefalométricos.....	35
Figura 7: Classificação craniométrica de acordo com o índice cefálico.....	37
Figura 8: Análise gráfica das medidas (mm) do Perfil Frontal da cabeça.....	43
Figura 9: Análise gráfica das medidas (mm) do Perfil Lateral da cabeça.....	43
Figura 10: Análise gráfica das medidas (mm) do Maior Diâmetro da cabeça.....	44
Figura 11: Evolução dos capacetes de combate.....	45
Figura 12: Casco do capacete de combate.....	46
Figura 13: Partes que compõem a coroa.....	47
Figura 14: Partes que compõem a carneira.....	48
Figura 15: Capacete de combate com nuqueira e jugular com queixeira.....	48
Figura 16: Detalhes das almofadas inseridas entre o casco e a coroa.....	49
Figura 17: Vista lateral das medidas básicas do Capacete PASGT tamanho M.....	52
Figura 18: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho M.....	53
Figura 19: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho P.....	53
Figura 20: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho G.....	54
Figura 21: Proposta do método para se obter a altura da cabeça humana no uso de capacete balístico.....	57
Figura 22: Medição da amostra com fita antropométrica.....	62
Figura 23: Medição da amostra com o paquímetro antropométrico.....	63
Figura 24: Ambiente para captura da imagem de fotografia.....	64
Figura 25: Fotogrametria do Perfil Frontal da amostra.....	65
Figura 26: Fotogrametria do Perfil Lateral da amostra.....	65
Figura 27: Ambiente para captura da imagem de fotografia.....	66
Figura 28: Amostra preparada para o teste fotogramétrico.....	67

Figura 29: Análise de Semelhança de Triângulos	68
Figura 30: Ambiente para o escaneamento tridimensional	72
Figura 31: Scanner 3D – modelo ZScanner 700 Handheld.....	73
Figura 32: Ilustração de um rosto escaneado tridimensionalmente através de malhas	74
Figura 33: Resultado final desejado do tratamento do modelo escaneado tridimensionalmente....	75
Figura 34: Ilustração da Seção da cabeça humana através das medidas da altura do capacete...	76
Figura 35: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.	79
Figura 36: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.	81
Figura 37: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.	85
Figura 38: Medição do (a) Perfil Frontal e (b) Perfil Lateral.....	85
Figura 39: Ambiente para captura da imagem de fotografia.	86
Figura 40: Fotogrametria do Perfil Lateral.	87
Figura 41: Distribuição das medidas das alturas da cabeça.	89
Figura 42: Distribuição das medidas das alturas da cabeça do grupo de capacete tamanho M....	90
Figura 43: Distribuição das medidas das alturas da cabeça do grupo de capacete tamanho G....	91
Figura 44: Distribuição normal das alturas da cabeça.....	92
Figura 45: Boxplot das medidas das alturas da cabeça.	94
Figura 46: Teste de Tuckey das medidas das alturas da cabeça.	94
Figura 47: Escaneamento 3D da Cabeça.....	100
Figura 48: Operação de Escaneamento da Cabeça Humana.....	101
Figura 49: Modelo importando no 3Ds Max e detalhes das impurezas.	102
Figura 50: Ajuste para conversão em malha editável no 3Ds Max.	102
Figura 51: Detalhes de regiões com impurezas e falhas.....	103
Figura 52: Modelo após limpezas de impurezas.	103
Figura 53: Modelo sendo preparado para as análises finais.	104
Figura 54: Imagem da fotogrametria com o modelo 3D sobrepostos.	105
Figura 55: Modelo sendo preparado para as análises finais.	105
Figura 56: Sobreposição de imagens de duas cabeças para o uso de capacete tamanho M.	107
Figura 57: Modelo de um paralelepípedo inserido junto ao modelo da cabeça escaneada.	109
Figura 58: Modelo da cabeça escaneada até o seu diâmetro máximo.	110
Figura 59: Análise do diâmetro máximo da cabeça escaneada.....	110
Figura 60: Análise da altura da cabeça escaneada.....	111
Figura 61: Análise do posicionamento da cabeça com o diâmetro máximo no capacete.	113

Figura 62: Destaque da diferença entre as alturas.....	114
Figura 63: Análise do posicionamento da cabeça na fixação da carneira no capacete.	114
Figura 64: Análise das dimensões da cabeça quando fixa no capacete.	115
Figura 61: Parte dos resultados encontrados na Análise 3D exposta no Apêndice 5.	116
Figura 66: Sobreposição de três imagens no uso de capacete balístico.	118
Figura 67: Vistas da sobreposição de 3 imagens.	119
Figura 68: Vista inferior da sobreposição de três imagens e o contorno do diâmetro das cabeças.	119
Figura 69: Proposta do novo método de medição do diâmetro da cabeça para o uso de capacete	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medidas de estatura e peso para militares de diversos países	31
Tabela 2: Medidas antropométricas da cabeça, resumidas da norma alemã DIN 33402	39
Tabela 3: Dimensões antropométricas de adultos norte-americanos	39
Tabela 4: Dimensões antropométricas de idosos (+ 65 anos) do Reino Unido	40
Tabela 5: Dimensões antropométricas de idosos (65 a 80 anos) do Reino Unido	40
Tabela 6: Dimensões antropométricas de idosos (60 a 69 anos) do Japão	40
Tabela 7: Dimensões antropométricas dos Chineses	41
Tabela 8: Dimensões antropométricas dos Caucasianos (CAESAR)	41
Tabela 9: Caracterização das amostras para estudo antropométrico.....	41
Tabela 10: Resultados das Medições Antropométricas da Cabeça dos Brasileiros.....	42
Tabela 11: Peso dos capacetes em relação ao tamanho.....	50
Tabela 12: Regiões de desconforto dos capacetes balísticos	50
Tabela 13: Medidas antropométricas do capacete PASGT em relação aos tamanhos.....	51
Tabela 14: Medidas das distâncias das alturas dos capacetes PASGT.	54
Tabela 15: Medidas das distâncias dos comprimentos do perfil nos capacetes PASGT.	55
Tabela 16: Resultados preliminares do experimento piloto.....	80
Tabela 17: ANOVA do Teste Piloto para identificação do QM_R	81
Tabela 18: Valores mínimos de Φ para os valores de 5% de α e β	83
Tabela 19: Determinação do valor de amostras da tese.	83
Tabela 20: Caracterização das amostras para estudo antropométrico.....	84
Tabela 21: Resultados preliminares do experimento piloto.....	88
Tabela 22: Distribuição dos valores das alturas das cabeças pelos grupos de comprimento máximo	92
Tabela 23: Quadro da ANOVA do Experimento.	93
Tabela 24: Análises das alturas da cabeça para usuários de capacete tamanho P.....	95
Tabela 25: Análises das alturas da cabeça para usuários de capacetes tamanhos M e G	96
Tabela 26: Coeficientes de correlações entre a altura da cabeça com demais medidas.....	97
Tabela 27: Valores das principais medidas antropométricas da cabeça com scanner 3D (mm). .	112
Tabela 28: Comparações dos valores (mm) da cabeça com diâmetro maior e fixa no capacete. .	115
Tabela 29: Comparações de valores do “sujeito 2” quando está com diâmetro maior e fixa no capacete.	116
Tabela 30: Comparações dos valores das alturas das cabeças e seus respectivos capacetes. ...	122

Tabela 31: Comparações dos valores das alturas das cabeças e seus respectivos capacetes. .. 123

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ANOVA – Análise da Variância

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Auxiliado por Computador)

CAT – Tomografia Assistida por Computador;

DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão para Normatização);

D.P. – Desvio Padrão

GL – Graus de Liberdade;

IC – Índice Cefálico

IMC – Índice de Massa Corporal

KEVLAR® - Fibras de aramida

MRI – Imagem por Ressonância Magnética;

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde;

PASGT – *Personal Armor System for Ground Troops* (Capacete modelo norte americano);

QM – Quadrado Médio;

QM_R – Quadrado Médio Residual;

SQ – Soma dos Quadrados;

TC – Tomografia Computadorizada;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	23
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	25
1.3	JUSTIFICATIVA	25
1.4	HIPÓTESES.....	26
1.5	LIMITAÇÃO DE ESTUDO.....	26
1.6	ESTRUTURA DESTE DOCUMENTO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1	ERGONOMIA.....	28
2.2	ANTROPOMETRIA.....	30
2.3	ASPECTOS ANATÔMICOS DA CABEÇA HUMANA	31
2.3.1	O Crânio	32
2.3.2	Antropometria da cabeça.....	34
2.3.2.1	<i>cefalometria</i>	35
2.3.3	Métodos de se obter medidas antropométricas	37
2.3.4	Medidas antropométricas da cabeça humana.....	38
2.3.5	Análises das medidas antropométricas da cabeça humana	42
2.4	CAPACETE DE COMBATE	44
2.4.1	Medidas Antropométricas dos Capacetes Balísticos	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS PROPOSTOS	56
3.1	PROPOSTA DO MÉTODO	56
3.2	PROCEDIMENTO PARA ANÁLISES DIMENSIONAIS DA CABEÇA HUMANA PARA O USO DE CAPACETES BALÍSTICOS	59
3.2.1	Etapa 1: Medições da Cabeça Humana Com Instrumentos Convencionais e Por Fotogrametria	59
3.2.1.1	<i>Tarefa 1.1: Analisar, estatisticamente, o número de amostras para o teste</i>	60
3.2.1.2	<i>Tarefa 1.2: Medir com auxílio dos instrumentos convencionais a cabeça</i>	62
3.2.1.3	<i>Tarefa 1.3: Fotografar a região frontal e lateral da amostra</i>	63
3.2.1.3.1	<i>Erros esperados na Fotogrametria</i>	65
3.2.1.4	<i>Tarefa 1.4: Gerar os dados das medidas antropométricas com auxílio de programa CAD e analisá-las estatisticamente</i>	67
3.2.1.5	<i>Tarefa 1.5: Analisar os valores em relação à altura da cabeça</i>	69
3.2.1.6	<i>Tarefa 1.6: Documentar os valores encontrados</i>	69
3.2.2	Etapa 2: Análise Tridimensional da Cabeça Humana Com Scanner 3D	69
3.2.2.1	<i>Tarefa 2.1: Analisar o número de amostras e contatá-las</i>	70
3.2.2.2	<i>Tarefa 2.2: Preparação das amostras</i>	71
3.2.2.3	<i>Tarefa 2.3: Escanear a região superior da cabeça humana</i>	72
3.2.2.4	<i>Tarefa 2.4: Tratar a imagem e transformá-la num modelo 3D em sistema CAD</i>	74
3.2.2.5	<i>Tarefa 2.5: Analisar e comparar as imagens escaneadas no programa CAD</i>	75

3.2.2.6	<i>Tarefa 2.6: Documentar as medidas antropométricas por escaneamento 3D</i>	76
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO MÉTODO PROPOSTO	76
4	DESENVOLVIMENTO	78
4.1	ETAPA 1: PROCEDIMENTO PARA MEDIR A CABEÇA HUMANA COM INSTRUMENTOS CONVENCIONAIS E POR FOTOGRAMETRIA	78
4.1.1	<i>Tarefa 1.1: Determinar o tamanho da amostra</i>	78
4.1.2	<i>Tarefa 1.2: Medir com instrumentos convencionais a cabeça humana</i>	84
4.1.3	<i>Tarefa 1.3: Fotografar a parte frontal e lateral da amostra</i>	86
4.1.4	<i>Tarefa 1.4: Gerar os dados das medidas antropométricas com auxílio de programa CAD e analisá-las estatisticamente</i>	88
4.1.5	<i>Tarefa 1.5: Analisar os valores em relação à altura da cabeça</i>	91
4.2	ETAPA 2: ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA CABEÇA HUMANA COM SCANNER 3D	97
4.2.1	<i>Tarefa 2.1: Analisar o número de amostras necessárias e contatá-las</i>	97
4.2.2	<i>Tarefa 2.2: Preparação das amostras</i>	99
4.2.3	<i>Tarefa 2.3: Escanear a região superior da cabeça humana</i>	100
4.2.4	<i>Tarefa 2.4: Tratar a imagem e transformá-la num modelo 3D em sistema CAD</i>	101
4.2.5	<i>Tarefa 2.5: Analisar e comparar as imagens escaneadas no programa CAD</i>	106
4.2.6	<i>Etapa 2.6: Documentar a influência das medidas antropométricas da cabeça em relação à altura</i>	108
5	RESULTADOS	109
5.1	ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA POR ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAL	109
5.2	ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA NO USO DE CAPACETE BALÍSTICO PASGT	113
5.3	Análise das Diferenças do Tamanho da Cabeça no Uso de Capacete Balístico	117
6	CONCLUSÃO	121
6.1	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES GERAIS	121
6.2	CONCLUSÕES DA ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA HUMANA NO USO DE CAPACETE BALÍSTICO	121
6.3	CONCLUSÕES DOS EXPERIMENTOS	123
6.4	CONCLUSÕES FINAIS	124
6.5	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	125
	REFERÊNCIAS	127
	LISTA DE APÊNDICES	131

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande evolução da engenharia, as aplicações industriais têm benefício direto no desenvolvimento de produtos. Já, na pesquisa e no apoio a demandas da área de usabilidade e ergonomia, as aplicações se beneficiam com a capacidade de reproduzir geometria de um corpo humano padrão, para a utilização em serviços e produtos anatômicos.

O conhecimento da forma da cabeça humana é uma informação essencial para uma variedade de campos, incluindo *design*, medicina, antropometria, entre outras, conforme já descrito por alguns autores como Kouchi e Mochimaru (2004), Meunier *et al.* (2000) e Iida (2005). Quanto às diferenças antropométricas da cabeça, elas já foram estudadas entre as várias pesquisas e regiões do mundo, tal como exposto nos trabalhos de Alves *et al.* (2011), Ball *et al.* (2010), Lee e Park (2008) e Yokota (2005).

Quando se trata de medidas antropométricas da cabeça, os padrões dessas estão referenciados segundo a NBR 15127 (2004) e a DIN 33402 (1981 apud Iida 2005). São esses: circunferência (perímetro horizontal da cabeça), largura (maior distância frontal da cabeça) e comprimento (maior distância do perfil da cabeça). Para melhor entender essas medidas, a Figura 1 as ilustra e mostra suas maneiras de medições.

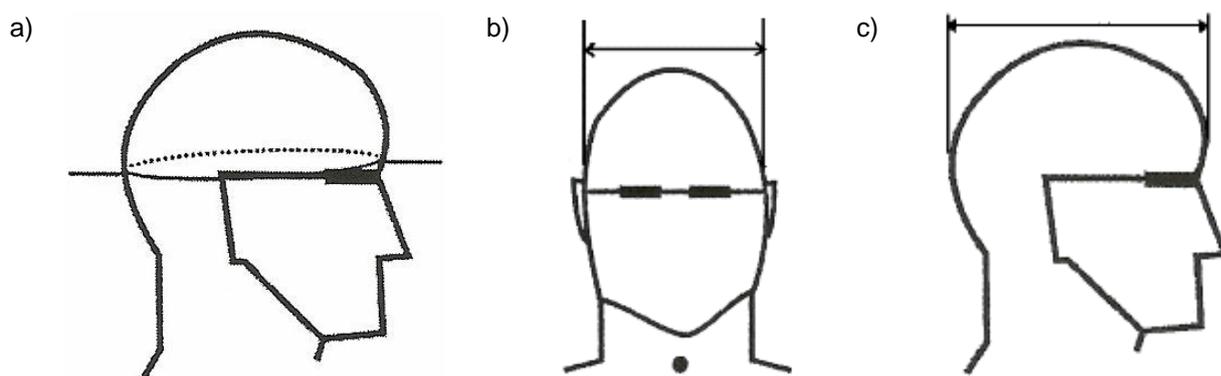


Figura 1: Maneiras de medir a cabeça quanto à circunferência (1a), largura (1b) e comprimento (1c)
Fonte: Adaptado da NBR 15127 (2004)

Para compreender melhor esses métodos de medições, esses serão explicados com base no que já foi descrito pela Norma Alemã DIN 33402 (1981) e adaptada por Iida (2005). A saber:

a) Circunferência da cabeça (Figura 1a): perímetro passando pela glabella (protuberância óssea, acima do nariz) e pela protuberância occipital externa (parte mais saliente da nuca), medida realizada com fita antropométrica flexível;

b) Largura da cabeça (frontal): extensão da linha entre o eurio (ponto de maior diâmetro frontal da cabeça acima das orelhas) direito e esquerdo, apurando-se com paquímetro o diâmetro máximo de largura da cabeça. A Figura 1b demonstra essa medida;

c) Comprimento da cabeça (em perfil): extensão da linha entre a glabella (saliência óssea acima do nariz, entre sobrancelhas) e a protuberância occipital externa (parte mais saliente da nuca), medindo-se com paquímetro a maior distância, representada na Figura 1c.

Os padrões citados acima estão associados a medidas unidimensionais, mesmo que a forma geométrica da cabeça seja tridimensional. Além disto, instrumentos e métodos de medições são simples, como fita métrica e paquímetro antropométrico. Assim, esses apresentam uma menor confiabilidade e precisão. Cabe ainda ressaltar que as normas legisladoras, citadas como referência para essas medidas, utilizam padrões de medidas de indivíduos de outros países.

Entretanto, a evolução de novas técnicas de modelagem por computador tem sido acompanhada por um desenvolvimento paralelo de novas tecnologias de medição. As utilizações são oriundas de tecnologias como sistemas de raio laser (*scanner* 3D), imagem por ressonância magnética (MRI), tomografia assistida por computador (CAT), métodos que utilizam raios-X, visualização por ultrassom, digitalização por som e métodos de medição do movimento, entre outros. Muitos desses métodos associam sistemas computacionais e sensores para fornecer dados digitalizados e pontos localizados num espaço tridimensional. Esses dados, através de sistemas de coordenadas X, Y e Z, podem fornecer informações diferentes dos métodos atuais, que são unidimensionais ou bidimensionais.

É nesse contexto que está inserido o intuito deste trabalho, o qual propõe uma investigação sobre os métodos de captura dimensional da cabeça humana, como fotogrametria e escaneamento 3D, diante da necessidade de explorar as técnicas de captura que proporcionem maior confiabilidade e precisão, melhorando a ergonomia e usabilidade de artefatos que nela são utilizadas.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os estudos das características físicas do homem e suas variações iniciaram-se nas antigas civilizações da Índia, Egito e Grécia, com a preocupação de estabelecer o perfil das proporções do corpo e dos diferentes segmentos corporais, dando início à antropometria (PINTO, 2006).

De acordo com Petroski (1995), Lida (2005) e Alves *et al.* (2011), os questionamentos sobre as medidas antropométricas do brasileiro são frequentes, pois não se dispõe de um banco de dados com seu perfil antropométrico, sendo usadas como referências, tabelas originadas de medidas de outros países. Nesta mesma linha, Lopes (2005), define como escassos os levantamentos antropométricos do padrão brasileiro, dificultando os trabalhos de adequação dos projetos.

Dessa forma, no Brasil, muitos equipamentos de proteção individual são importados ou, quando produzidos aqui, seguem os padrões antropométricos do país de origem do projeto. É o caso dos capacetes balísticos que são usados pelas Forças Armadas Brasileiras, cujo modelo *Personal Armor System for Ground Troops* (doravante P.A.S.G.T.), é de procedência norte-americana (ALVES *et al.*, 2011).

No Brasil, podem ser considerados os estudos de Alves (2012), sobre Projeto de Blindagem Pessoal, que envolvem aspectos desde o desenvolvimento de novos materiais empregados na blindagem, até os parâmetros antropométricos específicos de militares da Força Aérea, realizada em São José dos Campos. Esses estudos visam padrões de medidas para confecções de capacetes, as quais se referenciam na circunferência, largura e o comprimento da cabeça humana, conforme explicado anteriormente.

Todavia, conforme a Norma Alemã DIN 33402 (1981, apud Lida, 2005), sabe-se que a cabeça pode ser medida em outras variáveis, como o contorno frontal e parcial da cabeça. Essa medida é a extensão da linha entre o ligamento auricular superior (ponto mais alto da junção da orelha com a cabeça) direito e o ligamento auricular superior esquerdo, passando pelo vértice que é ponto mais alto da cabeça. A Figura 2a demonstra essa medida. Outra medida, tão importante quanto as outras já citadas para o uso de capacetes balísticos, seria o contorno mediano da cabeça e do pescoço (Figura 2b). Essa medida é a extensão da linha entre a protuberância da sétima vértebra cervical (saliência óssea no limite entre o pescoço e o tronco traseiro) e a glabella que é a saliência óssea acima do nariz, entre as sobrancelhas.

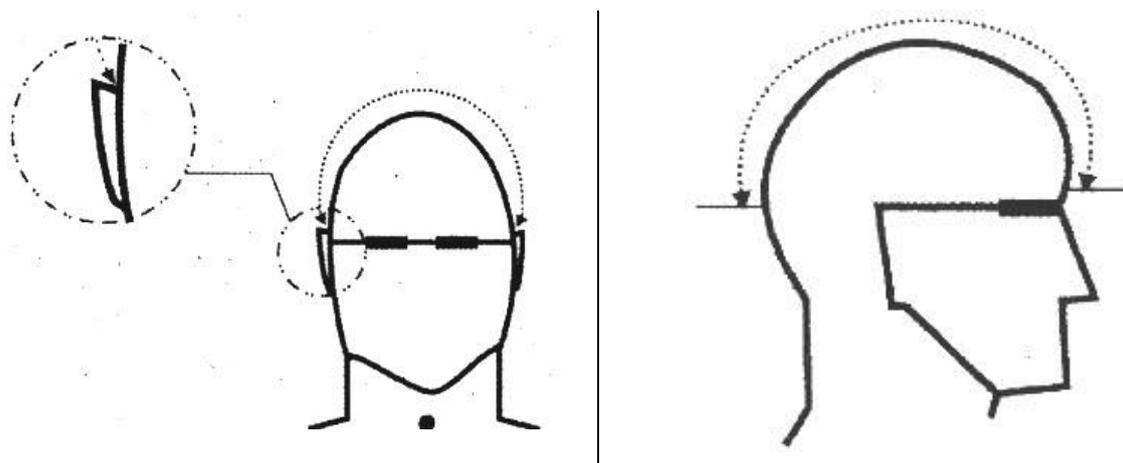


Figura 2: Medida dos contornos frontal, parcial da cabeça (2a) e mediano da cabeça e pescoço (2b)
 Fonte: Adaptado da NBR 15127 (2004)

As duas medidas antropométricas demonstradas na Figura 2 não são tabeladas e tratadas em estudos como o de Lida (2005), Gordon *et al.* (1989 apud Kroemer e Gandjean, 2005) e Alves *et al.* (2011). Isso demonstra que os bancos de dados para estudos de dimensionamento de capacetes militares ainda podem ser melhorados.

Somando-se a essas duas novas variáveis, tão importante quanto as três primeiras demonstradas na Figura 1, existe o questionamento quanto aos atuais estudos de medidas antropométricas da cabeça (cefalométricas), que são os métodos e ferramentas que estão sendo usados. Segundo estudos como o de Alves *et al.* (2011) as medidas são geradas através de instrumentos como trena métrica flexível e paquímetro antropométrico, cuja incerteza está na casa de milímetros, além de seus métodos imprecisos. Analisando a Figura 1, questiona-se: com os instrumentos convencionais e o método de medição atual, como identificar com exatidão as medidas máximas da circunferência, comprimento e largura da cabeça do indivíduo? Ou, associada com o artefato: é possível que a região de assentamento do capacete não corresponda às medidas máximas da cabeça? Ou seja, será que a altura do assentamento do capacete corresponde às regiões de circunferência, comprimento e largura máxima?

Nota-se aqui uma maior incerteza com as medidas, o que justifica que os métodos atuais para análises antropométricas da cabeça do ser humano podem ser melhor definidos.

Dessa forma, a seguir serão expostos os objetivos deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho é identificar os parâmetros antropométricos adequados da cabeça humana para a categorização do tamanho do capacete balístico.

Para atingir tal objetivo, as seguintes atividades serão desenvolvidas e apresentadas como objetivos específicos deste trabalho:

- realizar uma revisão do estado da arte sobre as medidas antropométricas da cabeça humana para o uso de capacetes balísticos;
- sistematizar um método de análise antropométrica da cabeça humana, na região de assentamento e fixação do capacete balístico;
- coletar dados de uma amostra da população brasileira;
- fazer um experimento antropométrico utilizando instrumentos convencionais e outro com fotogrametria;
- analisar estatisticamente os valores encontrados, para demonstrar sua veracidade dentro de um limite de confiança aceitável para estudos antropométricos;
- gerar um experimento com *scanner* 3D para identificação das medidas antropométricas da cabeça humana;
- avaliar, pelos dados antropométricos obtidos, e propor um método rápido e eficaz para medir a cabeça humana para o uso de capacete balístico.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da violência urbana e dos conflitos pelo mundo, fica evidente e consolidada a importância da blindagem pessoal. Segundo Júnior *et al.* (2006) há necessidade de estudos para a obtenção de tecnologias para a fabricação de blindagens modernas, que possam assegurar às Forças Armadas Brasileiras, a proteção adequada para o cumprimento de seus atributos.

Os dados atuais, como circunferência, largura e comprimento, não representam a totalidade das medidas antropométricas da cabeça. Ou seja, com base em apenas três medições, pode ser inadequada a categorização de tamanhos de capacetes militares, sendo prejudicial quando usado por longo tempo e causando, assim, problemas como fadiga ao seu usuário.

Desta forma, pretende-se diagnosticar as variáveis antropométricas da cabeça humana. Para isso é necessário que se defina um método para dimensionar de dimensionamento, por fotogrametria ou escaneamento tridimensional, que contribua com informações valiosas para o projeto ergonômico do produto, com maior segurança e conforto, no caso da utilização de capacetes, principalmente em usos militares.

1.4 HIPÓTESES

O tamanho do capacete balístico é definido para o seu usuário através das medidas máximas de diâmetro, comprimento e largura máximos. Entretanto, se na região de assentamento e fixação do capacete o indivíduo possuir uma altura diferente à do artefato, neste caso não corresponderão às medidas máximas.

Dessa maneira, este trabalho busca a identificação da altura da cabeça humana na região de assentamento do capacete e comparar com a do artefato. Logo a hipótese desta pesquisa é:

- Caso exista diferença entre as alturas da cabeça humana e o capacete balístico, é necessário buscar uma maneira para melhor dimensionar o capacete conforme o sujeito que o usará.

1.5 LIMITAÇÃO DE ESTUDO

Este estudo se limitará à análise antropométrica da cabeça de indivíduos do sexo masculino. Não será analisado o sexo feminino, deixando para que esse estudo seja feito em trabalhos futuros.

Os sujeitos a serem analisados nesta pesquisa terão os pré-requisitos para adentrarem nas forças armadas brasileiras. Porém, para comprimir o seu cabelo, será usada uma touca para que não haja necessidade que o sujeito o raspe.

Também, o foco deste estudo estará limitado apenas para o uso de capacete balístico que, neste caso, será o modelo PASGT, pois é o único modelo usado nas forças armadas militares, conforme o Ministério da Defesa (2008).

1.6 ESTRUTURA DESTE DOCUMENTO

O capítulo atual apresenta uma introdução sobre o tema, uma breve revisão bibliográfica sobre as medidas antropométricas da cabeça e as formas de medições que são feitas atualmente. Neste capítulo, apresentam-se ainda os objetivos esperados, as justificativa e hipóteses de soluções do trabalho, e como esse está estruturado.

Uma revisão bibliográfica sobre medições geométricas da cabeça, de modo a divulgar o estado da arte desta área, é apresentada no capítulo 2, que é organizado de forma a abranger as várias frentes de pesquisa conduzidas por cientistas de todo o mundo. Entre elas, um breve histórico sobre essa tecnologia, estudos sobre as características construtivas e geométricas com foco na cabeça do homem e os artefatos militares que são utilizados.

O capítulo 3 conta com a fundamentação teórica que envolve os métodos escolhidos para a análise e a justificativa do uso da fotogrametria e do escaneamento 3D na aquisição de dados para análise antropométrica da cabeça. Todas as sequências de atividades que governam a técnica para esta aplicação são descritas detalhadamente, de forma a permitirem o entendimento do método para a análise.

No desenvolvimento, capítulo 4, são demonstrados os experimentos realizados, sua adequação para os sistemas computacionais e as análises das medias das cabeças em maneiras comparativas com os modelos tridimensionais encontrados. As razões para as divergências entre os modelos estudados são apontados para uma discussão mais profunda nos resultados deste trabalho.

Os resultados obtidos para a identificação do problema atual do mau dimensionamento da cabeça humana no uso de capacetes balísticos e um método para resolvê-lo são apresentados no capítulo 5.

O capítulo 6 desta tese apresenta uma conclusão sobre os resultados obtidos, e apresenta as principais contribuições acadêmicas deste trabalho de pesquisa, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De maneira a situar o estado da arte atual, este capítulo contextualizará os parâmetros antropométricos da cabeça humana e do capacete balístico, modelo PASGT.

Para que se possa explicar a análise antropométrica tridimensional, parte do tema deste trabalho, é necessário descrever a ergonomia. Em seguida, será tratada a parte de antropometria da cabeça humana quanto ao uso de capacetes balísticos.

2.1 ERGONOMIA

Para Grandjean (1998), a ergonomia pode ser definida como a ciência da configuração de trabalho adaptado ao homem. No início, considerou-se a configuração das ferramentas, das máquinas e do ambiente de trabalho. O alvo da ergonomia era (e ainda é) o desenvolvimento de bases científicas para a adequação das condições de trabalho às capacidades da pessoa que trabalha.

Segundo Silva *et al.* (2006, apud Alves, 2012), o levantamento antropométrico de determinada população é um instrumento importante em estudos ergonômicos, fornecendo subsídios para dimensionar e avaliar máquinas, equipamentos, ferramentas e postos de trabalho e, ainda, verificar sua adequação às características antropométricas dos usuários, dentro de critérios ergonômicos adequados, para que a atividade realizada não se torne fator de desconforto e danos à saúde.

Na ergonomia, são encontrados dois tipos de dimensões antropométricas:

- a) Dimensões estáticas: relacionadas com as medidas físicas do corpo parado;
- b) Dimensões dinâmicas: relacionadas com as medidas do corpo em movimento, ou trabalho.

Para se aplicar corretamente os dados, é importante avaliar os fatores que influenciam os dados antropométricos, que podem variar de acordo com os aspectos físicos individuais (biótipo, gênero, idade) e populacionais (origem, etnia, época), além de outras variáveis, como posições de trabalho, limites de alcance, dispositivos de interface tecnológica, entre outras (IIDA, 2005).

Como não é possível projetar espaços de trabalho, vestuários de roupas e outros produtos que atendam às pessoas extremas, mais altas ou mais baixas, tem-se que focar em satisfazer as necessidades da grande maioria da população. De acordo com Grandjean (1998), na ergonomia trabalha-se com a parcela de 95 % da coletividade, às vezes até com 90%. Tal parcela chama-se limite de confiança de 95% ou, se for o caso, 90%. Quando se escolhe um limite de confiança de 95%, significa que os 2,5% dos menores e 2,5% dos maiores (do limite de confiança) são excluídos. Os valores percentuais individuais são chamados de percentil. Pode-se então dizer, nesse exemplo, que só são considerados os valores entre os percentis 2,5% e 97,5, conforme o exemplo apresentado na Figura 3.

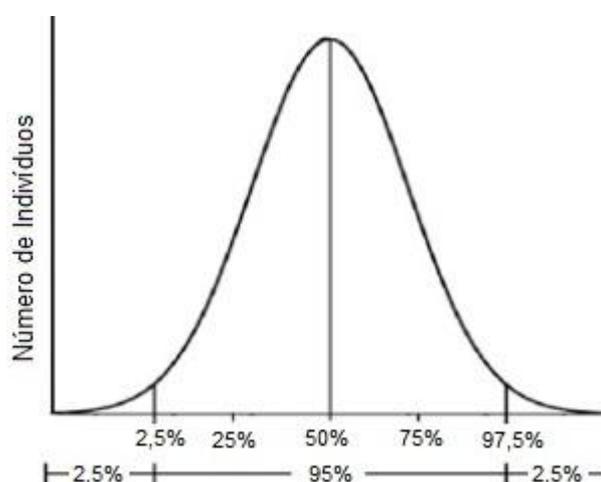


Figura 3: Gráfico do limite de confiança e percentis
Fonte: Adaptado de Grandjean (1998)

De acordo com De La Rosa e Rodriguez-Añez (2002, apud Alves, 2012), com o avanço da tecnologia, haverá um aumento na precisão e automatização das técnicas de medida para uma melhor definição do tamanho humano e da mecânica do espaço de trabalho, roupas e equipamentos. O estabelecimento das relações espaciais em coordenadas tridimensionais, associando a engenharia, à biomecânica e à antropometria, cria uma nova variedade de fenômenos que podem vir a ser investigados como procedimentos diagnósticos, auxiliando desde a construção de próteses ou até a simples confecção de uma roupa. Assim, os estudos proporcionados pela ergonomia fornecem informações a respeito das características e habilidades do ser humano, contribuindo significativamente para a fabricação de produtos adequados para a maioria dos usuários.

2.2 ANTROPOMETRIA

De acordo com Roebuck (1993), a antropometria é a ciência de medição e a arte do conhecimento da geometria humana, da massa e da capacidade de força. Ele ainda destaca que a palavra antropometria deriva do Grego *anthropos* = homem e *metrikos* = medida. Por isso, pode ser definida como a parte da antropologia que estuda as proporções e medidas do corpo humano. Michels (2000) complementa que a antropometria é o ramo das ciências humanas que estuda as medidas do corpo, particularmente, o tamanho e a forma. Essas definições de antropometria ainda são usadas nos dias de hoje.

Sabendo-se que a antropometria trata das medidas físicas do corpo humano. Supostamente, medir as pessoas seria uma tarefa fácil, bastando, para isso, ter uma régua, uma trena e uma balança. Entretanto, esta não é uma tarefa simples, quando se pretende obter medidas representativas e confiáveis de uma população, que é composta por indivíduos dos mais variados tipos e dimensões. Além disso, as condições em que essas medidas são realizadas (com ou sem roupa, com ou sem calçado, ereto ou na postura relaxada) influem consideravelmente nos resultados (IIDA, 2005). Segundo esse mesmo autor, até a Idade Média todos os calçados eram do mesmo tamanho e do mesmo formato entre os lados direito e esquerdo. Isso seria ótimo para a sua produção, pois com apenas um modelo de matriz, seria possível fabricar todos os calçados. Em contrapartida, no aspecto de quem consome o produto, o excesso de padronização pode não se traduzir em segurança, conforto e eficiência. Para que isso seja satisfeito de maneira adequada, é necessária a especificação da origem das dimensões antropométricas exigidas em cada situação, a implementação de medições para gerar dados confiáveis e a aplicação adequada desses dados.

Segundo Iida (2005), na área da antropometria, há tendência de padronizações mundiais, embora ainda não existam medidas antropométricas confiáveis para a população mundial. Grande parte das medidas disponíveis é de contingentes das forças armadas, pois quase todos se referem à medida de homens adultos, na faixa de 18 a 30 anos. Entretanto, o fato que mais contribui para que essas medidas sejam diferentes da população global, é o critério de seleção adotado para o recrutamento militar, que exclui, por exemplo, pessoas abaixo de determinada estatura ou peso mínimo. De qualquer forma, a Tabela 1 mostra a variação das estaturas dos militares de diversos países.

Tabela 1: Medidas de estatura e peso para militares de diversos países

PAÍS	HOMENS			
	ESTATURA (cm)		PESO (kgF)	
	MÉDIA	D. P.	MÉDIA	D. P.
REPÚBLICA DO VIETNAME	160,5	5,5	51,1	6,0
AMÉRICA LATINA (18 PAÍSES)	166,4	6,1	63,4	7,7
AUSTRÁLIA	173,0	6,0	68,5	8,4
BÉLGICA	179,9	5,8	68,6	7,8
CANADÁ	177,4	6,1	76,4	9,9
ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	174,5	6,6	68,5	10,6
FRANÇA	171,3	5,8	65,8	7,0
GRÉCIA	170,5	5,9	67,0	7,6
ÍNDIA	167,5	6,0	57,2	5,7
IRÃ	166,8	5,8	61,6	7,7
ITÁLIA	170,6	6,2	70,3	8,4
JAPÃO	166,9	4,8	61,1	5,9
NORUEGA	177,5	6,0	70,1	7,5
REP. FED. DA ALEMANHA	174,9	6,1	72,2	8,1
REPÚBLICA DA CORÉIA	164,0	5,9	60,3	5,1
TAILÂNDIA	163,4	5,3	56,3	5,8
TURQUIA	169,3	5,7	64,6	8,2

Fonte: Adaptado de lida (2005)

Verificam-se com os dados apresentados na Tabela 1 que os menores valores de estatura e peso, estão entre os povos asiáticos. Os povos ditos mediterrâneos estão na faixa intermediária e, a superior, é ocupada pelos nórdicos.

O que foi destacado no parágrafo anterior, comprova-se com as pesquisas de lida (2005) que descreve que diversos estudos antropométricos realizados durante várias décadas comprovaram a influência da etnia nas medidas antropométricas. Conforme apontado na DIN 33402 (1981), em relação a diferenças étnicas, as variações extremas são encontradas na África. Os menores são os pigmeus da África Central. Os povos de maior estatura no mundo também estão na África. Dentro desta pesquisa, identificou-se que a diferença entre o homem mais alto (sudanês) e o mais baixo (pigmeu) é de 62% em relação ao mais baixo.

2.3 ASPECTOS ANATÔMICOS DA CABEÇA HUMANA

De acordo com Snell (1999, Apud Madeira (2008)), a cabeça é uma região do corpo que tem um grande número de estruturas importantes comprimidas dentro de uma área relativamente pequena. Localizada na extremidade superior do corpo, nela estão a boca, o cérebro, os órgãos sensoriais especiais, como audição, paladar, olfato

e visão, além dos nervos cranianos. Além disso, nela se encontra o crânio, que é composto por vários ossos encaixados e tem a função de alojar e proteger o encéfalo e, sobretudo, permitir fixação aos músculos do rosto e da boca.

Para descrever sobre aspectos geométricos da cabeça e quais são as partes que a compõem, faz-se necessário discorrer sobre anatomia. Segundo Didio (2002), a palavra anatomia vem do latim, que deriva do grego *anatome*, que significa cortar em partes, seccionar, termo aplicado aos cadáveres, de acordo com interesses fisiológicos e religiosos da época, que alicerçam através dos séculos os conhecimentos das estruturas e funcionamento do corpo.

