

UNIVERSIDADE ABERTA



UNIVERSIDADE DO ALGARVE



**RUMO A UM CÂNONE PARA A MODELAÇÃO DIGITAL 3D  
DA ANATOMIA HUMANA**

**Horácio Hugo Ferreira Faria de Azevedo e Silva**

**Doutoramento em Média-Arte Digital**

(doutoramento em associação)



**Outubro de 2023**



UNIVERSIDADE ABERTA



UNIVERSIDADE DO ALGARVE



**RUMO A UM CÂNONE PARA A MODELAÇÃO DIGITAL 3D  
DA ANATOMIA HUMANA**

**Horácio Hugo Ferreira Faria de Azevedo e Silva**

**Doutoramento em Média-Arte Digital**

(doutoramento em associação)



Tese orientada pelo Professor Doutor António Manuel Bandeira Barata Alves de Araújo

Outubro de 2023

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

O trabalho académico que se segue pode ser utilizado por terceiros, contudo, deverão ser cumpridas as regras e as boas práticas internacionais, relativamente aos direitos de autor e direitos conexos.

Este trabalho pode ser utilizado de acordo com os termos previstos na licença indicada.

Se o utilizador necessitar de permissão de forma a utilizar o trabalho fora das condições previstas na licença indicada, deverá contactar o autor.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição-Não comercial**  
**CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho não seria possível sem o meu orientador, o Professor Doutor António Manuel Bandeira Barata Alves de Araújo. Grato pelo longo caminho que percorreu comigo, demonstrando, inúmeras vezes, ser mais amigo do que orientador.



Dedico este trabalho a H.



UNIVERSIDADE  
**AbERTA**  
www.uab.pt

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho. Confirmando que não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Universidade Aberta, 27 de outubro de 2023

Assinatura: Hugo de Azevedo

## RESUMO

Enquanto profissional de modelação digital 3D e professor nessa mesma área, o autor deste trabalho constatou ao longo de vários anos que a modelação 3D da anatomia humana carece da definição de um processo simples, sistemático, e bem documentado, que explicita a modelação de uma figura *standard* (“canónica”) que por sua vez sirva de base à modelação de personagens concretas. O móbil deste trabalho de investigação é precisamente preencher essa lacuna. Dominar as ferramentas de modelação 3D é apenas uma pequena parte do processo de criação deste modelo; é necessário ainda um cuidadoso estudo da anatomia humana, e, mais do que isso, uma compreensão do que significa o conceito de cânone anatómico propriamente dito. Neste trabalho revisitamos este conceito, fazendo uma análise crítica das suas muitas reencarnações e reapreciações ao longo dos séculos. Não chegamos a uma conclusão sobre o que o cânone foi — as interpretações são muitas e contraditórias — mas chegamos a uma definição concreta do que pode ser. Consideramos que o cânone não é apenas nem primordialmente um ideal prescritivo de beleza anatómica, mas sim um objeto de referência de extremo valor para a investigação das formas reais do corpo e da sua variabilidade: o cânone não é uma regra, mas uma régua. Consideramos ainda que o cânone que se pretende para a arte digital deve ser adaptado às ferramentas da arte digital. Desta forma, pretendemos dar os primeiros passos na construção de um possível cânone digital, produzindo não só um conjunto de regras, mas um modelo da sua aplicação: um cânone e a sua materialização. Como primeira proposta, construiu-se um cânone do modelo humano 3D com baixo número de polígonos, uma construção com carácter didático e uma mnemónica relativamente simples, uma construção que respeita a principais características da anatomia humana. Para a segunda proposta, foi elaborado um método para a construção do cânone, utilizando unicamente primitivas 3D. Finalmente, desenvolveu-se um protótipo para uma aplicação adequada ao ensino da anatomia artística baseada na manipulação do cânone proposto.

**Palavras-chave:** Cânone Anatómico, Anatomia Humana, Modelação 3D, Arte Digital.

## **ABSTRACT**

As a professional in 3D digital modeling and a teacher in the same field, the author of this work has noticed over several years that the 3D modeling of human anatomy lacks the definition of a simple, systematic, and well-documented process that explains the modeling of a standard ("canonical") figure, which in turn serves as a basis for the modeling of specific characters. The aim of the present work is precisely to fill this gap. Mastering 3D modeling tools is only a small part of the process of creating this model; a careful study of human anatomy is also necessary, and, more than that, an understanding of what the concept of an anatomical canon actually means. In this work, we revisit this concept, conducting a critical analysis of its many reincarnations and reappraisals over the centuries. We do not arrive at a conclusion about what the canon was interpretations — are many and contradictory — but we arrive at a concrete definition of what it can be. We consider that the canon is not primarily a prescriptive ideal of anatomical beauty but rather a valuable reference object for the investigation of the real forms of the body and its variability: the canon is not a rule but a ruler. We also consider that the canon intended for digital art should be adapted to digital art tools. In this way, we aim to take the first steps in building a possible digital canon, producing not only a set of rules but a model of its application: a canon and its materialization. As a first proposal, a canon of the 3D human model with a low number of polygons was constructed, a didactic and relatively simple mnemonic construction that respects the main characteristics of human anatomy. For the second proposal, a method for building the canon using only 3D primitives was developed. Finally, we developed a prototype for an application suitable for the teaching of artistic anatomy through the manipulation of the proposed canon.

**Keywords:** Anatomical Canon, Human Anatomy, 3D Modeling, Digital art.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Questões de Investigação e Objetivos .....	1
1.2. Estrutura da Tese .....	4
1.3. Metodologia de Investigação e Desenvolvimento.....	5
2. O CONCEITO DE CÂNONE .....	6
2.1. O Cânone Egípcio .....	6
2.2. O Cânone Grego .....	10
2.2.1. O Lanceiro e a Engenharia Reversa do Cânone .....	10
2.2.2. O Cânone e o Realismo .....	19
2.3. O Cânone em Transformação .....	23
2.3.1. O Legado de Vesalius .....	29
2.3.2. Albrecht Dürer, Precursor da Antropometria Moderna.....	36
2.3.3. O Cânone Facial Neoclássico e a Antropometria.....	38
3. ESTADO DA ARTE .....	43
3.1. Cânone .....	43
3.2. Modelo Anatômico.....	47
4. PROPOSTA DE CÂNONE .....	51
4.1. Premissas.....	51
4.2. Modelo Humano Digitalizado .....	52
4.3. Construção do Modelo Otimizado .....	55
4.4. Criação de Coordenadas de Mapeamento .....	57
4.5. Criação do Esqueleto Digital .....	58
4.6. Correção Antropométrica .....	60
4.7. Pose Escolhida.....	61

4.8.	Cânone .....	62
4.9.	Anatomia com Baixa Definição .....	64
4.10.	Modelação do Cânone Proposto.....	71
4.10.1.	Gramática de Operações de Modelação 3D .....	73
4.10.2.	Dorso e Abdómen .....	74
4.10.3.	Pescoço e Ombro .....	77
4.10.4.	Coxa e Perna.....	79
4.10.5.	Braço e Antebraço.....	81
4.10.6.	Cabeça .....	84
4.10.7.	Mão .....	99
4.10.8.	Pé.....	107
4.10.9.	Pelve .....	115
4.10.10.	Dorso .....	119
4.11.	Alteração da Topologia.....	123
4.11.1.	Esternocleidomastóideo .....	123
4.11.2.	Peitoral Maior .....	124
4.11.3.	Infra-Espinal e Redondo Maior .....	124
4.11.4.	Bicípite Braquial .....	125
4.11.5.	Latíssimo do Dorso e Oblíquo Externo do Abdómen.....	126
4.11.6.	Semimembranoso e Gastrocnémio Medial .....	127
5.	PRIMITIVAS ANATÓMICAS.....	128
5.1.	Instalação .....	130
5.2.	Artefacto .....	133
5.3.	Requisitos Técnicos .....	134
5.4.	Interação .....	135

6. PROPOSTA DE MODELO ANATÓMICO .....	136
7. CONCLUSÃO.....	144
BIBLIOGRAFIA.....	147

## **1. INTRODUÇÃO**

A modelação tridimensional realista da figura humana requer duas competências que se evidenciam. Uma, prende-se pelo domínio das ferramentas digitais de modelação 3D, a segunda, pela inalienável necessidade do conhecimento anatómico humano. À semelhança dos mestres do passado, o domínio das ferramentas para produzir a escultura é apenas uma parte da tarefa. A outra parte, mais trabalhosa e interminável, consiste em adquirir competências artísticas dentro do estudo da anatomia humana. Esta tese dedica-se a uma proposta de cânone adequado à modelação 3D digital da figura humana, com precisão anatómica, apresentando uma abordagem para modelar a figura humana em 3D utilizando o mesmo cânone, e, propõe ainda, um modelo humano com morfologia muscular interativa, destinado ao estudo da anatomia de superfície do corpo humano.

### **1.1. QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO E OBJETIVOS**

A noção do cânone anatómico é central a esta tese. Esta noção, na forma relevante para o nosso propósito pode ser traçada pelo menos até Policleto e à escultura clássica do século quinto, e passou por muitas reencarnações e reapreciações, e nessas muitas formas que adquiriu acaba por ocupar um lugar de intersecção entre o estudo não só das artes visuais, de onde é originária, mas da medicina moderna e da antropometria.

Curiosamente é nas artes que a atitude atual perante o cânone é mais desfavorável, existindo a tendência para vê-lo como um objeto de interesse histórico, mas associado a uma noção de estética redutora e obsoleta.

