

Escaneamento tridimensional da cabeça humana para a análise antropométrica no uso de capacetes balísticos

Three-dimensional scanning of the human head for anthropometric analysis in the use of ballistic helmets

Márcio Fontana Catapan¹;

Maria Lucia Ribeiro Okimoto²;

Fábio Evangelista Santana³

Yago Weschenfelder Rodrigues⁴

ISSN: 2316-7963

Resumo

No desenvolvimento de novos produtos a adequação e as melhorias dos artefatos têm sido a preocupação da ergonomia, com foco à preservação da integridade física, mental e social do ser humano. A alta competitividade e a busca por novas tecnologias, que diferenciem os produtos industriais, indicam um ambiente propício para essa utilização como fator de inovação. Na área militar, sabe-se que no campo de batalha muitos soldados não usam constantemente o capacete balístico devido ao seu desconforto. Atualmente, estudos relatam que aproximadamente a metade das mortes nos campos de batalhas é devido a projéteis deflagrados na cabeça do soldado. No entanto, outros estudos mostram que este artefato após poucos minutos, em uso contínuo, torna-se pesado e instável para os usuários. Ou seja, comprova-se que se alguns soldados não usam o capacete quando necessário é porque o mesmo incomoda. É neste ponto que está o objetivo deste trabalho. Através do escâner Tridimensional, aliado com ferramentas computacionais como análises CAD, buscar-se-á captar imagens e dados da cabeça humana para um grupo de pessoas previamente definidos. Pretende-se verificar se as medidas estão de acordo com os capacetes balísticos usados atualmente nas forças armadas e também analisar se existe diferença dessas medidas. Com o processo de Digitalização Tridimensional obtêm-se, com precisão, detalhes de superfícies que em métodos tradicionais

com paquímetro e fita antropométrica, que não é constatado devido sua análise ser unidimensional. Assim a técnica proposta neste artigo apresenta-se como uma ferramenta capaz de proporcionar um diferencial para o projeto de capacetes balísticos, criando novas possibilidades no seu dimensionamento.

Palavras-chave: digitalização tridimensional, análise antropométrica, capacete balístico

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR; marciocatapan@ufpr.br

² Universidade Federal do Paraná - UFPR; lucia.demec@ufpr.br

³ Instituto Federal de Santa Catarina; fsantana@ifsc.edu.br

⁴ Universidade Federal do Paraná - UFPR; yagowr5@gmail.com

Abstract

The development of new products, the adequacy and the improvement of artifacts have been a concern for Ergonomics; focusing on the preservation of the physical, mental and social integrity of the human being. The high competitiveness and the search for new technologies that differentiate industrial products indicate an environment favorable to such use as an innovation factor. In the military field, it is known that in the battlefield many soldiers do not use the ballistic helmet in a consistent basis, due to its discomfort. Nowadays, studies report that approximately half of the deaths in the battlefield were caused by bullets shot on the heads of soldiers. However, other studies show that this artifact, after only a few minutes of continuous usage, becomes heavy and unstable for users. Therefore, it is proved that, if some soldiers do not use their helmets when necessary it is because the artifact causes discomfort for them. The objective of this work is focused on this topic. Through the use of a three-dimensional scanner combined with computational tools, like CAD analysis, the acquisition of images will be performed along with the collection of data from the human head of a group of people previously selected. It is intended to verify whether the measurements obtained match those from the ballistic helmets which are currently being used by the military, and also to analyze if there are differences between them. Through the Three-Dimensional Digitalization process it is possible to acquire, with precision, details from surfaces that are not possible to obtain only by traditional methods with caliper and anthropometric tape, due to their unidimensional analysis. Consequently, the technique proposed on this work is presented as a tool which

is capable of providing uniqueness for projects of ballistic helmets, creating new possibilities for its design.

Key-words: three-dimensional scanning, anthropometric analysis, ballistic helmet

Introdução

É essencial que em áreas com o design, medicina e engenharia conheçam a forma da cabeça humana, devido sua variabilidade no que tange a sua antropometria. Segundo (Catapan, 2014, Alves et al., 2011; Ball et al., 2010; Lee e Park, 2008; Yokota, 2005), as diferenças antropométricas da cabeça já foram estudadas entre as várias pesquisas e regiões do mundo. Ao se tratar dos padrões dessas medidas estão referenciados segundo a ABNT NBR 15127 (2004) e a DIN 33402 (1981 apud Lida 2005, p. 118). São esses: Circunferência (perímetro horizontal da cabeça), Largura (maior distância frontal da cabeça), Comprimento (maior distância do perfil da cabeça) e índice cefálico.