Em relação à anatomia humana aplicada à pesquisa, Proença (2000) e Van de Graff (2003), propõem o estudo macroscópico de órgãos e sistemas constituintes do corpo humano, utilizando-se de terminologia própria e descrições formadas ao longo dos séculos dos estudos anatômicos.

A seguir serão tratados os conceitos de anatomia em partes do corpo humano, focando justamente no contexto deste trabalho de tese.

2.3.1 O Crânio

O esqueleto da cabeça constitui o crânio, que é uma estrutura rígida e determina o formato da cabeça. Segundo Rizzolo e Madeira (2004), o crânio pode ser dividido em viscerocrânio (ossos da face) e neurocrânio (ossos do crânio). Como o foco deste estudo é a proteção da cabeça com capacete balístico, serão examinados aspectos dos ossos do crânio.

Segundo Madeira (2008), o neurocrânio é constituído por oito ossos planos e irregulares, rigidamente unidos entre si por meio de suturas. A saber:

- a) dois temporais;
- b) dois parietais;
- c) um frontal;
- d) um occipital;
- e) um esfenóide;
- f) um etmóide.

Os ossos do neurocrânio são apresentados na Figura 4.

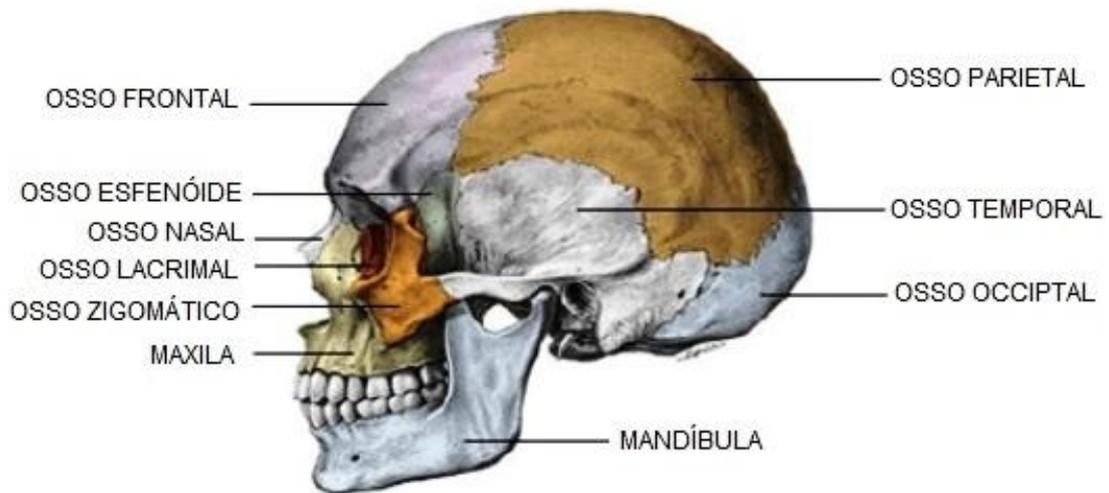


Figura 4: Vista lateral da cabeça
 Fonte: Adaptado de Sobotta (1995)

Segundo Rizzolo e Madeira (2004), a região superior do crânio é denominada a abóbada craniana e, na parte inferior, há a base do crânio. É como uma caixa óssea ajustada de tal maneira que na cavidade do crânio aloja-se o encéfalo. A parte mais alta do neurocrânio é conhecida como calvária, ou calota craniana, e pode ser observada seccionando-se o crânio transversalmente, tendo como referências a glabella e a protuberância occipital externa. A Figura 5 ilustra os ossos superiores do neurocrânio.

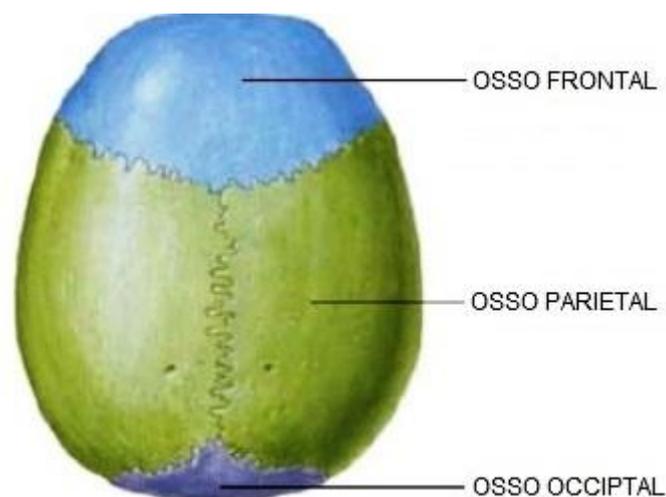


Figura 5: Vista lateral da cabeça
 Fonte: Adaptado de Sobotta (1995)

Quanto às medidas do crânio, pode-se dizer, que no Brasil, as medidas antropométricas utilizadas na prática médica não condizem com a realidade nacional. Ou seja, pode-se dizer que são desatualizadas e, ainda, restritas. Por estarem

inseridos grande região territorial, os brasileiros têm diversas características de biótipos, conseqüentes não apenas da miscigenação étnica, mas, também, da migração e da imigração (DOBBING 1973 *apud* OLIVEIRA et al., 2007).

Dessa forma, verifica-se que a questão da miscigenação étnica no Brasil é de suma importância para esclarecer dados significativos da população, quanto à antropometria craniana. Segundo Oliveira *et al.* (2007), reconhece-se a necessidade de realizações de diversas pesquisas para estabelecer dados antropométricos que possam definir a realidade brasileira. Mota *et al.* (2004), complementam, ainda, que há a necessidade de estudos em regiões com distintas características de populações.

2.3.2 Antropometria da cabeça

Segundo estudos de Pereira, Mundstock e Berthold (1998), as medidas antropométricas da cabeça podem ser divididas em:

- a) Cefalometria: que é a medida de partes da cabeça (céfalo refere-se à cabeça, compreendendo ossos, dentes e tecidos moles, envolve a localização dos pontos e a maneira de medições de forma não invasiva, podendo ser aplicado no indivíduo vivo);
- b) Craniometria: que se restringe a medir ossos e dentes diretamente no crânio seco. Um dos idealizadores dessa prática foi Leonardo da Vinci (1452-1519) que iniciou os primeiros estudos métricos da cabeça, estabelecendo proporções entre linhas e segmentos. Algumas de suas localizações de medidas ainda são empregadas em dias atuais.

Como foco, esta tese terá, dentre as duas técnicas citadas acima, concentração na área de cefalometria. De acordo com Campos e Vandrell (2009), atualmente, são empregados alguns métodos para essa prática, como: fotogrametria, ultrassonografia, tomografia computadorizada, ressonância magnética e digitalização de superfície por leitura óptica. Percebe-se que há uma grande evolução dessas técnicas. Entretanto, o método ainda mais utilizado é, sem dúvida, a medida convencional com paquímetro e fita antropométrica.

2.3.2.1 cefalometria

Conforme descrito anteriormente, a cefalometria pode ser considerada com uma técnica em que se obtêm as medidas anatômicas da cabeça de um ser humano vivo. Segundo Ferreira (2005), a cefalometria faz parte da biologia, porém, estudando sua geometria. Ela sustenta uma grande importância em diversas áreas, sendo uma ferramenta precisa que fornece informações sobre as medidas antropométricas da cabeça. É muito utilizada na ergonomia, auxiliando o desenvolvimento de projetos de máquinas e equipamentos na indústria, na produção de equipamentos de segurança, como abafadores de proteção auditiva, fones e microfones, capacetes automobilísticos e balísticos (ALVES, 2012).

Segundo Madeira (2008), para estudar as medidas da cabeça, é necessário conhecer antes alguns pontos antropométricos desse segmento, denominados pontos cefalométricos. Os quais são:

- a) glabela: é o ponto situado entre as sobrancelhas;
- b) násio: situa-se na parte central da sutura entre os ossos frontal e nasais;
- c) gnácio: é o ponto mais saliente do bordo inferior da mandíbula;
- d) opistocrânio (occipital externo): é o ponto mais saliente na parte posterior da cabeça;
- e) êurio: é o ponto mais saliente na parte lateral da cabeça;
- f) zígio: corresponde ao ponto mais saliente do arco zigomático.

Na Figura 6 são apresentados esses pontos antropométricos em indivíduo vivo.

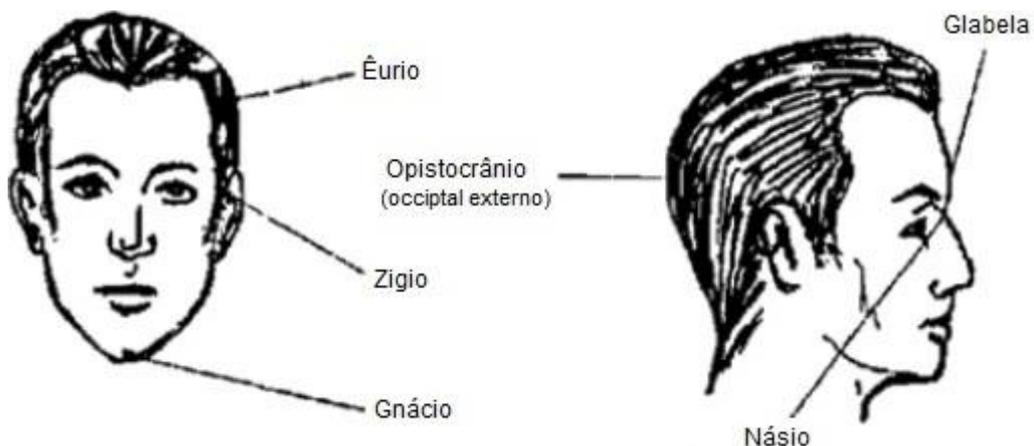


Figura 6: Pontos cefalométricos
Fonte: Souza e Oliveira (1987), adaptado por Madeira (2008).

Em se tratando das principais medidas da cabeça, Madeira (2008) cita que essa é dividida em crânio e face. Quanto ao crânio, foco desta tese, podem-se resumir as principais medidas em:

- a) Comprimento da cabeça (diâmetro ântero-posterior): é a distância entre a glabella e o opistocrânio (occipital externo). Corresponde ao diâmetro ântero-posterior da cabeça;
- b) Largura da cabeça (diâmetro transverso): é a distância entre o êurio de um lado e o outro do lado oposto. Corresponde ao diâmetro transverso da cabeça;
- c) Perímetro cefálico: é a medida da circunferência da cabeça, utilizando o plano que passa pela glabella e pelo opistocrânio (occipital externo).

Além dessas medidas, outras informações importantes em relação à antropometria da cabeça são os índices cefálico e o facial (Madeira, 2008), sendo que, neste trabalho, será tratado apenas o primeiro. O índice cefálico contempla a relação entre os diâmetros da cabeça.

$$\text{Índice Cefálico} = \frac{\text{largura (medindo frontalmente)} * 100}{\text{comprimento (medindo de perfil)}} \quad (1)$$

Segundo Williams *et al.* (1995), o índice cefálico é apresentado em quatro grupos:

- a) doliocéfalos (de cabeças estreitas ou longas): índice cefálico variando entre 70 e 74,9. Caucásicos nórdicos (escandinavos, ingleses), negróides africanos, australóides;
- b) mesocéfalos (de cabeças intermediárias): índice variam entre 75,0 e 79,9. Mongólicos;
- c) braquicéfalos (de cabeças arredondadas): índice varia entre 80 e 84,9. Caucásicos (europeus centrais);
- d) hiperbraquicéfalos (de cabeças muito arredondadas): índice maior que 85.

Na Figura 7 são apresentados diferentes tipos de formato de cabeça conforme a classificação craniométrica pelo índice cefálico.

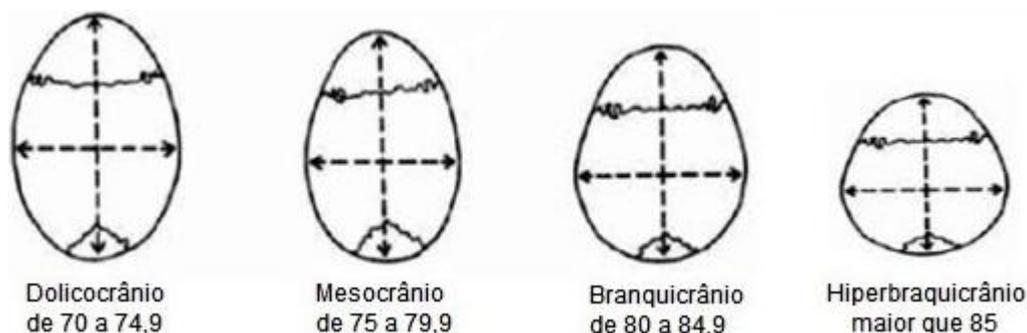


Figura 7: Classificação craniométrica de acordo com o índice cefálico
Fonte: Adaptada de Campos e Vandrell (2009).

Conforme citam Shah e Jadhav (2004), o índice cefálico pode determinar as variações étnicas. Esse gera um valor que pode distinguir as características genéticas que são transmitidas entre pais e seus descendentes. Ainda Rexhepi e Meka (2008) complementam que o tipo da cabeça e rosto dependerá de muitos fatores, tais como a etnia, a influência genética, as tradições, a nutrição, algumas patologias, meio ambiente e clima.

Sabendo-se que o crânio é o agente responsável em estrutura e proteger todas as partes vitais que estão em seu interior, é de extrema importância que se tenham equipamentos ou artefatos que garantam a sua integridade. Dentro dessa linha de pesquisa, encontram-se os capacetes de blindagem pessoal e, direcionando ao foco desta tese, destacam-se os capacetes de combate.

Uma síntese dos capacetes de combate usados atualmente será exposta na seção 2.4 deste trabalho. Antes, serão tratados alguns estudos de medidas antropométricas da cabeça.

2.3.3 Métodos de se obter medidas antropométricas

De acordo com Ball *et al.* (2010, adaptado de Farkas (1994)), tradicionalmente as medidas antropométricas do corpo humano são unidimensionais, pois o uso de trena e paquímetro é comum para o levantamento de dados antropométricos. Os estudos mostrados até aqui, neste trabalho, foram frutos de medições em 1D. O próprio estudo de Alves *et al.* (2011), um dos mais recentes aqui no Brasil, utiliza valores antropométricos da cabeça de soldados brasileiros, ao se alistarem, auferidos com trena antropométrica.

Há estudos utilizando Tomografia Computadorizada (doravante TC) que se enquadram como bidimensionais, que é o caso de Chen *et al.* (2002) e Niu, Li, Salvendy (2009). Contudo, não são muitos trabalhos que envolvem essa tecnologia para medidas antropométricas, pois verificou-se que essas não poderiam ser aplicadas a um grande número de sujeitos, devido ao procedimento e dificuldade de processamento de dados. Entretanto, estudos mais recentes como Luximon, Ball, Justice (2012); Ma *et al.* (2011); Ball *et al.* (2010); Park *et al.* (2009); Witana *et al.*, (2009); Ball e Molenbroek (2008); Krauss *et al.*, (2008); Wang *et al.*, (2005), direcionam suas pesquisas em capturar as medidas antropométricas através de digitalização 3D.

De acordo com Zhang e Molenbroek (2004), a antropometria tridimensional com base na técnica de varredura a laser 3D não só proporciona medidas unidimensionais, calculadas de acordo com os pontos de referência que são pré-localizados na superfície do corpo humano manualmente mas, também, a forma 3D da informação entre os pontos de referência. Segundo Niu, Li e Salvendy (2009), a antropometria tridimensional pode fornecer informações valiosas para o projeto ergonômico do produto com maior segurança e considerações de saúde, já que não é um método invasivo.

Entretanto, o truncamento das informações citadas no parágrafo anterior, pode estar atrelado ao método que é usado para processar o enorme volume de dados de varredura a laser, tornando-se um desafio para as análises antropométricas.

O fato é que a antropometria tridimensional é uma tendência para análises ergonômicas. Entretanto, no Brasil, essa área ainda é pouco explorada.

2.3.4 Medidas antropométricas da cabeça humana

Segundo Lida (2005), uma das tabelas de medidas antropométricas mais completas que se conhece é a norma alemã DIN 33402 de junho de 1981. Ela apresenta medidas de 54 variáveis do corpo, sendo nove do corpo em pé, 13 do corpo sentado, 22 da mão, três dos pés e sete da cabeça. Para cada variável, a norma descreve os pontos entre os quais são tomadas as medidas, a postura adotada durante a medida e o instrumento de medida usado em cada caso. Os resultados são apresentados em percentis de 5, 50 a 95% da população de homens e mulheres, para 19 faixas etárias, entre três a 65 anos de idade, e a média para adultos entre 16 a 60

anos. Essa norma não fornece dados sobre o peso. Com o foco nesta tese, as principais variáveis apresentadas nessa norma, podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2: Medidas antropométricas da cabeça, resumidas da norma alemã DIN 33402

MEDIÇÕES DA CABEÇA	MULHERES			HOMENS		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE (cm)	13,8	14,9	15,9	14,6	15,6	16,7
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (cm)	16,5	18	19,4	18,2	19,3	20,8
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (cm)	52	54,4	57,2	54,8	57,3	59,9

FONTE: Adaptado de Iida (2005)

Quanto à Tabela 2 e as demais tabelas que serão apresentadas nesse capítulo, as adaptações implementadas foram quanto às medidas destacadas neste trabalho. Ou seja, apenas na região superior da cabeça, onde é fixado o capacete.

Segundo Kroemer e Grandjean (2005), em 1988, o Exército dos EUA realizou um amplo levantamento antropométrico de 2208 mulheres e 1774 homens. Entre as mulheres, 46% tinham menos de 25 anos, 32% entre 25 e 30 anos e 22% tinham mais de 31 anos. Entre os homens, 45% tinham menos de 25 anos, 25% entre 25 e 30 anos e 30% tinham mais de 31 anos. Aproximadamente 51% eram brancos, 42% negros, 3% hispânicos e 4% outras etnias. Segundo os próprios autores, essa seria uma amostra representativa da população adulta dos EUA. Um resumo deste estudo, direcionando à proposta desta tese, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: Dimensões antropométricas de adultos norte-americanos

MEDIÇÕES DA CABEÇA	HOMENS			
	5%	50%	95%	DP
LARGURA DA CABEÇA (cm)	14,31	15,17	16,08	0,54
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (cm)	54,27	56,77	59,35	1,54

FONTE: PeopleSize (1999)

Outros estudos, analisando as medidas antropométricas de idosos, foram feitos por três autores. O primeiro trabalho foi de PeopleSize (1999) onde analisou idosos, acima de 65 anos do Reino Unido (Tabela 4). O segundo foi de Pheasant (1996) que estudou idosos de 65 a 80 anos de idade, também do Reino Unido (Tabela 5). Já o terceiro, HQL (1997), utilizou japoneses de 60 a 69 anos para analisar algumas medidas humanas (Tabela 6).

Tabela 4: Dimensões antropométricas de idosos (+ 65 anos) do Reino Unido

MEDIÇÕES DA CABEÇA	MULHERES				HOMENS			
	5%	50%	95%	DP	5%	50%	95%	DP
COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA (mm)	180,26	193,19	206,11	7,88	177,74	189,91	202,08	7,42
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (mm)	134,69	145,23	155,76	6,43	141,74	152,65	163,56	6,65
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (mm)	509,17	536,35	563,54	16,58	543,65	571,12	598,59	16,75

FONTE: Adaptado de PeopleSize (1999)

Tabela 5: Dimensões antropométricas de idosos (65 a 80 anos) do Reino Unido

MEDIÇÕES DA CABEÇA	MULHERES				HOMENS			
	5%	50%	95%	DP	5%	50%	95%	DP
COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA (mm)	165	175	185	7	175	190	200	7
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (mm)	130	140	150	5	140	150	160	6
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (mm)	538,48	512,67	564,29	15,74	546,18	572,96	599,73	16,33

FONTE: Adaptado de Pheasant (1996)

Tabela 6: Dimensões antropométricas de idosos (60 a 69 anos) do Japão

MEDIÇÕES DA CABEÇA	MULHERES				HOMENS			
	5%	50%	95%	DP	5%	50%	95%	DP
COMPRIMENTO VERTICAL DA CABEÇA (mm)	168	178,4	189	6,4	176	186,2	198	6,7
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (mm)	142	150,9	160,5	5,9	146	156,5	168	6,7
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (mm)	526	550	575	15,3	541	566,6	593	15,7

FONTE: Adaptado de HQL (1997)

No recente estudo de Ball *et al.* (2010), no qual o objetivo era analisar as diferenças antropométricas das cabeças de Chineses e Caucasianos, verificou-se que essas duas etnias têm realmente diferenças consideráveis em seus tamanhos de cabeça, largura da cabeça (em perfil) e a circunferência. Esse estudo se baseou em dois bancos de dados de trabalhos como o de Ball e Molenbroek (2008), no qual se mediu a cabeça de asiáticos, com auxílio de equipamentos tridimensionais como o *scanner* 3D (Tabela 7), assim como outro estudo, de Robinette *et al.* (2002), em que, também com *scanner* 3D, foram medidos civis americanos e europeus dentro de uma pesquisa na área de antropometria denominada CEASAR (Tabela 8).

Tabela 7: Dimensões antropométricas dos Chineses

MEDIÇÕES DA CABEÇA	Min	Média	Máx	D.P.
LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE (mm)	133	158	179	7
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (mm)	163	188	235	7
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (mm)	513	565	617	16

FONTE: Adaptado de Ball e Molenbroek (2008)

Tabela 8: Dimensões antropométricas dos Caucasianos (CAESAR)

MEDIÇÕES DA CABEÇA	Min	Média	Máx	D.P.
LARGURA DA CABEÇA, DE FRENTE (mm)	140	154	184	6
LARGURA DA CABEÇA, DE PERFIL (mm)	176	199	219	7
CIRCUNFERÊNCIA DA CABEÇA (mm)	529	577	638	17

FONTE: Adaptado de Robinette et al. (2002)

No Brasil, o estudo de Alves (2012) é o mais recente em relação às medidas antropométricas da cabeça do ser humano, para análises em capacetes balísticos. Segundo esse autor, no Brasil ainda não existem estudos que definam o perfil antropométrico da cabeça dos brasileiros, dificultando o desenvolvimento de projetos ergonômicos. Esse fato tem gerado dificuldades de adaptação dos militares das Forças Armadas brasileiras quanto ao uso de capacetes de proteção que são confeccionados com medidas baseadas em perfis antropométricos de outros países, acarretando grande desconforto para aqueles que os utilizam em suas atividades.

No estudo de Alves (2012) foi levantada a medição da cabeça de 286 mulheres e 290 homens. Para a caracterização das amostras foram vistas a idade da pessoa, massa corporal total (peso) e a estatura. Esses valores podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9: Caracterização das amostras para estudo antropométrico

Estatística/ Variáveis	Gênero	Resultado		Média	Desvio- Padrão
		Mínimo	Máximo		
Idade (anos)	Feminino	17	25	20,84	± 1,90
	Masculino	17	36	22,72	± 3,16
Peso (kgF)	Feminino	45	84	58,11	± 6,93
	Masculino	53	110	72,66	± 8,76
Estatura (cm)	Feminino	155	185	164	± 5,00
	Masculino	160	195	176	± 6,00

FONTE: Adaptado de Alves (2012)

A partir da caracterização das amostras foram realizadas as medidas antropométricas da cabeça, em relação Largura (largura da cabeça, de frente), Comprimento (largura da cabeça, de perfil) e Índice Cefálico (Equação 1). Os valores levantados nesses estudos podem vistos na Tabela 10. Com esses valores levantados, foram comparados com as medidas da norma alemã DIN 33402, que estão citadas em lida (2005), assim como com as medidas dos capacetes balísticos, modelo PASGT. Nesse estudo, Alves (2012) não destaca as diferenças dimensionais entre a cabeça e o capacete balístico. Apenas sugere o capacete “GG” nas forças armadas, uma vez que o maior tamanho deste artefato, no Brasil, é o “G”.

Tabela 10: Resultados das Medições Antropométricas da Cabeça dos Brasileiros

MEDIÇÕES (em cm)	MULHER				HOMEM			
	Percentual			D.P.	Percentual			D.P.
	2,5%	50,0%	97,5%		2,5%	50,0%	97,5%	
Largura de frente (cm)	13,94	15,02	16,09	±0,55	14,49	15,65	16,8	±0,59
Comprimento de perfil (cm)	17,79	19,12	20,45	±0,68	18,39	19,75	21,1	±0,69
Circunferência (cm)	51,93	55,4	58,86	±1,77	53,56	57,01	60,45	±1,76
I.C. (índice cefálico)	71,58	78,62	85,59	±3,58	71,85	79,36	86,86	±3,83

FONTE: Adaptado de Alves (2012)

Para uma melhor visualização e análise dos resultados das pesquisas demonstradas nesta seção do trabalho, a seguir serão demonstrados os gráficos mostrando as comparações das medidas antropométricas.

2.3.5 Análises das medidas antropométricas da cabeça humana

Serão gerados gráficos para análises dessas pesquisas. A linha central corresponde aos valores da média, a linha superior corresponde aos 5 percentil, assim como a inferior aos 95 percentil. O primeiro, apresentado na Figura 8, corresponde aos valores do perfil frontal encontrado nas pesquisas.

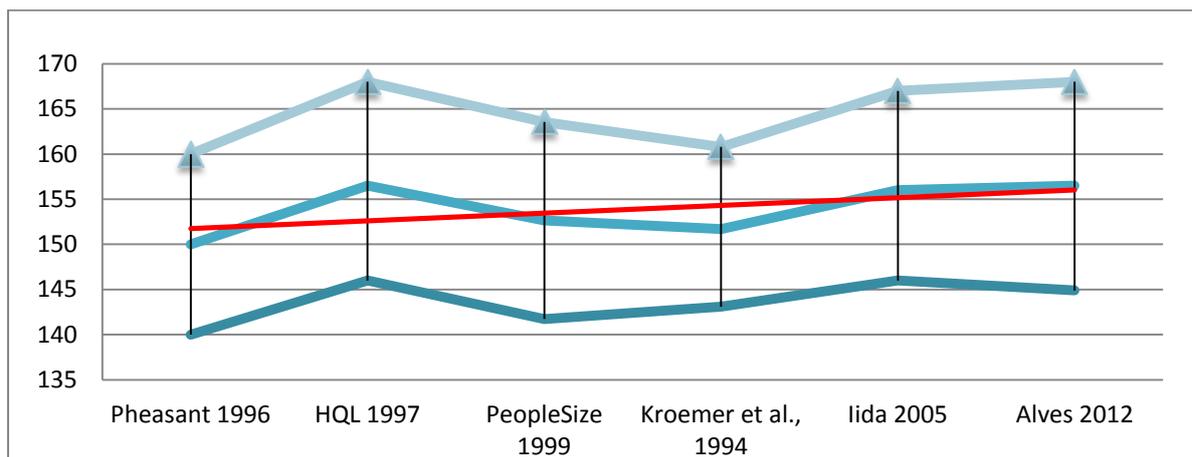


Figura 8: Análise gráfica das medidas (mm) do Perfil Frontal da cabeça
Fonte: O Autor (2014).

Percebe-se, na Figura 8, que os valores encontrados são relativamente próximos uns dos outros, onde o valor mínimo encontrado da média da largura máxima da cabeça é de 150mm e o máximo de 156,5mm. Já a Figura 9 apresenta uma comparação semelhante à figura anterior, porém, agora com os valores do comprimento da cabeça medida pelo perfil lateral do sujeito.

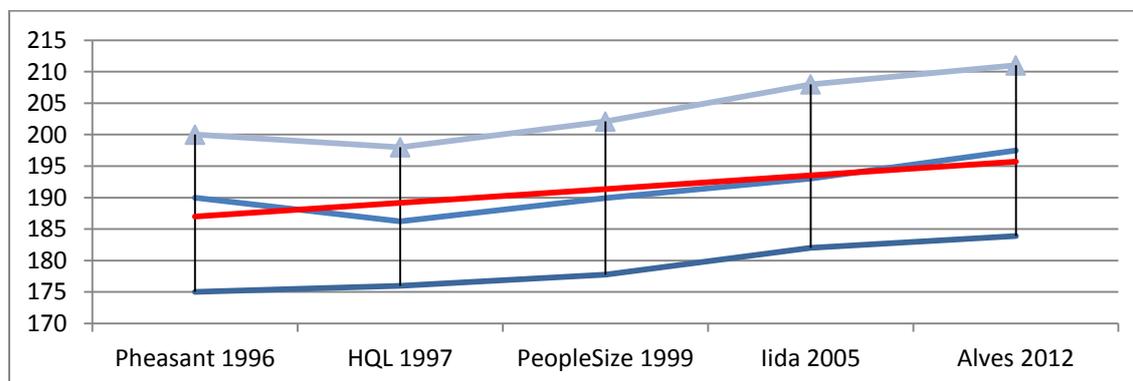


Figura 9: Análise gráfica das medidas (mm) do Perfil Lateral da cabeça
Fonte: O Autor (2014).

Nota-se que na Figura 9 a variação também não foi elevada, onde o valor mínimo encontrado da média do comprimento máxima da cabeça é de 186,2mm e o máximo de 197,5mm. Porém, neste gráfico apontou que os valores do perfil lateral dos brasileiros é ligeiramente maior que nas outras regiões estudadas. Também foi traçada uma linha de tendência, na cor vermelha, onde demonstra o aumento dessa medida estudada.

A Figura 10 apresenta a mesma análise para o diâmetro máximo da cabeça.

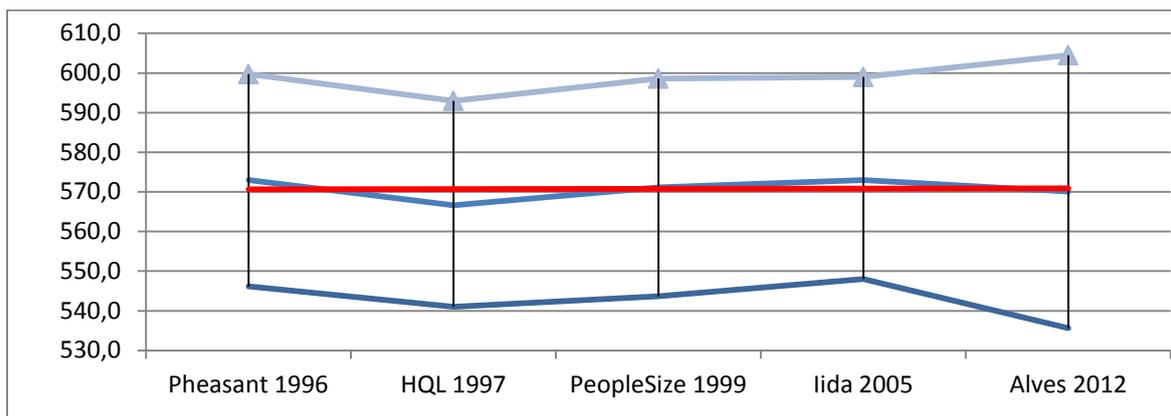


Figura 10: Análise gráfica das medidas (mm) do Maior Diâmetro da cabeça
Fonte: O Autor (2014).

Conforme apresentado na Figura 10, os valores dos diâmetros também são bem semelhantes, no qual o valor mínimo encontrado da média da circunferência máxima da cabeça é de 566,6mm e o máximo de 573mm. Apenas nos pontos que são de Alves (2012) há uma variação maior. Porém, isso se deve ao fato de que nessa pesquisa o nível de significância foi de 95% e, nas demais, era 90%. É importante destacar que a linha de tendência neste caso ficou na horizontal, onde, pode-se esperar, que a média do diâmetro máximo da cabeça humana é constante.

Com os valores das medidas de perfil frontal, lateral e o diâmetro, encontrados nessas pesquisas, se faz necessário compará-los com as mesmas dimensões dos valores dos capacetes balísticos. Assim, é possível verificar qual é a variação dimensional que precisa ser melhorada/ estudada. Para isso, a próxima seção tratará deste assunto.

2.4 CAPACETE DE COMBATE

Segundo Alves (2012), o capacete de combate é, também, conhecido como capacete balístico, sendo empregado na blindagem pessoal do combatente, seguindo as normas de confecção e homologação do Comando do Exército Brasileiro. De acordo com Samil e David (2012), o capacete balístico é um equipamento de infantaria padrão que fornece proteção balística de projeteis para a cabeça, orelha e pescoço do soldado.

Ainda, Othman (2009), relata que a cabeça e o pescoço representam apenas 12% da área do corpo que é tipicamente exposta em um campo de batalha. No

entanto, segundo o mesmo autor, ela visível até 25% e quase a metade de todas as mortes em combate é causada por ferimentos na cabeça.

Dessa forma, pode-se suspeitar que os capacetes balísticos não estejam sendo usados tão frequentemente como deveriam em tropas de combate. Um ponto de partida é analisar se esse artefato está suprimindo a sua necessidade de proteger a cabeça do soldado, assegurando simultaneamente um conforto adequado para as situações de uso.

Todavia, nota-se que há uma evolução constante com novos materiais. Segundo Shawn, Brian e David (2005), na primeira e segunda guerra mundial, os capacetes eram de aço e, hoje, são de materiais poliméricos. Há ainda uma evolução nesses estudos para o desenvolvimento de novos materiais. Uma parte desse histórico pode ser vista na Figura 11.



Figura 11: Evolução dos capacetes de combate
Fonte: Adaptado de Shawn, Brian e David (2005).

Quanto aos materiais usados nos capacetes balísticos, Souza e Thaumaturgo (2005) relatam que os aços austeníticos com alta concentração de manganês, anteriormente aplicados aos capacetes, estão sendo substituídos por compósitos reforçados por fibras de Kevlar® e Spectra®. Esses são compósitos de fibras de aramida e polietileno, respectivamente, que possuem altas resistências à tração e massas específicas muito baixas.

Conforme a Norma DMI, DS / CI II nº 009/2008 do Exército Brasileiro, o fabricante é o responsável pela produção do artefato, de acordo com as características estabelecidas na presente norma. O fabricante deve garantir a qualidade do artigo, mediante o controle da qualidade das matérias-primas e do produto acabado, em todo o processo de fabricação, segundo um plano de controle sistemático, que deve ser dado ao conhecimento do fiscal militar ou agente técnico credenciado (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2008).

Segundo Alves *et al.* (2011), no Brasil muitos dos equipamentos de proteção individual são importados de outros países ou, quando produzidos aqui, seguem os padrões antropométricos do país de origem do projeto. É o caso dos capacetes balísticos que são usados pelas Forças Armadas Brasileiras, denominado modelo PASGT de procedência norte-americana. O mesmo que foi demonstrado na Figura 11 e que será detalhado a seguir.

O capacete de combate usado pelas forças armadas brasileiras — modelo PASGT — é constituído de quatro partes:

- a) casco;
- b) sistema de suspensão;
- c) sistema de fixação; e
- d) almofadas de conforto e proteção.

Observação: pode ainda ser dotado de cobertura para a inserção de meios adicionais de camuflagem.

A seguir, esse modelo de capacete será detalhado para que se possa conhecer o artefato em questão. As explicações a seguir seguirão as referências de Ministério da Defesa (2008) e da MGBlindados (2013).

O casco é uma peça única, integral, fabricada em materiais compósitos, normalmente confeccionados em aramida pré-impregnada com resinas e conformado a quente. Com a função de proteção da cabeça do usuário, o seu formato é semelhante ao capacete usado pelo Exército norte-americano, segundo o projeto PASGT. Apresenta projeções laterais destinadas a proteger as orelhas. Deve oferecer proteção contra impactos de projéteis e fragmentos de alta velocidade, no nível de proteção III-A. O casco do capacete de combate é apresentado na Figura 12.



Figura 12: Casco do capacete de combate
Fonte: Adaptado de Alves (2012).

O sistema de suspensão é constituído por uma coroa e uma carneira, que serão examinados a seguir.

A coroa destina-se a fazer a intermediação entre o casco e a cabeça do usuário. É confeccionada em poliamida, apresenta uma base, circular, fechada, que é ligada ao capacete por meio de parafusos e porcas, com distâncias definidas de acordo com o tamanho do capacete. Apresenta, também, uma armação ou topo da coroa, constituída por quatro segmentos de correia, também de 25 mm de largura, fixados na correia base, passados por uma volta dupla do cordel de ajustagem e dotada de um dispositivo de ajustagem. O topo da coroa é destinado à ajustagem da altura do capacete, em relação ao topo da cabeça do usuário. O dispositivo de ajuste é constituído por um cordel de ajustagem e peças de correia e fecho de contato e permite um ajuste aproximadamente até 10mm. A Figura 13 apresenta o desenho descrevendo as partes que compõem a coroa.

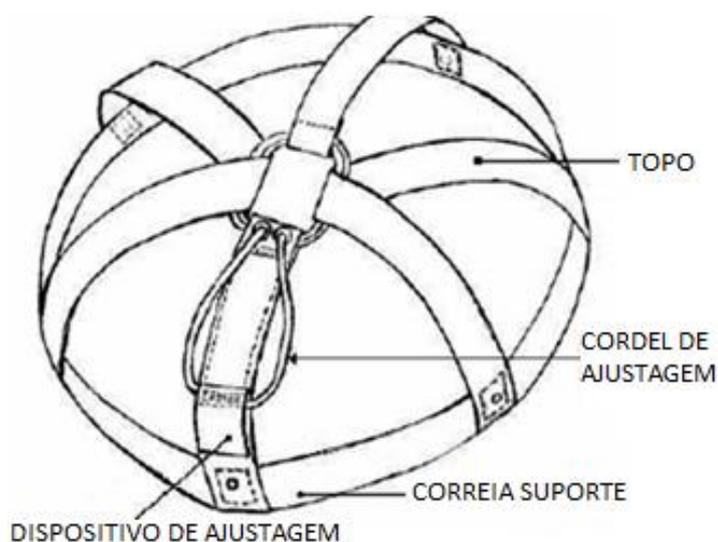


Figura 13: Partes que compõem a coroa
Fonte: Ministério da Defesa (2008)

A carneira é uma peça intermediária entre a coroa e a cabeça do usuário. É construída em correia de *nylon* revestida por couro (*vaqueta*) nos pontos em que, ao ser fixada à coroa, fica em contato com o crânio do usuário, possibilitando que o capacete permaneça no topo da cabeça. O objetivo da peça é possibilitar maior conforto ao usuário, permitindo regulagens individualizadas. A Figura 14 apresenta o desenho descrevendo as partes que compõem a carneira.