A posição central nesta tese é que o cânone ainda tem lugar na arte dos nossos tempos, em particular na arte digital. Consideramos que a associação do cânone a um ideal do belo não o esgota, nem é o seu aspeto mais fundamental. Pelo contrário vemos o cânone como um objeto de referência, de extremo valor para a investigação das formas reais do corpo e da sua variabilidade: o cânone não é uma regra, mas uma régua — ou seja, uma unidade de referência em relação à qual se consegue medir a variabilidade dos corpos

reais. Consideramos ainda que o cânone que se pretende para a arte digital deve ser adaptado de raiz às ferramentas da arte digital, tal como um cânone destinado à escultura em bronze teria que tomar em consideração as operações naturais desse meio. Isso implica tomar em consideração aspetos que são novos na arte digital. Por exemplo, na escultura 3D, que é o nosso foco, o cânone deve tomar em atenção pelo menos dois aspetos que são totalmente novos: a topologia e o movimento. Uma escultura em mármore é toda ela geometria, é forma concreta no espaço tridimensional. Uma escultura 3D pode ter regiões especificadas apenas de forma topológica, ou seja, através de um grafo de conectividade entre vértices, que é transformado em geometria concreta por um algoritmo de interpolação. Quanto ao movimento, a escultura 3D será destinada frequentemente a ser a base de uma personagem que se pretende animável; a topologia de base deverá ser adaptável às deformações decorrentes de forma a não criar artefactos indesejáveis quanto for posta em movimento. Finalmente, o movimento implicará deformações dos músculos. A amplitude dessas deformações poderá ser também determinada de forma canónica, e isto define também um problema totalmente novo em relação à escultura tradicional.

Não pretendemos nesta tese responder totalmente a todos estes problemas. Como o título indica pretendemos dar os primeiros passos. Mas pretendemos fazê-lo, na tradição de Policleto, produzindo não só um conjunto de regras, mas um modelo da sua aplicação: um cânone e a sua materialização. Como os cânones do passado, este não será certamente a última iteração, mas será o cânone do momento, ou seja, a concretização possível da nossa ideia corrente do cânone.

O cânone que pretendemos será além disso um cânone de baixo número de polígonos e baixo número de operações. É um objeto didático e mnemónico, útil para o estudante que aprende a modelar, e útil para o artista que quer uma boa figura de base que poderá ser alterada e refinada a seu gosto.

Outro aspeto novo que propomos é que o processo de construção do cânone será ele mesmo *canónico* e executado com ferramentas *canónicas*. Sabemos que as ferramentas digitais estão sempre a mudar e que além disso variam de implementação para

implementação. Na construção de nosso cânone propomos primitivas de base que são comuns a praticamente qualquer implementação e propomos uma linguagem geométrica — um dicionário de operações — limitado e tão universal quanto possível.

Finalmente, deixamos claro que o foco do nosso interesse é o *working artist*. O autor desta tese é um profissional da modelação 3D e o cânone proposto é destinado às necessidades dos artistas profissionais/comerciais, ou à formação dos futuros artistas profissionais/comerciais. Nisto não entramos em contradição com as necessidades de um estudo académico, pois, notemos, os cânones clássicos, que são alvo de profundo e prolongado estudo académico, originam eles próprios das necessidades e preocupações do que hoje chamaríamos *working artists*, necessidades e preocupações que, originando num contexto profissional, muitas vezes atingem patamares inesperados de abstração.

**As questões de investigação desta tese são as seguintes:**

- Qual é a natureza do cânone de proporções anatómicas, qual o seu propósito, qual o seu lugar na arte digital dos nossos dias?
- Como criar um modelo digital 3D da figura humana, com rigor anatómico, que se possa denominar de canónico?
- Como poderá o modelo humano digital 3D responder às necessidades do artista, enquanto alternativa ou complemento ao modelo vivo?

**Os objetivos desta tese consistem em:**

- Propor um cânone naturalmente adaptado à modelação digital 3D da figura humana com rigor anatómico;
- Apresentar uma proposta para modelar este cânone em 3D utilizando primitivas 3D e técnicas simples de modelação;
- Desenvolver um modelo anatómico adequado ao ensino e compreensão da anatomia artística.

## **1.2. ESTRUTURA DA TESE**

A estrutura da tese tem por base a sequência de trabalho desenvolvido. Desta forma, esta tese está estruturada da seguinte forma:

### **Introdução:**

São apresentados os objetivos deste trabalho.

### **O Conceito de Cânone:**

Apresentação do conceito de cânone anatômico, da sua evolução e das nossas considerações sobre o seu significado.

### **Estado da Arte:**

Estado da arte no que respeita ao cânone anatômico e também, aos modelos interativos existentes no mercado.

### **Proposta de Cânone:**

Apresentação da proposta de cânone dedicado à modelação 3D de um modelo humano com precisão anatômica.

### **Primitivas Anatômicas:**

Instalação que explora a proposta de modelação 3D do cânone.

### **Proposta de Modelo Anatômico:**

Apresentação da proposta de um modelo anatômico humano dedicado aos artistas e ao estudo da anatomia humana de superfície.

### **Conclusão:**

Trabalho desenvolvido no decorrer deste projeto de investigação e propostas para trabalho futuro.

### **1.3. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO**

O projeto de tese apresentado foi iniciado por uma pesquisa bibliográfica e de uma atualização ao estado da arte. A investigação realizada foi, essencialmente, baseada na prática artística:

O cânone proposto assenta sobre uma base sólida e experimental em modelação 3D que posteriormente deu origem à proposta de modelação;

A instalação apresentada propõe a prática artística no domínio do desenho tradicional como base do cânone;

O desenvolvimento do modelo anatómico foi feito com base experimental até chegar à adoção de um processo de trabalho adequado.



por exemplo, as objeções a Iversen por parte de Robbins (Robbins, 1994) e as regras inferidas terão que ser testadas por sua vez pelo seu valor preditivo relativamente a um conjunto de teste; por exemplo, o cânone de Iversen é criticado por Sponenburgh (Sponenburgh, 1956) por ter sido testado apenas numa parte ínfima do material disponível (*"more than 99 per cent of the canonical raw material has been left unconsidered"*) e em apenas uma escultura *"in the round"* (escultura completa, por oposição a relevo). Estes testes são além disso dificultados por muitos fatores: o cânone, mesmo quando existe, muda com o tempo, ou é compatível com variações internas. Um bom cânone não é um espartilho que impede totalmente a inventividade ou expressão individual: nas palavras de Iversen (Iversen, 1976):

*(...) these principles were fundamental for the proportioning of all canonical representations, but in practice they left room for numerous variations of detail dependent on guild or workshop traditions and the personal approach of individual artists to formal problems.*

Claro que este espaço para a variação no interior do cânone também torna mais difícil provar a sua existência. É fácil encontrar padrões quando nos restringimos a um subconjunto das obras, e conveniente ignorar variações que contradizem uma tese. De facto, o cânone de Iversen segue-se, e apoia-se em propostas de cânone anteriores, entretanto consideradas insuficientes ou errôneas, sendo a mais antiga provavelmente a de Lepsius, datada do século XIX (Lepsius, 1897). Lepsius observou, num túmulo inacabado em Sakkara, um conjunto de figuras com construções auxiliares de linhas e pontos claramente visíveis (Figura 2). Destas evidências físicas Lepsius inferiu um sistema baseado numa medida fundamental e de suas multiplicações e subdivisões, mas a incerteza tanto em relação à medida fundamental (Lepsius acreditava ser a medida do pé da figura enquanto outros autores argumentariam que seria o dedo médio, nenhuma das hipóteses sendo suportada por textos antigos ou claramente verificável pelas medições das figuras) quanto às próprias medições nas figuras (*"They were first applied in red, and afterwards painted over in black, which, however, made the original mathematical disposition of the proportions less accurate."*) levaram este autor a propor construções especulativas com subdivisões e hipóteses adicionais algo arbitrárias (ver a crítica de

Kielland (Kielland, 1955, p. 14). É fácil chegar a um ponto em que se está apenas a imaginar padrões nas nuvens. Outra dificuldade ainda, com particular importância para o trabalho que faremos à frente, está em saber como relacionar o 3D com o 2D nas regras de um cânone que se pode aplicar tanto a desenho como a escultura. Por exemplo Kielland (Kielland, 1955) propõe um sistema baseado em três projeções planas (frontal e duas laterais) que se aplicaria a esculturas completas quanto a relevos. No entanto, este estudo das projeções por oposição à geometria sólida, na ausência de fontes que o justifiquem, arrisca-se a focar a atenção em padrões bidimensionais que podem ou não ser reais, e, a ser reais, podem ser incompletos. E, na crítica de Sponenburgh (Sponenburgh, 1956):

*The resulting effect tends to minimize the volumetric properties of statuary, and gives undue emphasis to two-dimensional patterns. Further confusion is created with the recommendation, "While the flat picture must be seen in relation to corresponding round sculpture the planning of the round sculpture cannot be understood unless it is seen in relation to the corresponding flat drawing of it." This may be an entertaining idea to some readers, but it strikes me as being a painterly (Wölfflin) approach which seriously limits appropriate aesthetic evaluation of sculptured mass, especially as it was harmonized with architectural space, i.e., the connection between surface and enclosed mass as well as surface shape in relation to the surrounding spaces.*