Nota-se que as medidas antropométricas atuais, referentes a cabeça humana, chamada de cefalometria, são determinadas em sua maioria das vezes através de análises unidimensionais. Somando-se a isso, existe o questionamento quanto as atuais análises dessas medidas. Segundo estudos como de Alves et al. (2011) as medidas são feitas através de equipamento chamado trena antropométrica flexível e paquímetro antropométrico, cuja incerteza pode chegar na casa de milímetros. Analisando neste contexto, questiona-se como se sabe, com precisão, onde são os pontos de maiores comprimentos da largura e do comprimento da cabeça do sujeito? Pode-se gerar um erro com o esforço feito por quem está medindo essas regiões? Nota-se aqui uma maior incerteza com as medidas, o que justifica que os métodos atuais para análises antropométricas da cabeça do ser humano são insuficientes e podem ser mais bem definidos.

Problematização

Segundo Lida (2005), atualmente alguns produtos produzidos em certos países, são comercializados em todo o mundo. Pode-se exemplificar como aviões, computadores, aparelhos de televisão, armamentos, automóveis e outros, que têm, praticamente, padrões mundiais. Em se tratando das alianças militares, como a Organização do Tratado do Atlântico Norte - OTAN - e o Pacto de Varsóvia, estes exigiram certa padronização internacional de produtos militares, com diversos reflexos na indústria em geral.

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. Ainda, verificar-se-á adequação deles 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.

Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é propor um método que analisa a cabeça humana tridimensionalmente e comparar com o projeto de capacetes balísticos modelo PASGT.

Para atingir tal objetivo, são realizadas:

- Análises atuais das medidas antropométricas da cabeça humana;
- Elaboração de um método padronizado que analise tridimensionalmente a cabeça humana para o uso de capacetes balísticos;

Estado da Arte

Segundo Lida (2005) a antropometria é o ramo das ciências humanas que estuda as medidas do corpo, particularmente o tamanho e a forma. Segundo o mesmo autor, na área da antropometria há tendências 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.

Antropometria da Cabeça (Cefalometria)

Tratando-se de principais medidas da cabeça, Mandeira (2008) cita que essa é dividida em crânio e face. Quanto ao crânio, foco desta pesquisa, 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).

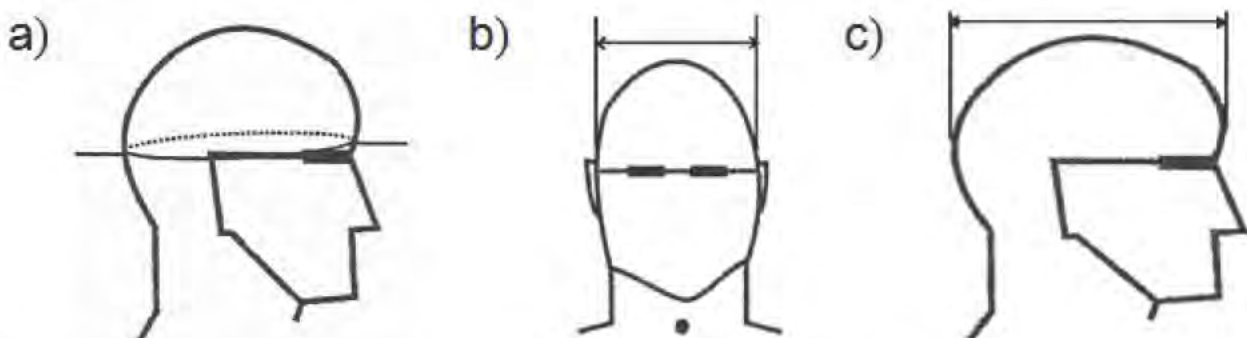


Figura 1: Medidas da região da cabeça humana, adaptado da ABNT 15127 (2008)

Conforme visto neste item e como descrito por Ball et al. (2010), tradicionalmente as medidas antropométricas do corpo humano são unidimensionais, pois o uso de trena e paquímetro é comum para o levantamento de dados antropométricos.

Até então, os resultados mostrados eram frutos de medições em 1D (uma dimensão). Atualmente, outros estudos comentam que podem ser coletados dados em 2D, através de tomografia computadorizada e, até mesmo, em 3D por escaneamento tridimensional. Entretanto, essas tecnologias não estão completamente difundidas nessa área.

Estudos mais recentes sobre este assunto no Brasil é feito por Catapan (2014) onde relata as medidas antropométricas da cabeça humana, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1: Medidas da cabeça humana dos brasileiros, Catapan (2014)

Medições (mm)	Homem			
	Percentual			D.P.
	2,5%	50,0%	97,5%	
Largura (de frente)	146,4	155,5	165,4	±5,4
Comprimento (de perfil)	184,9	194,3	205,4	±5,6
Circunferência	551	574,5	604,5	±14,4
I.C. (índice cefálico)	74,7	80	86,2	±3,3

Com essas medidas das cabeças humanas, é necessário fazer uma análise aprofunda, para que possa saber se as mediadas feitas atualmente são suficientes ou, é necessário outro método para uma melhor definição da cabeça humana. Essa análise mais detalhada pode ser feita através de imagens tridimensionais em sistemas CAD, oriundas de escaneamentos 3D.