A carneira será fixada à coroa por meio de dispositivos de fixação confeccionados em tiras de fecho de contato, face áspera, costuradas na correia suporte.

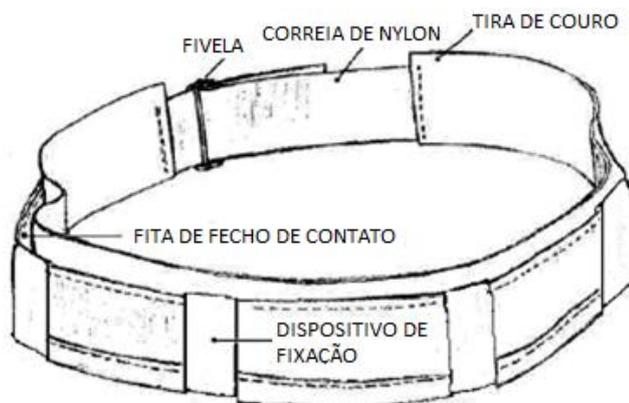


Figura 14: Partes que compõem a carneira
 Fonte: Ministério da Defesa (2008)

O sistema de fixação ainda inclui uma nuqueira, uma jugular com queixeira, que também serão explicados a seguir.

A nuqueira é construída em correia de *nylon* de alta resistência e tem por finalidade ajustar e prender a parte posterior do capacete a cabeça do usuário. Essa fixação é realizada por um sistema especialmente criado que possui três pontos de retenção: (i) um na nuca, acoplado à coroa; e (ii) outros dois nas correias laterais da jugular, com sistema próprio de regulagem efetuado por fivela. A Figura 15 apresenta o capacete de combate com nuqueira e jugular com queixeira.



Figura 15: Capacete de combate com nuqueira e jugular com queixeira
 Fonte: Alves (2012)

A jugular é construída com algodão de alta resistência, forrada com couro nas partes que entram em contato com a face do usuário, e possibilita a total fixação do capacete. Os pontos de ancoragem da jugular ao casco (altura das têmporas do usuário) possuem fivelas de ajuste que permitem a individualização da regulagem para cada elemento. Assim, a utilização das correias, nuqueiras e jugulares permite o ajuste da peça à cabeça do usuário.

As almofadas de conforto e proteção, a fim de acrescentar capacidade adicional de absorção de impactos e proporcionar mais conforto, são aplicadas ao capacete, fixadas entre o casco e o sistema de suspensão. São confeccionadas em material plástico expandido, laminado, sendo uma frontal, duas fronto-laterais, uma traseira e uma de topo. As almofadas fronto-laterais e da nuca são fixadas nos mesmos locais de fixação da coroa, entre ela e o casco; a almofada de topo deverá ser fixada com fecho de contato. A Figura 16 apresenta a posição de fixação no casco das almofadas de conforto e proteção. Os itens que estão assinalados nessa figura são: 1) Almofada frontal; 2) Almofada fronto-lateral; 3) Almofada de topo; 4) Almofada traseira.

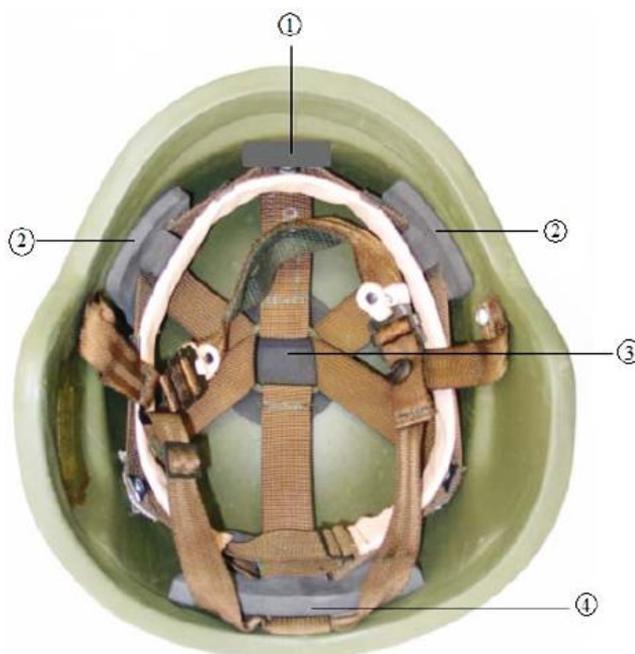


Figura 16: Detalhes das almofadas inseridas entre o casco e a coroa
Fonte: Alves (2012)

A massa total dos capacetes de combate montados deverá atender ao discriminado na norma do Ministério de Defesa (2008), por tamanho, com tolerância de mais ou menos 10%. A Tabela 11 apresenta esses valores do peso dos capacetes em relação ao tamanho.

Tabela 11: Peso dos capacetes em relação ao tamanho

DESCRIÇÃO	TAMANHOS			
	P	M	G	GG
Massa total dos capacetes (kg)	1,30	1,40	1,50	1,70

Fonte: Brasil. Ministério da Defesa (2008).

É importante destacar que a massa dos capacetes, apresentadas na Tabela 11, é de maneira estática. Ou seja, em uma situação na qual o usuário esteja em movimento, por exemplo correndo, há um acréscimo da força da gravidade, gerando uma pressão/força maior que o peso estático. Segundo Samil e David (2012), analisando a simulação feita de um soldado correndo a uma velocidade de 8 km/h (2,2 m/s) sobre uma esteira, após 180 segundos, a pressão que o capacete exerce sobre a cabeça chega até 1,3 kPa ou 132,56 kgf/m², podendo chegar até uma pressão de pico de até 3,6kPa. Segundo esses mesmos autores, o capacete tem uma área interna em contato com a cabeça do usuário de 0,14 m². Logo, pode-se estimar que a força que o capacete aplica é de 51,39N (367,1 kgf/m² * 0,14 m²). Considerando a força da gravidade como sendo 9,81 m/s², é um massa adicional de 5,34kg sobre a cabeça. Certamente, essa massa de aproximadamente 5,5kg sobre a cabeça do usuário em um uso contínuo, prejudicá-lo-á no campo de batalha.

Ainda segundo Samil e David (2012), em sua pesquisa com 70 usuários do capacete balístico do modelo PASGT, foi constatado que os soldados sentem essa pressão adicional em partes diferentes da cabeça. Essas partes, com sua porcentagem de respostas, podem ser vistas na Tabela 12.

Tabela 12: Regiões de desconforto dos capacetes balísticos

Região	Número de Respostas	Percentual (%)
Área frontal	16	21,9
Área Occipital	4	5,5
Área Parietal	40	54,8
Área Temporal	13	17,8

Fonte: Adaptado de Samil e David (2012)

Nota-se que a região que o soldado sente um maior desconforto no uso do capacete balístico é a área Parietal. Ou seja, na região superior da cabeça.

Dessa maneira, será conduzida uma análise em relação às medidas antropométricas dos capacetes balísticos, para verificar se existe uma variação

dimensional com os dados que foram levantados nas Tabelas 2 a 10, que são os dados antropométricos das cabeças dos humanos.

2.4.1 Medidas Antropométricas dos Capacetes Balísticos

É importante saber quais são as medidas antropométricas do capacete balístico, modelo PASGT, para que possa compará-las com os valores identificados na pesquisa desta tese. Assim, sabe-se se há alguma dimensão do capacete que está comprometendo a ergonomia dos usuários.

As medidas do capacete balístico PASGT, podem ser vista na Tabela 13. Nota-se que nela não consta o tamanho GG deste artefato. Isso porque nas Forças Armadas Brasileiras, o maior tamanho é o “G” (ALVES, 2012).

Tabela 13: Medidas antropométricas do capacete PASGT em relação aos tamanhos.

DESCRIÇÃO/MEDIDA TAMANHO		TAMANHOS DOS CAPACETES (cm)		
		P	M	G
Largura		16,0	16,0	17,0
Comprimento		19,0	20,0	22,0
Circunferência Interna:	Mínimo	47,0	50,0	54,0
	Máximo	52,0	56,0	59,0
Índice cefálico do capacete		84,21	80,0	77,27

Fonte: Adaptado de Ministério da Defesa (2008).

Nota-se que os valores de circunferência são divididos em valores mínimos e máximos. Isso é devido à regulamentação que os capacetes balísticos possuem. Essas regulamentações fazem com que os usuários deixem mais ou menos apertados, conforme sua necessidade.

Percebe-se ainda que todas as medidas do capacete também se limitam a Largura, Comprimento, Circunferência e Índice Cefálico. Porém, nenhuma trata da altura do capacete como sendo uma necessidade para o seu dimensionamento, contradizendo estudos atuais, como os de Samil e David (2012), que relatam que a maioria dos problemas de desconforto por parte dos usuários do Capacete PASGT, é a respeito da altura da cabeça em relação ao capacete.

Analisando as Figuras e Tabelas desta seção, buscou-se analisar a norma que rege essas medidas do Capacete PASGT no Ministério da Defesa (2008). O trabalho de Alves (2012) mostra uma pesquisa sobre esses capacetes e, dentro dela, destacam-

se as medidas básicas desse artefato do tamanho “M”. A Figura 17 mostra a vista lateral com suas principais medidas. Nota-se nessa figura que a medida da altura não é demonstrada.

Utilizando a Figura 17 em um programa CAD e ajustando a escala do desenho, para que todas as medidas que estão demonstradas, sejam as mesmas do programa, pode fazer algumas medições que não consta no desenho.

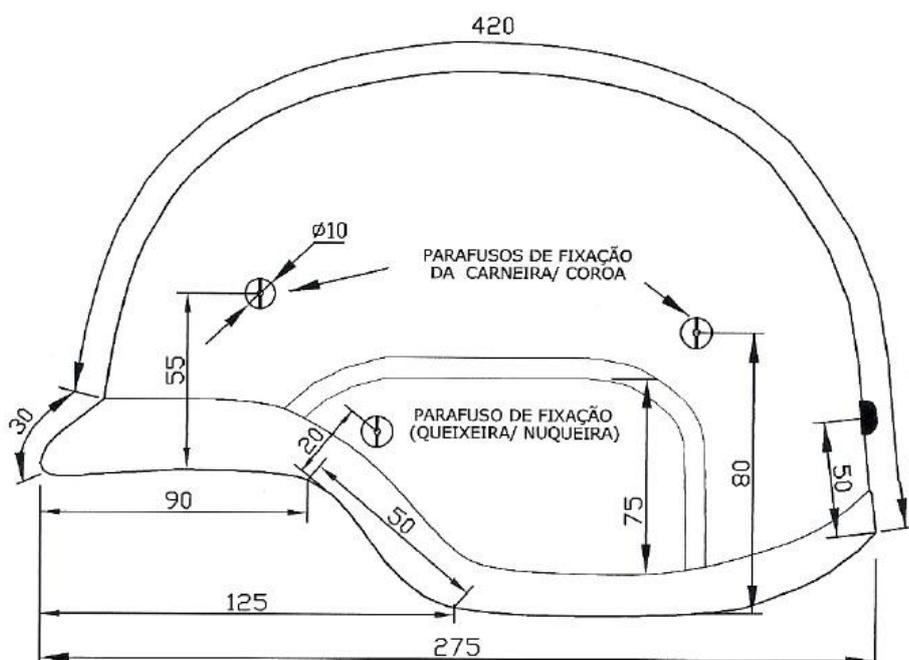


Figura 17: Vista lateral das medidas básicas do Capacete PASGT tamanho M
Fonte: Alves (2012), apud Ministério da Defesa (2008)

Dessa maneira, foi utilizado o programa AutoCAD 2012 e inserida a imagem da Figura 17 através da opção *Insert -> RasterImageReference*. Em seguida, as escalas foram ajustadas através das medidas 275 e 80mm. Com isso, pode-se fazer algumas medições de algumas alturas e outras medidas que não constavam no desenho e que, para esta tese, são de extrema importância. A ilustração dessa imagem com algumas novas medições estão presentes na Figura 18.

Analisando a nova Figura 18, nota-se que foi desenhado um arco na cor azul claro e, com a linha traço e dois pontos, representou-se um contorno útil da cabeça do ser humano no capacete balístico. Esse arco foi desenvolvido através de algumas informações: segundo o Ministério da Saúde (2008), o capacete PASGT tem uma espuma protetora do topo da cabeça com a base do capacete de 10mm de espessura; e que a carneira fica afastada a uma distância de 10mm com a parte frontal e 20mm com a parte posterior (oposta a frontal) do capacete. Utilizando uma linha imaginária

dos pontos de fixações da carneira no capacete, consegue-se identificar esses pontos para as coletas das medidas.

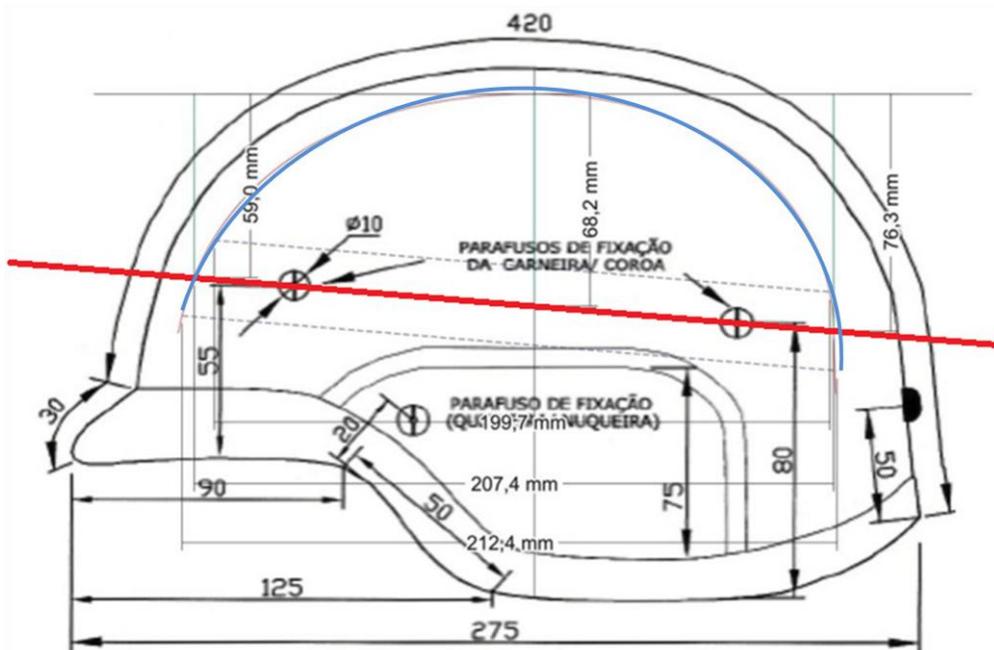


Figura 18: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho M
Fonte: Adaptada de Alves (2012)

Dessa maneira, verifica-se que a altura do centro de fixação do apoio do topo da cabeça, até a linha central da cerneira é de aproximadamente 68 mm para o capacete PASGT “M”. Sabendo-se que a largura da fita da carneira tem 25mm, conforme descrita na seção 2.4 deste trabalho e ilustrada na Figura 18 com linha tracejada, é possível identificar a localização da área de fixação do capacete na cabeça do usuário.

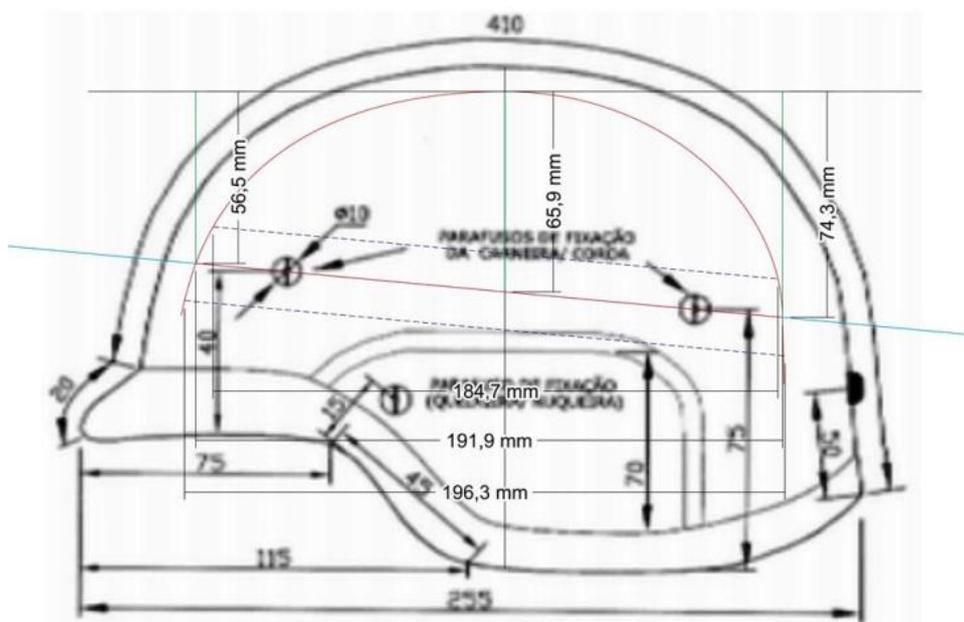


Figura 19: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho P
Fonte: Adaptada de Alves (2012)

A mesma análise demonstrada para a identificação da altura do capacete balístico do tamanho M, também é feita para os capacetes P e G, como pode ser visto nas Figuras 19 e 20.

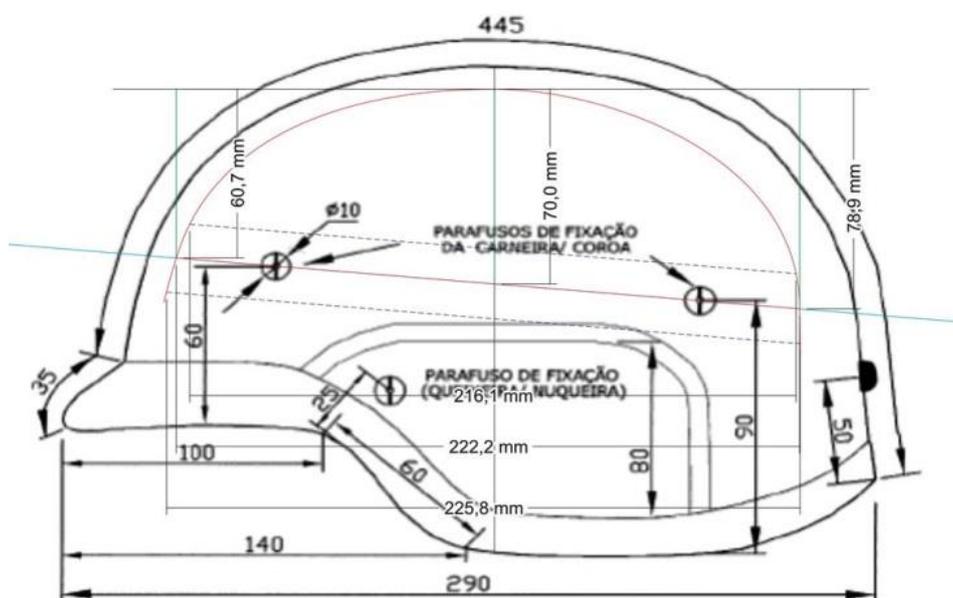


Figura 20: Medições de altura do Capacete PASGT tamanho G
Fonte: Adaptada de Alves (2012)

Analisando as Figuras 18 a 20, pode-se compor a Tabela 14. Nessa tabela, é possível verificar as alturas que são fundamentais no uso de capacetes balísticos, pois são diretamente relacionadas com a fixação do capacete na cabeça humana.

Tabela 14: Medidas das distâncias das alturas dos capacetes PASGT.

DESCRIÇÃO/MEDIDA	TAMANHOS DOS CAPACETES (mm)			
	TAMANHO	P	M	G
Altura Frontal		56,5	59,0	60,7
Altura Central		65,9	68,2	70,0
Altura Traseira		74,3	73,3	78,9

Fonte: O Autor (2014).

Além das medidas das alturas, é possível verificar os comprimentos mínimo, médio e máximo quanto ao perfil do capacete nas Figuras 19 a 21. Nota-se que os comprimentos do perfil estão diretamente relacionados com a altura do capacete. Ou seja, se o comprimento do perfil da cabeça humana não estiver na faixa onde é fixado o capacete, essa medida não é válida. Isso ocorre devido ao fato de que sempre as medidas que são feitas para análise antropométrica da cabeça humana são a maior distância entre a cabeça, tanto em seu comprimento frontal, lateral, assim como em sua circunferência.

Considerando a largura da fita da carneira com 25 mm, é possível destacar os comprimentos máximos da cabeça quanto à análise do seu perfil. Essa análise será apresentada na Tabela 15.

Tabela 15: Medidas das distâncias dos comprimentos do perfil nos capacetes PASGT.

DESCRIÇÃO/MEDIDA TAMANHO	TAMANHOS DOS CAPACETES (mm)		
	P	M	G
Comprimento Mínimo	184,7	199,7	216,1
Comprimento Central	191,9	207,4	222,2
Comprimento Máximo	196,3	212,4	225,8

Fonte: O Autor (2014).

Analisando a Tabela 15 verifica-se que os comprimentos básicos dos capacetes P, M e G são 191,9, 207,4 e 222,2 mm, respectivamente, que está descrito como comprimento central. Ou seja, a distância entre o centro da carneira, a qual exercerá maior resistência para segurar o capacete na cabeça do usuário. As outras medidas servem como referência mínima e máxima, mesmo sabendo que em suas extremidades, a resistência para a fixação do capacete tende a ser nula.

Baseado na revisão bibliográfica e no problema apresentado neste capítulo, sobre questões relativas a inadequação antropométrica ao projeto de capacete balístico, propõem-se uma readequação dos métodos e procedimentos para a coleta de dados para a definição dos parâmetros antropométricos para a categorização e dimensionamento desse capacete.

3 MATERIAIS E MÉTODOS PROPOSTOS

Propõem-se para o aprofundamento das questões pertinentes ao projeto de capacete balístico uma pesquisa de campo com coleta de dados antropométricos de forma a sistematizar e identificar os melhores parâmetros para o seu respectivo projeto.

Para esta pesquisa de campo propõem-se uma comparação de diferentes métodos de coletas de dados, entre essas através de instrumentos convencionais, paquímetro e fita antropométrica; fotogrametria com imagens 2D; e por meio de escaneamento tridimensional, através de coordenadas X, Y e Z em imagem 3D.

Assim, para a realização deste estudo de campo, faz-se necessário estabelecer requisitos e procedimentos para cada um dos tipos de instrumentos selecionados de forma a atender os padrões de confiabilidade necessários, conforme sugeridos em estudos estatísticos, como Montgomery (2009) e Callegare (2009).

3.1 PROPOSTA DO MÉTODO

Inicialmente foi identificada a necessidade de realização de uma intensa pesquisa bibliográfica. Lakatos e Marconi (2002) esclarecem que ela permite ao pesquisador traçar um painel geral do estado da arte, a partir de bibliografia já elaborada e tornada pública em relação ao tema estudado, e da qual fazem parte, principalmente livros, boletins, jornais, revistas, monografias, teses, artigos científicos e informações na *web*.

A primeira providência é definir onde ou para quem serão utilizadas as medidas antropométricas. Dessa definição decorre a aplicação da antropometria, as variáveis a serem medidas e os detalhamentos ou precisões com que essas medidas devam ser realizadas.

Como foi descrito no Capítulo 2 deste trabalho, as medidas antropométricas da cabeça humana são oriundas de análises dimensionais de um grande grupo de pessoas. Muitas vezes se faz essa análise no exército, quando este grande grupo são compostos de jovens que se alistam nas forças armadas. Entretanto, a forma de se obter essas medidas são, muitas vezes, subjetivas, pois o método e os materiais

utilizados, como a fita antropométrica, ficam limitados a apenas uma dimensão em cada análise.

Dessa maneira, esse método atual está propício a adequações às novas tecnologias. Para isso, a proposta de um método de intervenção, que se encontra na Figura 21, demonstra a estrutura geral de como se obter as medidas antropométricas da cabeça humana, associando as diversas tecnologias de medições existentes.

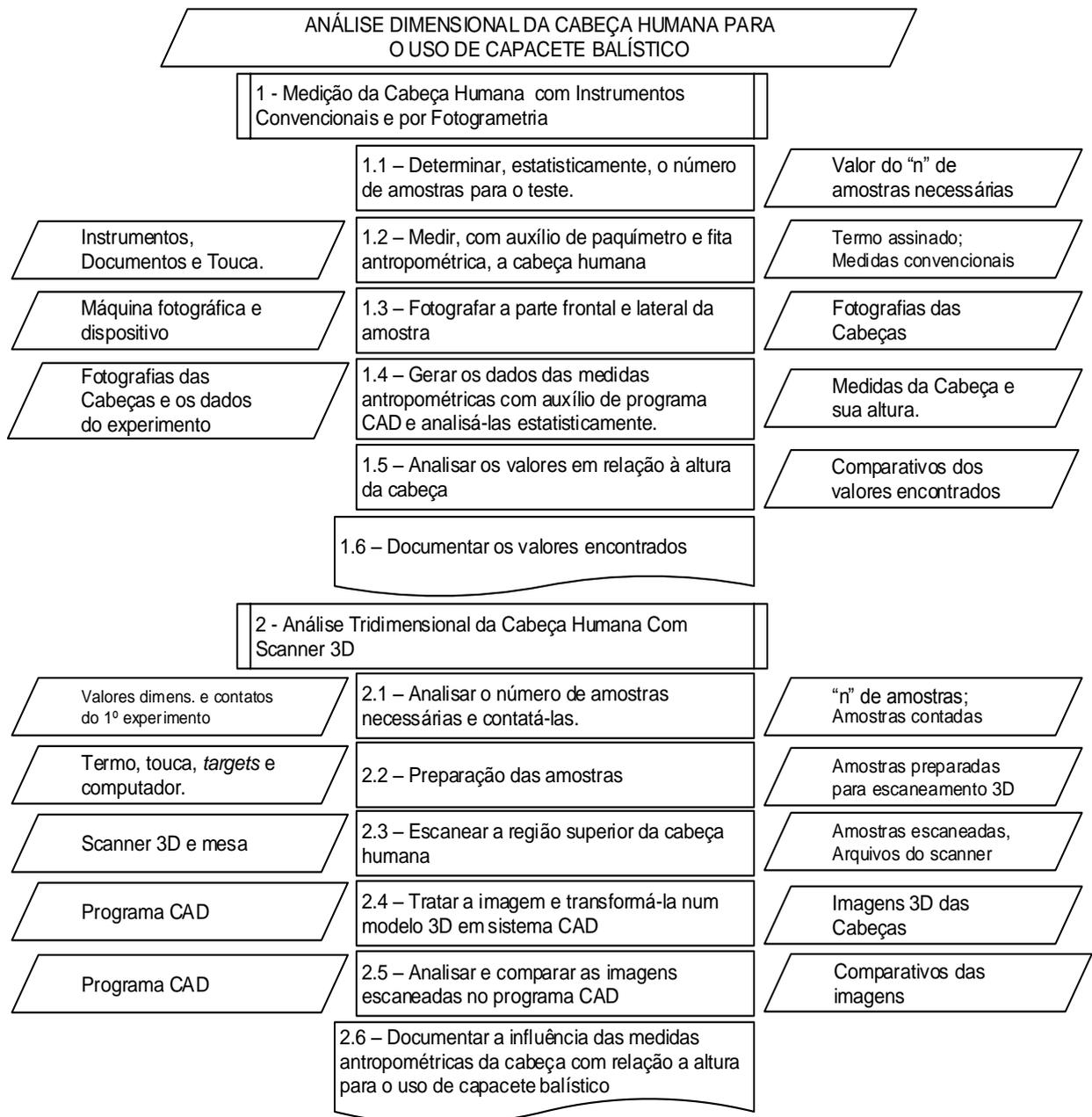


Figura 21: Proposta do método para se obter a altura da cabeça humana no uso de capacete balístico
Fonte: O Autor (2014)

Nota-se na Figura 21 que a maneira proposta para se dimensionar a cabeça humana no uso de capacetes balísticos são compostos por duas etapas. A saber:

Medição da cabeça humana com instrumentos convencionais e por fotogrametria: primeiramente essa etapa consiste em obter as principais medidas antropométricas da cabeça, como o maior comprimento, largura e circunferência, com os instrumentos convencionais (paquímetro e fita antropométrica), em seguida fazer um estudo por fotogrametria para identificar as medidas do comprimento e largura, para validar esse novo método, e, através desse, identificar qual é a altura da cabeça humana que está sendo usada no uso de capacetes balísticos. Através dessa etapa é possível comparar os valores relacionadas a cabeça e compará-los com os valores encontrados da mesma medida dos capacetes balísticos, apresentados no capítulo anterior deste trabalho.

Análise tridimensional da cabeça humana com scanner 3D: aqui são escaneados tridimensionalmente a cabeça de um grupo de amostra, previamente determinados estatisticamente. Em seguida essas imagens serão tratadas para a remoção de impurezas, oriundas do escaneamento, e dimensionadas através de um padrão de medida, que neste caso serão usadas as imagens das fotogrametrias da mesma pessoa. Desta forma o modelo fica com as corretas dimensões da cabeça, porém, na região onde é considerado o maior diâmetro, comprimento e largura da cabeça humana. Entretanto, através da medida da altura do capacete balístico, é possível remover parte do modelo geométrico para que o mesmo fique com as dimensões de quando o capacete está fixo na cabeça através da carneira do capacete. Com esse novo modelo tridimensional, necessário comparar as medidas antropométricas da cabeça e compará-las com as medidas principais quando considerado no método atual que são através das máximas medidas. Desta forma saberá se os usuários estão vestindo o capacete correto para que não haja mais problemas com o uso deste artefato.

Sendo assim, as informações alocadas de forma sequencial e expostas no fluxograma da Figura 21, é necessário que seja explicado de maneira mais detalhada e sequencial com base na literatura, para que se tenha uma estrutura de pesquisa alinhada a esse experimento. É com base nisso que será exposto o item 3.2.

3.2 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISES DIMENSIONAIS DA CABEÇA HUMANA PARA O USO DE CAPACETES BALÍSTICOS

Nesta seção são explanadas todas as etapas propostas no trabalho, alinhadas as suas tarefas designadas para se obter as medidas antropométricas da cabeça humana para o uso de capacetes balísticos.

Como dado de entrada para o início do procedimento metodológico proposto, primeiramente, são necessárias um número amostral suficiente. Para o presente estudo o perfil utilizado são homens devido ao fato que são os únicos que entram em combate no campo de batalha, nesse caso serão homens entre 18 e 34 anos, que se encontram em condições aparentes normais e que poderiam participar das forças armadas brasileiras.

3.2.1 Etapa 1: Medições da Cabeça Humana Com Instrumentos Convencionais e Por Fotogrametria

Para a OMS (1995) e Pheasant e Haslegrave (2005), as dimensões antropométricas devem basear-se em uma amostra mínima de 200 pessoas. Entretanto, para aplicações em ergonomia, em que não se exigem graus de confiança superiores a 90 ou 95%, amostras de 30 a 50 sujeitos, geralmente, são satisfatórias (medindo separadamente homens e mulheres, adultos e crianças ou adolescentes).

Para ter um direcionamento mais preciso deste estudo, o trabalho será realizado com amostras que, no caso desta tese, são seres humanos, com as seguintes características:

- a) Homens: a grande maioria dos usuários de capacetes balísticos são homens, conforme será examinado mais adiante;
- b) Estado físico com aparência normal: para servir nas forças armadas é necessário ter um IMC entre 20 e 30 e estar fisicamente em condições legais.
- c) Idade: a idade para participar das forças armadas é entre 18 e 34 anos.
- d) Não ter lesões no crânio.

Para a concentração das amostras e os seus testes antropométricos, será usado o Laboratório de Usabilidade e Ergonomia da UFPR (LabERG), localizado no centro politécnico, bairro Jardim da Américas – Curitiba / PR.

Com as amostras selecionadas, serão feitas algumas tarefas para conseguir identificar as medidas antropométricas da cabeça da amostra. Essas serão tratadas a seguir.

3.2.1.1 Tarefa 1.1. analisar, estatisticamente, o número de amostras para o teste

A escolha do tamanho da amostra ou do número de réplicas é fundamental em qualquer problema de planejamento de experimentos. É possível utilizar as curvas características de operação para auxiliar na seleção. A curva característica de operação é um gráfico de probabilidade do erro tipo II (β), que é recusar a hipótese quando essa está certa, para vários tamanhos de amostra contra valores dos parâmetros sob teste (MONTGOMERY, 2005).

Callegare (2009) apresenta uma opção alternativa para a determinação do número mínimo de amostras de forma que α e β não sejam superiores a certos valores estabelecidos, para o caso do modelo de efeitos fixos. Segundo esse mesmo autor, as etapas para determinação do número mínimo de amostras são:

a. Estabelecer os máximos erros permitidos:

Erro tipo I = α (aceitar a hipótese quando essa está errada);

Erro tipo II = β (recusar a hipótese quando essa está certa);

b. Estimar a variância do processo. Na falta de dados mais precisos, usar o QM_R (Quadrado Médio Residual) da ANOVA (Análise da Variância) de um experimento piloto. Nota-se aqui uma etapa bem importante para este trabalho, pois haverá necessidade de realizar esse experimento piloto, uma vez que não é conhecida a variância da população nesse estudo.

c. Calcular o valor de Equação 3, que é a somatória dos quadrados das diferenças entre as médias de cada população com a média geral dos tratamentos.

$$\sum_{i=1}^a Di^2 \quad (02)$$

Onde:

D_i = diferença entre a média do grupo analisado e a média geral das amostras

d. Calcular o valor de Φ^2 com a Equação 3.

$$\Phi^2 = n * \frac{\sum_{i=1}^a Di^2}{a * \sigma^2} \quad (03)$$

Onde:

Φ = função distribuição cumulativa de uma variável aleatória normal padrão

n = é o número de amostras que se deseja

a = quantidade de grupos analisados

σ^2 = variância da população que neste caso será substituído pelo QM_R

e. Calcular o valor de Φ com a Equação 4

$$\Phi = \sqrt{\Phi^2} \quad (04)$$

f. Obter o valor de Φ_{\min} na tabela (que será inserida na aplicação desta fórmula no próximo capítulo), usando os graus de liberdade que deverão ser calculados através das equações 5 e 6, onde, lembrando, o valor de “a” é a quantidade de grupos analisados e “n” é o número de amostras necessárias que se deseja encontrar.

$$v_1 = a - 1 \quad (05)$$

$$v_2 = a * (n - 1) \quad (06)$$

g. Comparar o valor de Φ_{\min} com Φ . Se $\Phi < \Phi_{\min}$, o número de réplicas é insuficiente e deve ser ampliado, aumentando o número amostral.

Dessa maneira, obtém-se o valor de N , que será o número mínimo de amostras analisadas em cada grupo, para que o teste tenha a significância desejada.

3.2.1.2 Tarefa 1.2: medir com auxílio dos instrumentos convencionais a cabeça

Para a etapa de medição com instrumentos convencionais serão utilizadas referências de medidas utilizadas convencionalmente pelas forças armadas brasileiras, conforme Ministério da Defesa (2005). As variáveis medidas nesta situação são largura, comprimento e diâmetro máximo da cabeça.

Para que se possam obter as medidas citadas acima, neste primeiro momento, também será empregado o mesmo procedimento para compor as medidas antropométricas das amostras dessa pesquisa, inclusive para permitir possíveis comparações futuras com os dados em situações das forças armadas brasileiras.

Para a preparação inicial deste estudo de campo, foram adotados os seguintes procedimentos:

a) Assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para a pesquisa, no qual o indivíduo aceita participar voluntariamente do estudo e autoriza divulgar as informações das medidas antropométricas de sua cabeça (ver Apêndice 1);

b) O sujeito a ser analisado, que servirá como amostra deste experimento, posicionar-se-á sentado com o tronco a 90° e olhando à sua frente, para o analista que está executando o experimento execute a medição da circunferência máxima da cabeça (Figura 22), com auxílio de uma fita antropométrica;



Figura 22: Medição da amostra com fita antropométrica
Fonte: O Autor (2014)

c) Em seguida, o analista mede com auxílio de paquímetro um antropométrico, a largura e o comprimento da cabeça, conforme representado na Figura 23. Para garantir a medição dos pontos máximos da cabeça, o analista do experimento se baseará na NBR 15127 (2004).

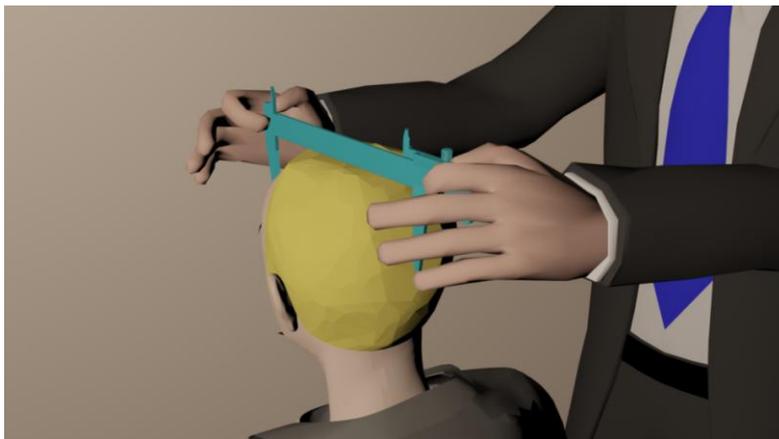


Figura 23: Medição da amostra com o paquímetro antropométrico
Fonte: O Autor (2014)

Outro ponto importante a se destacar nessas etapas é que em todos os experimentos a ser realizado, é que apenas um único analista fará as medições com os instrumentos convencionais. Isso inibe possível erro de medição, caso houvesse mais que um analista. Também, para que o analista não cometa erro, serão realizados treinamentos de medição a este analista, para que o mesmo utilize o mesmo procedimento de medição em todas as amostras.

Dessa forma, todas as amostras previstas na seção anterior serão medidas. Os valores encontrados serão tabelados e anotados numa folha, onde, também, haverá as informações sobre nome, telefone e e-mail de contato, etnia, entre outros. Em seguida esses dados serão inseridos numa planilha eletrônica, para executar devidas análises estatísticas, afim de melhor definirem as medidas da cabeça humana para o uso de capacete balístico. As informações iniciais também são anotadas no mesmo Apêndice 1 deste trabalho.