Embora, como vimos, seja extremamente difícil reconstruir os detalhes do cânone, a dedução da sua existência no caso da arte egípcia é muito natural, e não só pelas evidências físicas (os desenhos preliminares apontados por Lepsius) mas pelo simples facto do estilo ser fortemente formal e estilizado (se além de “natural” a hipótese é verdadeira já é outra questão). Claramente o artista egípcio não desenha ou esculpe o que vê, e há bons motivos para acreditar que também não desenha ou esculpe de forma realista, não por inaptidão, ou estar limitado por incapacidades técnicas, mas porque pretende deliberadamente seguir um conjunto de regras que a sua cultura considera adequadas ao propósito da obra, seja por motivos simbólicos, moda estética, ou doutrina religiosa. Na medida em que as figuras pretendem ainda assim representar o ser humano, o cânone viverá numa tensão entre os requisitos do realismo e da idealização (uma

tensão discutida extensivamente por Panofsky (Panofsky, 1968)); consideremos por exemplo, a assimetria dos pés das estátuas, apontada por Sponenburgh (Sponenburgh, 1956):

*The very fact, observed in this study, that the right foot of Egyptian statues in the round is usually larger than the left foot while, "on reliefs and drawings, however, the feet are generally of equal length," suggests that more is involved than "a true reflection of the natural facts." The frequent occurrence of this exception in the statuary would seem to indicate that the official Egyptian artist was concerned with forms both metaphysical and physical and with results that reflect ideality as well as reality.*

Este tipo de cânone variará evidentemente de acordo com o seu tempo e a sua cultura e o seu propósito (religioso ou estético) ou meramente com o sabor das modas. Mais interessante para os nossos propósitos, poderá variar também como os requisitos do material em que a obra é feita. Por exemplo, no caso da estatuária egípcia, Sponenburgh comenta, na sua crítica a Iversen, que o cânone das esculturas produzidas em pedra difere do cânone das esculturas produzidas em madeira (Sponenburgh, 1956). Por vezes esta diferença decorrerá do facto de que obras produzidas em materiais distintos se destinam a fins e públicos distintos. Noutros casos serão as próprias exigências físicas do material e das ferramentas associadas que levarão a esta diferença.

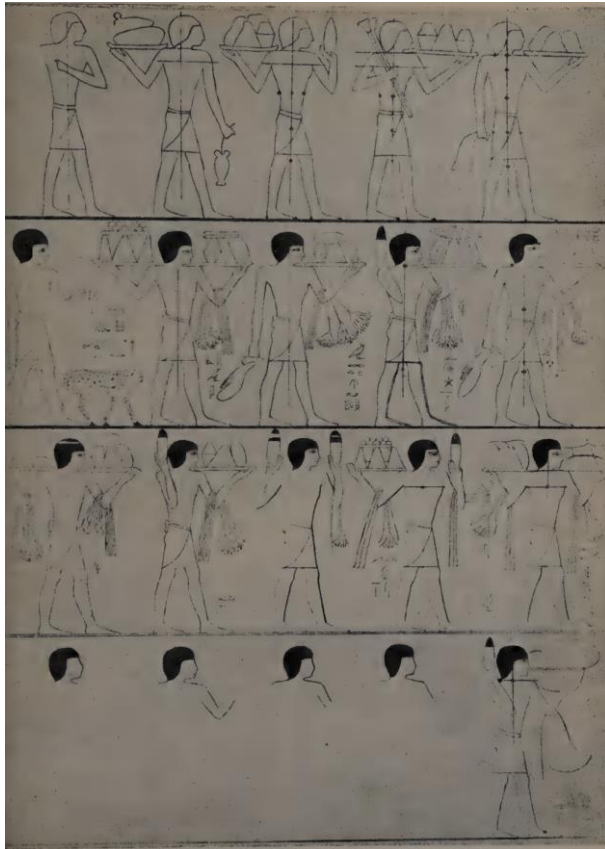


Figura 2: Figuras com marcas de construções geométricas preliminares, num túmulo Egípcio (retirado de (Lepsius, 1897)).

## 2.2. O CÂNONE GREGO

### 2.2.1. O LANCEIRO E A ENGENHARIA REVERSA DO CÂNONE

O caso grego interessa-nos particularmente, bem como a forma como contrasta com o egípcio. Polykleitos (Policleto) (século V A.C., ativo c. 450-415 A.C.), escultor da escola de Argos, reconhecido como um dos mais proeminentes dos escultores da figura masculina do seu tempo, escreveu o tratado que denominou Kanon (em grego, “vara de medição”, ou “regra”), de onde deriva o corrente termo “cânone”. Ao contrário do caso egípcio, temos, portanto, evidências históricas da existência de um cânone explícito, deliberadamente codificado por escrito. Infelizmente, esse tratado está perdido. O que sabemos provém de fragmentos do próprio Policleto ou de comentários em fontes secundárias (Plínio, Galeno, Philo de Bizâncio e possivelmente Plutarco). As seguintes traduções são retiradas de Stewart (Stewart A. A., 1978) (Stewart A. , 1999).

Galeno escreve no seu estudo *sobre as doutrinas de Hipócrates e Platão*, que:

*Beauty, Chrysippos believes, inheres not in the commensurability (symmetria) of the constituent elements of the body, but in the commensurability of the parts, such as that of finger to finger, and all these to the palm and wrist, and of these to the forearm, and of the forearm to the upper arm, and of everything to everything else, just as it is written in the “Canon” of Polykleitos. For having taught us in that treatise all the commensurate proportions of the body, Polykleitos made a work to support his account; he made a statue according to the tenets of his writing, and called it, like the treatise, the “Canon”*

Nesta passagem Galeno assegura-nos, portanto, da existência do cânone e da sua natureza: que versa sobre as proporções do corpo, que aponta à comensurabilidade (*symmetria*) de umas em relação às outras, e que essa comensurabilidade resulta na beleza do todo. Note-se que comensurabilidade é um termo aritmético que implica uma relação entre partes. Não faz sentido perguntar se uma grandeza é comensurável ou não, mas sim se duas grandezas (ou um conjunto de grandezas) são comensuráveis, ou seja, se derivam de uma grandeza comum. Isto faz pensar que o cânone poderá ser modular, ou seja, derivar de uma grandeza de base por um processo iterativo de construção. É claro que temos de ter cuidado em interpretar o termo comensurável no seu âmbito mais restrito, matemático, mas tal é razoável porque há alguma evidência da relação entre Policleto e os Pitagóricos, de que falaremos de novo adiante.

Plutarco, numa das suas obras sobre a Moral (*Moralia*), suporta esta ideia, numa passagem que se julga referir-se ao cânone:

*Now in every piece of work, beauty is brought to perfection through many numbers that come to a congruence (kairos), so to speak, guided by some system of commensurability (symmetria) and harmony, whereas ugliness is immediately ready to spring into being if only a single chance element be omitted or added out of place;*

E nos ensaios *Philo Mechanicus* (ensaios de Philo de Bizâncio acerca das máquinas) temos a seguinte passagem, de novo referindo os “muitos números”:

*Many, though, have begun the construction of weapons of the same size, and have made use of the same system of rules, the same types of wood, and the same amounts of iron, and have kept to the same weight, yet of these some have made machines that throw their missiles far and with great force, while those made by others have lagged behind their specifications. When asked why this happened, the latter have been at a loss for an answer. So it is appropriate to warn the prospective engineer of the saying of Polykleitos the sculptor: perfection, he said, comes about little by little [para mikron] through many numbers. And in the same way, as far as concerns our science, it happens that in many of the items that go to make up the machine a tiny deviation is made each time, resulting in a large cumulative error.*

Estas passagens sugerem que o cânone tinha prescrições extremamente detalhadas e que requeriam grande precisão na execução. A menção do perigo do erro cumulativo e a construção feita “a pouco e pouco” (“*little by little through many numbers*”) de novo sugere uma construção modular iterativa a partir de uma unidade de base, e juntando ao comentário de Plutarco podemos achar que esta seria a unidade de base em relação às quais todas as outras medidas do cânone seriam congruentes. Mas deixemos claro que tudo isto é muito especulativo. A expressão acima (“*little by little (...)*”) teve muitas traduções e as suas variações levam a conclusões que podem ser muito distintas.

Voltando à passagem de Galeno que citámos acima, esta diz-nos também que Policleto materializou o seu cânone numa escultura, a sua expressão física canónica, por assim dizer, a qual denominou com o mesmo termo que o tratado. Plínio o Velho refere o mesmo na sua *História Natural*:

*Polyclitus (...) made a statue that artists call the "Canon", and from which they derive the principles of their art, as if from a law of some kind, and he alone of men is deemed to have rendered art itself in a work of art. (...) He is deemed to have perfected this science and to have refined the art of metalwork, just as Phidias had revealed its possibilities. It was strictly his invention to have his statues throw their weight onto one leg, though Varro says that they are foursquare and all virtually stereotyped.*

Nesta citação temos além disso dois aspetos do cânone que aqui queremos separar: atribui-se a Policleto por um lado um conjunto de regras de proporções; por outro lado é-lhe atribuído todo um novo estilo que quebra com as poses rígidas que eram comuns até aí na escultura grega. Às suas esculturas de jovens atletas atribui-se toda uma nova expressão de ritmo, equilíbrio e detalhe; o equilíbrio é dinâmico, o peso é colocado sobre um dos pés em vez de igualmente distribuído, e as esculturas apresentam-se em contraposto, ou seja, com rotações em torno do eixo vertical. Estas inovações relativas à pose são cruciais para a História da Arte, mas não nos interessam aqui. Estamos interessados no outro aspeto, o cânone de proporções, que determina as dimensões relativas das partes do corpo. É, no entanto, de notar que, embora seja frequente criticar a noção de cânone como se este fosse necessariamente um espartilho à criatividade e à espontaneidade, o dinamismo das poses das esculturas gregas surge juntamente com o cânone, como parte dele ou pelo menos em simultâneo com ele, o que sugere que este pressuposto é equivocado.