Tanta necessidade assim apontada é devido que o crânio é o agente responsável na estrutura e proteção de todas as partes vitais, que estão em seu interior. Assim é de extrema necessidade que tenham equipamentos ou artefatos que garantam a sua integridade. Dentro desta linha de pesquisa, encontram-se os capacetes de blindagem pessoal e, que aqui serão focados os capacetes de combate.

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 projéteis para a cabeça, orelha e pescoço do soldado. Ainda, segundo esses mesmos autores relatam que a cabeça e o pescoço representam apenas 12% da área do corpo que é tipicamente exposta em um campo de batalha. No entanto recebem até 25% de todas as vistas e quase a metade de todas as mortes em combate é causada por ferimentos na cabeça.

Desta 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 este artefato está suprimindo a sua necessidade de proteger a cabeça do soldado, assegurando simultaneamente um conforto adequado para as situações de uso.

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, o modelo P.A.S.G.T.

(*PersonalArmor System for GroundTroops*) de procedência norte-americana. Esse capacete é constituído de quatro partes: 1) casco; 2) sistema de suspensão; 3) sistema de fixação; e 4) almofadas de conforto e proteção. A Figura 2 demonstra a vista inferior do capacete, onde seu interior é detalhado. Os números que correspondem as indicações das almofadas de proteção.

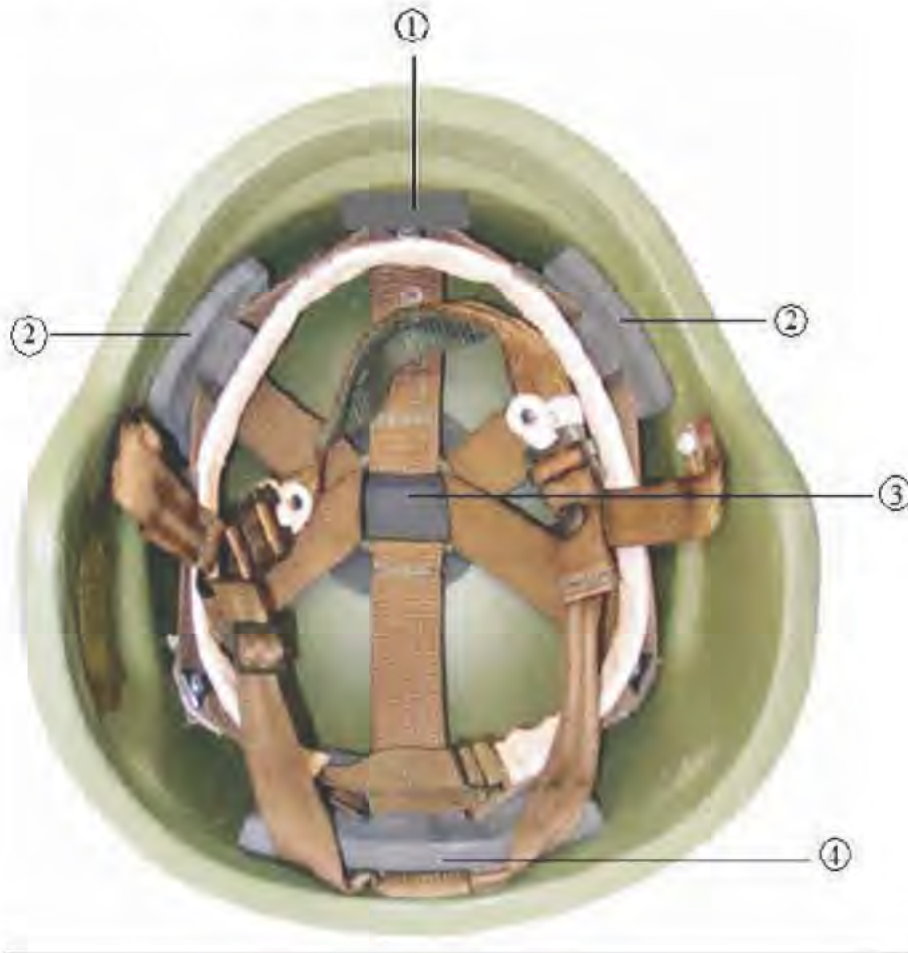


Figura 2: Capacete balístico, Alves (2012)

A massa total (ou peso) dos capacetes de combate montados atende ao discriminado na norma do Ministério de Defesa (2008), por tamanho, com tolerância de mais ou menos 10%. Para cada tamanho de capacete, os pesos correspondem a: Tamanho P – 1,3kg; M – 1,4kg, G – 1,5kg e GG – 1,7kg.