3.2.1.3 Tarefa 1.3: fotografar a região frontal e lateral da amostra

Mullin e Taylor (2002) apud Klein (2009) relatam que dados morfológicos coletados através de imagens são comuns. Esse método consiste na captura de imagens digitais e sua análise em *softwares* desenvolvidos para tal fim, utilizando como referência, marcas conhecidas que servem como escalas identificadas durante o exame das imagens para melhor dimensionar o objeto em questão.

Roebuck (1993) discorre sobre a existência de vários métodos de coleta indireta através de fotografia ou vídeos. Para estudos de antropometria com fotografias destaca

a importância de cuidados quanto ao posicionamento e orientação da câmera. O comum, destaca, é a posição da câmera perpendicular a um plano vertical com marcas para escala e no objeto fotografado. Para as coletas antropométricas de partes do corpo indica que sejam desenvolvidas adaptações na configuração de posicionamento da câmera e do objeto de modo a anular erros de escala, concordando com Meunier e Yin (2000) e Klein (2009).

Barroso *et al.* (2005), realizaram pesquisa de antropometria com 891 pessoas, utilizando para isso máquina fotográfica digital de dois megapixel. Para calibrar a imagem instalaram no mesmo plano do voluntário um *stand* com marcas conhecidas que serviram de escala.

Para o experimento desta pesquisa foi construído um ambiente no laboratório de ergonomia e usabilidade da Universidade Federal do Paraná (LabErg), contendo uma câmera fotográfica, uma cadeira para a pessoa sentar-se e um apoio da cabeça e queixo para sempre estarem na mesma posição. Atrás do sujeito a ser analisado foi construído um painel, também conhecido como *grid*, que servirá de referência para posteriormente calibrar a imagem no programa CAD. Esse *grid* tem espaçamentos iguais nos sentidos horizontal e vertical de 100mm de comprimento. A Figura 24 ilustra este ambiente.



Figura 24: Ambiente para captura da imagem de fotografia.
Fonte: O Autor (2014)

Os posicionamentos das câmeras fotográficas estarão equidistantes entre a amostra e o *grid*. Essas distâncias serão detalhadas na seção 3.2.1.4 deste trabalho. As câmeras também serão posicionadas na altura do centro da cabeça da amostra.

Esses detalhes fazem com que haja menos erros de divergência de imagens, quando usada a fotogrametria. As Figuras 25 e 26 ilustram os posicionamentos das câmeras quanto à amostra, para a captação da imagem frontal e lateral, respectivamente.

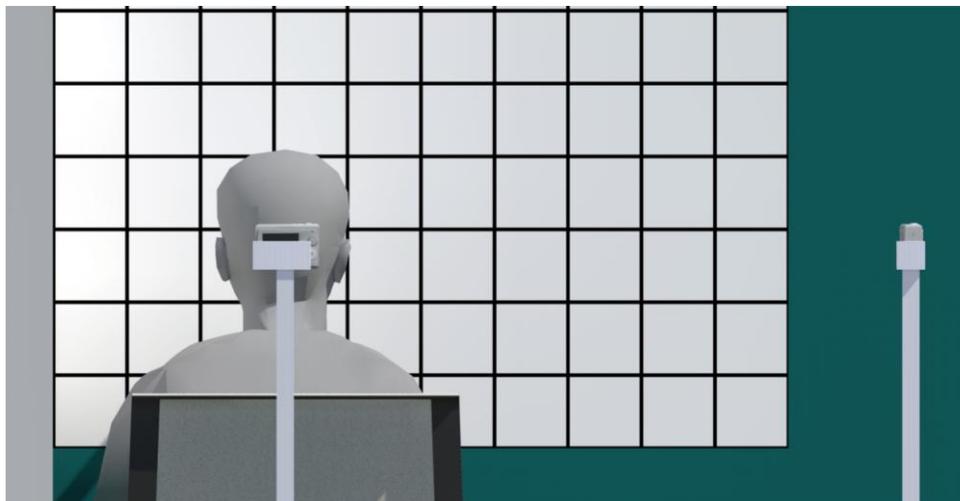


Figura 25: Fotogrametria do Perfil Frontal da amostra
Fonte: O Autor (2014)

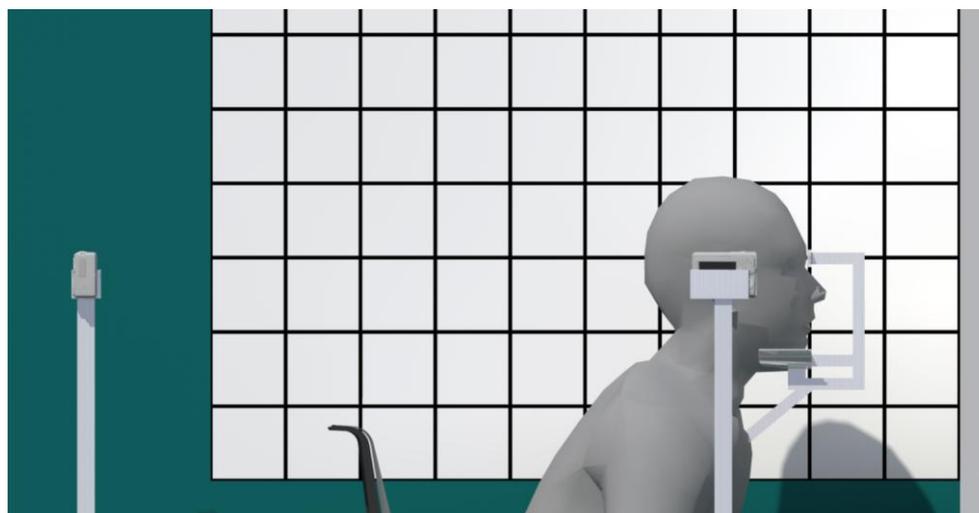


Figura 26: Fotogrametria do Perfil Lateral da amostra
Fonte: O Autor (2014)

3.2.1.3.1. *erros esperados na fotogrametria*

Apesar de existirem protocolos de coleta que representam a exatidão das medidas, algumas variáveis podem interferir e representar fontes de erros, tais como: a postura do voluntário, identificação dos pontos anatômicos, posição e orientação do instrumento, inexperiência do analista, entre outros. As dificuldades em controlar todas

as fontes potenciais de erro são tais que, alguns valores verdadeiros raramente são medidos com exatidão (MEUNIER; YIN, 2000).

Quando se realiza medições de maneira indireta, através de fotografia, um erro comum gerado pela diferença de posicionamento entre o objeto a ser mensurado e o plano de referência é a paralaxe, como relatam Mullin e Taylor (2002). Esses pesquisadores descreveram que isso acontece quando, ao focalizar o objeto, a imagem apresenta uma pequena distorção. Esse erro é sempre causado por problemas no método de coleta. Roebuck (1993) afirma que o mau posicionamento da câmera torna a coleta vulnerável aos erros de paralaxe, que podem ser corrigidos colocando a referência de medida e de escala no mesmo plano.

O erro da medição é definido como a diferença entre o valor mensurado e o real. Erros podem ser classificados em randômicos (erros de precisão) ou sistemáticos (tendência). A precisão é definida como sendo a diferença entre os valores obtidos após mensurar o mesmo objeto repetidamente. Exatidão é a diferença entre os valores mensurados e os reais. A tendenciosidade acontece quando a medição tem alterações na forma de coletar os dados, de maneira que todos os erros são semelhantes. Destacam-se ainda como erros principais cometidos, sem coletas de imagens, no pré-processamento das imagens, na calibração das câmeras, na segmentação do corpo em relação ao fundo, na detecção das marcas e, por último, no cálculo das medidas antropométricas (MEUNIER; YIN, 2000).



Figura 27: Ambiente para captura da imagem de fotografia.
Fonte: O Autor (2014)

Para contornar essas situações de gerações de erros, foi desenvolvido um dispositivo que ficará fixo no local de pesquisa, laboratório de ergonomia da UFPR, e

com as medidas equidistantes, tanto para as fotos frontal e lateral, conforme discutido anteriormente. Esse dispositivo é visto na Figura 27.

3.2.1.4 Tarefa 1.4: gerar os dados das medidas antropométricas com auxílio de programa CAD e analisá-las estatisticamente

Analisando as Figuras 24 a 27, nota-se que todas elas estão definindo os ambientes para a medição por fotografia. Para que possam ser geradas as análises dimensionais por fotografia, é necessário que as medidas entre o ponto focal da máquina e a parede onde está o *grid* sejam conhecidas, assim como a distância do centro da cabeça da amostra. Dessa forma é possível fazer uma relação para que se saiba a distância desejada, através da fotografia tirada. Uma ilustração desse contexto será demonstrada na Figura 28.

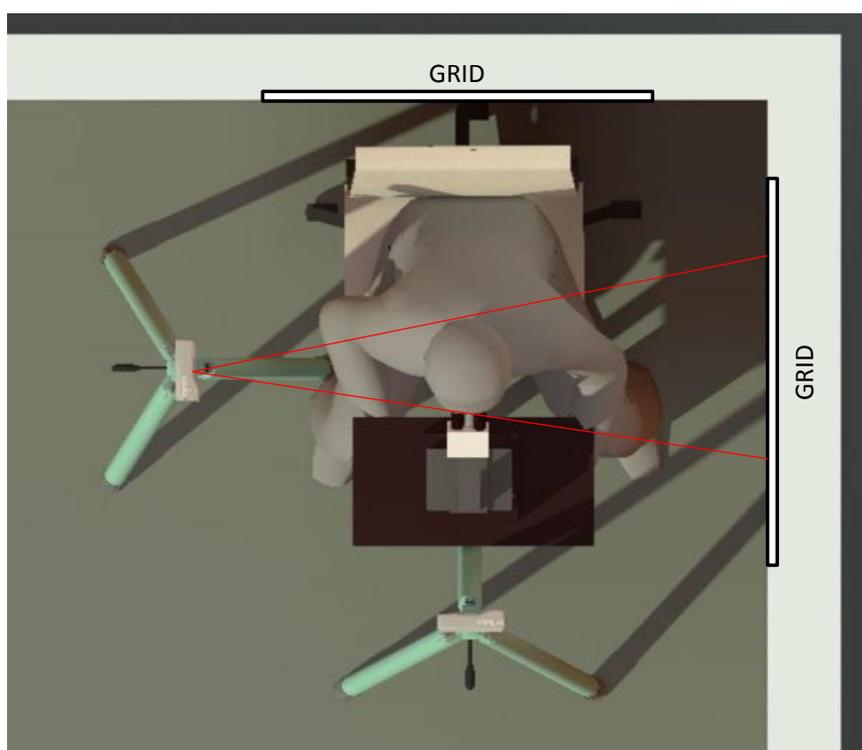


Figura 28: Amostra preparada para o teste fotogramétrico
Fonte: O Autor (2014)

Também, na Figura 28, é possível visualizar como será utilizado o conceito para a análise dimensional da cabeça nessa etapa. Ou seja, a partir do ponto focal da câmera, será fotografado o sujeito, frontal e lateralmente e, atrás, haverá o *grid*. Como

serão conhecidas as distâncias entre o ponto focal da câmera e a pessoa, assim como a câmera do *grid*, pode-se fazer uma relação por semelhança de triângulos, como ilustra a Figura 29.

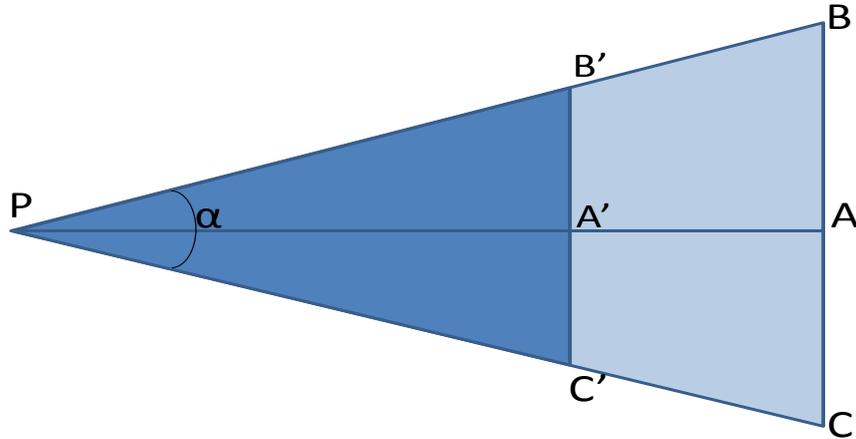


Figura 29: Análise de Semelhança de Triângulos
Fonte: O Autor (2014)

As relações de distâncias, por semelhança de triângulos, chegam à equação 07:

$$\frac{P - A}{P - A'} = \frac{B - C}{B' - C'} \quad (07)$$

Onde:

Distância P-A: o comprimento entre o ponto focal da máquina digital e o Grid;

Distância P-A': o comprimento entre a máquina e centro da cabeça da amostra;

Distância B-C: a medida da imagem refletida no grid;

Distância B'-C': a medida da cabeça que se quer obter.

Se isolar o B'-C', que é a medida a ser analisada como a distância da cabeça, tem-se a equação 08.

$$B' - C' = \frac{B - C * P - A'}{P - A} \quad (08)$$

Dessa forma, tem-se a distância que se está buscando nesta etapa do trabalho.

É importante salientar que através da fotogrametria destacado nesta seção, é possível encontrar o valor da largura máxima da cabeça, assim como, na fotografia de perfil do sujeito, destacam-se o comprimento máximo e a altura da cabeça humana, que é o foto desta pesquisa.

Com isso, após fazer essa tarefa para todas as amostras necessárias, têm-se os valores do diâmetro máximo adquirido com a trena antropométrica e, por fotogrametria, o comprimento, largura e altura da cabeça humana.

3.2.1.5 Tarefa 1.5: analisar os valores em relação à altura da cabeça

Com dados obtidos na seção anterior, é necessário saber se esses estão ou não de acordo com as medidas antropométricas padrões, destacado na revisão bibliográfica nas seções 2.3.4 e 2.3.5. Primeiramente, serão comparados os valores encontrados nos experimentos realizados com os instrumentos convencionais (paquímetro e fita antropométrica) e será testado se há variações dimensionais entre os métodos. Caso estejam dentro de um nível de confiança adequado, que neste caso será usado 95%, em seguida serão confrontados os valores de pesquisas, como lida (2005) e Alves (2012) e, por fim, serão comparados com os obtidos na tarefa 1.4.

Dessa maneira é possível aprovar o método utilizado e, conseqüentemente, os valores encontrados da altura da cabeça humana, variável ainda não estudada na literatura, seja um valor confiável dentro do nível de confiança adotado.

3.2.1.6 Tarefa 1.6: documentar os valores encontrados

Essa tarefa tratará de como e o porquê serão documentados os valores encontrados neste experimento, pois, como serão usadas as mesmas amostras no próximo teste, talvez seja necessária alguma informação adicional para uma possível inferência posterior.

3.2.2 Etapa 2: Análise Tridimensional da Cabeça Humana Com Scanner 3D

Conforme o exposto na seção anterior, é necessário analisar tridimensionalmente as cabeças para que sejam verificadas outras medidas que, atualmente, não relatadas, podem influenciar na antropometria da cabeça humana e interferem com os artefatos que a ela protegem. Esse procedimento será visto a seguir.

3.2.2.1 Tarefa 2.1: analisar o número de amostras e contatá-las

Para que os valores a serem encontrados nesta pesquisa sejam significativos, é necessário que ele esteja estatisticamente dentro de um limite de confiabilidade. Dessa forma, é necessário identificar qual é a amostragem necessária para conduzir tal experimento. Esse valor será definido através do primeiro experimento conduzido neste trabalho (análise fotogramétrica), no qual o número de amostras será considerado como uma amostragem finita, fazendo com que as pessoas que foram medidas através de fotogrametria, possam tornar-se amostras para o teste de escaneamento tridimensional. Dessa forma, ao invés de fazer o escaneamento de toda a população do primeiro experimento, é possível calcular uma amostragem dessa população e calcular através de um nível de confiança adequado, que nesta etapa será usada 99%.

Segundo Martins e Domingues (2011), quando se deseja definir o tamanho da amostra para estimar a média de uma população finita deve seguir:

1. Escolher a variável mais importante para o estudo. Se possível, escolha mais que uma. Dessa forma, deve-se calcular o tamanho para cada variável, escolhendo o maior número de “n” apresentado entre as diferentes analisadas;
2. Se a variável for separada por intervalos e a população finita, neste caso é o número do experimento por fotogrametria, é possível determinar o tamanho da amostra pela fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{d * (N - 1) + Z * \sigma} \quad (09)$$

Onde:

Z = Nível de confiança (1 - α)%;

α = Desvio-padrão da população expresso na unidade variável, onde será resgatado o valor do estudo de fotogrametria realizado neste trabalho;

N = Tamanho da população do experimento de fotogrametria;

d = Erro amostral expresso na unidade variável. Segundo Martins e Domingues (2011), o erro amostral é a máxima diferença que o investigador admite suportar entre μ e \bar{X} , isto é: $|\mu - \bar{X}| \leq d$, onde μ é a verdadeira média populacional e será a média a ser calculada com base na amostra;

n = tamanho da amostra aleatória simples a ser selecionada da população.

Com isso, têm-se os valores significativamente apropriados para tomar decisões com base estatística.

Dessa maneira, é necessário contatar o número de pessoas definidas nesta tarefa que participaram do experimento inicial. Sendo assim, o documento gerado na Tarefa 1.6 deste estudo é fundamental. Pois nele estarão as informações necessárias das amostras.

3.2.2.2 Tarefa 2.2: preparação das amostras

Após ter estabelecido o número de amostras para o experimento por escaneamento tridimensional, da mesma maneira como foi procedido para a coleta de dados da etapa 1, os sujeitos são submetidos aos seguintes protocolos:

- a) Os sujeitos foram convidados a participar de forma voluntária;
- b) Foi definido horário e data para a sua participação; assinatura do TCLE para o procedimento específico de riscos associados ao uso do scanner 3D. os sujeitos foram esclarecidos sobre o risco do feixe de luz e foram instruídos a permanecer com os olhos fechados durante todo o processo de escaneamento. Esse TCLE encontra-se no Apêndice 3.
- c) Uso da touca para a aderência dos marcadores, tipo *targets*, de reconhecimento da posição espacial necessária para o modelo de *scanner* que é usado neste experimento, Z700 da marca ZCorporation. Também, essa touca é auxiliado na homogeneidade da apresentação do modelo geométrico, pois comprime o cabelo do sujeito ao seu couro cabeludo.

É importante destacar que essa touca será usada em todos os experimentos desta etapa. Como a espessura de uma touca de material poliamida é aproximadamente 0,8µm, porém, quando o usuário a veste, essa espessura fica menor ainda, pois a mesma tende a alongar.

Em seguida, o sujeito será posicionado sentado em uma cadeira. Essa será giratória para facilitar o operador a escanear toda a cabeça. Uma ilustração gráfica desta operação está sendo demonstrada na Figura 30.



Figura 30: Ambiente para o escaneamento tridimensional
Fonte: O Autor (2014)

Nota-se que no ambiente deste experimento, o fundo é preto (mas pode ser num ambiente escuro) e a única luz é do próprio *scanner*. Isso facilita a leitura da superfície da cabeça do ser humano pelo equipamento.

3.2.2.3 Tarefa 2.3: Escanear a região superior da cabeça humana

O procedimento de escanear a cabeça humana será utilizado o sugerido por Karbacher *et al.* (2001), no qual as etapas do processo de digitalização do modelo físico são descritas de maneira mais ampla, seguindo sua experiência prática ao longo de alguns anos. Essas poderão ser divididas em duas etapas, sendo a primeira, a construção do modelo geométrico 3D através de uma malha. A segunda etapa de atividades é o tratamento da imagem e a sua transformação em modelo 3D, no sistema CAD, que será discutido na próxima seção desta tese.

A tarefa que está sendo tratada neste momento abordará a primeira etapa, que se refere a aquisição de dados até a etapa de reconstrução da superfície virtual. Para tanto, é necessário o recurso para aquisição dos dados tridimensionais, que para essa pesquisa será utilizado um *scanner* 3D do modelo *ZScanner 700*, conforme ilustrado na Figura 31. Esse equipamento está disponível da UFPR no Laboratório de Ergonomia e Usabilidade.



Figura 31: Scanner 3D – modelo ZScanner 700 Handheld
Fonte: ZScanner (2014)

Para Karbacher (2001), a superfície do objeto é reconstruída pelo registro de vistas múltiplas de imagens de alcance. As imagens consistem em uma matriz de coordenadas triplas (X, Y e Z). A superfície do objeto pode ser incompleta, mas deve ter o máximo de informações possíveis. A partir da digitalização do produto, com a consequente obtenção da nuvem de pontos, passa-se para a fase de empacotamento, na qual diversos pontos se unificam e se transformam mediante a utilização de um *software* específico para tal aplicação, em uma superfície com menos imperfeições e mais próxima da superfície e forma do objeto real. Assim, reduz-se o número de pontos em superfícies planas de maneira uniforme e, também, unificam-se estes pontos de maneira específica, dependendo da aplicação no produto escolhido, como por exemplo, aumentando-se a densidade de pontos nas curvas, a fim de melhorar a definição formal da geometria.

Vê-se, com efeito, que a função desta fase é detectar automaticamente os pontos da imagem digitalizada que ficaram discordantes com a superfície do objeto, de modo a: (i) reduzir os ruídos em relação à superfície de curvatura; (ii) manter a nitidez das características; e (iii) encaixar subconjuntos de pontos de formas, tais como planos, esferas, cones, entre outros. Após o empacotamento dos pontos, passa-se a transformar a nuvem de pontos obtida pela digitalização 3D em uma malha de triângulos, originando uma fase do procedimento nomeada como “fase de polígonos”.

Uma imagem semelhante à que será vista nesta etapa pode ser vista na Figura 32. Nota-se que na imagem, é visível a presença de um conjunto de polígonos, conforme descrito anteriormente.

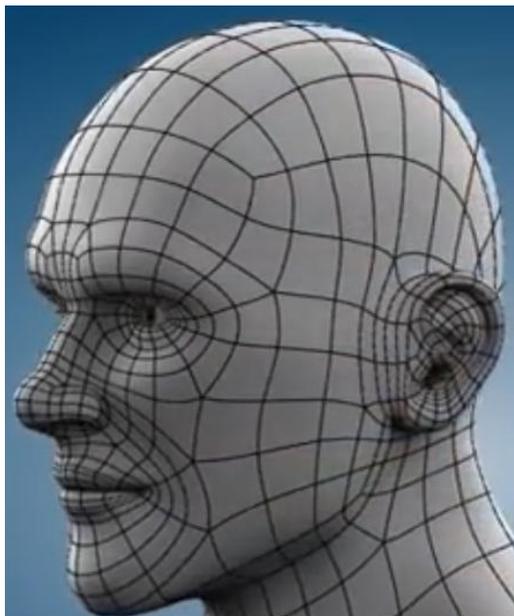


Figura 32: Ilustração de um rosto escaneado tridimensionalmente através de malhas
Fonte: O Autor (2014)

3.2.2.4 Tarefa 2.4: Tratar a imagem e transformá-la num modelo 3D em sistema CAD

Como citado por Karbacher *et al.* (2001), na segunda etapa de atividade é criada uma nova representação geométrica da nuvem de pontos, através dos vértices dos triângulos e das suas respectivas orientações de direção. Erros dimensionais, como ruídos (falhas), erros de calibração e registro, podem ser eliminados sem destruir a geometria do objeto. Isso dependerá dos programas computacionais e da qualidade de escaneamento feito.

Para que erros superficiais não sejam definitivos no modelo final, a malha da superfície deve passar por uma etapa de suavização, que consiste na reconstrução da mesma, considerando um desvio médio entre os pontos de uma determinada região (aquela que está sendo tratada).

O *software* detecta automaticamente e corrige erros nessa malha de polígonos. O número de erros detectados pode ser visto no visor e depois de detectadas as imperfeições o usuário visualiza as mudanças ocorridas. Outra função importante para obtenção de uma malha triangularizada mais suave, cuja finalidade é deixar a superfície que apresenta deficiência nos ângulos dos triângulos gerados mais regular e definida, além de especificar o grau de curvatura necessário a malha de polígonos, a

fim de manter uma curvatura mais definida nas regiões de raios onde os triângulos gerados não formaram uma superfície lisa. Esses ajustes são feitos no início do escaneamento e dependerá de informações como cor do objeto que queira escanear, distribuição dos *targets* colados na superfície, entre outras imperfeições. Uma ilustração do resultado final, já depois do processo de limpeza da superfície, é exposta na Figura 33.



Figura 33: Resultado final desejado do tratamento do modelo escaneado tridimensionalmente
Fonte: O Autor (2014)

Esta tarefa visa transformar a imagem obtida do escaneamento, que ainda contém alguns problemas como a não suavização de pontos e, esta imagem ainda não está num formato do sistema CAD.

3.2.2.5 Tarefa 2.5: Analisar e comparar as imagens escaneadas no programa CAD

Uma vez que as imagens foram tratadas, é possível compará-las e analisar as suas formas e geometrias. Dessa maneira, consegue-se visualizar quais regiões da cabeça humana apresentam diferenças significativas. A sobreposição das imagens dos diferentes sujeitos permite medir e visualizar, de modo virtual, essas diferenças. Também, é possível criar planos nesse modelo tridimensional, na posição da fixação da carneira, para verificar o diâmetro das cabeças quando os sujeitos estiverem

vestindo o capacete balístico. A Figura 34 ilustra a sobreposição das imagens virtuais de dois sujeitos.

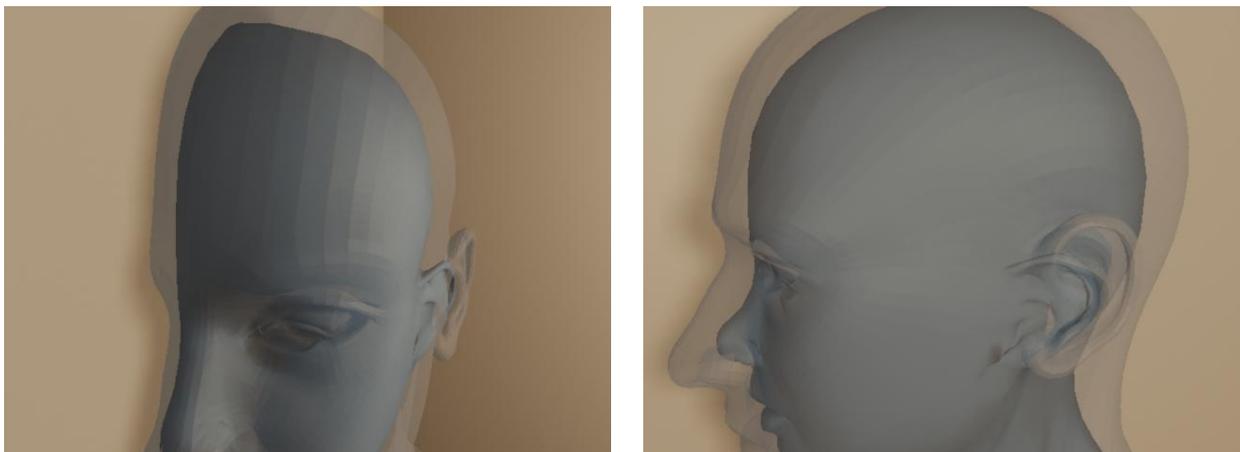


Figura 34: Ilustração da Seção da cabeça humana através das medidas da altura do capacete
Fonte: O Autor (2014)

Assim, pode-se verificar que mesmo a pessoa tendo a cabeça com tamanhos para um determinado tamanho de capacete (P, M e G), ao fazer a medição de sua cabeça através do seu diâmetro máximo, o correto seria outra região para o dimensionamento do tamanho correto de capacete, ou seja, na região de assentamento e fixação do artefato, o.

3.2.2.6 Tarefa 2.6: Documentar as medidas antropométricas por escaneamento 3D

Será produzido um relatório que mostre as diferenças dimensionais das cabeças humanas numa perspectiva tridimensional, de modo que elas possam ser visualizadas durante a fase de projeto do capacete balístico.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO MÉTODO PROPOSTO

Inicialmente foi identificada a necessidade de realização de uma intensa pesquisa bibliográfica. Lakatos e Marconi (2002) esclarecem que ela permite ao pesquisador traçar um painel geral do estado da arte, a partir de bibliografia já elaborada e tornada pública em relação ao tema estudado, constituindo-se

principalmente de livros, boletins, jornais, revistas, monografias, teses, artigos científicos e ainda informações na *web*.

Dessa forma, no próximo capítulo serão tratados alguns experimentos de fotogrametria, que possam dar melhor definições e orientações para esse estudo, sobre as dúvidas surgidas neste capítulo. Os pontos que serão focados nesses estudos condizem com um esclarecimento no que tange a: medições da cabeça humana através de conceitos da fotogrametria, seleção das cabeças com tamanhos extremos e análise dessas, entre outras variáveis que poderão ser visualizados no próximo capítulo.

Em seguida, será realizada a análise tridimensional, com *scanner* 3D, para identificar outras medidas que bidimensionalmente não é possível destacar. Após é gerado o relatório com as medidas antropométricas da cabeça humana, deixando para o capítulo de resultados o esclarecimento sobre a adequação do método de medição da cabeça do usuário para dimensionar o tamanho correto do capacete balístico.

4 DESENVOLVIMENTO

O objetivo deste capítulo é apresentar o desenvolvimento do experimento que possibilitou a aquisição dos dados para a análise antropométrica da cabeça humana, para o uso em projetos e dimensionamento de capacetes balísticos. Para tanto, o procedimento da pesquisa de campo foi utilizado a sequência de etapas e atividades, apresentada na Figura 21, apresentada no capítulo 3.

4.1 ETAPA 1: PROCEDIMENTO PARA MEDIR A CABEÇA HUMANA COM INSTRUMENTOS CONVENCIONAIS E POR FOTOGRAMETRIA

O objetivo deste item é demonstrar como foram selecionadas as amostras e o número adequado para o experimento em questão. Em seguida, são apresentados os métodos para realizar as medições antropométricas da cabeça humana com auxílio dos instrumentos convencionais, como também, por fotogrametria.

A seguir, será demonstrada como foi definido o número de amostra deste experimento.

4.1.1 *Tarefa 1.1: Determinar o tamanho da amostra*

As amostras selecionadas para o experimento foram basicamente estudantes de graduação de duas universidades da região de Curitiba / PR. Isso decorre do fato de que a idade da maioria dos estudantes coincide com as idades, mínima e máxima, que são recrutadas nas forças armadas. Também, pelo fato de que muitos estudantes são de outras regiões do Brasil e, até mesmo, de outros países.

Conforme já descrito no capítulo 3 deste trabalho, a maneira que será identificada o número de amostras para o experimento desta pesquisa é baseada em Callegare (2009). Para tanto, a seguir serão descritos os mesmos passos, de “a” a “g” do capítulo anterior.

a. Determinação dos máximos erros permitidos: Os erros do tipo I e II, α e β respectivamente, são definidos como 5% cada um. Esse valor é o mais usado em estudos como esse.

b. Variância do processo. Como não há dados precisos para essa população, Callegare (2009) sugere usar o QM_R (Quadrado Médio Residual) da ANOVA (Análise da Variância) de um experimento piloto, conforme explicado a seguir.

Para gerar esse experimento piloto, deve-se fazer ensaio com um número qualquer de amostra, desde que sejam, no mínimo, 30 amostras para ser significativa. (MONTGOMERY, 2005).

Desta maneira, foi estruturado um experimento da mesma forma que será demonstrada nas etapas deste capítulo e que foram demonstradas na Figura 25.

Para isso, foram selecionados 42 alunos da UFPR, de diversos cursos de graduação, com idade entre 18 a 34 anos e com aparências físicas normais. Como descrito anteriormente, as sequências das etapas estarão sendo demonstradas mais detalhadamente na próxima seção deste trabalho. A Figura 35 apresenta a distribuição normal deste teste.

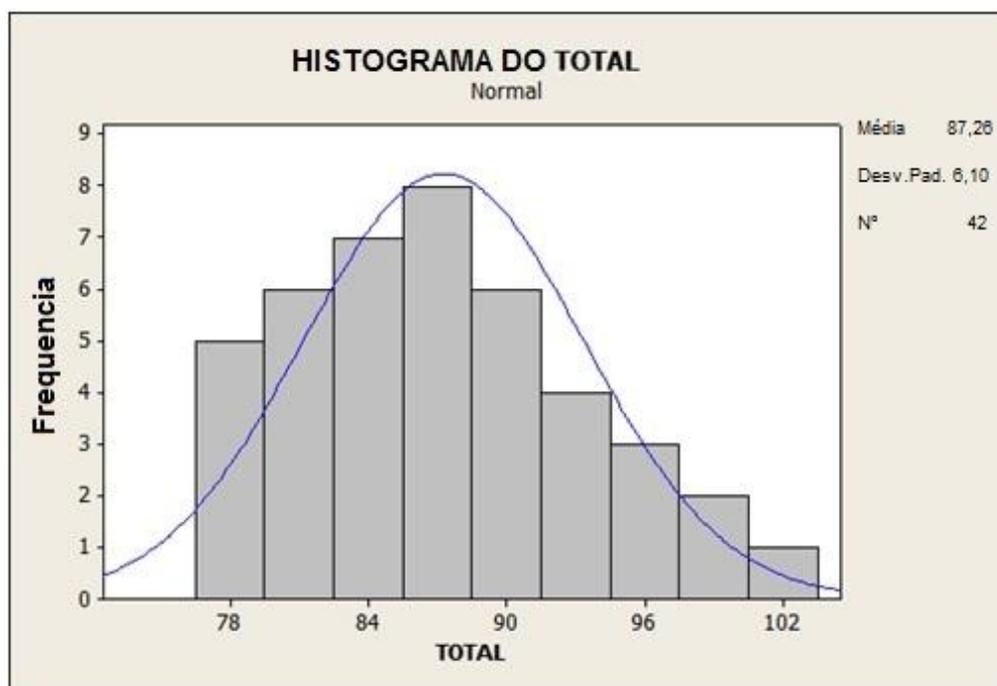


Figura 35: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.
Fonte: O Autor (2014)

Para um melhor esclarecimento dos valores deste experimento piloto, foi gerada a Tabela 16, elencando os valores dos percentis de 2,5%, 50% e 97,5%, junto com as

médias das principais medidas da cabeça humana. É importante destacar nessa tabela que a última linha destacam-se os valores da altura da cabeça, medidas essas que não havia na bibliografia atual.

Tabela 16: Resultados preliminares do experimento piloto.

MEDIÇÕES DA CABEÇA (mm)	HOMEM			
	Percentil			D.P.
	2,5%	50%	97,5%	
Largura (de frente)	149,0	157,6	167,7	±5,6
Comprimento (de perfil)	182,0	194,3	205,4	±6,6
Circunferência	558,0	578,5	605,0	±13,7
I.C. (índice cefálico)	81,2	73,9	88,7	±4,1
Altura da Cabeça	78,0	86,1	101,2	±6,1

Fonte: O Autor (2014).

Com base na Figura 35 e Tabela 16, a altura definida previamente teve uma média de $\mu=87,26\text{mm}$, conforme mostrada na Figura 35, destacando que o valor de 86,1mm, da Tabela 16, refere-se à mediana do experimento.

Para fazer uma análise de variância (ANOVA) deste experimento piloto, com o propósito de achar o valor do QM_R e substituir pela variância do experimento, na Equação 3, é necessário gerar grupos de divisões entre os valores encontrados nesse experimento e definir se as médias desses grupos são iguais ou não. Para gerar essa separação, foram utilizados os valores do capacete balístico da PASGT, como referência.

À medida que foi usada para essa separação de tamanho foi o comprimento do da cabeça, pois é a mesma medida que é encontrada a altura da cabeça humana para o uso de capacete balístico. Conforme apresentada na Tabela 13 deste trabalho (seção 2.4.1), a separação dos tamanhos dos capacetes se dá da seguinte forma: tamanho P até 190mm, M de 191 a 200mm e, acima, para tamanho G.

Após essa separação, foram gerados os três grupos e analisadas estatisticamente cada um deles. Na Figura 36 são possíveis verificar as quantidade de amostras para cada grupo, onde, das 42 analisadas 8 são do grupo P, 27 do M e 7 do G. Também, nessa figura são demonstradas as curvas normais de cada grupo, destacando ao lado suas médias para cada grupo.

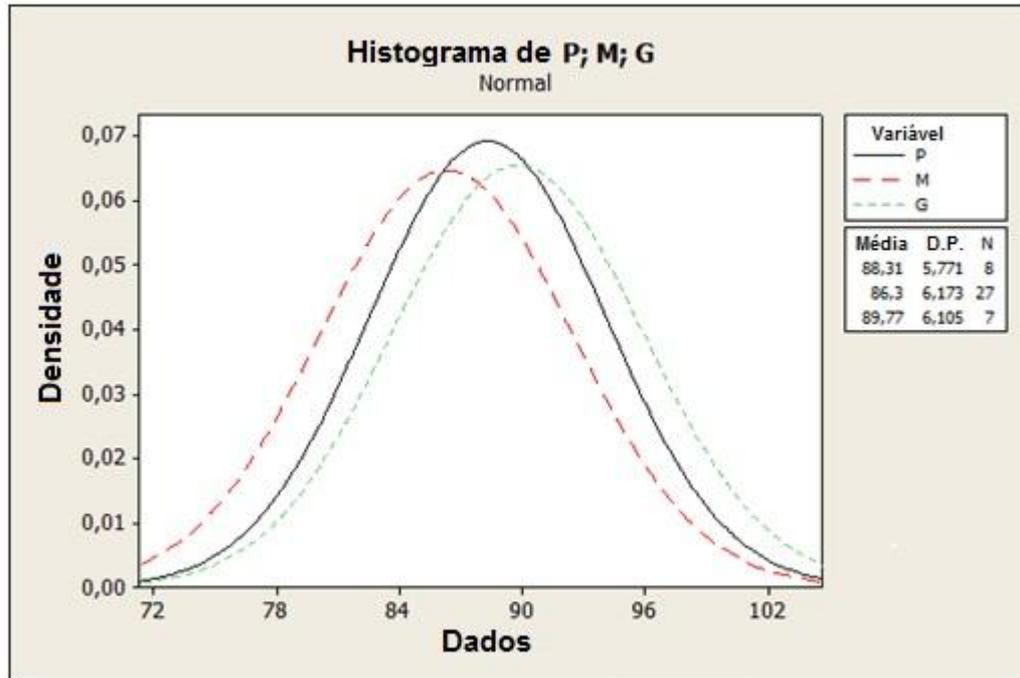


Figura 36: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.
Fonte: O Autor (2014)

Conforme demonstrada na Figura 36, o valor da média do grupo P ficou $\mu_1=88,31\text{mm}$, assim como do grupo M o $\mu_2=86,30\text{mm}$ e G $\mu_3=89,77\text{mm}$. Desta maneira, através da ANOVA deste experimento piloto, Tabela 17, pode verificar quais valores derivam desta análise.