**Figura 3: Doríforo de Policleto. Cópia Romana em mármore, de Pompeia (120-50 A.C., Nápoles, Museo Nazionale Archaeologico).**

A expressão do cânone na escultura do mesmo nome levantaria a esperança de que as regras deste pudessem ser recuperadas fazendo “engenharia reversa” dessa mesma escultura. No entanto o bronze original de Policleto encontrava-se tão perdido quanto o próprio tratado. Mas em 1863 uma escultura em mármore, encontrada em Nápoles, foi identificada como uma cópia do Doryphoros (Doríforo, ou “lanceiro”) de Policleto (Friederichs, 1863), que por sua vez estava identificada como sendo o cânone (Figura 3), ou pelo menos como sendo um exemplo da sua aplicação. Esta identificação é pouco clara. A identificação depende em grande parte da citação de Plínio que fizemos acima. O início desta (que acima omitimos) é alvo de traduções contraditórias. Por exemplo Stewart escreve “*Polyclitus (...) made (...) a "Doryphorus", a virile-looking boy. He also*

*made a statue that artists call the 'Canon'".* Pelo contrário, Jahn (Jahn, 1851) oferece a tradução *"the sculptor made the Doryphoros and this very statue was called the 'Canon' by artists"*. Que tem precisamente o sentido oposto (ver também a este propósito Sengoku-Haga et al. (Sengoku-Haga, et al., 2017)); seja como for, o Doríforo foi, corretamente ou não, identificado com o cânone ou pelo menos como uma aplicação do cânone, e a partir daí era inevitável a corrida à engenharia reversa das regras de Policleto (Benndorf, 1869).

Não entraremos aqui em detalhes sobre as muitas tentativas, os entusiasmos prematuros e as demolições subsequentes dessas mesmas teorias. Para começar, põe-se sempre a questão de saber quão boas são as reproduções romanas do mármore original, e até que ponto seguirão os preceitos do cânone de tal forma que estes possam ser reconhecidos e verificados. A passagem do Philo Mechanicus que citámos acima referia como eram delicados e precisos os requisitos do cânone. Acreditamos que a reprodução Romana tenha a precisão necessária para recuperar os preceitos do cânone? Sabemos se foi feita com a intenção de — e, portanto, o cuidado para — preservar o cânone? Ou apenas para reproduzir uma estátua famosa para um público que na sua maioria não saberia apreciar tais detalhes teóricos? Provavelmente não terá sido feita com esses cuidados. Sabemos que na época os copistas romanos usavam pantógrafos (*"pointing machines"*) para copiar os bronzes para mármore, mas é duvidoso que tivessem a precisão necessária. Além disso só alguns pontos seriam medidos, e é duvidoso que fossem os pontos de referência fundamentais para o cânone, mas sim os que fossem mais eficientes (económicos) para um copista reproduzir a estátua eficientemente no contexto de uma oficina — portanto no contexto de fazer um trabalho e obter lucro. Mais, testes feitos no contexto de outras esculturas levam a pensar que o pantógrafo podia ter erros da ordem dos 3 por cento (Schmidt, 1966) e (Stewart A. A., 1978). Sendo assim é provável que estejamos a partir de dados de base que estão irremediavelmente corrompidos. Estamos mais uma vez forçados a imaginar padrões nas nuvens. Mais, se é verdade que temos um modelo canónico e que temos um cânone específico e único ao qual este corresponde, não temos uma bateria de teste comparável ao caso egípcio onde possamos testar as nossas hipóteses; do próprio Policleto, além do lanceiro, só nos restam cópias do Diadumenus

(Diadúmeno, ou “portador do diadema”). A reconstituição afigura-se assim mais uma vez duvidosa, e de facto, segundo Rhys Carpenter (Carpenter, 1960):

*it must rank as one of the curiosities of our archaeological scholarship that no one has thus far succeeded in extracting the recipe of the written canon from its visible embodiment, and compiling the commensurable numbers which we know that it incorporates.*

Estas dificuldades, e a incapacidade de chegar a uma tese absolutamente inatacável, não impediram que se chegasse a muitas observações e teorias de grande interesse. Por exemplo, desde cedo foi reconhecida uma sugestiva ligação entre Policleto e as doutrinas Pitagóricas.

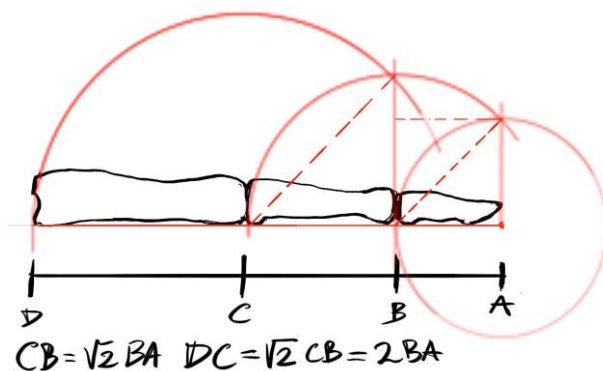
É sugerido que as doutrinas Pitagóricas relativas aos números inteiros, à comensurabilidade, ou aos rácios aritméticos na música, que estão com ela relacionadas, teriam influenciado fortemente o cânone.

Já antes fizemos referência à comensurabilidade. Recordemos aqui que duas grandezas  $a$  e  $b$  dizem-se comensuráveis se existe uma terceira grandeza  $c$  (a sua medida comum) e dois inteiros  $n$  e  $m$  tal que  $a=nc$  e  $b=mc$ , onde o termo *grandezas* pode denotar números reais ou os comprimentos de segmentos de reta, por exemplo. Os matemáticos Pitagóricos assumiam que todas as grandezas que surgiam nas suas demonstrações eram comensuráveis (Estrada, 2000). No campo da geometria, isto implicava assumir que todas as medidas de segmentos de reta podiam ser expressas como múltiplas de uma medida comum às duas — dito de outra forma, implica dizer que dados dois segmentos, é sempre possível encontrar uma régua graduada que mede ambos exatamente (como múltiplo exato das divisões da régua). Ora isto é falso. De facto, a diagonal de um quadrado não é comensurável com as medidas dos seus lados (por exemplo a diagonal de um quadro unitário mede raiz de 2 que não pode ser expressa por uma medida comum a 1 porque não é um número racional — ou seja, para os Pitagóricos esse comprimento não era um número de todo). Este contraexemplo invalida todas as demonstrações geométricas de base aritmética que assumam uma grandeza comum a outras dadas, e, ao afetar as fundações da matemática Pitagórica terá afetado também a sua doutrina mística e

religiosa, onde os números inteiros eram vistos como a base de todo o universo. Gerou-se assim o chamado divórcio grego, que separou a aritmética e a geometria em dois ramos distintos, que só seriam reunificados com Euclides, curiosamente na hierarquia inversa, em que é a teoria dos números que passa a ser derivada da geometria.

Ora, se na apreciação do cânone de Policleto, e em geral na apreciação dos cânones gregos clássicos, é considerado que a noção de perfeição é de inspiração Pitagórica, é de esperar que as proporções anatómicas devem reger-se por um sistema de rácios inteiros análogo à teoria musical Pitagórica por exemplo. Isto leva à consideração dos números figurados dos pitagóricos — por exemplo os números triangulares e as séries aritméticas (Stewart A. A., 1978, p. 129 e 130).

Em parcial oposição a isto, Tobin (Tobin, 1975) propõe um modelo do cânone que é modular, elegante, e ao mesmo tempo está em gritante contradição com a comensurabilidade. Independentemente da questão da sua correção, esta tentativa interessa-nos especialmente, porque ilustra a importância das ferramentas no estabelecer da forma do cânone.



**Figura 4: Construção do dedo a partir da falange distal, segundo a interpretação de R. Tobin do cânone de Polykleitos (Tobin, 1975). Ilustração de A. B. Araújo a partir de um desenho de Tobin.**

Em resumo, Tobin considera que o cânone toma como unidade fundamental o comprimento da falange distal do dedo mindinho. Se considerarmos um quadrado cujo lado é esse comprimento, a sua diagonal definirá o comprimento da segunda falange. Este processo é iterado mais uma vez para obter o comprimento da terceira falange, o

comprimento da palma da mão, e assim por diante (Figura 4). O que é engenhoso é que esta construção é naturalmente realizada com um simples fio que funciona como um compasso, sendo as construções de régua (não-graduada) e compasso características da geometria grega e este processo plausível do ponto de vista do processo artístico, o esquema de Tobin é particularmente cativante. A maioria das discussões do cânone padecem de abstração aritmética; temos de lembrar que Policleto era antes de mais um escultor e não apenas um teórico da estética, e o seu cânone deveria ser naturalmente operacionável para ter valor. É relevante apontar que o próprio Tobin era um escultor e não apenas um académico, e isso reflete-se na sua proposta:

*As a practicing sculptor I found the process most helpful in my own work; in applying the identical procedure to a wax figure over ten feet high-altering the initial spatial number to suit my own intentions-I was able to establish the entire proportional system for the figure within a quarter of an hour.*