É importante destacar que a massa dos capacetes, apresentadas acima, é de maneira estática. Ou seja, em uma situação onde o usuário esteja em movimento, por exemplo correndo, há um acréscimo da força da gravidade, gerando uma pressão/força maior que o peso estaticamente. 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 132,56kgf/m², podendo chegar até uma pressão de pico de 3,6kPa. Segundo esses mesmos autores, o capacete tem uma área interna de 0,14 m². Logo, pode estimar que o peso gerado é de aproximadamente 51,39N (367,1kgf/m² * 0,14m²). Ou seja, considerando a força da gravidade 9,81 m/s², é uma massa

adicional de 5,5kg. Certamente, essa massa sobre a cabeça do usuário em um uso contínuo, predirá-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 regiões diferente da cabeça. A região mais afetada neste estudo foi a parietal com um percentual de 55%, seguido na região frontal com 22%, em seguida a área temporal com 18% e occipital com 5%. Ou seja, a maioria dos sujeitos pesquisados sentem dores na área parietal, que é a região superior da cabeça.

Se comparar as medidas antropométricas do capacete balístico, modelo PASGT, saber-se-á alguma dimensão do capacete que está comprometendo a ergonomia dos usuários. A Tabela 2 demonstra essas medidas. Nota-se, nessa tabela, que os valores de circunferência são divididos em valores mínimos e máximos, isso é devido a regulagem que os capacetes balísticos possuem para os deixarem mais ou menos apertados, conforme sua necessidade.

Tabela 2: Medidas antropométricas do capacete PASGT em relação aos tamanhos, adaptado de Ministério da Defesa (2008).

DESCRIÇÃO/MEDIDA		TAMANHOS DOS CAPACETES (mm)		
TAMANHO		P	M	G
Largura		160	160	170
Comprimento		190	200	220
Circunferência Interna:	Mínimo	470	500	540
	Máximo	520	560	590
Índice cefálico do capacete		84,21	80,0	77,27

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

Analisando as Figuras e Tabelas desta sessão, buscou-se analisar a norma que rege essas medidas do Capacete PASGT no Ministério da Defesa (2008). Utilizando o desenho do capacete tamanho "M" e, sabendo que as medidas dos posicionamentos das fixações, como a carneira e as espessuras das espumas de proteção, é possível identificar outras medidas do capacete com o uso de programas CAD. Essas estão demonstradas na Figura 3, onde mostra a vista lateral com suas principais medidas e algumas destacadas, feitas através de análises computacionais.

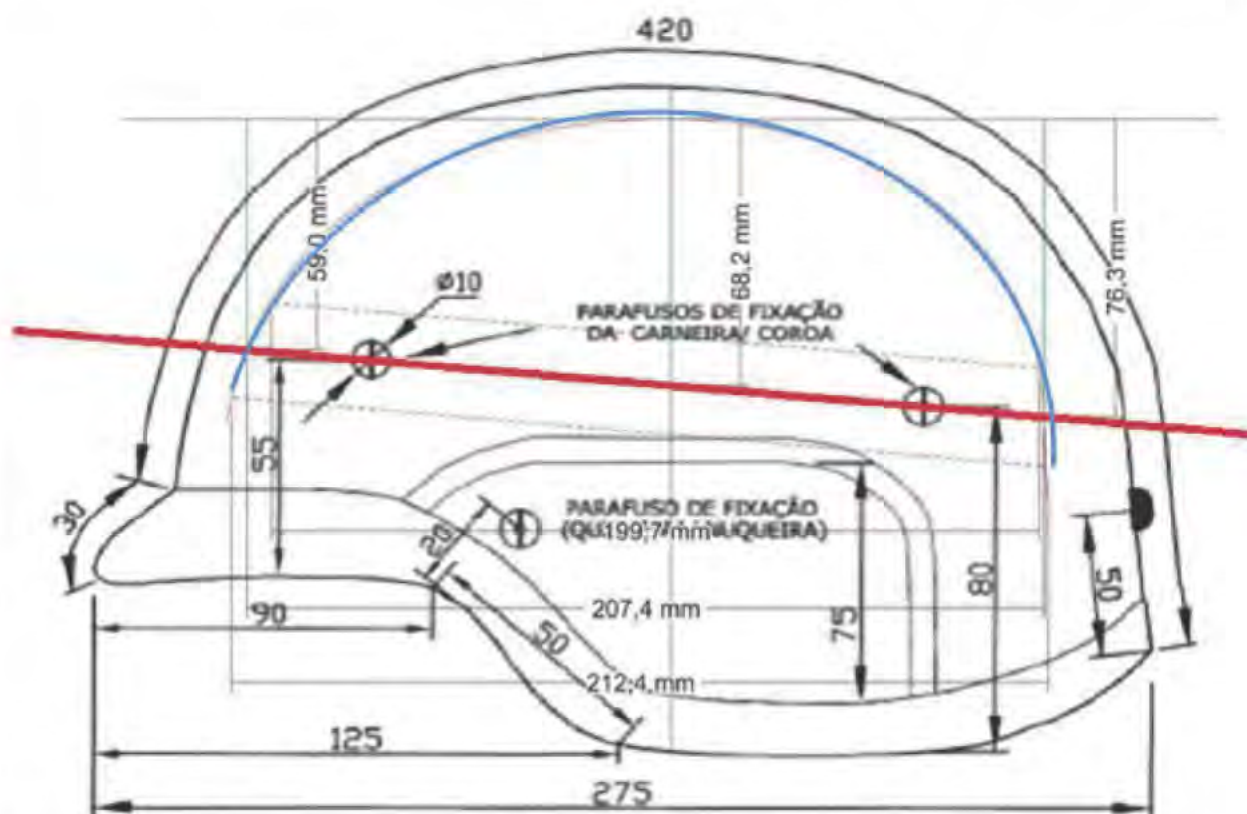


Figura 3: Medições de altura do Capacete PASGT, adaptada de Alves (2012)