Tabela 17: ANOVA do Teste Piloto para identificação do QM_R .

Fonte	SQ	GL	QM	F_{calc}
Entre Amostra	77,9	2	38,9	1,05
Residual	1447,5	39	37,1	
Total	1525,5	41		

Fonte: O Autor (2014).

Como pode ser visto na Tabela 17, o valor do QM_R (Quadrado Médio Residual) ficou em 37,1. Ou seja, esse número será usado para auxiliar na identificação do número de amostras necessárias para esse experimento. Esse substituirá o σ^2 (variância) na Equação 3.

c. Calcular o valor da expressão $\sum_{i=1}^a D_i^2$ (Equação 2) é necessário obter os valores dos "D" de cada parte grupo do experimento (P, M e G). Como visto na Figura o valor da média de todo o experimento ficou em $\mu=87,26\text{mm}$, assim como, na Figura 36

apresentam os valores de $\mu_1=88,31\text{mm}$, $\mu_2=86,30\text{mm}$ e $\mu_3=89,77\text{mm}$. Sendo assim, os valores das diferenças das médias de cada grupo com a média geral são expostos a seguir:

$$D_1 = \mu_1 - \mu = 88,31 - 87,26 = 1,05$$

$$D_2 = \mu_2 - \mu = 86,30 - 87,26 = -0,96$$

$$D_3 = \mu_3 - \mu = 89,77 - 87,26 = 2,51$$

Desta maneira o valor da expressão $\sum_{i=1}^a D_i^2$ neste experimento piloto é:

$$\sum_{i=1}^a D_i^2 = D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 = (1,05)^2 + (0,96)^2 + (2,51)^2 = 8,324$$

d. Utilizando o valor do item c, $\sum_{i=1}^a D_i^2 = 8,37$, mais o valor de a (número de itens analisados) que neste caso é 3 (tamanhos P, M e G) e, substituindo o valor de σ^2 pelo QM_R do experimento piloto, tem-se:

$$\Phi^2 = n * \frac{\sum_{i=1}^a D_i^2}{a * \sigma^2} = n * \frac{8,324}{3 * 37,1} = n * 0,0748$$

e. Com base no valor de $\Phi^2=n*0,0748$, é necessário extrair a raiz para achar o valor de Φ . Porém, deve-se atribuir valores para “n”, o qual corresponde ao número de amostra. Assim, quando o valor de Φ for maior que Φ_{\min} , quer dizer que o valor atribuído de “n” é o suficiente para o experimento.

Para obter o valor de Φ_{\min} na tabela (ver Tabela 18), utiliza-se os graus de liberdade da ANOVA do experimento. Com as Equações 5 e 6, onde se tem:

$$v_1 = 3 - 1 = 2$$

$$v_2 = 3 * (n - 1)$$

Como “n” é o valor que se deseja encontrar. Neste caso, serão atribuídos valores de “n” para saber o valor de v_2 e consultar na tabela o valor Φ_{\min} .

Como não se conhece ainda o valor de “n”, quantidade de amostra, Callegare (2009) sugere usar o de ν_2 relacionado ao infinito. Observando a coluna de $\nu_1 = 2$ e a na linha $\nu_2 \rightarrow \infty$, na Tabela 18, encontra-se o valor de $\Phi_{\min} = 2,27$.

Tabela 18: Valores mínimos de Φ para os valores de 5% de α e β .

	$\alpha = 0,05$ $\beta = 0,05$	ν_1							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ν_2	6	3,08	3,06	2,96	2,89	2,84	2,82	2,78	2,76
	8	2,91	2,86	2,69	2,61	2,53	2,51	2,46	2,44
	10	2,82	2,73	2,52	2,43	2,36	2,33	2,27	2,24
	12	2,77	2,66	2,44	2,33	2,26	2,23	2,15	2,12
	15	2,71	2,57	2,37	2,24	2,17	2,13	2,06	2,00
	20	2,68	2,49	2,28	2,14	2,08	2,03	1,94	1,89
	30	2,64	2,43	2,21	2,05	2,00	1,94	1,83	1,78
	60	2,59	2,35	2,13	1,99	1,90	1,84	1,75	1,70
	∞	2,54	2,27	2,06	1,91	1,81	1,74	1,65	1,59

Fonte: Adaptado de Callegare (2009)

Desta maneira, como se conhece o valor de $\Phi_{\min} = 2,27$, é necessário atribuir os valores para “n” e substituem na equação $\phi^2 = n \cdot 0,0748$, extrair a sua raiz para encontrar apenas o valor de ϕ e, quando esse for maior que Φ_{\min} , o valor atribuído é suficiente. Desta maneira, foi gerada a Tabela 19 para determinar o valor de “n”.

Tabela 19: Determinação do valor de amostras da tese.

n	ϕ^2	Φ	$\nu_2 = 3(n - 1)$	Φ_{\min}
67	5,012	2,239	198	2,27
68	5,086	2,255	201	2,27
69	5,161	2,272	204	2,27
70	5,236	2,288	207	2,27

Fonte: O Autor (2014)

Conforme é possível visualizar na Tabela 19 o valor de “n” com que o Φ (2,283) seja maior que Φ_{\min} (2,27) é de 69. Ou seja, são necessárias analisar 69 amostras de cada grupo (tamanho P, M e G) para a determinação do valor da altura da cabeça humana, para o uso de capacetes balísticos.

Sendo assim, foram selecionadas um total de 256 amostras, para que seja possível dividir em três grupos, nos quais todos homens tenham idade entre 17 e 34 anos para fazer as devidas medições e análises de suas cabeças. Esse estudo será descrito a seguir.

4.1.2 Tarefa 1.2: Medir com instrumentos convencionais a cabeça humana

Conforme já descrito no capítulo 3, para iniciar o método de medição da cabeça humana é necessário preparar as amostras. A sequência de preparação está descrita a seguir.

- a) Seleção da amostra pelo sexo e idade, com aparência normal e que não tenha sofrido lesões no crânio;
- b) Encaminhamento da amostra até o laboratório de pesquisa onde estão os equipamentos para o ensaio;
- c) Assinatura do termo de consentimento para a pesquisa e preenchimento da ficha cadastral (APÊNDICE 1).

Na caracterização das amostras desta tese as informações e valores destacados encontram-se, através de um resumo, na Tabela 20.

Tabela 20: Caracterização das amostras para estudo antropométrico

Estatística/ Variáveis	RESULTADO			D.P.
	Percentual			
	2,5%	50%	97,5%	
Idade (anos)	17	20	34	4,7
Peso (kgF)	57,1	75,5	98,5	13,8
Estatura (cm)	160	176	194	13
IMC	20,2	24	30,1	4,1

FONTE: Adaptado de Alves (2012)

Dessa maneira, as amostras ficam aptas a iniciar o procedimento de medição, primeiro com os instrumentos e, em seguida, por fotogrametria. Esse procedimento é descrito a seguir.

Primeiramente, a amostra senta-se em uma cadeira e fica com o tronco e cabeça numa posição ereta. O analisador, com auxílio da fita antropométrica, faz a medição da circunferência, como visto na Figura 37.



Figura 37: Medição da Circunferência Máxima da Cabeça Humana.
Fonte: O Autor (2014)

Em seguida, o mesmo analisador utiliza um paquímetro universal, da marca Mitutoyo com capacidade de medição de 0 a 300mm e uma exatidão de 0,08mm, para fazer as medições da largura e comprimento da cabeça. Essas medições poderão ser vistas na Figura 38.

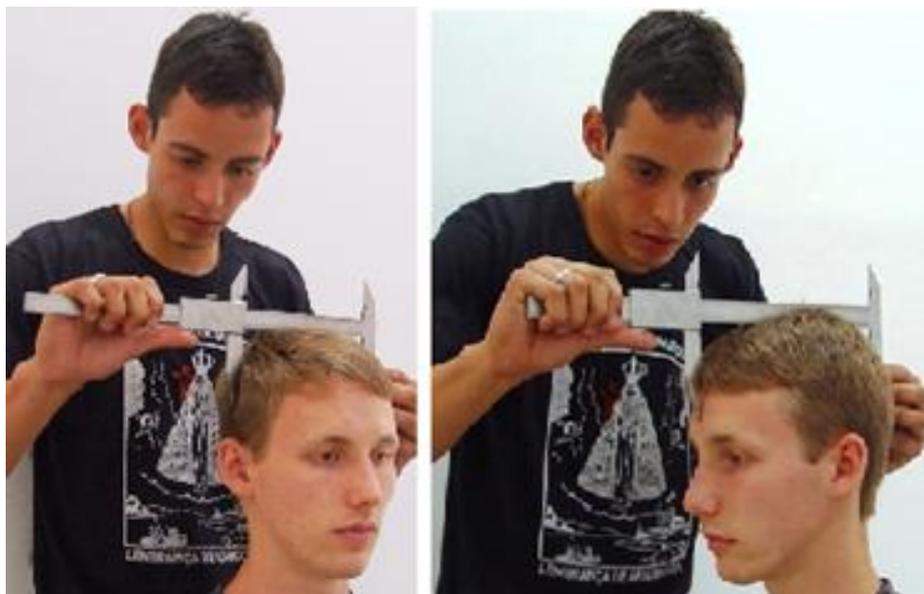


Figura 38: Medição do (a) Perfil Frontal e (b) Perfil Lateral.
Fonte: O Autor (2014)

As medidas encontradas nessa fase são anotadas na folha específica para as informações dessa amostra, como demonstrado no APÊNDICE 1, para que, em

seguida, sejam inseridas numa planilha e geradas as análises necessárias para esse experimento.

Esses valores iniciais serão comparados com as medidas por fotogrametria, as quais serão demonstradas a seguir.

4.1.3 Tarefa 1.3: Fotografar a parte frontal e lateral da amostra

Nessa tarefa, primeiramente, a amostra deve vestir a touca para comprimir o cabelo, sentar-se no dispositivo projetado e fabricado, demonstrado na Figura 39, para as medições fotogramétricas e, posicionar-se corretamente no dispositivo desenvolvido para essa análise. Lembrando que a touca será usada em todas as amostras e sua espessura será desprezível.

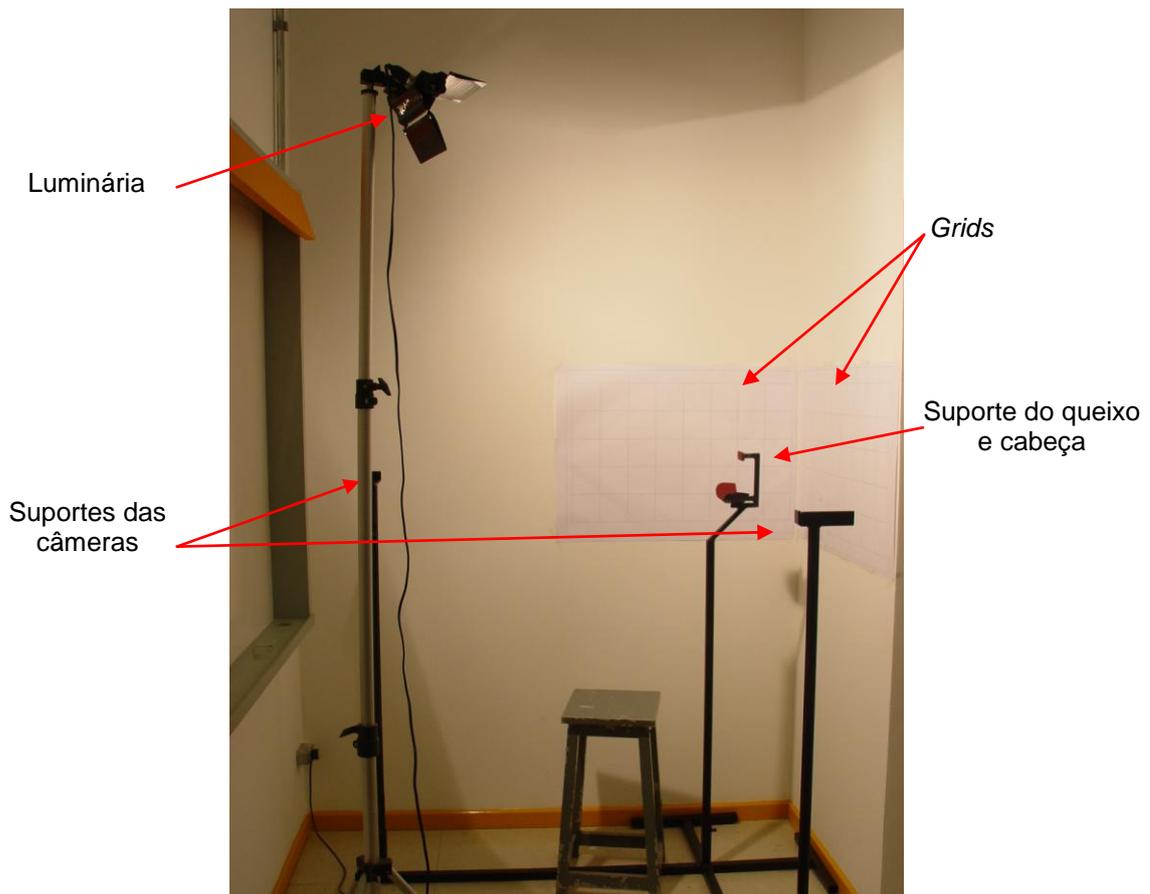


Figura 39: Ambiente para captura da imagem de fotografia.
Fonte: O Autor (2014)

Esse dispositivo de medição foi projetado para essa tarefa. Ele está localizado no laboratório de ergonomia e usabilidade da Universidade Federal do Paraná (LabErg). Nesse ambiente há, ainda, uma cadeira para a pessoa se sentar e um apoio da cabeça e queixo para sempre estar na mesma posição. A câmera usada foi uma máquina digital da marca Nikon, com resolução das fotos de oito Mega Pixels. Além disso, foi empregada uma luminária para projetar a luz de cima para baixo, deixando o ambiente claro. Dessa forma, permitiu-se que não houvesse sombra na parede e no *grid*, facilitando a análise da fotografia.

Os posicionamentos das câmeras fotográficas são equidistantes quanto à amostra e ao *grid*, assim como o dispositivo também têm suas posições fixas. Essas distâncias foram projetadas para essa finalidade, com distância de 1.200 mm entre o ponto focal da câmera até o *grid* e, 380mm entre o centro da cabeça ao *grid*. A Figura 40 mostra exemplo de uma fotografia tirada e uma pré-análise de fotogrametria. Trata-se de uma foto de perfil lateral, em que se pode perceber que há valores quanto ao comprimento máximo e a altura da cabeça para o uso de capacete balístico.

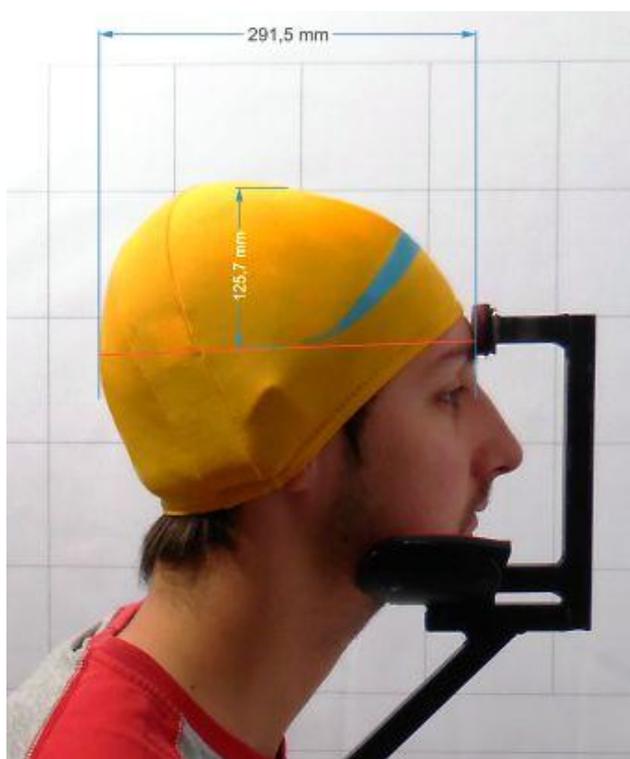


Figura 40: Fotogrametria do Perfil Lateral.
Fonte: O Autor (2014)

Dessa forma, os valores adquiridos nessa etapa são analisados, com auxílio de ferramentas CAD, para a identificação das medidas corretas. Os valores que estão

sendo mostrados na Figura 40 ainda precisam ser convertidos para as medidas reais. Para isso, é utilizada a Equação 6 e os valores que são pré-analisados na Figura 40 são transformados em valores reais, conforme descrito após a figura.

A distância do comprimento máximo da cabeça, apresentado na Figura 40 que é de 291,5mm, fica 199,19mm. Esse cálculo decorre da:

$$X (\text{distância}) = \frac{(1200 - 380) * 291,5}{1200} = 199,19$$

Dessa forma, é feita a mesma análise para a altura da cabeça humana. Assim, todas as 256 amostras seguiram a mesma sequência de análises dos comprimentos frontal e lateral, assim como a altura da cabeça. Com isso, verificou-se que os valores das alturas variam bastante como são vistos na próxima seção.

É importante destacar que para conduzir toda a sequência apresentada nesta seção, até obter os valores para cada amostra, o tempo aproximado é de 50 minutos.

4.1.4 Tarefa 1.4: Gerar os dados das medidas antropométricas com auxílio de programa CAD e analisá-las estatisticamente

Conforme descrito anteriormente, usando-se a análise dimensional através da fotogrametria, com a Equação 6 exposta no capítulo 3 deste trabalho, o valor adquirido na etapa anterior é convertido para o valor real da medida.

Para o melhor entendimento dos valores obtidos, após realizadas as conversões das medidas, explicadas na seção anterior, foi gerada uma tabela para demonstrar um resumo dos principais valores. Estes valores podem ser visualizados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados preliminares do experimento piloto.

MEDIÇÕES (mm)	HOMEM			D.P.
	Percentil			
	2,5%	50%	97,5%	
Largura (de frente)	146,4	155,5	165,4	±5,4
Comprimento (de perfil)	184,9	194,0	205,4	±5,6
Circunferência	551,0	574,5	604,5	±14,4
I.C. (índice cefálico)	74,7	80,0	86,2	±3,3
Altura da Cabeça	78,6	94,2	107,8	±7,2

Fonte: O Autor (2014).

A técnica de fotogrametria aplicada a antropometria da cabeça humana, na imagem em que se mede o seu comprimento, permite identificar o valor da altura da cabeça para o uso de capacetes balísticos. Essa medida é importante devido ao fato de que o tamanho do capacete balístico é determinado para o seu usuário através do maior diâmetro da cabeça. Ou seja, caso seja traçada uma linha entre a região de maior saliência óssea da parte frontal (glabella) e a protuberância occipital externa (parte mais saliente da nuca), essa linha coincide com a medida do diâmetro da cabeça.

Dessa maneira, esta altura corresponde ao ponto médio dessa linha do perfil do sujeito, até o topo da cabeça através de uma linha vertical.

Os valores encontrados da altura da cabeça humana estão apresentados, em ordem das medições conduzidas e coletadas, que se encontram no APÊNDICE 2 deste trabalho.

O gráfico de distribuição dessas alturas é observada na Figura 41.

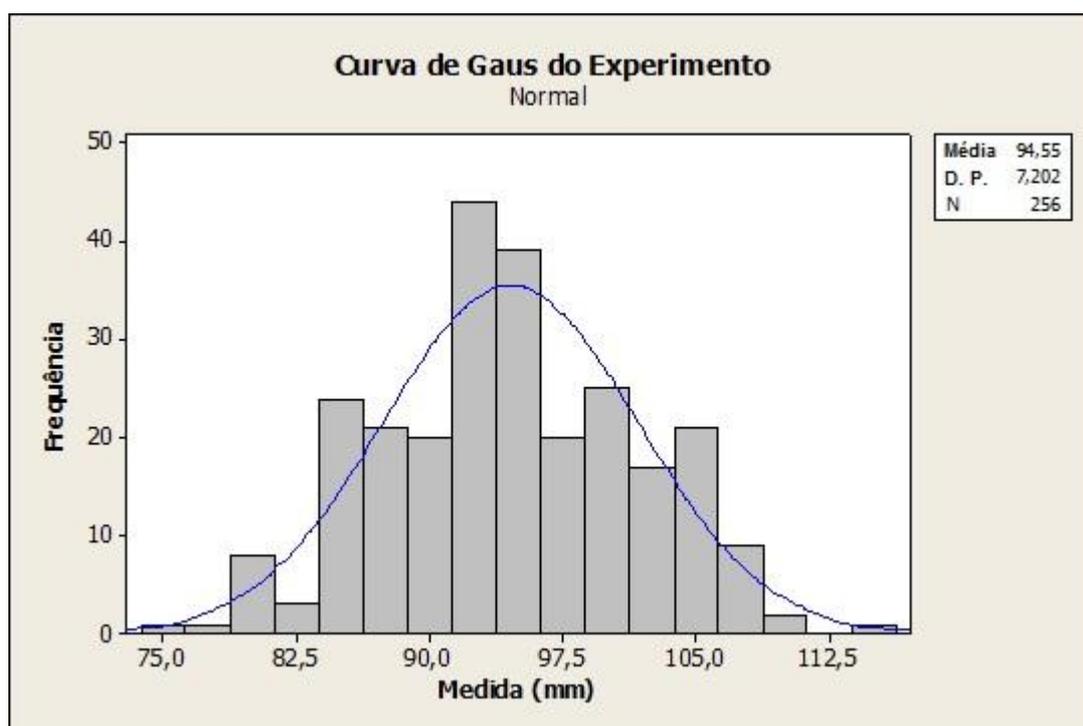


Figura 41: Distribuição das medidas das alturas da cabeça.
Fonte: O Autor (2014)

A média da altura da cabeça humana é de 94,55mm, com um desvio padrão de 7,2mm. Com o objetivo de verificar essa altura em relação aos capacetes P, M e G, foram gerados grupos para a determinação das médias dessas medidas. Nota-se que na Tabela 21 o valor de 94,2mm é referente à mediana e na Figura 41 mostra-se o

valor de 94,55mm, que é a média dos valores encontrados no experimento deste estudo. Como os valores são bem próximos, pode-se dizer que na Figura 41 a distribuição dos valores segue uma distribuição normal.

As divisões dos grupos foram realizadas com auxílio das medidas máximas dos capacetes balísticos. Como demonstrado na Tabela 13, os comprimentos máximos desses artefatos se limitam a 190mm o tamanho P, 200mm o M e 220mm o G. Ou seja, as medidas das cabeças foram organizadas em ordem crescente do comprimento e definidos os três grupos com essas limitações. Dessa forma, foram analisadas 73 amostras com comprimento de cabeça de até 190mm, 114 relacionadas a cabeças do tamanho M, e outras 69 do tamanho G.

Outra análise realizada ocorre através de sobreposições das imagens CAD. Essas foram conduzidas com alguns indivíduos dos grupos, e se percebe nitidamente que as cabeças humanas têm suas alturas com grandes variações antropométricas. As Figuras 41 e 42 mostram algumas dessas discrepâncias de tamanhos nos grupos M e G (tamanho Médio e Grande) respectivamente.

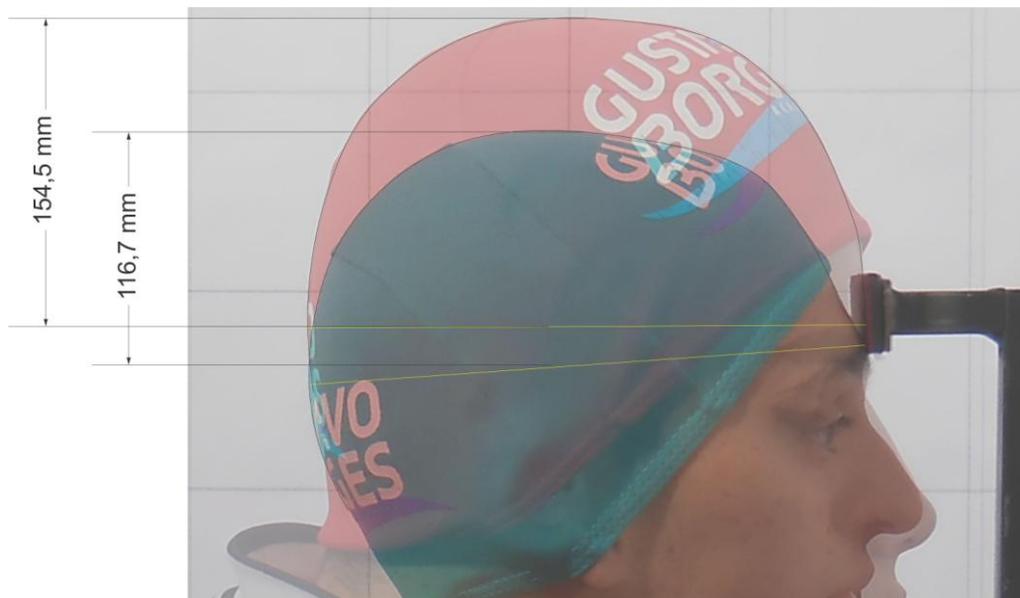


Figura 42: Distribuição das medidas das alturas da cabeça do grupo de capacete tamanho M.
Fonte: O Autor (2014)



Figura 43: Distribuição das medidas das alturas da cabeça do grupo de capacete tamanho G.
Fonte: O Autor (2014)

É importante salientar que as medidas apresentadas nas Figuras 42 e 43 precisam ainda passar pelo ajuste dos valores descritos na seção anterior deste trabalho.

Sendo assim, é possível fazer algumas comparações estatísticas para as análises apresentadas nesta seção, assim como uma comparação das medidas dos capacetes atuais.

4.1.5 Tarefa 1.5: Analisar os valores em relação à altura da cabeça

Esta tarefa tem como objetivo verificar se as alturas encontradas no experimento correspondem à altura do capacete balístico atual. Para isso, a primeira atividade a ser conduzida é verificar se as médias dos grupos de tamanhos P, M e G são iguais ou diferentes. Dessa forma, é gerada uma análise de variância deste experimento.

Antes da geração da ANOVA, é necessário reforçar que este estudo visa à análise dos valores da altura das cabeças explicada na tarefa anterior, em que havia três grupos que são diferenciados pelos tamanhos do comprimento máximo divididos por P, M e G. Essas separações estão demonstradas na Tabela 22.

Tabela 22: Distribuição dos valores das alturas das cabeças pelos grupos de comprimento máximo

Tam.	AMOSTRAS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	79,6	79,9	91,9	87,8	86,3	84,7	91,1	80,7	90,4	85,9	86,2	95,7	95,7	86,0	93,6	93,4	93,4	114,5	87,5	99,5
	99,5	100,0	92,6	81,3	102,7	96,0	95,6	95,6	87,0	87,0	101,6	107,9	90,5	96,2	96,2	94,6	94,6	94,6	94,6	95,6
	95,6	102,9	104,2	104,2	104,7	106,9	106,9	107,6	106,2	98,4	106,0	106,0	85,5	85,5	95,5	97,3	97,3	97,3	97,3	106,5
	106,5	88,8	88,8	90,8	91,4	91,4	92,1	92,1	96,0	96,5	96,5	105,8	84,5							
M	84,7	86,8	86,8	90,0	90,0	97,2	98,2	98,2	104,1	89,8	89,8	91,6	91,6	97,7	91,6	94,0	94,0	92,5	92,5	93,7
	93,7	81,6	86,9	86,9	93,1	95,2	95,6	85,9	110,6	91,8	93,5	93,5	92,9	89,8	89,8	85,6	93,2	84,8	88,1	88,1
	91,8	91,8	91,7	102,4	102,4	100,8	100,8	101,0	102,6	102,6	105,7	93,5	93,5	110,0	85,6	85,7	108,6	100,5	100,5	108,0
	79,6	86,1	86,1	92,3	95,2	95,2	93,7	85,7	102,4	85,8	89,1	104,6	104,6	84,9	98,9	100,8	86,3	99,8	99,8	76,2
	94,5	94,5	96,8	100,7	97,3	82,4	84,3	84,3	88,8	90,1	95,9	95,9	80,0	81,0	91,9	91,9	87,6	87,6	103,5	103,5
96,1	86,5	97,5	93,2	93,2	94,2	79,8	93,5	93,5	96,4	103,9	87,6	91,8	90,5							
G	90,8	90,8	105,5	105,5	105,5	93,2	93,2	98,2	94,4	99,7	78,6	88,2	94,7	94,7	95,9	103,8	103,8	95,0	92,8	88,4
	97,9	91,3	91,3	95,9	95,9	90,5	98,6	85,0	85,0	86,2	86,2	87,3	101,9	101,9	99,2	99,2	99,5	99,5	102,7	102,7
	93,5	93,5	105,2	105,2	102,1	99,0	99,0	94,0	94,0	99,8	94,0	103,0	105,9	100,3	89,1	94,1	94,5	100,1	91,3	97,4
	101,9	87,9	96,3	80,8	108,0	105,3	99,5	86,4	101,2											

Fonte: O Autor (2014)

Após a distribuição dos valores das alturas, através dos comprimentos de suas cabeças em relação aos grupos P, M e G, são geradas curvas de normalidades para cada grupo através da Figura 44. É importante destacar que ao lado dessa figura encontram-se as médias para cada grupo, com seus desvios padrões e a quantidade de amostras analisadas.

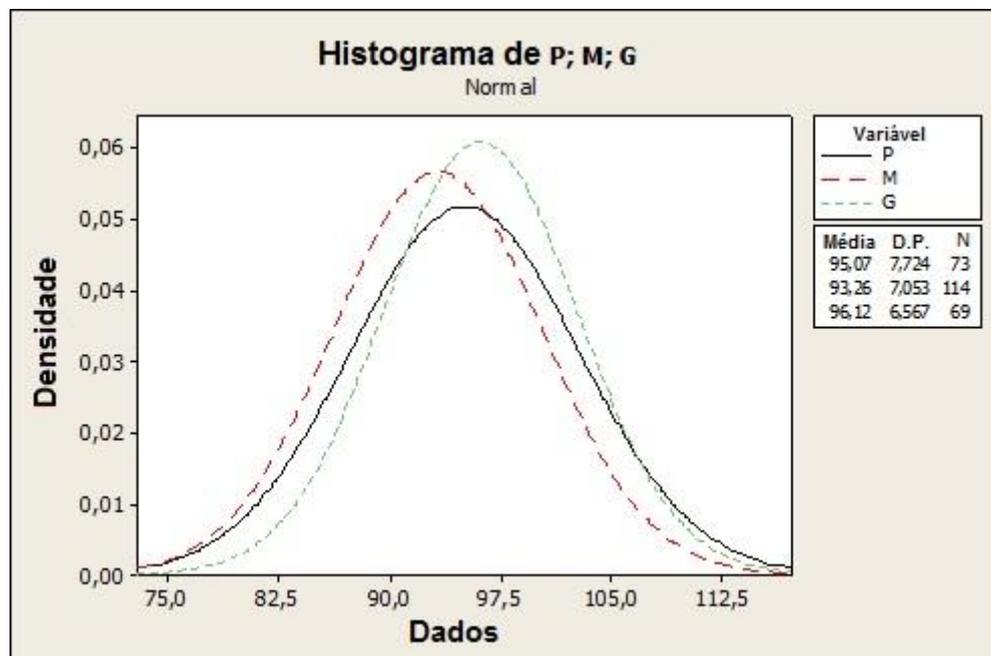


Figura 44: Distribuição normal das alturas da cabeça.

Fonte: O Autor (2014)

Conforme demonstrada na Figura 44, o valor da média da altura do grupo P ficou $\mu_1=95,07\text{mm}$, assim como do grupo M o $\mu_2=93,26\text{mm}$ e G $\mu_3=96,12\text{mm}$. Desta maneira, é possível verificar, através de uma análise de variância, se os valores dessas

médias são iguais ou diferentes, dentro do limite de confiança que nesta pesquisa está sendo usado 95%.

A análise verificará se as alturas das cabeças são diferentes dentro de um limite de confiabilidade de 95%. Primeiramente, é necessário descrever as hipóteses de soluções, onde:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3.$$

H_1 : Pelo menos uma média μ é diferente de μ_i .

Dessa forma, a Tabela 23 demonstra essa ANOVA.

Tabela 23: Quadro da ANOVA do Experimento.

Fonte	SQ	GL	QM	F_{calc}
Entre Amostra	379,2	2	189,6	3,73
Residual	12849,1	253	50,8	
Total	13228,36	255		

Fonte: O Autor (2014).

Verifica-se que na ANOVA deste experimento é encontrado o valor do “F calculado”, que é 3,73. Pesquisando na tabela de Montgomery (2009), para essa situação o valor do “F tabelado” é 3,03. Ou seja, como o F_{calc} é maior que o F_{tab} , onde, neste caso deve-se rejeitar hipótese H_0 onde as médias são iguais ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$). Logo, pode-se dizer que, pelo menos, uma das médias P, M ou G são diferentes dentro do limite de confiabilidade de 95%.

Dessa maneira, é possível verificar através de testes de normalidade dos resíduos, a homogeneidade das variâncias, entre outros. A seguir, será apresentado um gráfico mostrando o *Boxplot* para verificar se há valores extremos para os modelos apresentados. Esse é visto na Figura 45.

Nota-se que no gráfico da Figura 45 não há valores que extrapolam as caixas que contém as medidas. Isso significa que todos os valores estão distribuídos adequadamente dentro do previsto. Entretanto, as linhas horizontais, dentro das caixas, estão com um pouco deslocados dos centros nos grupos de tamanhos P e G, o que significa que não há normalidade nesses grupos.

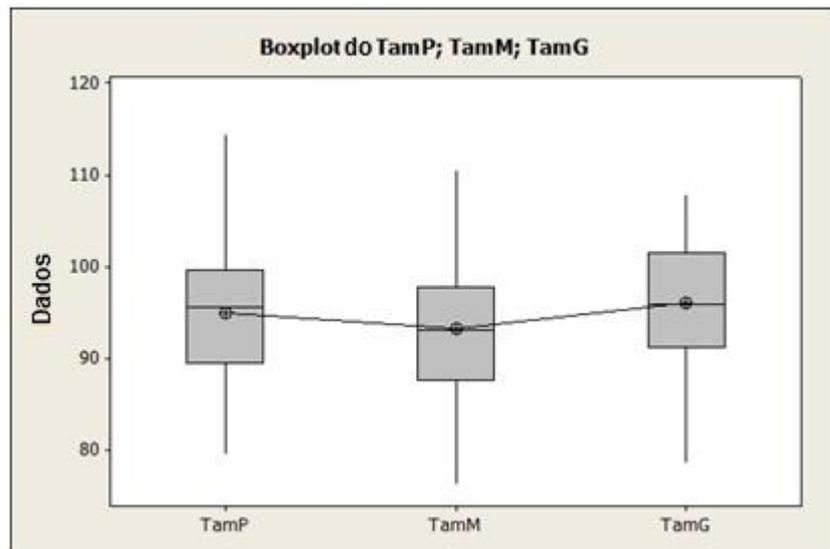


Figura 45: Boxplot das medidas das alturas da cabeça.
Fonte: O Autor (2014)

Com isso, pode gerar um teste estatístico para identificar as amostras que mais geram divergência da normalidade. Para isso é usado o teste de Tuckey, no qual se demonstra que alguns valores se extrapolam dos demais. Isso mostra que esses valores são os menores ou os maiores de cada grupo, como pode ser visto na Figura 46.

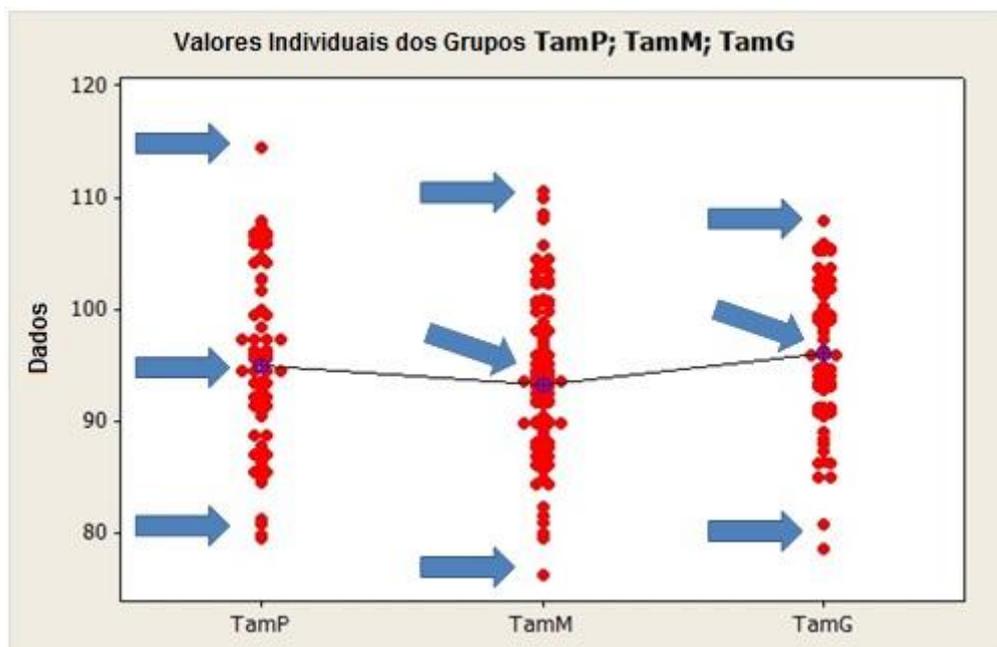


Figura 46: Teste de Tuckey das medidas das alturas da cabeça.
Fonte: O Autor (2014)

Verificando a Figura 46 no programa *minitab*, pode-se verificar quais são essas medidas que estão mais afastadas das demais de cada grupo. Sendo assim, será conduzido um direcionamento para uma análise mais detalhada dessas amostras. Nessa mesma figura, foram destacadas com uma seta azul as amostras mais discrepantes.

Para um melhor entendimento, são analisadas as medidas dos testes de fotografia, apresentadas anteriormente, e separadas as cabeças para tamanho de capacete P. Lembrando-se que o comprimento desse capacete é até 190mm e que houve as duas menores alturas usadas como Categoria da Cabeça P, assim como para alturas médias e máximas. Essas separações estão demonstradas na Tabela 24.