O esquema de Tobin tem, no entanto, um grande problema: a construção iterativa quebra com o princípio da comensurabilidade, e quebra-o claramente e repetidamente a cada passo da iteração: Cada um dos módulos está para o anterior como a diagonal está para o lado de um quadrado, ou seja, cada comprimento é obtido do anterior mediante um produto por  $\sqrt{2}$ , portanto os comprimentos dos módulos sucessivos *nunca* são comensuráveis. Este é precisamente o exemplo *standard* de incomensurabilidade, pelo que é de esperar que este problema fosse conhecido por Policleto, que viveu depois de Pitágoras. Parece evidente que isto fere o esquema mortalmente. Mas talvez as coisas não sejam tão claras. Os tratamentos da questão da comensurabilidade na História da Matemática não são totalmente pacíficos nem em termos de cronologia nem em termos do impacto que ela teve na prática da matemática (ver por exemplo os comentários de Fowler (Fowler D. , 1987) (Fowler G. , 1994)), e muito menos dos campos adjacentes. O facto é que, como diz Tobin, o seu esquema tem a vantagem de que os “rácios” não têm de ser calculados, mas sim construídos geometricamente por um procedimento simples, mecânico. O facto de não serem rácios de inteiros passa totalmente despercebido ao artista, e não tem qualquer impacto prático. É perfeitamente possível que Policleto adotasse um tal esquema e ainda assim considerasse estar a seguir um esquema de

inspiração Pitagórica, ou que outros o assim interpretassem. Há inúmeros exemplos de tais contradições e dissonâncias cognitivas sempre que a História da Arte e da Matemática se cruzam. Se mais evidências disso fossem necessárias, basta ver que mesmo entre académicos do século XX, a vasta maioria que cita o trabalho de Tobin não se apercebe do problema, e fala do “rácio” construído por Tobin, ou levanta outras objeções irrelevantes, tipicamente que raiz de 2 é um número irracional e portanto seria difícil de aproximar com exatidão, como se a aproximação tivesse que ser construída “dígito por dígito”, o que demonstra uma incompreensão da forma como funcionam os números irracionais. De facto, a construção por régua e compasso é exata e trivial de executar, os números irracionais não exigem mais exatidão que os demais. A comensurabilidade é conhecida há milhares de anos e mesmo assim académicos dos nossos dias — mesmo especialistas em estudos clássicos — ainda têm problemas em perceber o seu significado ou em detetar a sua presença. Isto é natural, porque todos nos movemos dentro de especialidades e perdemo-nos com facilidade quando saímos delas. Não é, portanto, inconcebível que Policleto também o tivesse ignorado; mesmo o mais matemático dos escultores era ainda acima de tudo um escultor. Ou, se Policleto estivesse ciente da situação, não seria surpreendente que os comentadores da sua obra tivessem descrito a situação erradamente, ou que tivessem usado o termo comensurabilidade para se referirem à harmonia das proporções do cânone usando o termo “livremente” e não no seu sentido mais exato, até por falta de termo melhor; é preciso ver que neste momento da História o problema estava já compreendido, mas não resolvido.

Independentemente de tudo isto, o que notamos é o detalhe interessante da construção de Tobin: o adaptar das regras do cânone às operações que são naturais para as ferramentas artísticas utilizadas.

### **2.2.2. O CÂNONE E O REALISMO**

O cânone Grego (leia-se, o do Policleto) e o egípcio são claramente muito distintos, e é interessante perceber em que sentido o são. Falando inocentemente, a tendência é dizer

que as obras egípcias são idealísticas, estilizadas e as gregas são “realistas”. Uma aproximação mais cuidada faz-nos duvidar que estes termos estejam corretos. Será o cânone grego “realista”? Na verdade, é extraordinariamente idealista. Não é o corpo “comum” que é representado, pelo contrário é uma abstração matemática extremamente cuidada, e com um propósito literalmente “idealista”: pretende-se uma forma harmoniosa e equilibrada que representa proporções ideais originárias de matemática que procuram capturar uma noção ideal do belo.

Neste aspeto não estamos assim tão distantes do que se afirma do cânone egípcio, que subordina as reais aparências humanas à necessidade de comunicar significados simbólicos e metafísicos. E na verdade durante muito tempo a visão dominante é que o que caracterizava o cânone — e na verdade a escultura do período clássico de 450 AC a 420 AC — é uma rendição idealizada antitética ao realismo (Childs, 1988). Citando Bernard Ashmole (Ashmole, 1967):

*Theory was in the air, and not only in Athens. In Argos, at this moment [450 B.C.] Polycleitus was devising his ideal statue. I wonder whether he, like Plato later, was disturbed by the increasing facility with which the appearance of nature could be imitated, and wanted to prove that art was not mere reproduction but had principles of its own.*

Para o contra-argumento, Childs (Childs, 1988) é uma boa referência. Não entraremos aqui em detalhes nesse debate, mas interessa-nos considerar outra visão sobre o mesmo problema: é fácil ir longe demais e cair numa posição de mero relativismo considerando que ambos os cânones representam idealizações cuja única diferença é cultural, e que talvez o cânone grego nos pareça mais “realista” apenas porque estamos aculturados a ele. Esta posição de relativismo cultural foi muito prevalente na filosofia da arte do século XX, e em vários campos tomou formas similares; um exemplo típico é a cisma entre os “convencionalistas” (dos quais Goodman em *Languages of Art* (Goodman, 1968) é o representante por excelência) e os “realistas” (Gombrich seria o típico exemplo, com a posição articulada no seu *Art and Illusion* (Gombrich, 1960)). Goodman argumentava que as várias noções de perspectiva só diferiam por questões culturais e que a perspectiva linear só nos parecia “realista” por estarmos a ela aculturados (leia-se endoutrinados) por

uma educação artística eurocêntrica, e que se ela também parece de alguma forma “realista” para, digamos, um artista japonês, isso não é mais do que colonialismo visual, sendo impossível encontrar um olho “inocente”. Ora, as teses de Goodman apoiam-se em argumentos que não são muito difíceis de refutar em detalhe (geométrico, ótico, psicofísico); ver por exemplo as refutações de Mitrovic (Mitrovic, 2013) e Araújo (Araújo, 2016) (Araújo, 2020). Na verdade Araújo aponta que alguns dos argumentos de Goodman são antigos e as suas refutações também o são (um dos argumentos de Goodman vem claramente de Panofsky (Panofsky, 1927), argumento que por sua vez tinha já sido usado contra o modelo de visão de Kepler, e refutado por Descartes (Araújo, 2020)). É verdade que a cultura em que vivemos molda grandemente o que conseguimos observar, mas o relativismo cultural levado ao extremo consegue, por mera acrobacia verbal, toldar o que é patente ao olho desarmado. Como Mitrovic (Mitrovic, 2013) observa, mesmo a posição de Gombrich (formalmente, o “realista” no debate) é essencialmente constrangida por um forte determinismo cultural. Araújo (Araújo, 2020) argumenta que se é verdade que não existe “olho inocente” (a expressão é de Gombrich precisamente), muito menos existe mente inocente:

*If the eye is not innocent, far less is the mind so. It was simply the right cultural moment for such an argument to be entertained, in spite of the evidence of the eye.*

O facto de a tese convencionalista da perspectiva ter sido dominante durante tanto tempo, baseada em argumentos fracos e já previamente refutados que simplesmente encontraram chão fértil num certo momento cultural, deve alertar-nos para não descartarmos tão facilmente a evidência dos nossos olhos. É patente ao olho que o cânone grego é de facto mais realista, e mais naturalista que o egípcio. Mas tal como é delicado tecer as definições e formular as experiências que demonstram o lugar especial da perspectiva linear no seio das perspectivas possíveis — e, no entanto, essa intuição é evidente aos olhos de quem contempla uma perspectiva linear — é também difícil definir exatamente o que significa esse “realismo” do cânone grego, embora ele seja evidente aos nossos olhos. Tentemos uma tese preliminar: a observação mais simples é que os corpos ideais formulados pelo cânone grego são corpos *possíveis*. Mesmo que esses corpos não fossem típicos ou mesmo que não existissem, no sentido em que existia o

modelo fielmente copiado de um retrato Romano, com todas as rugas e imperfeições, o facto é que são corpos que o nosso cérebro visual diz que poderiam existir. São humanos ideais, mas possíveis. Sim, Policleto procura um ideal e uma abstração, mas o que caracteriza a idealização grega é que a idealização procurada é naturalista. O que se procura é a essência do belo, idealizado, reduzido aos seus fundamentos, mas o critério para determinar se o belo foi atingido é mimético — a forma obtida tem que ser reconhecível e identificável com o real — com o jovem, com o hoplita, com o atleta. O cânone grego — e o caminho que ele indicou — é caracterizado por um projeto historicamente peculiar em que o idealismo tem como alvo — ou pelo menos como bitola — o naturalismo. As abstrações geométricas dominam o pensamento, mas a figura representada nunca se perde em geometria, nunca se geometriza no seu aspeto, pelo contrário a geometria toma forma humana, e demonstra que está na origem de todas as coisas por ser capaz de tomar (gerar/assumir) essa forma.

Em suporte desta tese apontamos Leftwich, que na sua tese de doutoramento (Leftwich, 1987) identifica nove citações de Galeno previamente ignoradas e determina que o cânone foi inspirado na noção Hipocrática de *isonomia* (equilíbrio) e nos rácios Pitagóricos para os intervalos perfeitos da escala musical, nomeadamente a oitava (1:2), a quinta (2:3) e a quarta (3:4), mas também, e crucialmente, nos avanços mais recentes da medicina do seu tempo:

*precise medical knowledge of muscles is revealed by this statue [the Doryphoros]; they are represented on one side of the body at rest and on the other flexed. For the first time the motor functions of the body are depicted with near-scientific accuracy and a true though theoretical reality of the two characteristic states of the muscles is achieved. No more complete characterization is possible of the physical reality of the body.*

### 2.3. O CÂNONE EM TRANSFORMAÇÃO

A ideia do cânone grego como moldado por Policleto, nomeadamente a peculiar união entre a idealização do corpo e o realismo, entre a construção geométrica e a anatomia médica, perduraria na arte Ocidental durante os séculos seguintes e até hoje. Mas o cânone específico de Policleto seria rapidamente posto em confronto com novas propostas, mostrando que a ideia do belo não poderia ser capturada para sempre numa única idealização justificada por princípios geométricos únicos, mas seria sujeita à opinião volúvel de cada instante e à estética de cada época.