Analisando a Figura 3, nota-se que foi desenhado um arco, para representar um contorno útil da cabeça do ser humano no capacete balístico. Esse arco foi desenvolvido através de algumas informações, como, 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 outras informações desta norma. Utilizando uma linha imaginária dos pontos de fixação da carneira no capacete, consegue-se identificar esses pontos para as coletas das medidas.

Desta maneira, verifica-se que a altura do centro de fixação do apoio do topo da cabeça, até a linha central da carneira é de aproximadamente 68 mm para o capacete PASGT "M". Sabendo-se que a largura da fita da queixeira, ilustrada na Figura 3 com linha tracejada, tem 25 mm, é possível identificar a localização da área de fixação do capacete na cabeça do usuário. Essa mesma análise também foi feita para os capacetes P e G.

Assim, verifica-se que a altura do centro de fixação do apoio do topo da cabeça, até a linha central da carneira é de aproximadamente 68 mm para o capacete PASGT "M". Sabendo-se que a largura da fita da queixeira, ilustrada na Figura 3 com linha tracejada, tem 25 mm, é possível identificar a localização da área de fixação do capacete na cabeça do usuário. Essa mesma análise também foi realizada para os capacetes P, onde a altura é de 66mm e no capacete tamanho G em 70mm. Essas alturas são fundamentais no uso de capacetes balísticos, pois estão diretamente relacionadas com a fixação do capacete na cabeça humana (Catapan, 2014).

É importante destacar que, segundo o Ministério da Defesa (2008), a norma que rege a especificação desse capacete salienta que há um ajuste de altura do capacete,

que é aproximadamente 8mm para mais e para menos. Ou seja, essas possíveis variações que são encontradas nesta pesquisa, devem considerar esse ajuste do artefato.

Metodologia e Aplicação

Aqui será apresentada a metodologia e sua aplicação para a análise da altura da cabeça humana para o uso de capacetes balísticos, através da escaneamento tridimensional. Para um melhor entendimento de como se obter isso, foi construído um fluxograma demonstrando o método que será usado e a sua aplicação prática, verificando essa medida, a qual ainda hoje não existe. Este método está representado no fluxograma da Figura 4.

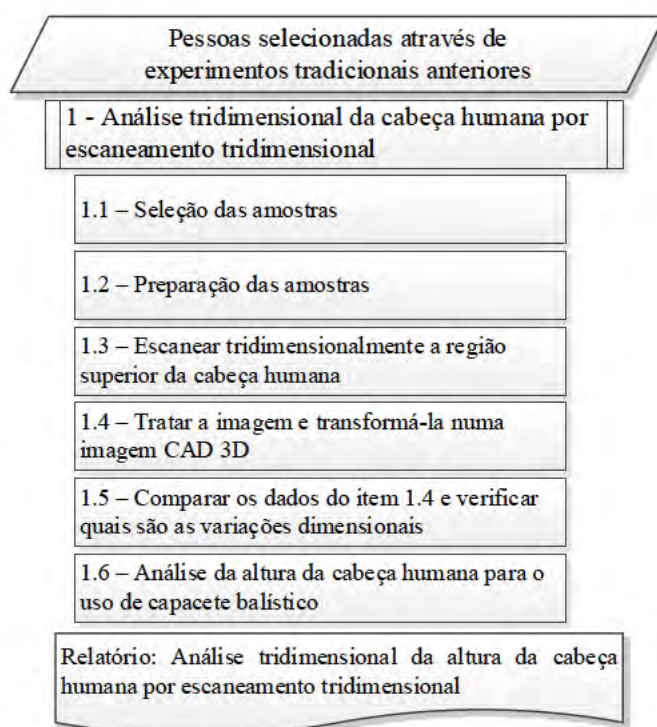


Figura 4: Metodologia para o escaneamento de cabeça humana

Com as informações alocadas de forma sequencial, expostas no fluxograma da Figura 4, a seguir será explicada toda essa metodologia para que se tenha uma estrutura de pesquisa aliada nesse experimento.

Etapa 1: Seleção das Amostras

Como existem variações das medidas antropométricas da cabeça humana e, sabendo-se que não existem padrões nacionais de medidas antropométricas de artefatos, como o capacete balístico aqui no Brasil, leva-se a uma questão de necessidade para esse estudo.