Tabela 24: Análises das alturas da cabeça para usuários de capacete tamanho P.

Tamanho do Capacete P (mm)			
Num Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab	Altura Cabeça
38	180,2	79,60	PEQUENA
18	182	79,90	
248	188,9	94,57	MÉDIA
99	189,6	95,53	
55	188,6	107,89	GRANDE
82	186,6	114,54	

Fonte: O Autor (2014).

Nota-se na Tabela 24 que há uma grande variação das alturas das cabeças para as pessoas, que seguindo o tamanho do perfil ou diâmetro da cabeça, usariam o mesmo capacete P (pequeno). É interessante perceber que o valor máximo da altura não corresponde ao tamanho máximo da cabeça e, sim, a um tamanho médio.

Quando analisado a Figura 44 foi verificado que a média da altura da cabeça, quando o sujeito estaria usando o capacete do tamanho P, essa média é 95,07mm e o seu desvio padrão neste caso é de 7,2mm. Porém, lembrando o que demonstrado na Tabela 14, onde essa mesma análise para o capacete, a altura é de 65,9mm. Ou seja, uma grande diferença. Entretanto, verificando na Tabela 24, nota-se que possíveis sujeitos que usaria o capacete balístico modelo PASGT têm cabeças com alturas próximas, como as 79,6mm e 79,9mm, como também, alturas muito superiores que o do próprio capacete, como 107,89mm e 114,54mm, como demonstrado nessa mesma tabela.

Em seguida será verificada se essas diferenças demonstradas no parágrafo anterior, também são apontadas nos capacetes M e G, como podem ser vistas na Tabela 25.

Tabela 25: Análises das alturas da cabeça para usuários de capacetes tamanhos M e G

Tamanho do Capacete (mm)						Altura Cabeça
M (Médio)			G (Grande)			
Num Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab	Num Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab	
27	195,4	76,20	23	199,6	78,60	PEQUENA
32	194,4	79,60	25	205,4	80,80	
240	197,5	93,18	212	200,6	95,91	MÉDIA
122	197,8	93,45	158	205	96,34	
98	193,9	110,04	110	203,2	105,90	GRANDE
115	192,2	110,60	77	206	107,99	

Fonte: O Autor (2014).

Analisando as Tabelas 24 e 25, nota-se que a altura das cabeças humanas não está relacionada com o seu comprimento ou diâmetro. Ou seja, independentemente do tamanho de capacete que o sujeito usa, a altura de sua cabeça para o uso deste é desconhecida.

Assim, evidencia-se que as alturas das cabeças humanas, ao analisar são diferentes independentemente de seu comprimento e diâmetro. Isso atesta os estudos já citados neste trabalho, como o de Othman (2009), tratando os incidentes em campo de batalha quanto aos soldados que são alvejados na cabeça; e estudos de Samil e David (2012) que relatam que a maioria dos usuários de capacetes balísticos, modelo PASGT, não aguentam um teste de caminhada numa esteira em um período acima de oito minutos.

Outra evidência de grande destaque é que se comparar os valores das alturas médias geral da cabeça humana, que é 94,2mm e o desvio padrão é 7,2mm, com as medidas das alturas dos capacetes demonstradas na Tabela 14, cujos valores de 65,9mm, 68,2mm, 70mm, e 72mm das alturas dos capacetes P, M, G e GG respectivamente, são bem acima.

Isso demonstra que os capacetes balísticos ou o método de dimensionamento desses, não são apropriados e precisam ser repensados para o uso dos militares aqui do Brasil e do mundo.

4.2 ETAPA 2: ANÁLISE TRIDIMENSIONAL DA CABEÇA HUMANA COM SCANNER 3D

Conforme o exposto na seção anterior serão analisadas tridimensionalmente algumas amostras que representem estatisticamente um nível de significância adequado. Isso poderá trazer informações importantes e comprovadas de que, outras medidas, hoje em dia não relatadas, influenciam na antropometria da cabeça humana e podem interferir com os artefatos que a ela protegem.

4.2.1 Tarefa 2.1: Analisar o número de amostras necessárias e contatá-las

Essa tarefa tem como objetivo selecionar algumas pessoas que fizeram o experimento por fotogrametria e que possam contribuir para esse novo teste.

Para identificar o número de amostras necessárias para esse novo experimento, é usado o número de pessoas estudadas no teste de fotogrametria. Isso faz com que a população seja conhecida, facilitando o experimento.

Para tanto, é necessário partir de alguma variável importante. Para saber qual delas é a mais adequada, foi realizado um teste de correlação entre a altura da cabeça humana, que é a variável estudada nesta tese com as demais variáveis antropométricas do sujeito, como idade, altura, peso, IMC, distâncias dos perfis frontal e lateral, IC e circunferência máxima. Essas são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26: Coeficientes de correlações entre a altura da cabeça com demais medidas.

Idade	Altura	Peso	IMC	Perfil Frontal	Perfil Lateral	I.C.	Circunf.	Altura da Cabeça
0,11	0,19	0,33	0,29	0,13	0,11	0,06	0,34	1,00

Fonte: O Autor (2014).

Nota-se que na Tabela 26 os valores ficaram baixos, já que segundo Martins e Domingues (2011), para que haja correlação significativa baixa, esses valores de correlações devem ser de no mínimo 40%. A circunferência é a que mais se aproxima desta correlação, com 34%.

Entretanto, como a premissa em definir o tamanho de capacete balístico adequado decorre do diâmetro da cabeça e dos perfis lateral e frontal, essas serão as variáveis para a definição da quantidade de amostras necessárias para fazer os testes de escaneamento tridimensional.

Sendo assim, partiu-se das três variáveis mais importantes atualmente. Os comprimentos do perfil da cabeça lateral e frontal, assim como o diâmetro máximo da cabeça. Ambos os valores foram encontrados no primeiro experimento e são essenciais para a definição do capacete ao usuário.

Primeiramente, é encontrado o valor do número de amostra com base no perfil lateral da cabeça humana. Para essa variável os valores referentes às incógnitas da Equação 9 são: o valor de Z será de 2,57, pois o nível de confiança é de 99% dentro de uma amostra já definida anteriormente de 95%; O valor de σ foi de 5,63; “N” de 256; e o “d”, erro amostral, é 15, pois foi a maior diferença entre os valores encontrados e a média final ($\mu = 194\text{mm}$) no primeiro experimento. Aplicando esses valores na Equação 9, têm-se:

$$n = \frac{2,57^2 * 5,63^2 * 256}{15 * (255) + 2,57 * 5,63} = 13,97 = 14 \text{ amostras}$$

Em seguida, será computado o número de amostra com base no perfil frontal da cabeça humana. Para essa variável os valores referentes às incógnitas da Equação 9 são: o valor de Z será de 2,56; O valor de σ foi de 5,36; “N” de 256 e o “d” é 13, pois foi a maior diferença entre os valores encontrados e a média final ($\mu = 155,5\text{mm}$) no primeiro experimento. Aplicando esses valores na Equação 9, tem-se:

$$n = \frac{2,57^2 * 5,36^2 * 256}{13 * (255) + 2,57 * 5,36} = 14,59 = 15 \text{ amostras}$$

Em seguida, será calculado o número de amostras com base no diâmetro da cabeça humana. Para essa variável os valores referentes às incógnitas da Equação 9 são: o valor de Z será de 2,56; o valor de σ foi de 14,38; “N” de 256 e o “d” é 35, pois foi a maior diferença entre os valores encontrados e a média final ($\mu = 574\text{mm}$) no primeiro experimento. Aplicando esses valores na Equação 9, tem-se:

$$n = \frac{2,57^2 * 14,38^2 * 256}{35 * (255) + 2,57 * 14,38} = 39,12 = 40 \text{ amostras}$$

Com base em Martins e Domingues (2011), para a definição do número de amostras necessárias, dentro de uma população finita, deve-se usar o maior valor de amostras encontradas. Ou seja, para os testes de verificação das medidas antropométricas tridimensionais, deste trabalho, serão usadas 40 amostras dentro do grupo analisado no primeiro experimento. Assim, tem-se 99% de confiabilidade para o resultado que será apresentado, dentro do experimento inicial apresentado nesta pesquisa.

Conhecendo o número de amostras, é empregado o banco de dados cadastrados nesta tese, gerada com as informações das amostras do primeiro experimento, e contatá-las para o experimento com escaneamento tridimensional.

Foram chamadas pessoas aleatórias, não buscando um grupo ou um nicho específico das amostras iniciais.

4.2.2 Tarefa 2.2: Preparação das amostras

Como descrito no capítulo 3 deste trabalho, primeiramente a amostra contatada se deslocada até o Laberg (Laboratório de Ergonomia e Usabilidade) da UFPR para iniciar o procedimento.

Primeiramente, a pessoa assina o outro termo de consentimento deste experimento que está no APÊNDICE 3. Em seguida, essa pessoa a ser analisada vestirá uma touca de material poliamida, mais conhecida como *nylon*, para que possa comprimir o cabelo junto ao seu couro cabelo, eliminando possíveis erros de medição. Essa touca tem uma espessura desprezível para esse estudo e será usada a mesma touca para todas as amostras. Ela é da cor azul e com alguns *targets*, alvos, que facilitam a leitura do *scanner* 3D. Esse procedimento diminui possíveis erros. A Figura 47 demonstra o ambiente, o qual será explicado na sequência.

Após o procedimento descrito anteriormente, o sujeito é posicionado sentado em uma cadeira giratória, permitindo assim o procedimento de escaneamento descrito na seção seguinte. A operação de escaneamento tridimensional conduzido neste experimento, demonstrando o equipamento, o ambiente e a pessoa sendo escaneada são vistos na Figura 47.



Figura 47: Escaneamento 3D da Cabeça
Fonte: O Autor (2014)

4.2.3 Tarefa 2.3: Escanear a região superior da cabeça humana

Como descrito anteriormente, no procedimento de escanear a cabeça humana será utilizado o que Karbacher *et al.* (2001) sugere, em que o início é a construção do modelo geométrico 3D através de uma malha. Essa malha é concebida através do escaneamento onde é gerada, através de uma nuvem de pontos, a ligação desses em milhares de planos, chamados de malha.

A Figura 48 mostra a construção dessa malha no próprio programa do *scanner ZCorp*. Nota-se que a figura ao fundo é o modelo da cabeça escaneada. Essa malha gerada já está com formato de faces, ou seja, preenchida na cor azul que é a mesma da touca usada pela amostra escaneada.

É importante destacar que a operação de escaneamento do sujeito, com o equipamento em questão, levou aproximadamente 15 a 20 minutos por amostra.

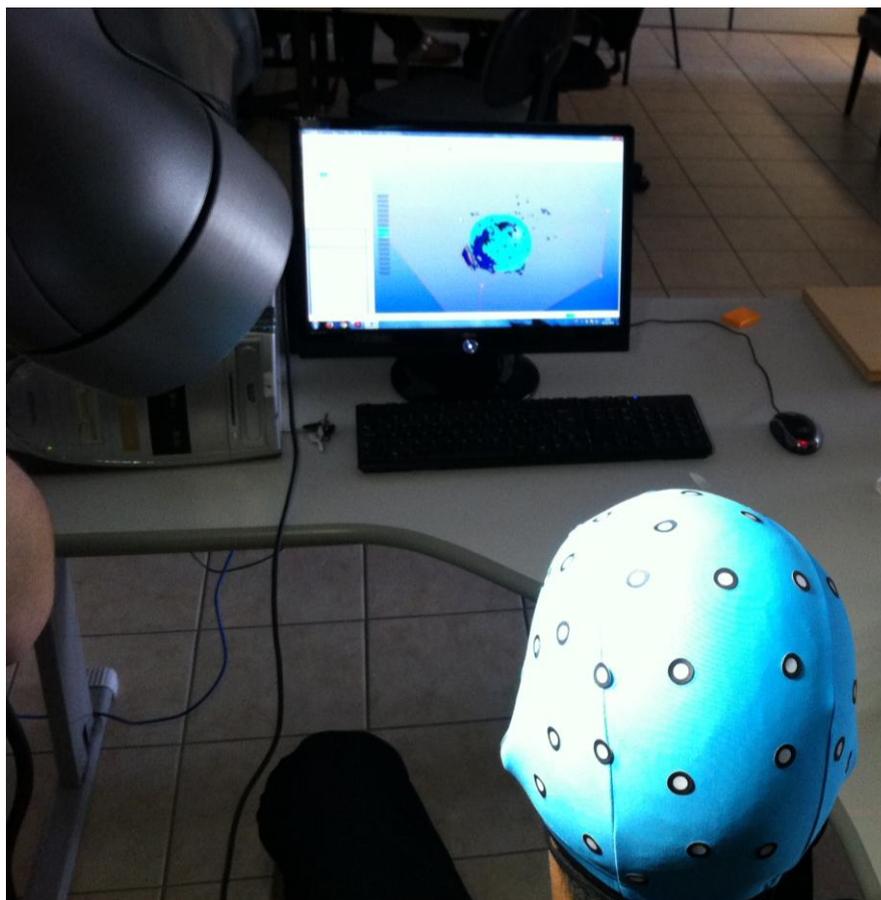


Figura 48: Operação de Escaneamento da Cabeça Humana.
Fonte: O Autor (2014)

A partir do modelo 3D da Figura 48, é necessário exportá-lo, em formato .stl, para um *software* CAD ou outro que possa fazer algumas análises. Esse procedimento será tratado na próxima seção.

4.2.4 Tarefa 2.4: Tratar a imagem e transformá-la num modelo 3D em sistema CAD

Conforme apresentada no detalhe da Figura 45, a imagem da cabeça humana escaneada gera impurezas. Essas são formas de ruídos nos quais qualquer imagem é gerada, que não condiz com as necessidades do experimento, e devem ser removidas. Para isso, neste experimento foi empregado o programa 3Ds Max, utilizado para importar o modelo tridimensional do escaneamento e tratado para a remoção de impurezas e fazer análises dimensionais. Um melhor detalhe dessas impurezas a serem removidas está demonstrado na Figura 49.

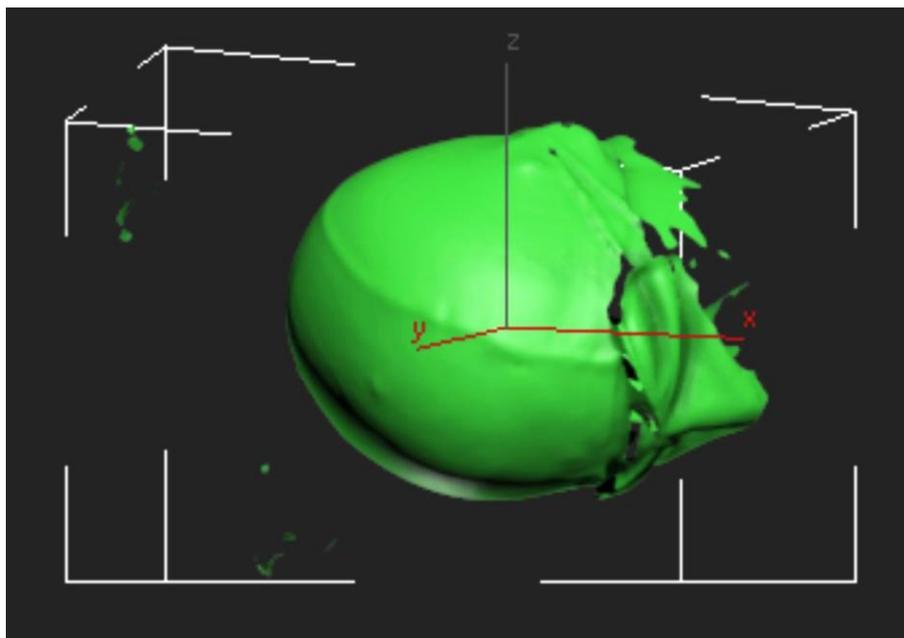


Figura 49: Modelo importando no 3Ds Max e detalhes das impurezas.
Fonte: O Autor (2014)

Para dar início ao processo de limpeza dessa imagem (Figura 49) é necessário converter o modelo importado em malha poligonal editável, no programa 3Ds Max. Para isso, é necessário habilitar a opção, conforme demonstrado na Figura 50.

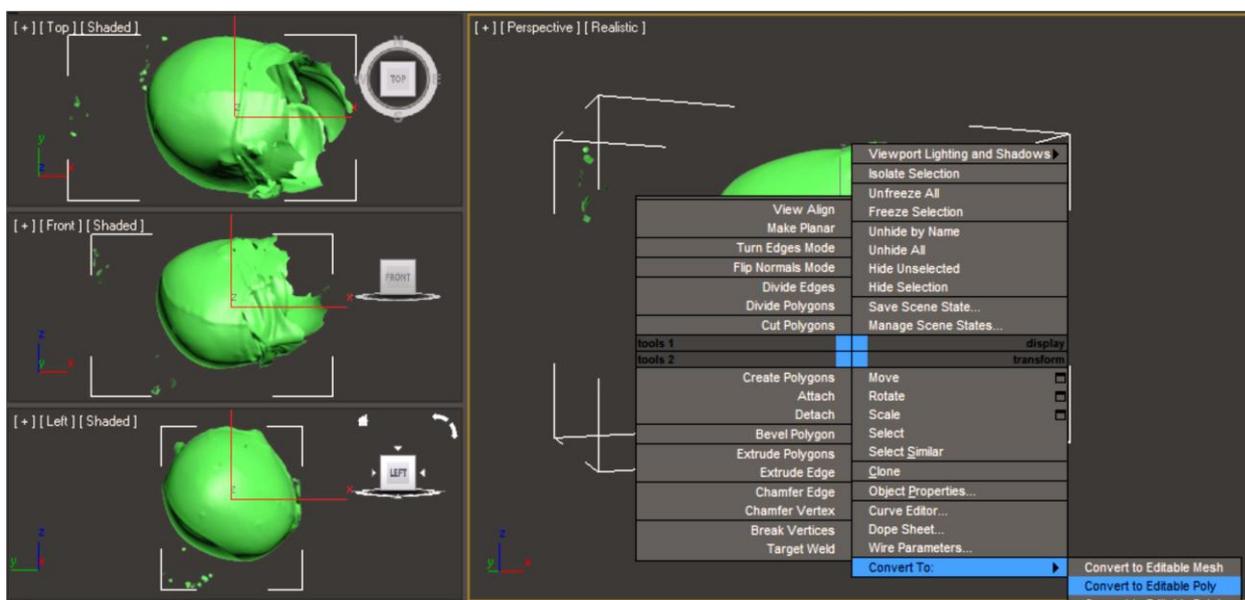


Figura 50: Ajuste para conversão em malha editável no 3Ds Max.
Fonte: O Autor (2014)

Assim, é possível começar a remover as impurezas do escaneamento, conforme demonstrado na Figura 51.

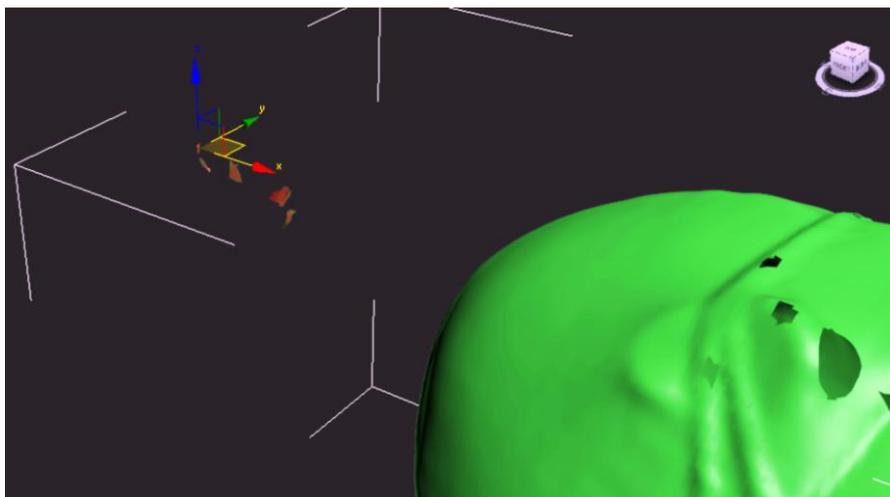


Figura 51: Detalhes de regiões com impurezas e falhas.
Fonte: O Autor (2014)

Nota-se na Figura 51 que próximo ao eixo de coordenadas há impurezas que são facilmente removidas no programa empregado. Também, dependendo do escaneamento, pode haver falhas no próprio modelo. Nesse caso, o modelo escaneado deve ser verificado, pois caso seja numa região onde não será analisado, como na região dos olhos, não precisa ser corrigido. Caso contrário, devem ser fechadas essas superfícies no programa.

Dessa maneira, o modelo escaneado fica da forma que está sendo apresentado na Figura 52, sem impurezas e falhas no modelo 3D.

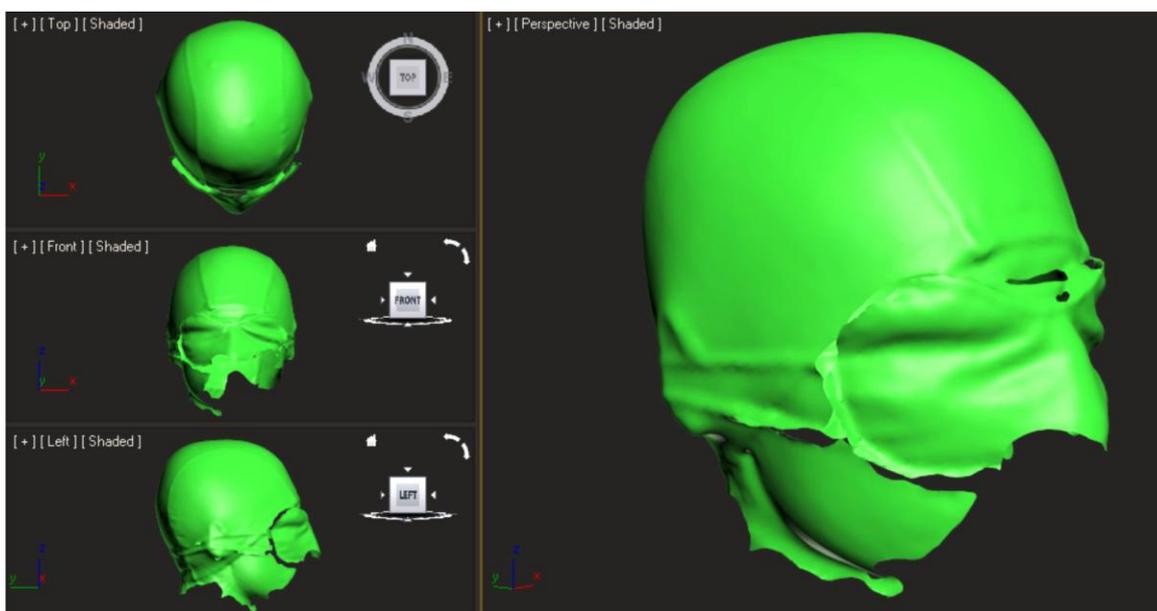


Figura 52: Modelo após limpeza de impurezas.
Fonte: O Autor (2014)

Entretanto, ainda nessas imagens é notório que muitas das regiões demonstradas na Figura 52 não serão usadas para as análises deste trabalho. Dessa forma, é necessário fazer outras limpezas nos modelos para deixarem apenas as regiões que serão usadas para análise nesta tese.

Um exemplo de limpezas de regiões que não serão usadas neste trabalho está sendo demonstrado na Figura 53. Na cor alaranjada, a região que será removida.

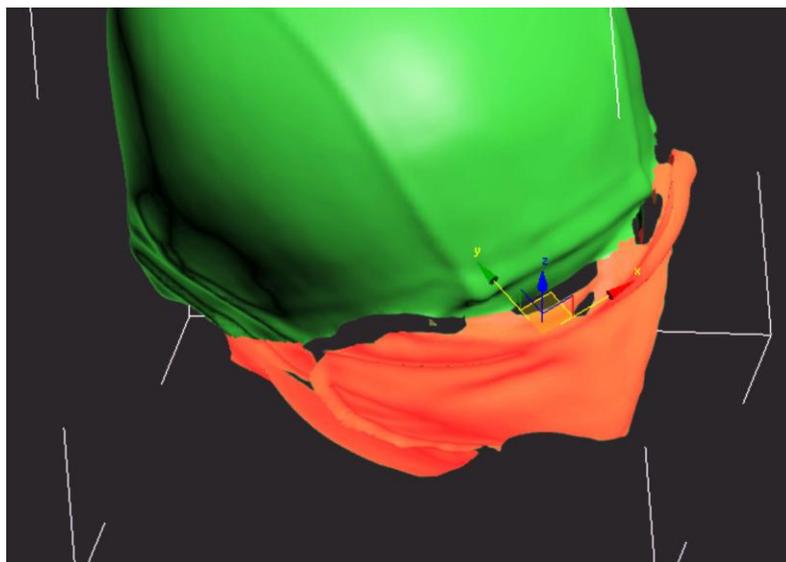


Figura 53: Modelo sendo preparado para as análises finais.
Fonte: O Autor (2014)

Após os tratamentos de limpezas da imagem, para iniciar as análises dimensionais, é necessário inserir planos para posicionar o modelo geométrico no espaço. Para isso, o modelo tratado, semelhante ao resultado após os tratamentos realizados e apresentados na Figura 53, é passado por uma sequência que será explicada a seguir.

Primeiro é usada a imagem de perfil, a mesma usada nas análises dimensionais de fotogrametria, e copiada no ambiente do modelo escaneado e tratado. Assim, como a foto é exatamente do perfil da amostra, pois o mesmo está posicionado no gabarito deste experimento, é rotacionado o modelo até se enquadrar com mesmo perfil. Para isso é gerado um plano de perfil da amostra. Um exemplo do procedimento explicado acima está sendo representado na Figura 54.



Figura 54: Imagem da fotogrametria com o modelo 3D sobrepostos.
Fonte: O Autor (2014)

É possível ver na Figura 54 que a foto do sujeito está no plano de fundo (cor amarela) e, na cor azul, encontra-se o modelo tridimensional da mesma cabeça. Assim, pode-se posicionar o modelo geométrico para um ponto conhecido no espaço. Esse mesmo princípio de posicionamento é empregado para a posição do perfil posterior da pessoa, para obter um posicionamento no plano ortogonal.

O posicionamento espacial do modelo tridimensional da amostra encontra-se na Figura 55, e ao fundo, observa-se as imagens para os ajustes de posicionamento.



Figura 55: Modelo sendo preparado para as análises finais.
Fonte: O Autor (2014)

Observando em detalhes as imagens da Figura 55, percebe-se um pequeno ressalto entre a imagem da fotogrametria com a do escaneamento 3D. Essa protuberância, que pode ser oriunda do cabelo do sujeito, por estar maior ou mal posicionado sob a touca, não excede 1,5mm de altura. E para fins dimensionais será usado apenas o modelo escaneado que, apresenta maior precisão. Essa variação pode decorrer das datas dos experimentos, que duraram, aproximadamente, oito meses entre as tarefas 1 e 2.

Todo o procedimento tratado nesta seção foi repetido para todas as 40 amostras, sendo necessário para manter a homogeneidade de tratamento das variáveis.

Destaca-se, aqui, o tempo para o tratamento das imagens demonstradas nesta seção. Para o dimensionamento das imagens conforme a sua escala, levou aproximadamente 20 minutos para se obter o modelo 3D da região superior da cabeça humana.

Após os 40 modelos terem sido escaneados, tratados e posicionados corretamente no espaço virtual, foi possível fazer algumas inferências dimensionais nos modelos 3D de forma particular. Essas análises das imagens foram feitas de forma comparativa, onde, sobrepondo-as sob o mesmo plano e coordenada foi possível fazer uma pré-visualização. Essas análises serão discutidas na sequência deste trabalho, pois ambas trouxeram subsídios aos resultados apresentados.

4.2.5 Tarefa 2.5: Analisar e comparar as imagens escaneadas no programa CAD

Esta tarefa consiste em usar as imagens tratadas do item anterior e analisá-las quanto ao seu dimensionamento. Para isso serão usadas imagens da região superior das cabeças de forma sobrepô-las em relação a um posicionamento virtual conhecido, que neste caso é a simulação das imagens dentro do capacete balístico. Essas comparações puderam ser feitas separando-as por tamanhos de capacetes, como tamanhos P, M e G.

Este tipo de agrupamento permite então que aglutinem-se tamanhos de cabeças que usariam o mesmo tamanho de capacete balístico, sendo possível verificar variações dimensionais dessas cabeças.

Um exemplo desta análise está sendo demonstrado na Figura 56, na qual estão sobrepostas duas cabeças que se enquadram no padrão de cabeça de tamanho M,

usando-se como referência o capacete balístico PASGT. Essas distintas cabeças estão diferenciadas com as cores azul e amarela, ambas apresentadas com certa transparência para melhor visualização.

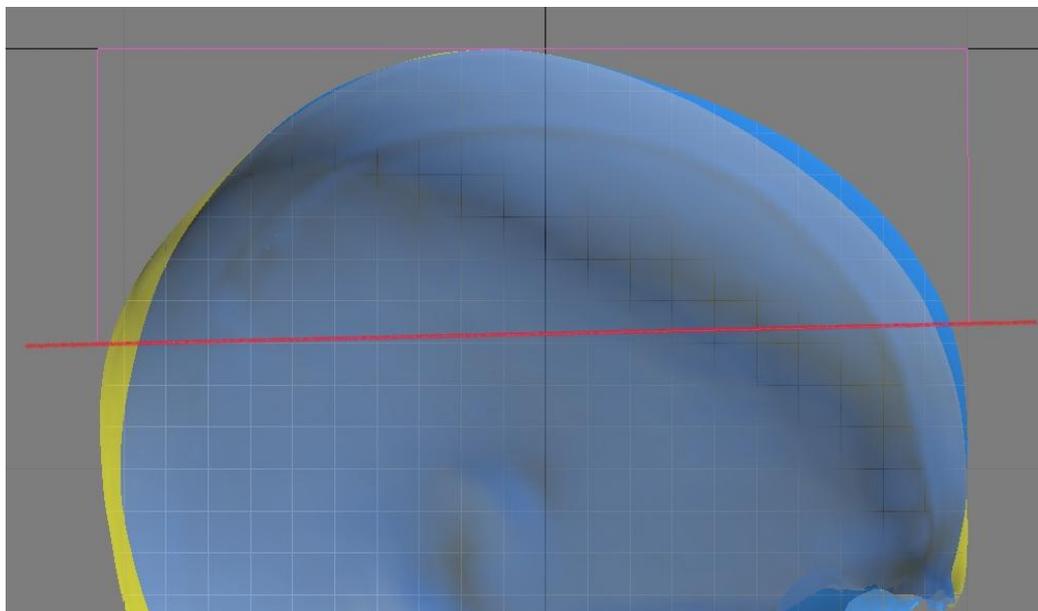


Figura 56: Sobreposição de imagens de duas cabeças para o uso de capacete tamanho M.
Fonte: O Autor (2014)

Visualizado na Figura 56, verifica-se que o formato das cabeças é diferente. Para fins didáticos e de representação, foi inserida nessa figura uma linha, na cor vermelha, que foi projetada na posição da carneira, item de fixação do capacete balístico na cabeça humana.

É importante relembrar, como já descrito neste trabalho, que a única forma de selecionar o tamanho de capacete balístico é através da medida de maior diâmetro da cabeça do usuário, que é o perímetro que passa entre a glabella e a região occipital externa. Onde, também, deve ser a maior distância do comprimento lateral da cabeça, pois é a medida entre essas mesmas regiões, quando o sujeito está de perfil.

Entretanto, a Figura 56 deixa claro que a linha de fixação da carneira não é a região de maior comprimento da cabeça. Ou seja, para determinar o tamanho do capacete é usada uma referência que muitas vezes não condiz com a real situação antropométrica do sujeito.

4.2.6 *Etapa 2.6: Documentar a influência das medidas antropométricas da cabeça em relação à altura*

Essa etapa do trabalho faz com que se gere uma tabela apresentando todos os valores das variáveis antropométricas da cabeça humana. Esses valores podem ser correspondidos através das máximas medidas de diâmetros, dos comprimentos do perfil e frontal, assim como a sua altura no uso de capacete balístico. Essas medidas no plano tridimensional podem ainda prover benefícios simulando-se o uso de dado capacete.

Essa análise mais detalhada será demonstrada no próximo capítulo que corresponde aos resultados encontrados nesta pesquisa.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são expostos os resultados dos experimentos realizados e apresentados no capítulo anterior deste documento. Serão descritos os procedimentos para a obtenção do diâmetro máximo da cabeça e o seu diâmetro, quando vestido o capacete balístico PASGT, assim como outras variáveis dimensionais pertinentes ao projeto do capacete. Também serão comparados os modelos tridimensionais sobrepostos. Essas análises serão vistas nas seções a seguir.

5.1 ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA POR ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAL

A partir das imagens escaneadas e tratadas, demonstradas no capítulo anterior, foram feitos alguns tratamentos e preparos da imagem para uma análise dimensional do diâmetro da cabeça. Utilizou-se o mesmo procedimento das análises feitas com auxílio de fita antropométrica.

Para essa análise dimensional, será utilizada a imagem tratada semelhante ao procedimento de posicionamento espacial, apresentado na Figura 55. A imagem foi posicionada de perfil e inserido um paralelepípedo na região de máximo comprimento, conforme demonstrada na Figura 57.

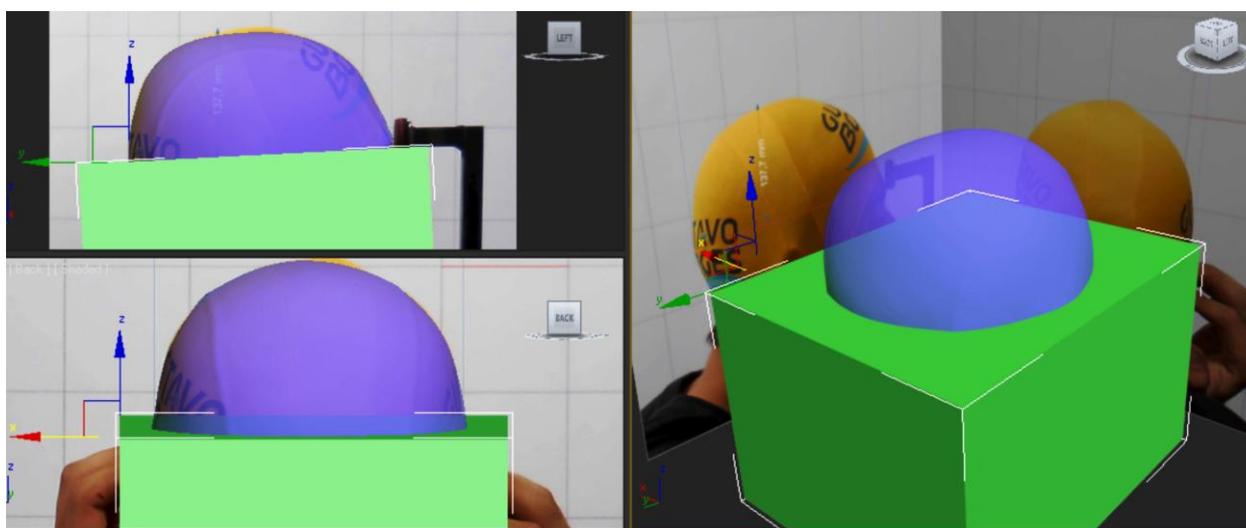


Figura 57: Modelo de um paralelepípedo inserido junto ao modelo da cabeça escaneada.
Fonte: O Autor (2014)

Posicionado corretamente, o modelo do paralelepípedo com a imagem da cabeça escaneada, utiliza-se a remoção de um sólido pré-definida num ambiente CAD, e remove-se todo o modelo que está em verde na Figura 57, sobrando apenas o modelo da cabeça da pessoa escaneada até a região de maior diâmetro. Esse modelo está representado na Figura 58.

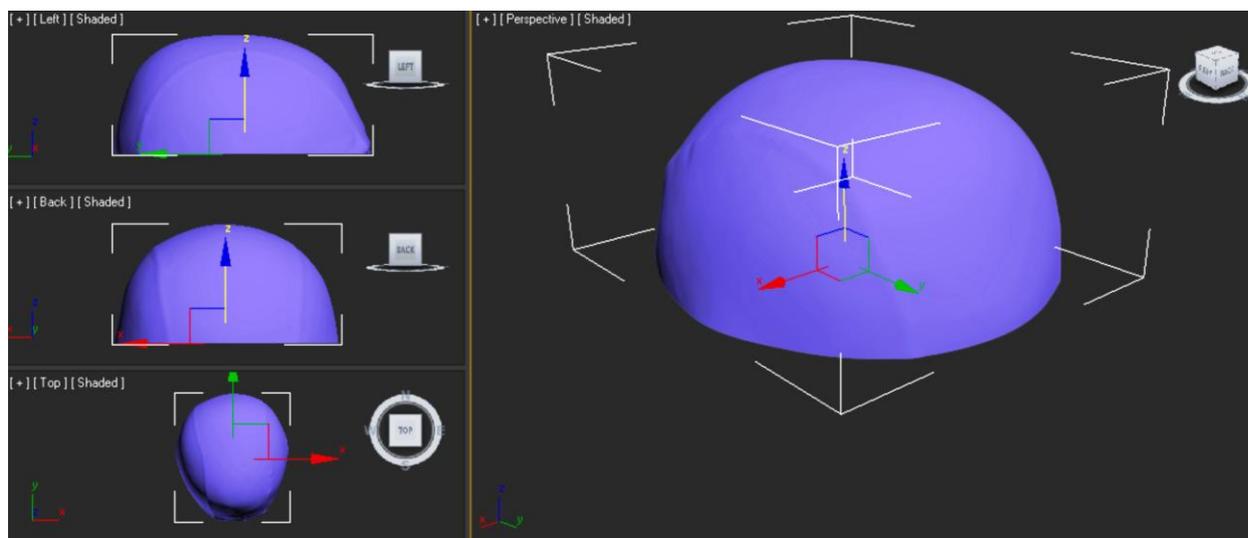


Figura 58: Modelo da cabeça escaneada até o seu diâmetro máximo.
Fonte: O Autor (2014)

Dessa forma é possível verificar, através de uma análise no próprio programa 3Ds Max, o diâmetro máximo, que deverá ser igual ou muito próximo a medida feita com a fita antropométrica apresentada no capítulo anterior deste trabalho. Essa análise pode ser vista na Figura 59.