É mais uma vez Plínio, na sua *História Natural*, que nos informa que Lísipo (século IV aC), escultor pessoal de Alexandre o Grande, criou a sua própria versão do cânone, que tinha uma altura de oito cabeças contra as sete de Polykleitos (Costa, 2015), tornando-o mais esguio e de aparência mais alta, como pode ser facilmente percebido pela cópia romana do seu *Hermes de Atalante* (Figura 5). Mas apesar de Plínio referir o cânone de Lísipo, não há registo nas fontes nem de um tratado específico nem de uma escultura canónica que o ilustra. O “cânone” toma aqui a natureza do agregado das regras e padrões reconhecíveis de um estilo de representação, de uma figura ideal, e certamente teria uma estrutura menos matemática e exata. Neste sentido, podemos dizer que também Praxiteles (século IV aC) cria o seu próprio cânone, ao propor um modelo de corpo ideal reconhecível por proporções específicas e recorrentes, e diferente tanto do modelo de Policleto como do de Lísipo.

A ideia explícita do cânone volta a surgir algo inesperadamente com Vitruvius, não escultor, mas arquiteto romano do século I a.C., que no terceiro dos dez volumes do seu *De Architectura* inclui uma discussão das proporções ideais do corpo humano (Vitruvius, 1914):

*In a temple there ought to be harmony in the symmetrical relations of the different parts to the whole. In the human body, the central point is the navel. If a man is placed flat on his back, with his hands and feet extended, and a compass centered at his navel, his fingers and toes will touch the circumference of a circle thereby described. And just as the human body yields a circular outline, so too a square may be found from it. For if we*

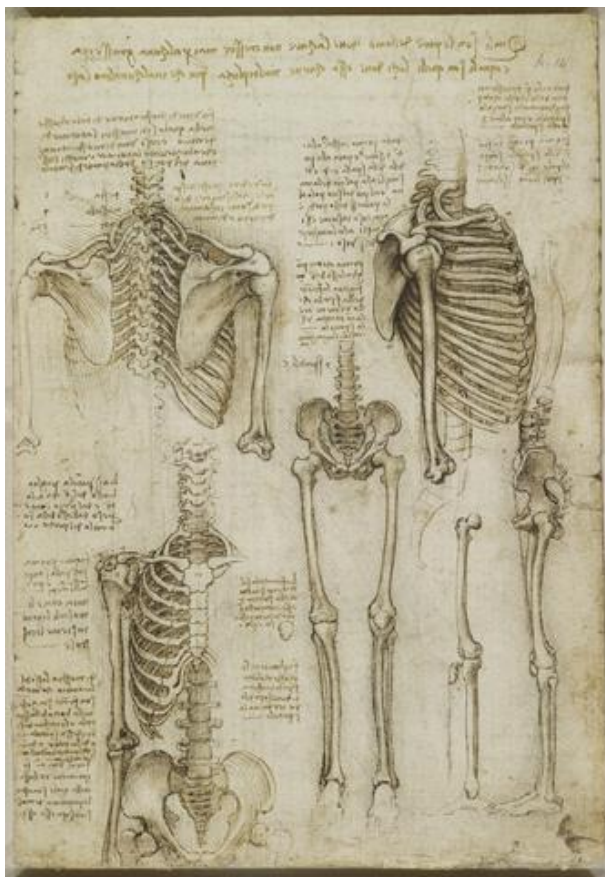
*measure the distance from the soles of the feet to the top of the head, and then apply that measure to the outstretched arms, the breadth will be found to be the same as the height, as in the case of a perfect square.*



**Figura 5: O Hermes de Atalante. Cópia Romana em mármore (Nápoles, Museo Nazionale Archaeologico).**

Se não temos aqui um tratado, muito menos uma escultura canónica, temos, no entanto, a ideia do cânone, e uma situação inversa à de Policleto: a descrição escrita do “cânone” sobrevive, mas é preciso interpretá-la enquanto forma, tornando-a uma escultura ou um desenho. E isto é tentado por muitos artistas e com as mais díspares interpretações, sendo a mais conhecida e mais bem-sucedida a de Leonardo. O facto é que a descrição não só é insuficiente para determinar a figura, como é, em alguns pontos, internamente

inconsistente, pelo que o cânone Vitruviano de Leonardo é, para sermos exatos, um cânone de Leonardo em bastante mais do que simplesmente a execução. O facto é que no Renascimento a noção de cânone tinha encontrado novo terreno fértil. Se levarmos a sério a tese de Leftwich e considerarmos que o cânone de Policleto foi influenciado pelo desenvolvimento da medicina no seu tempo e pela matemática, então, no Renascimento temos um novo terreno com condições propícias. A dissecação de cadáveres, embora ainda um processo complexo do ponto de vista moral, religioso e legal, tornou-se apesar de tudo muito menos restrita do que no mundo antigo, onde Galeno por exemplo esteve totalmente limitado às inferências que poderia alcançar através da dissecação de animais. Michelangelo estudou anatomia diretamente através da observação de cadáveres humanos, tendo realizado as suas próprias dissecações e mesmo demonstrações. De facto, pode-se dizer que Michelangelo estabeleceu esse tipo de investigação como parte integrante do treino dos artistas do seu tempo (Massey, 2022).



**Figura 6: Leonardo da Vinci: detalhes de esqueletos articulados, proveniente das suas notas sobre anatomia (c.1510).**

Com a necessidade de informação anatômica correta para desenhar o corpo humano de forma convincente, os artistas iniciaram a requisição de cadáveres para dissecação, utilizando como guia, o manual não ilustrado publicado por Mondino (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011).

Também Leonardo da Vinci (1452-1519) era fascinado pelo estudo da anatomia e do movimento. As suas anotações anatômicas tiveram início no final de 1480. Estas eram acompanhadas pelos estudos de faces e poses que realizou para *L'Ultima Cena* em Milão, a sua complexidade e o número foi crescendo até à sua morte. Leonardo terá realizado dúzias de dissecações de cadáveres e preenchido diversos livros com desenhos meticulosos e anotações (Figura 6). O seu objetivo seria a criação de um livro de anatomia superior ao manual de Mondino. Se Michelangelo restringiu o seu interesse essencialmente aos efeitos sobre a anatomia de superfície, Leonardo mostrou um interesse mais profundo pelas estruturas internas, de tal forma que o seu tratado poderia ter mudado a história do estudo anatômico se tivesse sido terminado e publicado. Infelizmente foi outro dos muitos projetos frustrados de Leonardo, do qual se conhecem apenas alguns esboços perdidos e copiados que circulavam entre outros artistas (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011), e ficaria para outros autores o papel de revolucionar a ilustração médica e anatômica.

Jacopo Berengario da Carpi (c.1460-c.1530) publicou o primeiro livro de anatomia ilustrado, *Commentaria super anatomia Mundini* (1522). Este livro continha mais de mil páginas de anotações provenientes das suas próprias cirurgias e dissecações, marcando a transição da Idade Média para o Renascimento com a inclusão de ilustrações anatômicas (Figura 7). No seu livro mais pequeno, *Isagogae breves* (1523), recomendava as suas ilustrações aos cirurgiões, como guia para tendões do corpo humano, assim como aos artistas, com o objetivo de aperfeiçoar o desenho da figura humana (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011).