Para determinar as amostras serão selecionadas pessoas que participaram dos estudos de Catapan (2014). Desses, foi definido a quantidade de 40 amostras, pois representa 99% de confiabilidade desse teste, conforme a Equação 1, descrita por Martins e Domingues (2011).

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

É importante salientar que os dados de entrada foram disponibilizados por Catapan (2014).

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

Etapa 2: Preparação das amostras para o escaneamento tridimensional

Para a preparação das amostras neste trabalho, são divididos nos seguintes aspectos:

- Assinatura do termo de consentimento para a pesquisa, onde ela aceita divulgar as informações das medidas antropométricas de sua cabeça.
- Sentar-se numa cadeira, em posição ereta e olhando à sua horizontal, para que o analista consiga fazer o escaneamento;
- Vestir touca para comprimir o seu cabelo. Essa touca será igual para todas as amostras e, sua espessura desprezível para esta pesquisa. Também será vestido um tampão para proteger os olhos.

Desta forma, pode-se iniciar o processo de escaneamento tridimensional que será explicado a seguir, porém, pode-se visualizar na Figura 5.



Figura 5: Escaneamento tridimensional da cabeça

Etapa 3: Escanear a região superior da cabeça humana

Segundo Karbacher et al.(2001), as etapas do processo de digitalização do modelo físico são descritas de maneira mais ampla, seguindo sua experiência prática ao longo de alguns anos.

- Aquisição de dados: Imagens de alcance (range images) por milhares pontos com coordenadas 3D (x,y,z). A Figura 6 demonstra essa operação. Inclusive, no final da figura está sendo demonstrado como é a composição do modelo 3D no momento do escaneamento.



Figura 6: Operação de escaneamento da cabeça humana

- **Reconstrução da malha:** As vistas são unidas em um modelo simples do objeto, onde as concordâncias de superfícies são um pouco falhas. A descrição da superfície é criada usando uma malha de triângulos.

- **Nova malha suavizada:** Através dos vértices dos triângulos e das orientações de direção, uma nova representação da nuvem de pontos é criada. Erros dimensionais, como ruídos (falhas), erros de calibração e registro, podem ser eliminados sem destruir a geometria do objeto.

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

Etapa 4: Tratar a imagem e transformá-la num modelo 3D em sistema CAD

Através dos vértices dos triângulos e das orientações de direção, uma nova representação da nuvem de pontos é criada. Erros dimensionais, como ruídos (falhas), erros de calibração e registro, podem ser eliminados sem destruir a geometria do objeto.

Para que erros superficiais não sejam definitivos no modelo final a malha deve passar por uma etapa de suavização, onde esta consiste na reconstrução da mesma considerando um desvio médio entre os pontos de uma determinada região (aquela que está sendo tratada). A Figura 7 demonstra esta etapa.