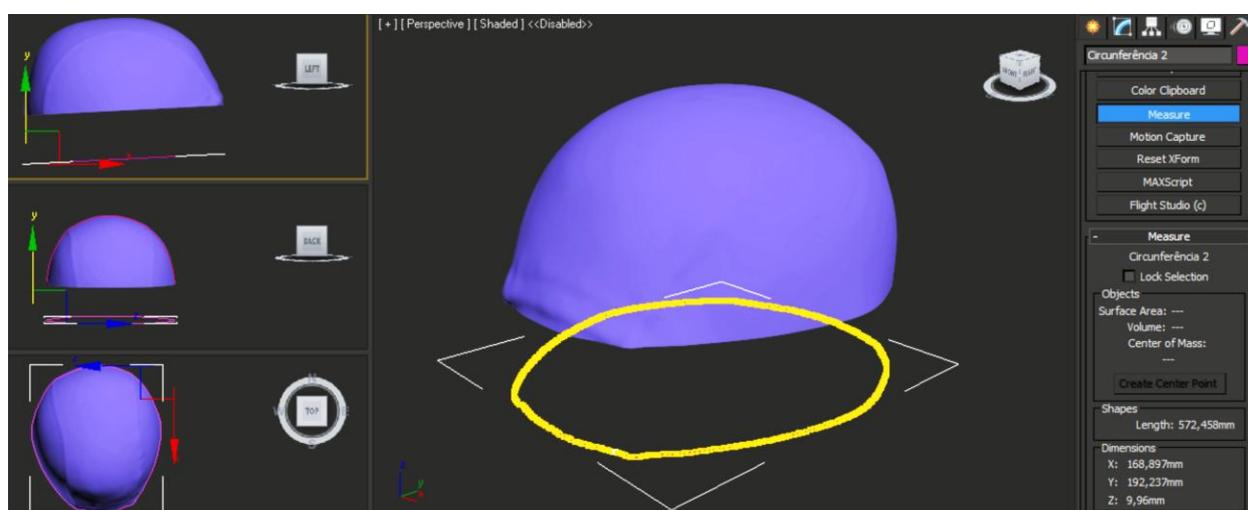


Figura 59: Análise do diâmetro máximo da cabeça escaneada.
Fonte: O Autor (2014)

Nota-se na Figura 59 que o diâmetro máximo encontrado desta cabeça foi de 572,46mm. Ao verificar essa mesma medida realizada com a fita antropométrica dessa amostra, o valor era 569mm. Ou seja, esses valores estão bem próximos (menos que 1% de diferença). Isso demonstra que esse método de trabalho e análise está correto.

A mesma análise demonstrada anteriormente foi realizada para a verificação da altura da cabeça humana no uso de capacete balístico e pode ser vista na Figura 60.

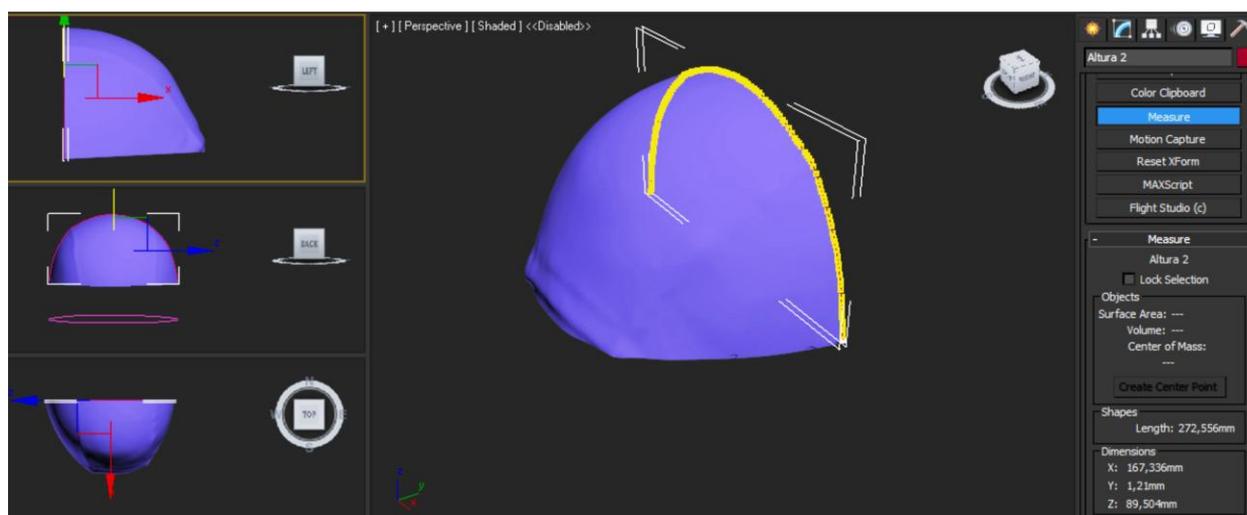


Figura 60: Análise da altura da cabeça escaneada.
Fonte: O Autor (2014)

Como visto na Figura 60, foi utilizada a imagem tridimensional da cabeça, inserida-a no plano de perfil e recortada a metade da imagem. A mesma forma da análise dimensional por fotografia.

O valor da altura encontrado na Figura 60 corresponde ao eixo “Z” que é 89,50mm. A mesma medida com o método de análise por fotografia vista no capítulo 4 deste trabalho, identificou um valor de 92,26mm. Ou seja, esses valores estão próximos (3% de diferença). Isso demonstra que esse método de trabalho e análise está correto.

As diferenças encontradas podem ser devido ao fato de que como as análises foram conduzidas em períodos diferentes, aproximadamente oito meses de diferença, o cabelo da pessoa analisada pode estar diferente. Entretanto, como essas diferenças não excederam o limite de 5% de erro, esses serão desconsiderados.

Um resumo dos valores antropométricos encontrados nesta etapa do trabalho pode ser visto na Tabela 27. Nela são demonstrados todos os valores máximos, como diâmetro, perfis frontal e lateral, a altura da cabeça e, até mesmo, o valor do índice

cefálico. Todos os valores das 40 amostras necessárias, apontadas como fundamental para o apontamento estatístico dos resultados, estão expostos na Tabela 27.

Quanto ao tempo para as análises dimensionais da cabeça humana, através do modelo tridimensional, o tempo para essa análise dura-se, em média, 20 minutos.

Tabela 27: Valores das principais medidas antropométricas da cabeça com scanner 3D (mm).

Num.	Circunferência	Perfil Lateral	Perfil Frontal	Índice Cefálico	Altura	Tamanho Capacete
1	540,1	185,6	150,6	81,1	85,2	M
2	568,5	186,8	157,5	84,3	79,4	G
3	577,6	190,6	164,2	86,1	83,4	G
4	584,6	202,1	170,4	84,3	86,6	G
5	576,5	190,8	161,0	84,4	80,5	G
6	573,6	194,8	172,7	88,7	86,9	G
7	558,4	191,8	159,4	83,1	94,8	G
8	595,6	200,3	172,5	86,1	88,7	GG
9	570,4	199,3	157,0	78,8	83,0	G
10	590,1	203,7	168,4	82,7	85,5	GG
11	595,1	200,6	173,1	86,3	89,1	GG
12	576,7	194,8	160,7	82,5	84,4	G
13	580,7	196,5	167,2	85,1	87,4	G
14	579,5	196,7	167,7	85,3	85,4	G
15	555,4	194,6	158,3	81,3	88,7	G
16	544,8	192,1	150,7	78,4	80,6	M
17	556,7	186,5	162,2	87,0	78,5	G
18	577,6	196,8	161,3	82,0	84,3	G
19	582,3	189,5	177,3	93,6	84,1	GG
20	582,0	200,7	161,8	80,6	87,7	GG
21	586,2	198,6	159,1	80,1	82,8	GG
22	590,8	200,0	168,1	84,1	87,4	GG
23	570,5	190,3	162,8	85,5	83,4	G
24	580,8	192,7	160,8	83,4	88,3	G
25	563,3	190,8	159,4	83,5	82,0	G
26	552,1	198,6	149,5	75,3	84,3	G
27	572,4	192,2	168,9	87,9	89,5	G
28	591,5	202,4	160,9	79,5	79,8	GG
29	570,5	191,5	165,5	86,4	73,5	G
30	588,4	190,9	171,0	89,6	79,2	GG
31	558,4	196,5	153,3	78,0	72,4	G
32	575,6	188,1	167,0	88,8	100,1	G
33	580,0	200,6	164,6	82,1	83,2	G
34	580,6	192,1	163,9	85,3	81,0	G
35	576,6	191,3	171,4	89,6	78,7	G
36	579,0	192,6	165,2	85,8	84,2	G
37	579,8	199,6	164,3	82,3	83,1	G
38	579,7	195,5	166,7	85,3	87,2	G
39	581,8	197,0	167,9	85,2	87,1	G
40	592,8	203,1	161,5	79,5	80,2	GG

Fonte: O Autor (2014).

Nota-se ainda que na Tabela 27 a última coluna corresponde ao tamanho de capacete balístico que o sujeito usaria. Com essa tabela é possível comparar os valores quando analisado com a altura da cabeça. Porém, na região de assentamento do capacete, o que será demonstrado a seguir.

5.2 ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA NO USO DE CAPACETE BALÍSTICO PASGT

A partir das imagens tratadas da seção anterior, serão produzidos alguns tratamentos para uma análise dimensional quando usado um capacete balístico do modelo PASGT. Esse novo tratamento é baseado no assentamento do artefato, em que a fixação desse é feita por uma carneira. Um detalhamento desse procedimento é exposto a seguir.

Ao usar a figura bidimensional do Capacete PASGT tamanho médio, o mesmo da Figura 18 deste trabalho, e alinhando a imagem tridimensional da cabeça analisada em seu perfil, é possível verificar como a cabeça do ser humano comporta-se, estaticamente, dentro do capacete. A Figura 61 demonstra esse posicionamento.

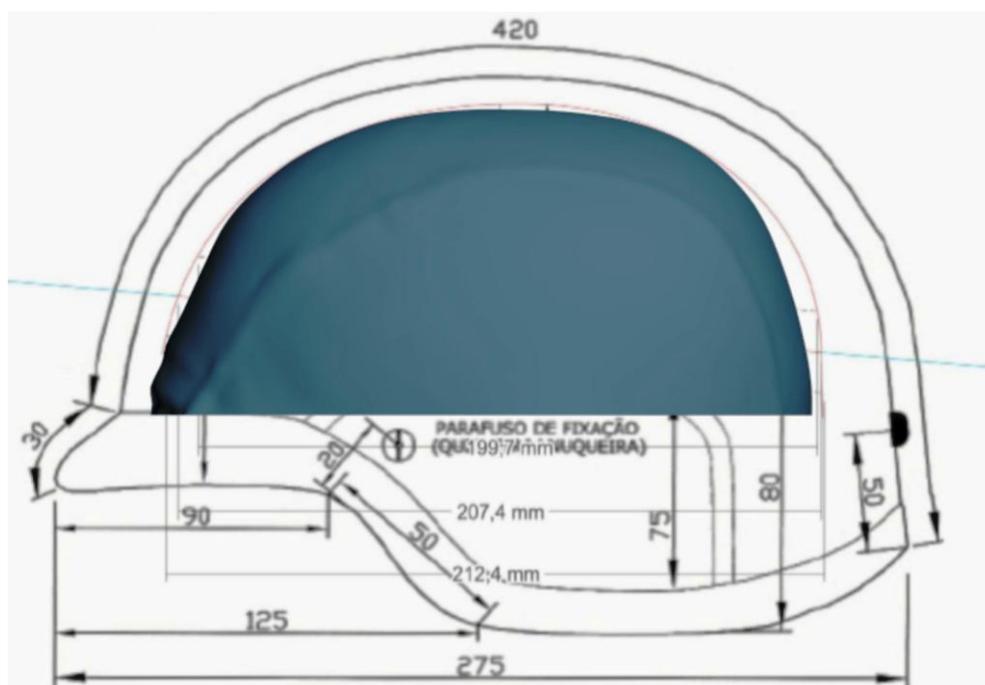


Figura 61: Análise do posicionamento da cabeça com o diâmetro máximo no capacete.
Fonte: O Autor (2014)

Observando a Figura 61, nota-se que realmente a análise da cabeça dentro do capacete balístico tem coerência. Pois a cabeça humana fica bem alojada dentro desse artefato. Entretanto, ao observar essa figura, nota-se uma linha azul ao fundo que representa a linha de fixação da carneira. E, visivelmente, essa linha não corresponde à região de maior comprimento e, conseqüentemente, maior diâmetro da cabeça.

Desta maneira, foi utilizada a mesma Figura 61 e acrescentando os pontos de fixação da carneira e destacado a diferença entre essa situação apontada no parágrafo anterior. Essa diferença está destacada na Figura 62.

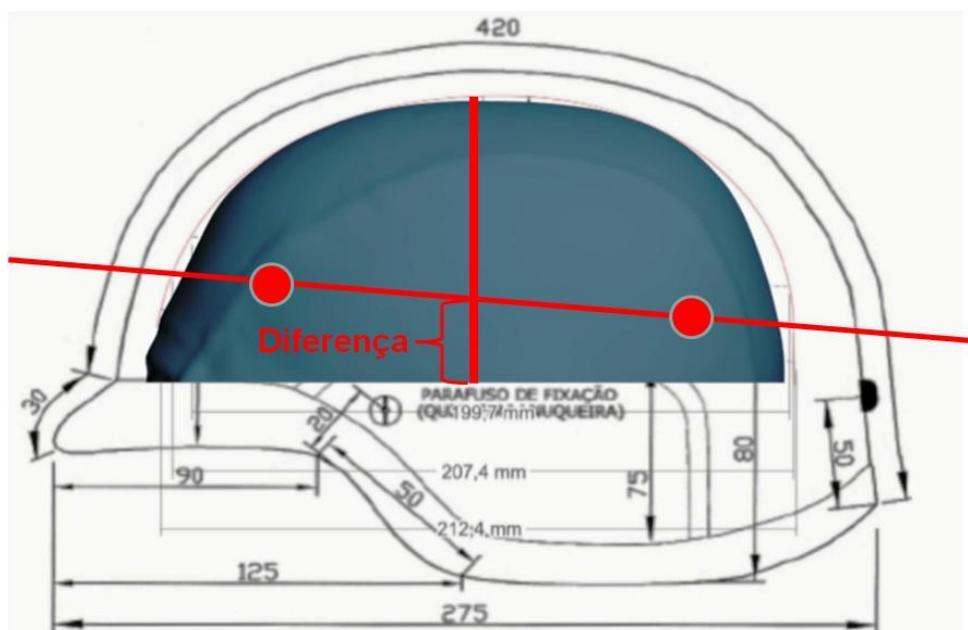


Figura 62: Destaque da diferença entre as alturas.
Fonte: O Autor (2014)

Conforme exposto anteriormente, foi gerada uma nova imagem do modelo tridimensional da cabeça humana, derivadas da Figura 62, onde, foi projetado um plano na linha de fixação do capacete e, toda a parte abaixo dessa linha foi removida. A ilustração dessa situação é vista na Figura 63.

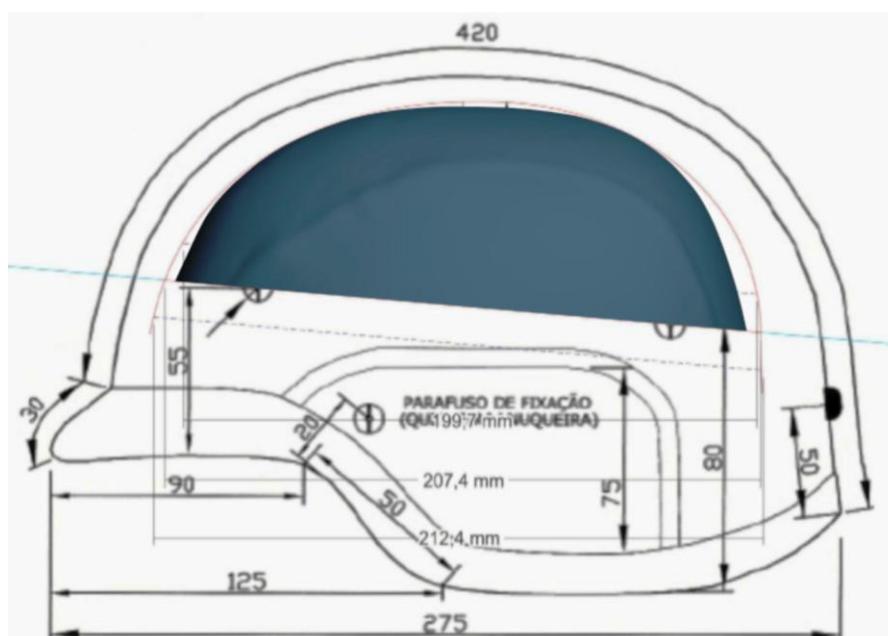


Figura 63: Análise do posicionamento da cabeça na fixação da carneira no capacete.
Fonte: O Autor (2014)

Assim, é possível visualizar a notável diferença das geometrias quando analisado a Figura 61 e comparada com a Figura 63. Para isso, em cada amostra das 40 escaneadas nesta segunda etapa, foi gerado um plano no modelo tridimensional da cabeça, no qual é fixada a carneira, e gerado um novo modelo 3D para uma melhor análise, a qual pode ser vista na Figura 64.

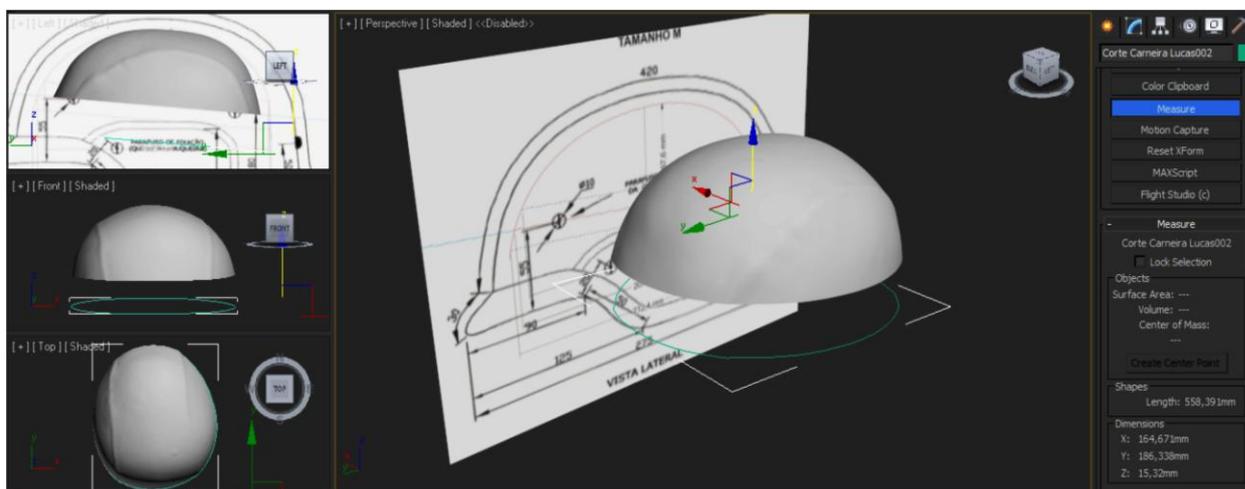


Figura 64: Análise das dimensões da cabeça quando fixa no capacete.
Fonte: O Autor (2014)

Ao analisar o modelo tridimensional exposto na Figura 64, nota-se que os valores encontrados são diferentes quanto ao diâmetro, largura e comprimento da cabeça, dos que demonstrados na Figura 59, quando era usado o modelo com a maior medida do diâmetro e comprimento. Ou seja, em relação ao diâmetro da cabeça, quando apresentada na Figura 59 o valor correspondia a 572,46mm, que equivale ao perímetro que passa entre a glabella e a região occipital externa. Em contrapartida, na Figura 64 o valor do diâmetro é de 558,39mm, que corresponde ao mesmo perímetro da carneira do capacete balístico PASGT. Todas as comparações dos valores para as duas situações apresentadas nas Figuras 59 e 64 estão simplificadas na Tabela 28. Os valores expostos nessa tabela são referentes à mesma amostra.

Tabela 28: Comparações dos valores (mm) da cabeça com diâmetro maior e fixa no capacete.

	Diâmetro	Perfil Lat.	Perfil Fron.	Altura
Maior Diâmetro (mm)	572,46	192,24	168,90	89,5
Região da Carneira (mm)	558,39	186,34	164,67	68,2

Fonte: O Autor (2014).

A variação dos valores encontrada da Tabela 28 é relativamente pequena, o que o ajuste do capacete ao fixá-lo na cabeça conseguiria resolver. Entretanto, essas

variações não são próximas em relação a outras amostras, como no outro caso que pode ser visto a seguir.

Através da medida do máximo diâmetro da cabeça de outro sujeito (amostra) com o valor de 577mm, a mesma usaria o capacete G, mas ao fazer a análise demonstrada neste capítulo, o capacete adequado seria o M, por ter um novo diâmetro de 545mm. Os demais valores antropométricos, neste caso, são demonstrados na Tabela 29.

Tabela 29: Comparações de valores do “sujeito 2” quando está com diâmetro maior e fixa no capacete.

	Diâmetro	Perfil Lat.	Perfil Fron.	Altura
Maior Diâmetro (mm)	577,6	190,6	164,2	83,4
Carneira (mm)	545,0	183,0	157,7	70,0

Fonte: O Autor (2014).

O problema encontrado na Tabela 29 é que pelas medições iniciais do diâmetro e comprimento máximo da cabeça, a amostra analisada usaria o capacete G e, quando foram analisadas as mesmas medidas na posição da carneira do capacete, essas determinariam um capacete menor, tamanho M. Ou seja, se o usuário estivesse com o capacete G, conforme o método tradicional de seleção e dimensionamento, provavelmente ele sofreria desconforto no uso de capacete, pois esse artefato ficaria solto sobre a sua cabeça.

Em seguida, foi conduzido o mesmo procedimento para todas as 40 amostras, do grupo de 256, dos testes iniciais. O procedimento adotado foi o mesmo apresentado nesta seção e exemplificados nas Tabelas 28 e 29. Os valores encontrados neste experimento podem ser vistos no APÊNDICE 5 deste trabalho. Porém, é possível visualizar um resumo da tabela apresentada nesse apêndice 5, a seguir na Figura 61.

Num.	Medidas (mm)	Circunferência	Perfil Lateral	Perfil Frontal	Índice Cefálico	Altura	Tamanho Capacete	Sofre Alteração
1	Máxima	540,1	185,6	150,6	81,1	85,2	M	
	Carneira	532,6	181,1	147,8	81,6	68,2	M	
2	Máxima	568,5	186,8	157,5	84,3	79,4	G	
	Carneira	561,3	182,7	152,7	83,6	70,0	G	
3	Máxima	577,6	190,6	164,2	86,1	83,4	G	
	Carneira	545,0	183,0	157,7	86,2	70,0	M	X
4	Máxima	584,6	202,1	170,4	84,3	86,6	G	
	Carneira	556,3	190,5	164,3	86,2	70,0	M	X
5	Máxima	576,5	190,8	161,0	84,4	80,5	G	
	Carneira	560,3	186,2	157,5	84,6	70,0	G	
6	Máxima	573,6	194,8	172,7	88,7	86,9	G	
	Carneira	550,7	185,3	166,4	89,8	70,0	M	X
7	Máxima	558,4	191,8	159,4	83,1	94,8	G	
	Carneira	531,1	182,1	154,8	85,0	70,0	M	X
	Máxima	595,6	200,3		86,1	88,7	GG	
						72,0		

Figura 65: Parte dos resultados encontrados na Análise 3D exposta no Apêndice 5.

Fonte: O Autor (2014)

A primeira coluna à esquerda refere-se ao número da sequência dos sujeitos. As medidas estão em milímetros e são apresentadas na tabela do Apêndice 5 e exemplificada na Figura 61, duas medidas por sujeito, uma demonstrando os tamanhos máximos do diâmetro e comprimentos da cabeça e, a outra, as dimensões na região da carneira que fixa o capacete na cabeça humana. A coluna denominada tamanho de capacete, refere-se ao tamanho correspondente as dimensões apresentadas em cada situação. Na última coluna é confirmada a situação de alteração ou adequação para o usuário. Ou seja, com as dimensões máximas e na região da carneira, o tamanho do capacete é o mesmo? Em caso negativo é inserido um “X” destacando que o tamanho do capacete não é adequado para o usuário, quando é conferido o tamanho máximo localizado na região de fixação da carneira do capacete.

O tempo para a análise dimensional da cabeça, na região de assentamento do capacete balístico do modelo PASGT, durou aproximadamente 15 minutos.

Verifica-se, na tabela apresentada no APÊNDICE 5, que entre 40 amostras medidas 23 usariam outro tamanho de capacete se houvesse sido não os tamanhos máximos do diâmetro da cabeça e, sim, a região de assentamento do capacete balístico. Isso corresponde a 58%, da população dos 256 amostras iniciais, usariam o capacete balístico de tamanho inadequado, dentro de um nível de confiança de 99%.

Analisando o estudo de desconforto apresentado por Samil e David (2012), onde 54% dos usuários sentem um desconforto na região parietal (região superior) da cabeça, ao usar o capacete balístico sobre uma esteira a 8km/h, compara-se com o valor encontrado nesta pesquisa, onde 58% dos sujeitos analisados usariam o capacete balístico de tamanho inapropriado. Ou seja, agrega-se ainda mais a certeza que os usuários destes capacetes balísticos, modelo PASGT, usam o tamanho inadequado de capacete nos campos de batalha.

Para uma visualização das medidas e de possíveis variações dimensionais, a seguir serão apresentadas imagens para melhor entendimento da situação.

5.3 Análise das Diferenças do Tamanho da Cabeça no Uso de Capacete Balístico

Para melhor explicar a ocorrência de inadequações dos tamanhos de capacetes balísticos, procurou-se selecionar os resultados de três sujeitos que usariam um mesmo tamanho de capacete, onde, neste caso selecionou-se o tamanho G.

Entretanto, quando analisadas as medidas na região da carneira, verifica-se que um sujeito deveria usar o capacete “M”, enquanto o outro poderia usar “M” ou “G” e a última apenas o “G”. Essa comparação pode ser vista na Figura 66.

Para uma melhor distinção dos três modelos de perfil de cabeças no modelo tridimensional, utilizou-se uma representação de cores distintas para cada perfil. Sendo utilizados as cores cinza, marrom e verde. Desse modo, pode-se distinguir as áreas de interferência e predominância.

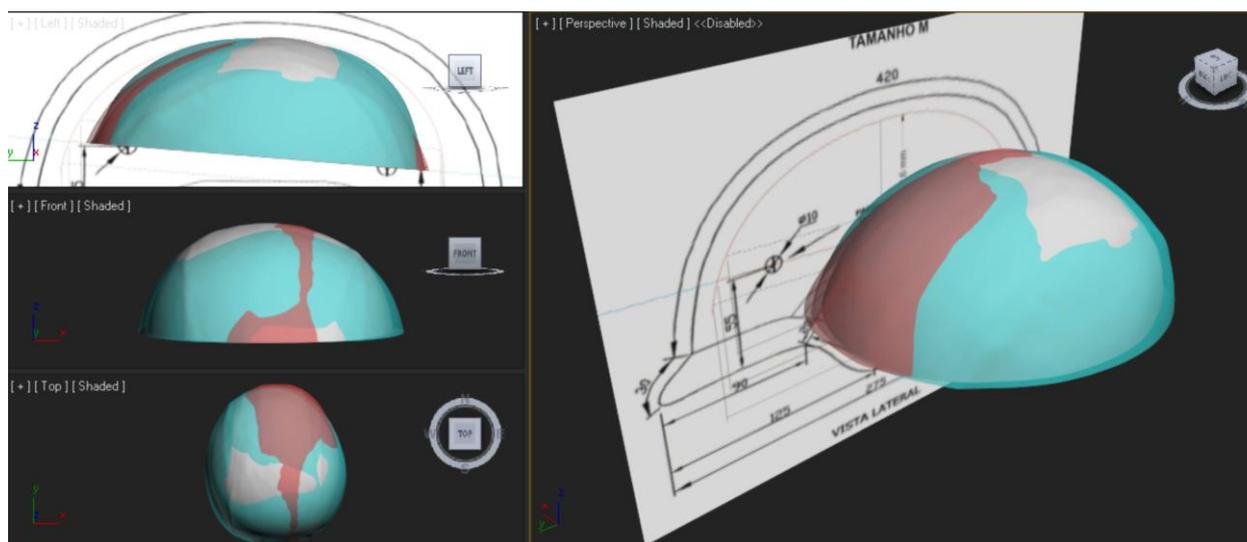


Figura 66: Sobreposição de três imagens no uso de capacete balístico.
Fonte: O Autor (2014)

Essa representação do perfil sobreposto, quando projetado nos planos ortogonais, visualiza-se o plano da carneira. Esta representação demonstrada na Figura 67, onde é possível visualizar a diferença entre os diâmetros das cabeças para essa situação, refere-se a valores da cabeça da cor cinza de 571,5mm, marrom com 556,5mm e verde com 531.1mm. Ou seja, uma diferença de até 40,4mm.

Como visualizado na Figura 67, três perfis da parte superior das cabeças apresentam diâmetros diferentes conforme descrito anteriormente, mas, lembrando que todos usariam o mesmo tamanho de capacete, que neste caso seria o tamanho G, pelo critério do maior diâmetro e comprimento, conforme o sistema atual de dimensionamento. A Figura 68 detalha essas variações do perfil, pois se trata de uma imagem normal ao plano que está sendo seccionada a cabeça na região da carneira.

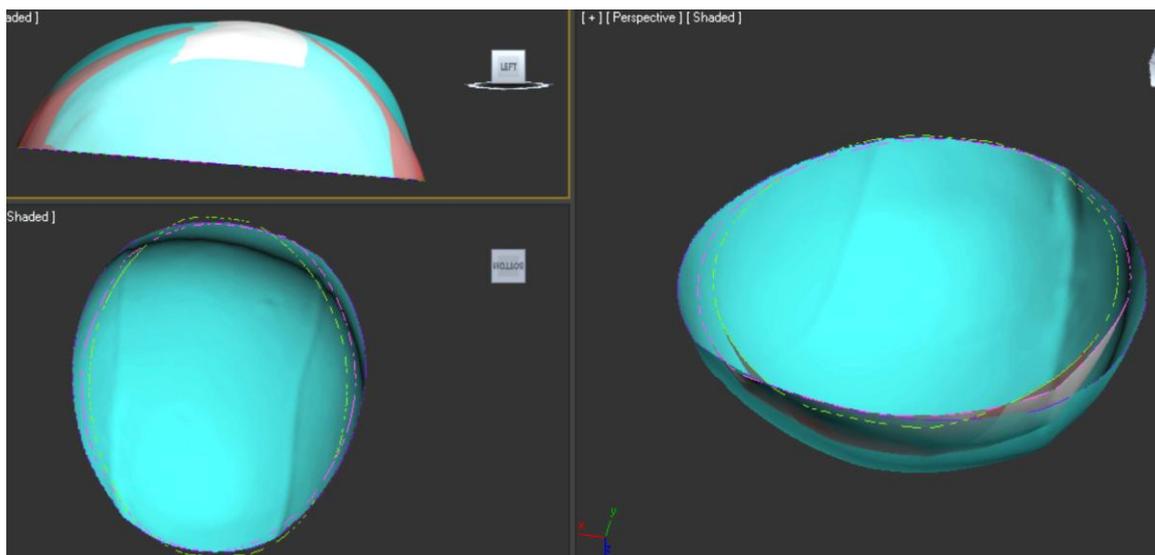


Figura 67: Vistas da sobreposição de 3 imagens.
Fonte: O Autor (2014)

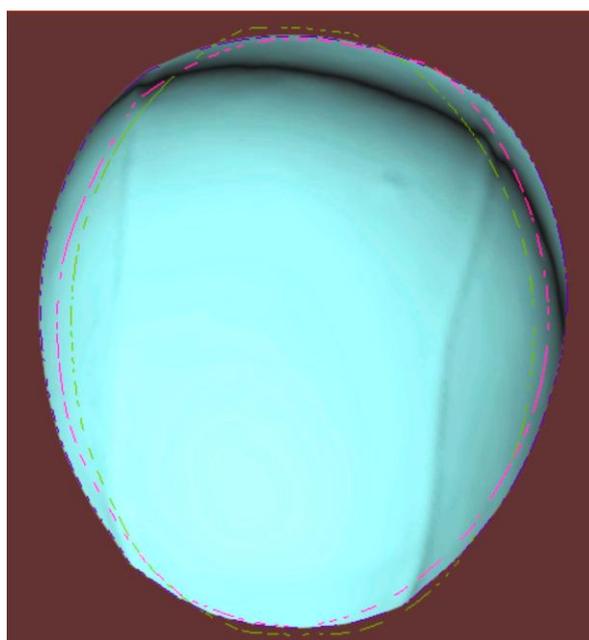


Figura 68: Vista inferior da sobreposição de três imagens e o contorno do diâmetro das cabeças.
Fonte: O Autor (2014)

Percebe-se, na Figura 68, que todas as três imagens das cabeças que usariam o mesmo tamanho de capacete (G) têm seus perfis diferentes. É possível perceber que na cabeça com o contorno em verde, o comprimento é maior que a largura proporcionalmente às outras cabeças, aproximadamente 11mm. Também, destacam-se a diferença máxima dos diâmetros de 40,4mm.

Dessa maneira, chega-se, como resultado dessas análises, que a forma que está sendo medida a cabeça humana para dimensionar o tamanho do capacete

balístico não é apropriada. Dessa maneira, sugere-se que para a determinação do tamanho correto de capacetes balístico para o usuário é necessária a medição do diâmetro da cabeça na altura correta.

Contudo, é possível concluir que através dos experimentos realizados nesta pesquisa, que o método atual para o dimensionamento do capacete balístico não é o mais apropriado. Desta forma, destacam-se algumas sugestões para o projeto de um capacete balístico que tenha a posição da carneira mais para baixo do que é atualmente, pois a diferença entre a altura média do capacete e a do homem é de aproximadamente 25mm. Outra sugestão é propor um método de dimensionamento do diâmetro da cabeça, através de um gabarito com o mesmo perfil interno de um capacete balístico, com a altura central de 68mm.

Com isso, pode-se dizer que através das análises dos experimentos, os objetivos inicialmente previstos foram alcançados. Um melhor esclarecimento deste fechamento pode ser visto na próxima seção deste trabalho.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais relativas à análise antropométrica da cabeça humana no uso de capacete balístico. Nesta apresentação, inicialmente, são descritos comentários gerais sobre o trabalho desenvolvido e, na sequência, são abordados aspectos específicos às análises dimensionais da cabeça, conclusões sobre o trabalho e recomendações para realizações de trabalhos futuros.

6.1 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES GERAIS

A análise antropométrica da cabeça humana para o uso de capacete balístico constituiu o objetivo principal deste trabalho. Dessa forma, procurou-se demonstrar a importância e as implicações da análise antropométrica de medida atualmente não existente. Isso pelo fato de que, o dimensionamento inadequado de artefatos para determinada população, pode gerar grandes problemas à humanidade quando se refere ao grande índice de mortes em campos de batalha. Dessa forma, é possível gerar dispositivos, muitas vezes simples, que sanarão a repetição de futuros problemas.

Outro aspecto relevante foi a análise antropométrica da cabeça humana com vários métodos. Eles passaram por análises unidimensionais, no caso de fita antropométrica e paquímetro; bidimensionais com fotogrametria e tridimensionais com *scanner* 3D. Porém, é importante salientar que nas análises 2D e 3D, o uso de ferramentas computacionais foi fundamental para determinação das corretas medidas.

Aliado a todo esse contexto, o uso de uma metodologia para o encadeamento das sequências de atividades a serem feitas, foi muito importante no decorrer deste trabalho.

6.2 CONCLUSÕES DA ANÁLISE ANTROPOMÉTRICA DA CABEÇA HUMANA NO USO DE CAPACETE BALÍSTICO

A análise antropométrica apresentada nesta tese mostra-se adequada para se utilizar no dimensionamento dos tamanhos de capacetes balísticos. A mesma foi

originada a partir de análises atuais das dimensões da cabeça humana expostas na literatura, realizado um estudo de caso com 256 amostras e o analisado com base estatística, além de gerada uma análise antropométrica através de escaneamento tridimensional e validada através de comparações de valores com os métodos atuais.

Muitos são os trabalhos que exploram a análise antropométrica do corpo humano. Assim como, uma grande evolução da literatura apontando estudos de materiais bélicos, desde a determinação da matéria-prima até a forma do produto. Entretanto, como observado no capítulo 2, não se apresenta detalhadamente o motivo pelo qual a grande parte das mortes em campo de batalha são provenientes de tiros alvejados na cabeça do soldado, já que os artefatos que o protegem, como o capacete PASGT, resiste a boa parte dessas balas. Adicione-se a isso a pesquisa de Samil e David (2012), na qual apontam que 55% das pessoas que fizeram o teste de esteira usando o capacete, não conseguem concluí-lo devido a fortes dores na região do topo da cabeça (parietal). Nesta teste, provou que o capacete chega a pesar quase 5,5kgF sobre a cabeça do usuário.

Logo, o diagnosticado neste trabalho, é que as medidas das alturas nas cabeças humanas ao usarem capacete balístico são diferentes, como demonstrado no teste estatístico de hipótese e que as médias são maiores do que essa medida do artefato. A Tabela 30 apresenta essas diferenças.

Tabela 30: Comparações dos valores das alturas das cabeças e seus respectivos capacetes.

USUÁRIOS POR TAMANHO DO CAPACETE	Capacete	Altura da Cabeça	D.P.
Capacete P (mm)	65,9	95,07	7,72
Capacete M (mm)	68,2	93,26	7,05
Capacete G (mm)	70,0	96,12	6,57

Fonte: O Autor (2014).

Conforme apresentada na Tabela 30, é notória a diferença descrita no parágrafo anterior. Dessa forma, a maneira de se dimensionar o tamanho apropriado do capacete balístico para o soldado, que é através do máximo diâmetro da cabeça, está incorreta. Sendo assim, o dimensionamento correto do capacete balístico deve ser o diâmetro da cabeça, a partir de uma altura igual ao do capacete.

Uma maneira que auxiliará o dimensionamento do capacete correto está sendo demonstrada na Figura 69, que mostra um gabarito feito com uma geometria

semelhante à cabeça humana. Porém, com um *offset* maior, mas com a altura aproximada de 68mm, que é a altura do capacete balístico modelo PASGT tamanho M.