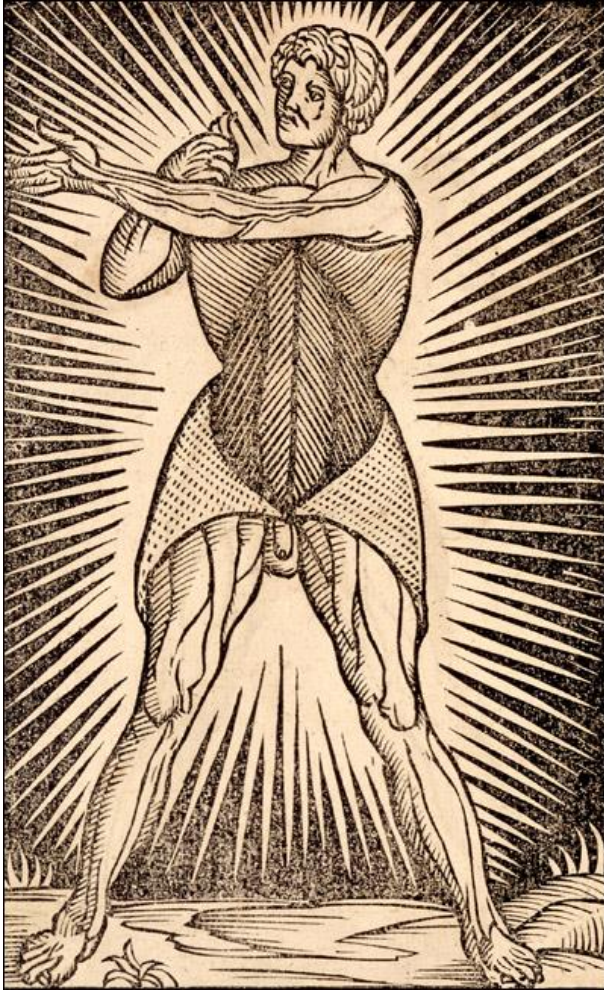
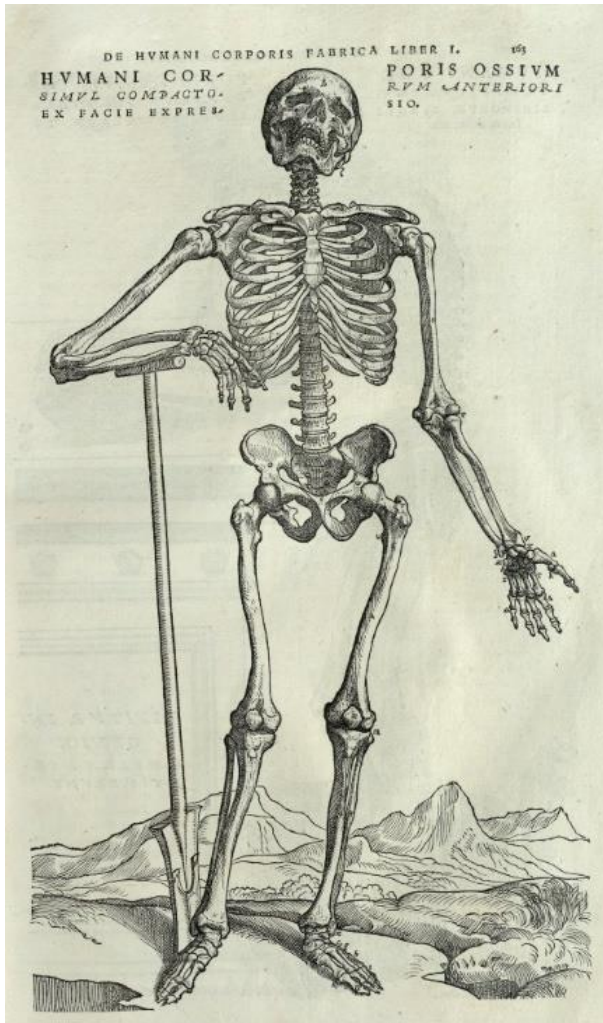


Figura 7: Jacopo Berengario da Carpi: dissecação profunda dos músculos, proveniente do seu livro, *Isagogae breves* (1523).

Mas se Berengario foi autor de avanços importantes, foi Vesalius que definitivamente revolucionou o estudo da anatomia. Andreas Vesalius (1514-1564) era professor de anatomia e executou dissecações fazendo os seus próprios esboços, à semelhança de Berengario. A impressão das suas ilustrações seria destinada à utilização pelos estudantes. Vesalius publica a sua obra *De Humani Corporis Fabrica Libri Septem* vinte anos após a segunda edição de Berengario. O livro superou todo o esforço anterior na ciência, arte e anatomia, estabelecendo o trabalho de Vesalius como um dos mais importantes da história da literatura médica (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011) e não apenas pela extrema qualidade estética e precisão anatómica das suas ilustrações (Figura 8). Vesalius faz questão de enfatizar a sua quebra com a autoridade de Galeno e dos textos antigos, e enfatiza a importância da experiência direta e o facto de Galeno estar restrito, pelas prescrições do mundo antigo, à experimentação com cadáveres de animais.

Pelo contrário Vesalius tem uma aproximação empírica que dá início à ligação da medicina moderna com o método científico. Mas as famosas ilustrações de Vesalius são para o nosso propósito interessantes acima de tudo pela sua ligação com o cânone.



**Figura 8: Andreas Vesalius: esqueleto numa paisagem, proveniente do seu livro, *De Humani corporis fabrica* (1543).**

Vesalius compreende inteiramente que o médico está interessado na variação dos corpos, e compreende que existe uma variabilidade natural que não tem consequências patológicas. Para o anatomista é interessante precisamente estudar essa variabilidade, mas Vesalius faz a diferença entre os corpos a dissecar no estudo privado entre especialistas e os espécimes adequados às dissecações públicas. Para estas últimas Vesalius recomenda apenas corpos que sejam “típicos”, porque para a mente não treinada a variabilidade é demasiado confusa e esconde o essencial, e os extremos tendem a ficar na memória do observador, deturpando a sua compreensão do que é

normal e característico (Massey, 2022). Pelo mesmo motivo, para a ilustração do seu tratado, é preciso escolher um corpo específico, e esse deve ser um corpo “tipo”. Não se trata de um corpo “típico” — um corpo individual, tipicamente apresentará um ou dois aspetos fora da norma — mas de um corpo ideal, um agregado das médias das características dos corpos observáveis, e aqui estamos (Vesalius estava disso consciente) a regressar à questão do cânone. Procura-se um corpo ideal que serve de régua contra a qual medir os outros. No fundo o corpo ideal é visto como uma unidade de medida em relação à qual os corpos reais são comparados. É de interesse notar que as poses escolhidas por Vesalius para as suas figuras, frequentemente são poses clássicas em contraposto, em clara alusão ao cânone. Igualmente interessante é ver como evoluíram os tratados de ilustração anatómica depois de Vesalius. Essencialmente, seguiram o caminho traçado por este, até ao século vinte.

### **2.3.1. O LEGADO DE VESALIUS**

Fazemos aqui uma rápida recapitulação da ilustração anatómica após Vesalius, com o propósito de traçar a influência do cânone neste campo, bem como o declínio da mesma.

Julius Casserius (c.1552-1616) pretendia criar uma anatomia ilustrada de todo o corpo, no entanto morreu deixando o seu trabalho inacabado. Sobreviveram setenta e sete ilustrações (Figura 9) de todo o seu trabalho desenvolvido. Durante este período, o seu aluno, Adrianus Spigelius (1578-1625) escreveu um texto de anatomia geral e uma monografia de desenvolvimento fetal. Em 1627, foi publicado um livro em dois volumes: o primeiro com o título, *De humani corporis fabrica libri decem*, com os textos de Spigelius. O segundo volume, *Tabulae anatomicae*, com as ilustrações de Casserius (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011) (North & Rhee, 2016).



Figura 9: Julius Casserius: figura anatómica masculina mostrando os músculos dos braços e tórax, proveniente do livro, *De humani corporis fabrica libri decem* (1627).

Govert Bidloo (1649-1713), professor de anatomia nascido em Amesterdão, mais conhecido como anatomista, publicou o seu trabalho monumental em 1685. O seu livro, *Anatomia humani corporis*, tinha cento e sete gravuras. O trabalho não foi bem-sucedido financeiramente, à semelhança de todos os atlas de anatomia dispendiosos nesse tempo. Em 1690 publica uma versão traduzida em alemão com o título, *Ontleding Des Menschelyken Lichaams*, utilizando as mesmas gravuras. As ilustrações (Figura 10) do trabalho de Bidloo foram desenhadas por Gérard de Lairesse (1640–1711) (North & Rhee, 2016).



Figura 10: Govert Bidloo: vista posterior de nu feminino, proveniente do seu livro, *Ontleding Des Menschelyken Lichaams* (1690).



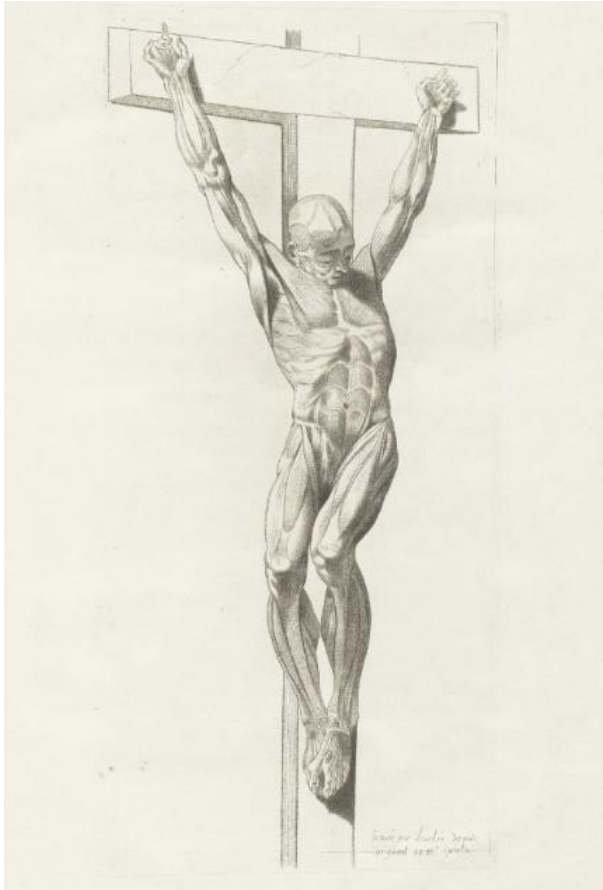
Figura 11: Bernhard Siegfried Albinus: vista frontal de um cadáver completo em paisagem, proveniente do seu livro, *Tabulae sceleti et musculorum corporis humani* (1747).