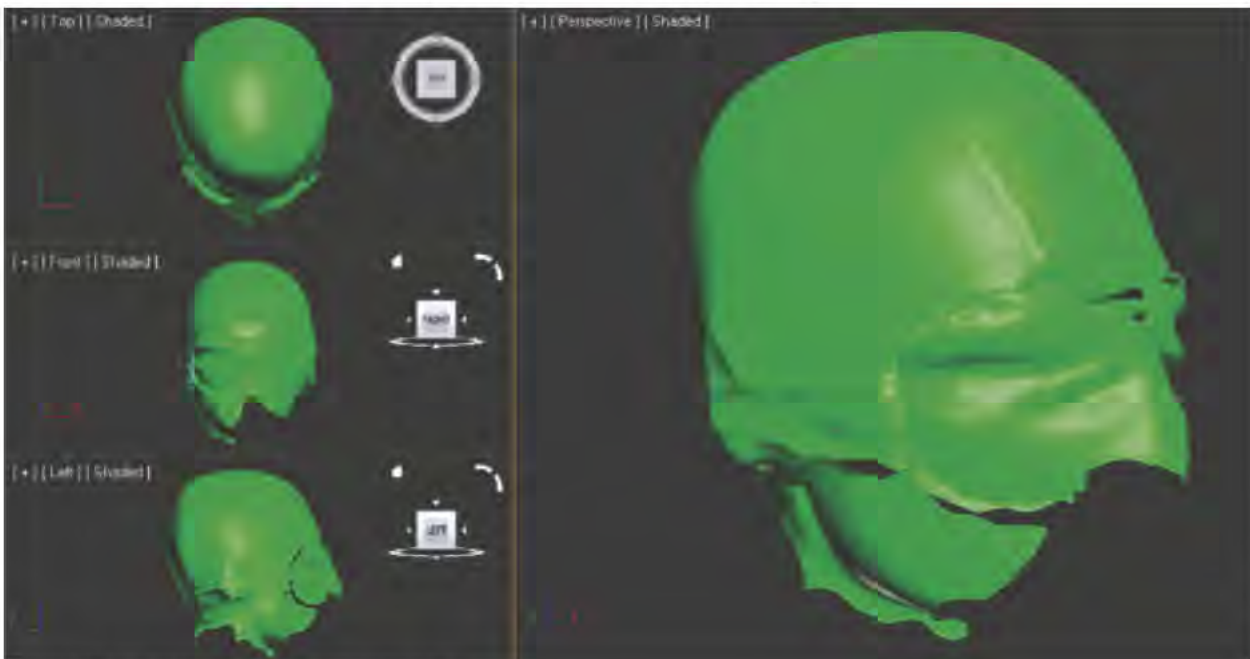


Figura 7: Modelo após limpeza de impurezas/ruídos

O programa detecta automaticamente e corrige erros nesta 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, onde a finalidade é deixar a superfície que apresenta deficiência nos ângulos dos triângulos gerados mais regular e definida, é 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.

Em seguida é necessário uma limpeza manual, feita pelo operador de quem está manipulando o programa, para deixar apenas como o modelo do que é necessário nesta análise. Uma ilustração disso está exposto na Figura 7.

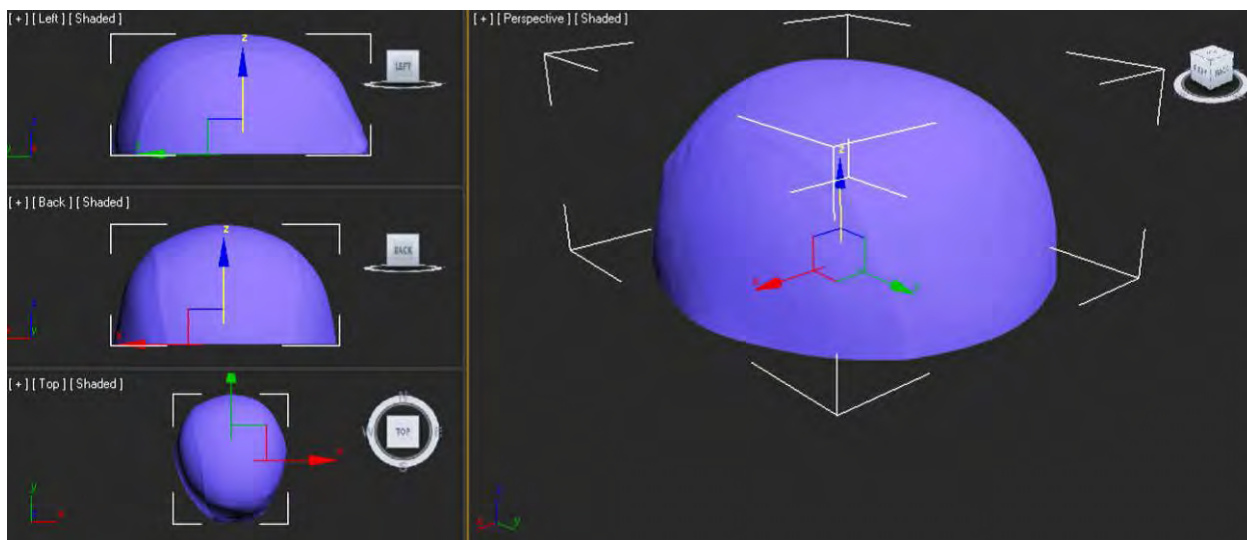


Figura 8: Modelo tratado da região superior da cabeça

Etapa 1.5: Analisar e comparar as imagens escaneadas no programa CAD

Com as imagens tratadas é possível compará-las para analisar as suas formas. Desta maneira, consegue-se visualizar qual ou quais regiões das cabeças humanas são diferentes e o quanto são. A Figura 9 ilustra a sobreposição de alguns modelos 3D de cabeças escaneadas, para visualizar a diferença entre essas.



Figura 9: Sobreposição de três imagens de cabeças escaneadas na região de assentamento do capacete balístico

Essa representação do perfil sobreposto, quando projetado nos planos ortogonais, visualiza-se o plano da carneira, ou seja, na região de assentamento do capacete balístico. 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.

Isso leva a pensar que o diâmetro máximo da cabeça, que é usado para dimensionar o tamanho do capacete balístico, muitas vezes não é o diâmetro onde é fixado o capacete balístico.

Resultados

A partir das imagens tratadas da seção anterior, são 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 3 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.

Assim, foi utilizada a mesma Figura 3 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 10.