Figura 69: Proposta do novo método de medição do diâmetro da cabeça para o uso de capacete
Fonte: O Autor (2014)

Dessa forma, é possível medir corretamente o diâmetro da cabeça humana para usar o capacete balístico de tamanho adequado.

6.3 CONCLUSÕES DOS EXPERIMENTOS

É importante deixar registrado nesta tese que o experimento que tanto para o experimento por fotogrametria, quanto o escaneamento tridimensional, o tempo para se obter as medidas é relativamente alto. A Tabela 31 resume os valores demonstrados em cada etapa das operações.

Tabela 31: Comparações dos valores das alturas das cabeças e seus respectivos capacetes.

MÉTODO	Tarefa	tempo (min)	Tempo Total (min)
Fotogrametria	Preparação da amostra	10	50
	Medições	10	
	Análise das medidas	30	
Escaneamento 3D	Preparação da amostra	5	95
	Escanear cabeça	20	
	Tratamento da imagem	15	
	Colocar em escala	20	
	Obtenções das medidas principais	20	
	Obtenções das medidas na carneira	15	

Fonte: O Autor (2014).

Verifica-se com a Tabela 31, que o tempo total para se obter as medidas antropométricas por fotogrametria, leva-se aproximadamente 50 minutos. Já, no experimento por escaneamento tridimensional, o tempo total é cerca de 95 minutos. Isso leva um total de quase 2 horas de 30 minutos para a análise antropométrica da cabeça humana, de cada sujeito, com os métodos propostos nesta pesquisa.

Todo esse tempo ainda poderia aumentar se acrescentasse o tempo de desenvolvimento do: dispositivo para a fixação da máquina fotográfica, dos *grids* que serviram como escalas, entre outros. Ainda, cabe ressaltar nesta conclusão que a habilidade do analista com as ferramentas computacionais usadas, como Sketchup, AutoCAD e 3DsMax, que auxiliaram na medição antropométrica da cabeça, é fundamental para manter esse tempo.

6.4 CONCLUSÕES FINAIS

As conclusões finais deste trabalho estão de acordo com os objetivos propostos no início deste trabalho. A saber:

a) Foi realizada uma revisão do estado da arte sobre as medidas antropométricas da cabeça humana, direcionando-a para o uso de capacetes balísticos. Esses demonstraram que os valores, por mais diferentes que possam parecer, não interferem entre as bibliografias. Nessas pesquisas destaca-se que, segundo Othman (2009), quase a metade de todas as mortes em combate é causada por ferimentos na cabeça. Já Samil e David (2012), relatam que em um estudo com 70 usuários desse artefato em um teste de esteira a 8km/h em 180s, a maioria deles sente uma pressão muito grande do capacete na região superior da cabeça (parietal). Isso demonstra que muitos usuários não usam o capacete PASGT por que o mesmo o incomoda, levando-se a crer que as cabeças podiam ter medidas diferentes na região de assentamento do artefato;

b) No capítulo 3 foi elaborado um método padronizado para realizar uma análise antropométrica da cabeça humana, na região de assentamento do capacete balístico. O foco foi a altura para a fixação deste artefato. Este método padronizado auxiliou no desenvolvimento deste trabalho e também pode ser utilizada para pesquisas semelhantes a essa, porém, com o foco em outros tipos e modelos de capacetes;

c) Em seguida, foi gerado um teste piloto, com 42 amostras, para identificação de uma variável desconhecida (variância da população). Com esse, identificou-se um

número mínimo de amostras necessárias para cada categoria de capacete (P, M e G), e, em seguida, foram coletadas 256 amostras para esse estudo;

d) Foi gerada uma análise estatística dos valores encontrados no item anterior, para mostrar sua veracidade dentro de um limite de confiança. Em seguida foram classificadas as cabeças medidas com seus devidos grupos de tamanhos de capacetes. Isso demonstrou uma primeira percepção das variações dos valores encontrados, onde foi constatado que a altura da cabeça humana no uso de capacete balístico é diferente do próprio artefato;

e) Em seguida, foi coletado um novo número de amostra para realizar medições antropométricas da cabeça humana, com auxílio do *scanner* 3D e programas CAD, embasados em análises estatísticas. Isso apontou que a maioria dos usuários teria que usar capacetes menores do que inicialmente dimensionados. Essa diferença apontada é que o método de dimensionamento para o capacete enfatiza o diâmetro máximo da cabeça, embora devesse ser o diâmetro onde o capacete é fixo;

f) Por fim, foi apresentada uma maneira para conter o problema atual, que sugere o desenvolvimento de um dispositivo para medir a cabeça humana para determinar realmente qual tamanho de capacete balístico é o correto para determinada pessoa.

6.5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho pode servir de base para o desenvolvimento de novas pesquisas na área de medidas antropométricas do corpo humano, para o uso de produtos específicos. Assim, têm-se algumas sugestões que serão apresentadas a seguir:

a) Utilizar a metodologia proposta nesta pesquisa e, analisar o uso de capacetes “coquinho”, como os de alguns motociclistas e ciclistas, da construção civil, entre outros. No uso desses, o usuário pode se incomodar, caso o capacete não esteja fixo corretamente na sua cabeça, pois o mesmo é apoiado na região parietal da cabeça, como o capacete balístico;

b) usar o valor da altura da cabeça humana para o uso de capacetes balísticos, encontrado nesta tese e incluí-la como um valor antropométrico. Pode-se, também, gerar uma tabela antropométrica tridimensional para a verificação dos valores de forma mais precisa;

c) fazer um estudo de captura e análise de imagem tridimensional, da cabeça humana, com todas as amostras analisadas no experimento de fotogramétrica desta tese. Consequentemente essa análise comprovará informações mais precisas dentro dos grupos destacados;

d) projetar um capacete que contemple todas as variáveis encontradas neste trabalho. Assim, pode-se fazer com que diminuam os problemas atuais de desconforto dos capacetes pelos usuários.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. A., **Análise dos Parâmetros Antropométricos no Projeto de Capacetes Balísticos**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, SP. 2012.
- ALVES, H. A., Santos, M. I. M. P., Monteiro, M. A. A., Morais, P. R., Melo, F. C. L., Ribeiro, W.. **Análises dos Parâmetros Antropométricos da Cabeça dos Militares da Força Aérea Brasileira no Projeto de Capacetes Balísticos**. Revista Brasileira de Biomedicina, V.29, n.3, p. 472-492. 2011.
- AYNECHI, N., LARSON, B. E., LEON-SALAZAR, V., BEIRAGHI, S.; **Accuracy and precision of a 3D anthropometric facial analysis with and without landmark labeling before image acquisition**. Angle Orthodontist, Vol 81. (2011). Pag. 245-252
- BALL, R., SHU C., XI P., RIOUX M., LUXIMON Y, MOLENBROEK J., **A comparison between Chinese and Caucasian head shapes**. Applied Ergonomics 41, (2010). pag. 832–839. 2010
- BALL, R. M., MOLENBROEK, J. F. M. **Measuring Chinese heads and faces**. In: **Proceedings of the Ninth International Congress of Physiological Anthropology, Human Diversity: Design for Life**. Delft, The Netherlands, (2008). pp. 150–155.
- BARROSO, M. P., et al. **Anthropometric study of a Portuguese workers**. International Journal of Industry Ergonomics, n. 35, p. 401-410, 2005.
- CALLEGARE, Á. J. A. **Introdução ao Delineamento de Experimentos**. São Paulo: Blucher, 2009.
- CAMPOS, M. L. B., VANDRELL, J. P. **Identificação Craniométrica**. Disponível em: <http://www.pericias-forenses.com.br/icraniodo.htm>. Acesso em: 17 out. 2013
- CATAPAN, M. F., OKIMOTO, M. L. R, VILLAS BOAS, M. N., WALDHAUER, R. **Análise Antropométrica da Cabeça Humana Para Identificação da Altura Adequada no Uso de Capacetes Balísticos**. 14º ErgoDesign. Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia. Joinville - SC. 2014
- CHEN, X., SHI, M., ZHOU, H., WANG, X., ZHOU, G. **The “standard head” for sizing military helmet based on computerized tomography and the headform sizing algorithm**. Acta Armamentarii 23 (4), (2002). 476–480.
- COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: manual técnico da máquina humana**. Belo Horizonte: Editora ERGO, 1995.
- DE LA ROSA, F. J. B.; RODRIGUEZ-AÑEZ, C. R. **O Estudo das Características Físicas do Homem Por Meio da Proporcionalidade**. Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano, v.4, n.1, pag 53-66, 2002
- FERREIRA, C. J. **Uma Nova Ferramenta Para o Estudo da Cefalometria Radiográfica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Informação em Saúde), Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina, São Paulo, 2005.
- GEOMAGIC. Disponível em: <www.geomagic.com>. Acesso em 04 de maio de 2011.
- GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 4. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- IIDA, I. **Ergonomia – Projeto e Produção**. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

- JÚNIOR, W. F. A., SANTOS, M. A., BASTIAN, F. L., SUAREZ, A. L., CARDOSO, G. Q. **Comportamento sob impacto balístico de um sistema compósito para blindagem.** Instituto Militar de Engenharia (IME). Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.1, 1 (2006) 12-18.
- KARBACHER, S. et al. **Processing Range Data for Reverse Engineering and Virtual Reality. 3-D Digital Imaging and Modeling Proceedings.** Third International Conference on IEEE. 2011
- KLEIN, ALISON A. **Aplicação da fotogrametria para coleta de dados da antropometria da mão.** Programa de Pós Graduação em Eng. Mecânica (Dissertação de Mestrado) – UFPR. Curitiba. 2009.
- KOUCHI, M., MOCHIMARU, M., **Analysis of 3D face forms for proper sizing and CAD of spectacle frames.** Ergonomics 47. (2004), 1499–1516.
- KRAUSS, I., GRAU, S., MAUCH, M., MAIWALD, C., HORSTMANN, T. **Sex-related differences in foot shape.** Ergonomics 51, (2008). 1693–1709.
- KROEMER, H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptado o Trabalho ao Homen.** 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman. 2005.
- LAJARIN, S. F., **Avaliação dimensional de implantes sob medida para cranioploastia,** Dissertação do PGMEC, UFPR – Paraná - 2008
- LEE, H.J., PARK, S.J., **Comparison of Korean and Japanese head and face anthropometric characteristics.** Human Biology 80, (2008). pag. 313–330.
- LOPES, M. E. **Metodologia de análise e implantação de acessibilidade para pessoa com mobilidade reduzida e dificuldade de comunicação.** 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2005.
- LUXIMON Y.,BALL, R. E JUSTICE, L., **The 3D Chinese head and face modeling.** Computer-Aided Design 44.(2012) Pag 40–47.
- MA, Y., KWON, J., MAO, Z., LEE, K., LI, L., CHUNG, H., **Segment inertial parameters of Korean adults estimated from three-dimensional body laser scan data.** International Journal of Industrial Ergonomics 41. (2011). Pag. 19-29
- MADEIRA, M. C. **Anatomia da Face: Bases Anatomofuncionais Para a Prática Odontológica.** 6. ed. São Paulo: SAVIER, 2008.
- MARTINS, G. A., DOMINGUES, O. **Estatística Geral Aplicada.** 4 Ed. Revisada e Ampliada – São Paulo: Editora Atlas. 2011.
- MEUNIER, P., TACK, D., RICCI, A., BOSSI, L., ANGEL, H., **Helmet accommodation analysis using 3D laser scanning.** Applied Ergonomics 31, (2000). pag. 361–369.
- MEUNIER, P.; YIN, S. **Performance of a 2D image-based anthropometric measurement and clothing sizing system.** Applied Ergonomics, n. 31, p. 445-451, 2000.
- MGBLINDADOS, 2013. Disponível em: http://www.mgblindados.com.br/pd_seguranca.html
Acesso em 29 de Abr. 2013
- MINISTÉRIO DA DEFESA – **Norma do Exército Brasileiro – Capacete Nível III A.** Norma (DMI) DS / C1 II, nº 009/2008 – Elaborado pela Sec. Sup. C1 II / DS, 2008.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** New York: John Wiley & Sons, 2009.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.** 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

- MOTA, M., et al., **Antropometria Craniana de Recém-Nascidos Normais**. Arq. Neuro-Psiquiatr., São Paulo. V.62, n.3ª. 2004
- MULLIN, S. K.; TAYLOR, P. J. **The effects of parallax on geometric morphometric data**. Computers in Biology and Medicine, v. 32, p. 455- 464, 2002.
- NBR 15127 - **NORMA BRASILEIRA: Corpo Humano – Definição de medidas** (as medidas 1, 2, 3 e 4). ABNT. 2004
- NIU, J., LI, Z, SALVENDY G. **Multi-resolution description of three-dimensional anthropometric data for design simplification**. Applied Ergonomics.40Ed.Page.807–810.(2009)
- NORMA DO EXÉRCITO BRASILEIRO - **Capacete de combate nível IIIA. NORMA (DMI) Portaria nº 028/04** – STC, de 05 de dezembro 2004.
- OLIVEIRA, H. A. et al.. **Estudo Antropométrico do Crânio de Recém-Nascidos Normais em Sergipe**. Arq Neuropsiquiatr., v.65, n.3b. pag. 896-899, 2007
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. OMS. **Physical status: the use and interpretation of anthropometry**. In: Report Of A Who Study Group, 1995, Genebra. Thecnical Report Series.
- OTHMAN, R. **Finite Element Analysis of Composite Ballistic Helmet Subjected to High Velocity Impact**. Universiti Sains Malaysia. 2009.
- PARK, J., NAM, Y., LEE, E., PARK, S., **Error detection in three-dimensional surface anthropometric data**. International Journal of Industrial Ergonomics 39. Pag. 277–282. 2009.
- PEREIRA, C. B., MUNDSTOCK, C. A., BERTHOLD, T. B. **Introdução à Cefalometria Radiográfica**. 3ª Ed. São Paulo: Pancast., 1998
- PETROSKI, E. L. **Cineantropometria: caminhos metodológicos no Brasil. As ciências do esporte no Brasil**. 1 ed. Campinas: Ed. Autores Associados, p. 81-101, 1995.
- PHEASANT, S. T., **Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and design**. London, Taylor & Francis, 1996.
- PHEASANT, S., HASLEGRAVE, C. M., **Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work**. Third Edition, Hardcover, 2005.
- PIEGL, L. A; TILLER, W. **Parametrization for surface fitting in reverse engineering**. Computer-Aided Design.Elsevier Science Ltd. Vol. 33, pp.593-603. 2001.
- PINTO, N. M. C. **Antropometria Crânio-Facial: Uma Adequação Ergonômica Para Concepção de Protetores Auditivos**. Tese de Doutorado. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.
- REXHEPI, A., MEKA, V. **Cephalofacial Morphological Characteristics of Albanian Kosova Population**. Int. J. Morphol., Temuco, v.26, 2008.
- RIZZOLO, R. C., MADEIRA, M. R. **Anatomia Facial Com Fundamentos de Anatomia Sistêmica Geral**. 2ª edição. Editora Sarvier, 2004.
- ROBINETTE, K., BLACKWELL, S., DAANEN, H., FLEMING, S., BOEHMER, M., BRILL, T., HOEFERLIN, D., BURNSIDES, D., **Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (CAESAR)**. Final Report.In: Summary, AFRL-HE-WPTR- 2002-0169, vol. I. Air Force Research Laboratory, Human Effectiveness Directorate, Bioscience and Protection Division, 2800 Q Street, Wright-Patterson, AFB OH 45433-7947. (2002)
- ROEBUCK, J. A. **Anthropometric methods: Designing to fit the human body**. Santa Monica: Human Factors end Ergonomics Society, 1993.

- SAHOO N, ROY ID, DESAI AP, GUPTA V. **Comparative evaluation of autogenous calvarial bone graft and alloplastic materials for secondary reconstruction of cranial defects.** Journal Cranio fac Surg. 2010; p. 79-82
- SAMIL, F., DAVID, N. V., Na **Ergonomics Study of a Conventional Ballistic Helmet.** International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012). Malaysia. Engineering Procedia. Pag 1660-1666. (2012).
- SHAH, G. V., JADHAV, H. R. **The Study of Cephalic in Students of Gujarat.** J. Anat. Soc. India, v.53, n.1. pag 25-26. 2004
- SILVA, K. R. et al. **Avaliação Antropométrica em indústrias do pólo moveleiro de UBÁ, MG.** Rev. Árvore, Viçosa, v. 30, nº 4, p. 613-618, jul./ago. 2006.
- SNELL, R. S. **Anatomia Clínica Humana Para Estudantes de Medicina.** 5. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1999.
- SOBOTTA, J. **Atlas de Anatomia Humana.** 20. Ed. Guanabara Koogan, 1995.
- SOUZA, A. N.; THAUMATURGO, C. **Geopolímeros para aplicações balísticas.** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais, 2005.
- WANG X, ZHENG W, LIU B, WANG R, XIAO H, MA X. **Study on 3-dimensional digital measurement of face form in fighter pilots.** Chinese Journal of Aerospace Medicine. 2005
- WILLIAMS, P. L., et al. **Gray Anatomia.** 37ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995.
- WITANA, C. P., GOONETILLEKE, R.S., XIONG, S., AU, E.Y.L. **Effects of surface characteristics on the plantar shape of feet and subjects' perceived sensations.** Applied Ergonomics 40. (2009), 267–279.
- YAN L., BALL R., JUSTICE L, **The 3D Chinese head and face modeling,** Computer-Aided Design, Volume 44, Issue 1, Pages 40–47, 2012
- YOKOTA, M., **Head and facial anthropometry of mixed-race US Army male soldiers for military design and sizing: a pilot study.** Applied Ergonomics 36, (2005). pag. 379–383.
- ZCOPR. **Empresa fornecedora do Scanner 3D ZScanner.** Disponível em <www.zcorp.com>, acessado em 15/11/2011.
- ZHANG, B., MOLENBROEK, J.F.M. **Representation of a human head with bi-cubic B-splines technique based on the laser scanning technique in 3D surface anthropometry.** Applied Ergonomics. 35Ed. Page. 459–465 (2004).

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE DA ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA.....	131
APÊNDICE 2: MEDIDAS DAS ALTURAS DAS CABEÇAS HUMANAS PARA O USO DE CAPACETES BALÍSTICOS DO TIPO PASGT.....	133
APÊNDICE 3: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE DO ESCANEAMENTO 3D	134
APÊNDICE 4: SEPARAÇÃO DAS MEDIDAS POR TAMANHOS DE CAPACETES P, M E G.....	135
APÊNDICE 5: MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS DA CABEÇA HUMANA ATRAVÉS DE ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAIS.....	136

APÊNDICE 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE DA ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA

Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec)

TERMO DE CONSETIMENTO LIVRE, APÓS ESCLARECIMENTO.

Eu, _____, portador do RG nº _____ li e/ou ouvi com esclarecimentos acima e compreendi para que sirva o estudo e qual a sua finalidade. A explicação que recebi esclarece os propósitos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não afetará o estudo. Sei que minha identidade não será divulgada e nem usada para outros fins. Que meus dados antropométricos serão somente utilizados para fins de pesquisa e estatística. Também não terei despesas e não receberei recursos financeiros para participar deste estudo. Ciente de tais esclarecimentos, concordo em participar do estudo.

Curitiba, ____ de _____ de 2013

Assinatura do Voluntário

Assinatura do Avaliador

CADASTRO

Nome:		Idade:	
Naturalidade:		Descendência: (pai)	
Altura:		Peso:	
		(mãe)	
Contato:	Telefone:	Celular:	Fixo:
	E-mail:		

MEDIÇÕES

Regiões Medidas:



Valores Medidos:

MEDIDA	MÉTODO			
	Manual (mm)	Fotogrametria		Escâner 3D (mm)
		Fotografia	Calculado	
1. Circunferência		-	-	
2. Largura				
3. Comprimento				
4. Altura	-			
5. Índice Cefálico	Calculado:			

Números das fotos:

**APÊNDICE 2: MEDIDAS DAS ALTURAS DAS CABEÇAS HUMANAS PARA O USO DE
CAPACETES BALÍSTICOS DO TIPO PASGT**

Exper.	Altura Cab.								
1	87,3	61	88,1	121	98,2	181	103,9	241	92,1
2	84,7	62	103,5	122	93,5	182	92,9	242	106,0
3	84,3	63	100,8	123	93,2	183	100,1	243	102,6
4	86,1	64	95,9	124	97,9	184	93,7	244	93,7
5	80,0	65	95,7	125	86,3	185	91,6	245	93,5
6	87,0	66	106,5	126	101,0	186	101,9	246	91,9
7	95,6	67	86,8	127	92,1	187	81,3	247	91,3
8	92,5	68	94,0	128	106,0	188	80,7	248	94,6
9	85,9	69	85,5	129	102,6	189	96,4	249	91,8
10	84,8	70	95,9	130	93,7	190	105,5	250	88,8
11	98,4	71	93,5	131	93,5	191	103,8	251	104,2
12	99,0	72	99,8	132	91,9	192	86,9	252	95,9
13	100,5	73	85,0	133	91,3	193	93,5	253	90,0
14	88,2	74	93,6	134	94,6	194	92,5	254	104,6
15	79,8	75	88,4	135	91,8	195	99,0	255	91,6
16	86,5	76	107,6	136	94,6	196	100,5	256	101,9
17	84,5	77	108,0	137	97,3	197	86,2		
18	79,9	78	90,4	138	97,3	198	84,3		
19	91,9	79	96,0	139	91,4	199	86,1		
20	95,2	80	96,8	140	99,2	200	87,0		
21	91,7	81	101,6	141	102,4	201	95,6		
22	84,7	82	114,5	142	94,5	202	96,5		
23	78,6	83	87,6	143	89,8	203	93,2		
24	86,4	84	99,5	144	96,2	204	105,2		
25	80,8	85	90,1	145	93,2	205	88,1		
26	92,6	86	99,7	146	86,3	206	103,5		
27	76,2	87	95,6	147	97,5	207	95,7		
28	91,3	88	90,5	148	97,4	208	106,5		
29	90,5	89	91,8	149	92,3	209	86,8		
30	81,0	90	99,8	150	97,2	210	94,0		
31	89,1	91	100,0	151	102,4	211	85,5		
32	79,6	92	108,0	152	94,5	212	95,9		
33	94,1	93	100,7	153	86,2	213	93,5		
34	98,2	94	85,8	154	91,1	214	99,8		
35	85,7	95	102,7	155	98,9	215	85,0		
36	86,0	96	90,8	156	85,6	216	102,7		
37	88,8	97	101,9	157	85,7	217	93,4		
38	79,6	98	110,0	158	96,3	218	95,2		
39	81,6	99	95,5	159	91,8	219	99,5		
40	85,6	100	84,9	160	105,7	220	94,5		
41	85,9	101	104,7	161	101,2	221	89,8		
42	82,4	102	90,5	162	105,5	222	96,2		
43	86,2	103	100,3	163	87,6	223	87,6		
44	105,5	104	93,1	164	94,7	224	94,7		
45	103,8	105	97,3	165	99,5	225	99,5		
46	86,9	106	87,8	166	94,0	226	94,0		
47	102,1	107	92,8	167	90,8	227	90,8		
48	106,2	108	103,0	168	89,8	228	89,8		
49	94,0	109	98,6	169	100,8	229	100,8		
50	93,5	110	105,9	170	96,0	230	95,6		
51	96,5	111	96,1	171	87,9	231	106,9		
52	94,2	112	102,9	172	91,6	232	94,6		
53	108,6	113	97,7	173	95,6	233	97,3		
54	105,8	114	105,3	174	106,9	234	97,3		
55	107,9	115	110,6	175	88,8	235	91,4		
56	94,4	116	104,1	176	104,2	236	99,2		
57	89,1	117	102,7	177	95,9	237	102,4		
58	87,5	118	93,4	178	90,0	238	98,2		
59	93,2	119	95,2	179	104,6	239	93,5		
60	105,2	120	99,5	180	95,0	240	93,2		

APÊNDICE 3: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE DO ESCANEAMENTO 3D

Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec)

EXPERIMENTO DE ESCANEAMENTO 3D**TERMO DE CONSETIMENTO LIVRE, APÓS ESCLARECIMENTO.**

Eu, _____, portador do RG nº _____ li e/ou ouvi com esclarecimentos acima e compreendi para que sirva o estudo e qual a sua finalidade. A explicação que recebi esclarece os propósitos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento, sem justificar minha decisão e que isso não afetará o estudo. Entendi que durante o escaneamento deverei ficar com os olhos fechados para não prejudicar os meus olhos e deverei evitar movimentos da minha cabeça. Sei que minha identidade não será divulgada e nem usada para outros fins. Que meus dados antropométricos serão somente utilizados para fins de pesquisa e estatística. Também não terei despesas e não receberei recursos financeiros para participar deste estudo. Ciente de tais esclarecimentos, concordo em participar do estudo.

Curitiba, ____ de _____ de 2014

Assinatura do Voluntário

Assinatura do Avaliador

APÊNDICE 4: SEPARAÇÃO DAS MEDIDAS POR TAMANHOS DE CAPACETES P, M E G

Tamanho do Capacete P				Tamanho do Capacete M				Tamanho do Capacete G			
Num.	Num. Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab	Num.	Num. Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab	Num.	Num. Exp.	Perf. Lat	Alt. Cab
1	38	180,2	79,6	1	22	191	84,70	1	167	198,4	90,81
2	18	182	79,9	2	67	191,2	86,80	2	227	198,4	90,81
3	19	183,2	91,9	3	121	191,2	98,15	3	44	198,6	105,51
4	106	183,7	87,79	4	150	191,2	97,17	4	162	198,6	105,47
5	125	184,4	86,33	5	178	191,2	89,98	5	190	198,6	105,51
6	2	184,6	84,7	6	209	191,2	86,80	6	34	198,8	98,20
7	154	184,7	91,08	7	238	191,2	98,15	7	59	198,8	93,18
8	188	185,3	80,71	8	253	191,2	89,98	8	203	198,8	93,18
9	78	185,8	90,40	9	116	191,4	104,10	9	56	199,3	94,44
10	9	186	85,9	10	113	191,5	97,74	10	86	199,5	99,70
11	65	186	95,70	11	143	191,5	89,77	11	14	199,6	88,20
12	153	186	86,17	12	185	191,5	91,64	12	23	199,6	78,60
13	207	186	95,7	13	221	191,5	89,77	13	64	199,7	95,91
14	36	186,4	86	14	255	191,5	91,64	14	164	199,7	94,68
15	74	186,4	93,56	15	68	191,6	94,02	15	224	199,7	94,68
16	82	186,6	114,54	16	172	191,6	91,57	16	45	199,8	103,76
17	118	186,6	93,38	17	210	191,6	94,02	17	191	199,8	103,76
18	217	186,6	93,4	18	8	191,7	92,50	18	180	200,2	95,03
19	58	186,8	87,50	19	130	191,7	93,66	19	107	200,3	92,83
20	120	186,8	99,47	20	194	191,7	92,50	20	75	200,4	88,37
21	219	186,8	99,5	21	244	191,7	93,66	21	124	200,5	97,95
22	91	187,2	100,02	22	20	191,8	95,20	22	70	200,6	95,91
23	26	187,4	92,6	23	39	191,8	81,60	23	133	200,6	91,29
24	95	187,9	102,72	24	46	191,8	86,94	24	212	200,6	95,91
25	187	187,9	81,26	25	87	191,8	95,57	25	247	200,6	91,29
26	79	188,2	96,04	26	104	191,8	93,11	26	88	200,8	90,47
27	7	188,4	95,6	27	192	191,8	86,94	27	109	200,8	98,57
28	201	188,4	95,6	28	41	192,2	85,90	28	1	200,9	87,30
29	6	188,6	87	29	71	192,2	110,60	29	43	200,9	86,17
30	55	188,6	107,89	30	30	192,3	93,53	30	73	200,9	85,02
31	81	188,6	101,65	31	159	192,3	91,77	31	197	200,9	86,17
32	200	188,6	87,0	32	213	192,3	93,53	32	215	200,9	85,02
33	102	188,7	90,48	33	182	192,4	92,88	33	186	201,5	101,87
34	144	188,8	96,20	34	168	192,5	89,77	34	256	201,5	101,87
35	222	188,8	96,2	35	228	192,5	89,77	35	140	201,6	99,24
36	112	188,9	102,85	36	145	192,6	93,16	36	236	201,6	99,24
37	134	188,9	94,57	37	156	192,6	85,62	37	165	201,7	99,45
38	136	188,9	94,57	38	10	192,7	84,80	38	225	201,7	99,45
39	173	188,9	95,58	39	61	192,7	88,06	39	117	201,8	102,72
40	230	188,9	95,6	40	205	192,7	88,06	40	216	201,8	102,72
41	232	188,9	94,6	41	135	192,8	91,77	41	131	202,2	93,45
42	248	188,9	94,6	42	249	192,8	91,77	42	245	202,2	93,45
43	76	189	107,59	43	21	193	91,70	43	60	202,6	105,23
44	101	189	104,65	44	141	193	102,36	44	204	202,6	105,23
45	174	189	106,85	45	237	193	102,36	45	47	202,7	102,07
46	176	189	104,15	46	126	193,4	100,99	46	12	202,8	99,00
47	231	189	106,9	47	169	193,4	100,83	47	195	202,8	99,00
48	251	189	104,2	48	229	193,4	100,83	48	90	202,9	99,81
49	48	189,4	106,21	49	129	193,5	102,65	49	166	202,9	93,99
50	11	189,5	98,4	50	243	193,5	102,65	50	226	202,9	93,99
51	128	189,5	105,97	51	160	193,6	105,75	51	49	203	94,02
52	242	189,5	106,0	52	50	193,8	93,53	52	108	203	102,99
53	69	189,6	85,47	53	193	193,8	93,53	53	110	203,2	105,90
54	99	189,6	95,53	54	98	193,9	110,04	54	103	203,3	100,30
55	211	189,6	85,5	55	35	194	85,70	55	31	203,6	89,10
56	137	189,8	97,31	56	40	194	85,60	56	33	203,6	94,10
57	138	189,8	97,31	57	53	194	108,59	57	152	203,6	94,54
58	233	189,8	97,3	58	13	194,2	100,50	58	183	204,4	100,07
59	234	189,8	97,3	59	196	194,2	100,50	59	28	204,8	91,30
60	66	189,9	106,49	60	92	194,3	108,04	60	97	204,8	101,89
61	208	189,9	106,5	61	4	194,4	86,10	61	148	204,8	97,38
62	96	190	90,76	62	32	194,4	79,60	62	158	205	96,34
63	139	190	91,43	63	149	194,4	92,26	63	171	205	87,90
64	175	190	88,80	64	199	194,4	86,10	64	25	205,4	80,80
65	235	190	91,4	65	119	194,5	95,18	65	77	206	107,99
66	250	190	88,8	66	218	194,5	95,18	66	114	206,9	105,27
67	127	190,3	92,14	67	184	194,6	93,71	67	84	207,2	99,46
68	241	190,3	92,1	68	157	194,7	85,69	68	24	210,1	86,40
69	170	190,4	95,99	69	151	194,8	102,43	69	161	210,6	101,18
70	51	190,8	96,47	70	57	194,9	89,11				
71	54	190,8	105,79	71	94	194,9	85,78				
72	202	190,8	96,5	72	179	194,9	104,57				
73	17	190,9	84,5	73	254	194,9	104,57				
				74	63	195	100,81				
				75	100	195	84,88				
				76	155	195	98,90				
				77	72	195,2	99,76				
				78	146	195,2	86,31				
				79	214	195,2	99,76				
				80	27	195,4	76,20				
				81	80	195,5	96,84				
				82	93	195,5	100,71				
				83	142	195,5	94,54				
				84	220	195,5	94,54				
				85	105	195,6	97,26				
				86	42	195,9	82,40				
				87	3	196	84,30				
				88	37	196	88,80				
				89	85	196	90,12				
				90	177	196	95,86				
				91	198	196	84,30				
				92	252	196	95,86				
				93	5	196,2	80,00				
				94	30	196,2	81,00				
				95	132	196,4	91,86				
				96	246	196,4	91,86				
				97	62	196,6	103,48				
				98	163	196,6	87,63				
				99	206	196,6	103,48				
				100	223	196,6	87,63				
				101	111	196,9	96,08				
				102	16	197,2	86,50				
				103	147	197,2	97,52				
				104	123	197,5	93,18				
				105	240	197,5	93,18				
				106	52	197,6	94,23				
				107	15	197,8	79,80				
				108	122	197,8	93,45				
				109	189	197,8	96,37				
				110	239	197,8	93,45				
				111	181	197,9	103,95				
				112	83	198,2	87,63				
				113	89	198,2	91,80				
				114	29	198,4	90,50				

APÊNDICE 5: MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS DA CABEÇA HUMANA ATRAVÉS DE ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAIS

Num.	Medidas (mm)	Circunferência	Perfil Lateral	Perfil Frontal	Índice Cefálico	Altura	Tamanho Capacete	Sofre Alteração
1	Máxima	540,1	185,6	150,6	81,1	85,2	M	
	Carneira	532,6	181,1	147,8	81,6	68,2	M	
2	Máxima	568,5	186,8	157,5	84,3	79,4	G	
	Carneira	561,3	182,7	152,7	83,6	70,0	G	
3	Máxima	577,6	190,6	164,2	86,1	83,4	G	
	Carneira	545,0	183,0	157,7	86,2	70,0	M	X
4	Máxima	584,6	202,1	170,4	84,3	86,6	G	
	Carneira	556,3	190,5	164,3	86,2	70,0	M	X
5	Máxima	576,5	190,8	161,0	84,4	80,5	G	
	Carneira	560,3	186,2	157,5	84,6	70,0	G	
6	Máxima	573,6	194,8	172,7	88,7	86,9	G	
	Carneira	550,7	185,3	166,4	89,8		M	X
7	Máxima	558,4	191,8	159,4	83,1	94,8	G	
	Carneira	531,1	182,1	154,8	85,0	70,0	M	X
8	Máxima	595,6	200,3	172,5	86,1	88,7	GG	
	Carneira	564,5	189,3	163,6	86,4	72,0	G	X
9	Máxima	570,4	199,3	157,0	78,8	83,0	G	
	Carneira	555,0	191,9	152,1	79,3	70,0	M	X
10	Máxima	590,1	203,7	168,4	82,7	85,5	GG	
	Carneira	572,6	196,3	163,6	83,3	72,0	G	X
11	Máxima	595,1	200,6	173,1	86,3	89,1	GG	
	Carneira	568,4	187,0	167,8	89,7	72,0	G	X
12	Máxima	576,7	194,8	160,7	82,5	84,4	G	
	Carneira	571,5	194,3	158,6	81,6	70,0	G	
13	Máxima	580,7	196,5	167,2	85,1	87,4	G	
	Carneira	557,9	189,7	161,4	85,1	70,0	G	
14	Máxima	579,5	196,7	167,7	85,3	85,4	G	
	Carneira	567,3	189,3	161,8	85,5	70,0	G	
15	Máxima	555,4	194,6	158,3	81,3	88,7	G	
	Carneira	540,2	187,5	153,7	82,0	70,0	M	X
16	Máxima	544,8	192,1	150,7	78,4	80,6	M	
	Carneira	538,0	188,2	146,5	77,8	68,2	M	
17	Máxima	556,7	186,5	162,2	87,0	78,5	G	
	Carneira	540,0	179,2	158,7	88,6	70,0	M	X
18	Máxima	577,6	196,8	161,3	82,0	84,3	G	
	Carneira	560,0	193,7	156,6	80,8	70,0	G	
19	Máxima	582,3	189,5	177,3	93,6	84,1	GG	
	Carneira	566,6	185,1	172,9	93,4	72,0	G	X
20	Máxima	582,0	200,7	161,8	80,6	87,7	GG	
	Carneira	561,5	193,3	159,1	82,3	72,0	G	X
21	Máxima	586,2	198,6	159,1	80,1	82,8	GG	
	Carneira	560,0	192,4	153,5	79,8	72,0	G	X
22	Máxima	590,8	200,0	168,1	84,1	87,4	GG	
	Carneira	562,9	190,2	161,2	84,8	72,0	G	X
23	Máxima	570,5	190,3	162,8	85,5	83,4	G	
	Carneira	556,2	184,6	158,1	85,6	70,0	G	
24	Máxima	580,8	192,7	160,8	83,4	88,3	G	
	Carneira	550,7	184,3	155,8	84,5	70,0	M	X
25	Máxima	563,3	190,8	159,4	83,5	82,0	G	
	Carneira	548,8	189,2	155,2	82,0	70,0	M	X
26	Máxima	552,1	198,6	149,5	75,3	84,3	G	
	Carneira	532,4	189,4	143,6	75,8		M	X
27	Máxima	572,4	192,2	168,9	87,9	89,5	G	
	Carneira	558,4	186,3	164,7	88,4	70,0	G	
28	Máxima	591,5	202,4	160,9	79,5	79,8	GG	
	Carneira	574,9	195,0	156,9	80,5	72,0	G	X
29	Máxima	570,5	191,5	165,5	86,4	73,5	G	
	Carneira	558,0	187,1	164,1	87,7	70,0	G	
30	Máxima	588,4	190,9	171,0	89,6	79,2	GG	
	Carneira	574,6	193,2	167,0	86,4	72,0	G	X
31	Máxima	558,4	196,5	153,3	78,0	72,4	G	
	Carneira	541,1	188,7	149,1	79,0	70,0	M	X
32	Máxima	575,6	188,1	167,0	88,8	100,1	G	
	Carneira	553,3	181,1	166,0	91,7	70,0	M	X
33	Máxima	580,0	200,6	164,6	82,1	83,2	G	
	Carneira	563,3	191,5	160,6	83,9	70,0	G	
34	Máxima	580,6	192,1	163,9	85,3	81,0	G	
	Carneira	557,0	187,4	160,1	85,4	70,0	G	
35	Máxima	576,6	191,3	171,4	89,6	78,7	G	
	Carneira	562,5	186,3	166,8	89,5	70,0	G	
36	Máxima	579,0	192,6	165,2	85,8	84,2	G	
	Carneira	548,0	184,7	158,7	85,9	70,0	M	X
37	Máxima	579,8	199,6	164,3	82,3	83,1	G	
	Carneira	563,2	191,1	160,4	83,9	70,0	G	
38	Máxima	579,7	195,5	166,7	85,3	87,2	G	
	Carneira	556,9	188,9	161,0	85,2	70,0	G	
39	Máxima	581,8	197,0	167,9	85,2	87,1	G	
	Carneira	559,1	190,2	161,9	85,1	70,0	G	
40	Máxima	592,8	203,1	161,5	79,5	80,2	GG	
	Carneira	575,6	195,8	157,0	80,2	72,0	G	X