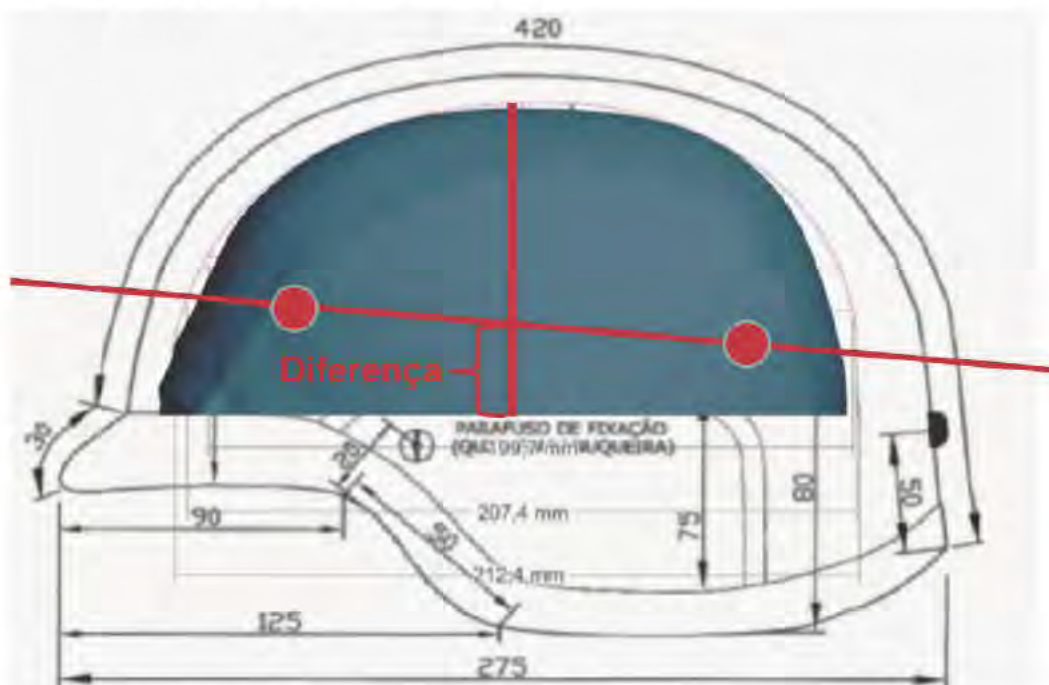


Figura 10: Destaque da diferença entre as alturas

Assim, é possível visualizar a notável diferença das geometrias quando analisado a Figura 9. Para isso, em cada amostra das 40 escaneadas nesta pesquisa, 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 11.

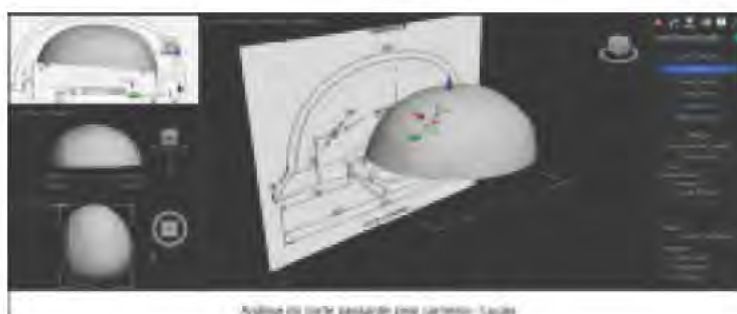


Figura 11: Análise das dimensões da cabeça quando fixa no capacete

Ao analisar o modelo tridimensional exposto na Figura 11, nota-se que os valores encontrados são diferentes quanto ao diâmetro, largura e comprimento da cabeça, dos que demonstrados na Figura 7, 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 7 o valor correspondia a 572,46mm, que equivale ao perímetro que passa entre a glabella e a região occipital externa. Em contrapartida, na Figura 10 o valor do diâmetro é de 558,39mm, que corresponde ao mesmo perímetro da carneira do capacete balístico PASGT.

A variação dos valores nessa situação 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 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 3.

Tabela 3: Comparação de valores de uma amostra quando está com o diâmetro maior e fixa no capacete

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

O problema encontrado na Tabela 6 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 na Tabela 6. O resultado final encontrado é que das 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 inadequado. 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.

Conclusão

A análise antropométrica da cabeça humana, por escaneamento tridimensional, 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.

A análise antropométrica apresentada nesta pesquisa 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 recentes, e as análises por escaneamento tridimensional foram validadas 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 neste estudo, 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.

Para finalizar, pode-se propor trabalhos futuros com os propósitos de: 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; 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., et al.. 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.

BALL, R., et al.. A comparison between Chinese and Caucasian head shapes. Applied Ergonomics 41, (2010). pag. 832–839. 2010

BARROSO, M. P., et al. Anthropometric study of a Portuguese workers. International Journal of Industry Ergonomics, n. 35, p. 401-410, 2005.

CATAPAN, M. F.. Análise Antropométrica da Cabeça Humana Para Dimensionamento de Capacetes Balísticos. Tese - UFPR, PGMEC, 2014

IIDA, I. Ergonomia – Projeto e Produção. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

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

Lee, H.J., Park, S.J., Comparison of Korean and Japanese head and face anthropometric characteristics. Human Biology 80, (2008). pag. 313–330.

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.

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.

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).

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.

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.