Bernhard Siegfried Albinus (1697-1770) nasceu em Frankfurt, filho de um médico, começou a ensinar anatomia em 1721, tornando-se um dos mais conhecidos anatomistas do século XVIII. Era particularmente famoso pelos seus estudos sobre os ossos e músculos (Figura 11) e pela sua ambição de melhorar a precisão da ilustração anatómica. Entre várias publicações, terá sido mais conhecido pelo seu trabalho, *Tabulae sceleti et musculorum corporis humani*, publicado em 1747. O artista e gravador com o qual Albinus realizou quase todo o seu trabalho foi Jan Wandelaar (1690-1759). Uma tradução do texto do livro *Tabulae* foi publicada em Londres em 1749 com o título, *Tables of the skeleton and muscles of the human body* (North & Rhee, 2016).



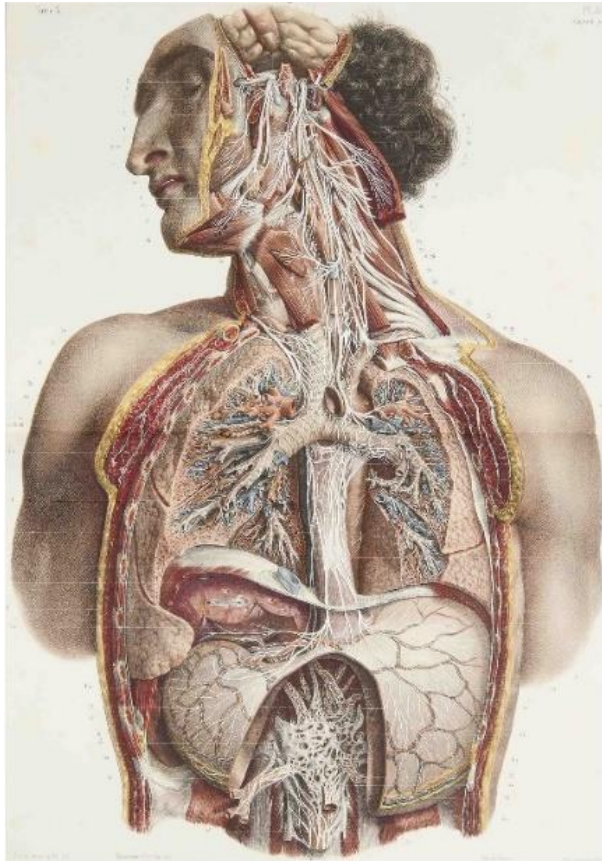
**Figura 12: William Smellie: útero feminino com feto sobre a coluna vertebral, proveniente do seu conjunto de ilustrações anatómicas para obstetrícia (1754).**

William Smellie (1697-1763) nasceu na Escócia e desempenhou funções como professor e médico. Publicou diversos trabalhos importantes de obstetrícia, incluindo um tratado sobre a teoria e a prática da obstetrícia (1752) e uma coleção de casos e observações em obstetrícia (1754). Em 1754 publica um conjunto de ilustrações anatómicas com explicações para a prática de obstetrícia. Até então, foi a demonstração mais detalhada (Figura 12) e precisa do parto já impressa com respeito à técnica e descrição anatómica. Os desenhos eram de Jan van Rijmsdyck (fl.1750–1788), incluindo mais onze feitos por Petrus Camper (1722–1789) e mais dois, provavelmente feitos pelo próprio Smellie (North & Rhee, 2016).



**Figura 13: Jacques Gamelin: gravura com uma figura masculina crucificada mostrando detalhes dos músculos do peito, abdómen, braços e pernas, proveniente do seu livro, *Nouveau recueil d'ostéologie et de myologie* (1779).**

Jacques Gamelin (1738-1803) nascido em França, filho de um mercador, estudou na Académie royale de Toulouse durante cinco anos, ganhando aqui o primeiro prémio, seguindo para Paris de forma a prosseguir os seus estudos. Posteriormente foi para Roma estudar e eventualmente se tornar pintor do Papa Clemente XIV. Regressou para Toulouse onde ensinou na Académie. Atualmente é mais famoso pelas suas pinturas. Quando regressou a França executou o seu grande trabalho, *Nouveau recueil d'ostéologie et de myologie*, em 1779. O trabalho é conhecido por apresentar cenas marcantes e imaginativas da Ressurreição e Crucificação (Figura 13) (North & Rhee, 2016).



**Figura 14: Jean-Baptiste Marc Bourgery: ilustração de um cadáver masculino com apresentação dos nervos do rosto, pescoço, tórax e abdómen, proveniente do seu atlas de anatomia.**

Jean-Baptiste Marc Bourgery (1797-1849) desenvolveu um atlas de anatomia, o seu grande projeto de vida. Com a estreita colaboração do talentoso Nicolas-Henri Jacob (1782-1871), publicou o seu primeiro volume em 1831. O último volume foi publicado em 1854, cinco anos após a sua morte. No total são oito volumes que completam um dos atlas de anatomia mais detalhados da história, composto por centenas de ilustrações (Figura 14) desenhadas por Nicolas-Henri (Rifkin, Ackerman, & Folkenberg, 2011) (Bourgery & Jacob, 2015).

O que é evidente nesta breve passagem pela evolução dos tratados de anatomia é que no início — nomeadamente no trabalho de Vesalius — há uma conexão fortíssima entre a ilustração enquanto obra de arte — nomeadamente na tradição dos clássicos — e enquanto ferramenta utilitária para o médico. Progressivamente esta conexão vai-se perdendo, atingindo o seu nadir nos nossos dias. Embora existam exceções, o normal nos manuais atuais é que os diagramas sejam essencialmente utilitários, focando-se na função, por vezes com grande abstração das formas, e suplementados por fotografia ou

outro tipo de imagiologia médica. Em parte, isto deve-se ao facto de que a ilustração científica ao estilo clássico é morosa e dispendiosa, e há relativamente poucos artistas atualmente que estejam aptos a desenhar com a necessária precisão e o necessário conhecimento médico para colaborar com o anatomista, e, bem o sabem os artistas em causa, há pouco financiamento disponível para recompensar esse trabalho. Mas é mais do que isso: acima de tudo seria impensável — e considerado ridículo, grotesco, ou de mau gosto — ilustrar poses fantasistas como as de Vesalius ou Gamelin num manual moderno. Perdeu-se a ligação com a arte enquanto arte, e certamente com o cânone. Se o ilustrador médico atual pensa nas proporções a usar na escolha dos seus modelos, fá-lo por considerações simples e eminentemente práticas. E se precisar de algo mais formal, procurará tabelas de médias antropomórficas. E aqui temos um paradoxo interessante, porque é precisamente na antropometria que o cânone ainda toca na medicina.

### **2.3.2. ALBRECHT DÜRER, PRECURSOR DA ANTROPOMETRIA MODERNA**

Pode-se dizer que Albrecht Dürer, na sua obra *Quatro Livros Sobre a proporção Humana* foi o grande precursor da antropometria moderna (Ritto, 2012). É frequente colocar o trabalho de Dürer na tradição da procura da figura ideal, da medida canônica do belo, e de facto Dürer começa assim o seu trabalho, seguindo Vitruvius inicialmente, mas é evidente das figuras humanas que este apresenta no seu tratado que o que estamos a ver é um estudo, não da figura ideal, mas da variabilidade real da figura humana. Não é um tipo, mas quando muito “tipos” que se estudam. Os corpos estudados por Dürer e meticulosamente medidos não são modelos de beleza, nem pelos critérios do nosso tempo nem do seu. São simplesmente corpos reais (Figura 15).

Mas, se há o abandono da figura única do cânone, há, no entanto, a procura da essência de cada figura, da sua categorização através da sua geometrização, não apenas pela redução às medidas associadas a pontos de referência, mas também à simplificação do corpo em termos de figuras geométricas simples. Esta redução à Geometria não é única a Dürer; este segue inicialmente na influência de Villard de Honnecourt, mas, comenta Ritto (Ritto, 2012):

Villard construía as figuras introduzindo formas naturais num esquema geométrico, em Dürer era a forma zoomórfica que precedia o conceito geométrico.

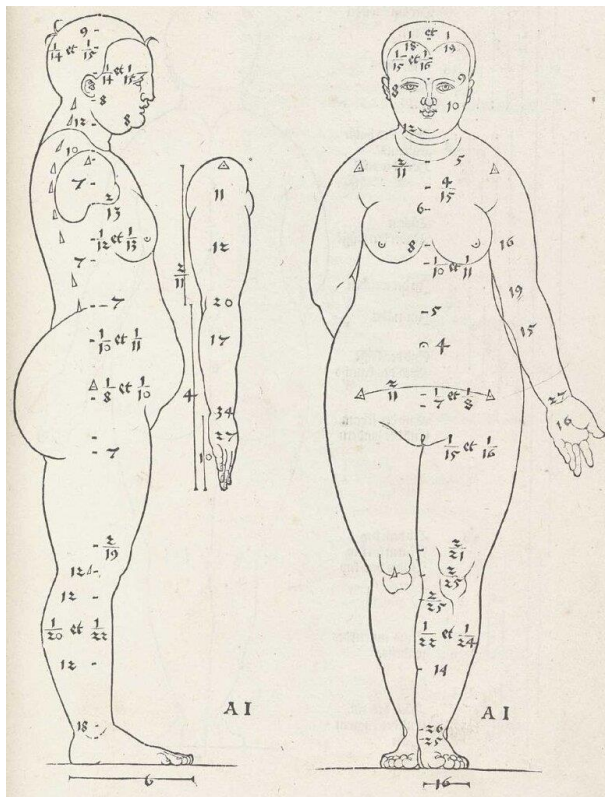


Figura 15: Gravura do tratado de proporções de Albrecht Dürer.

Na verdade, é quase uma necessidade esta geometrização das formas quando se lida com perspectiva e com os problemas de luz e sombra em perspectiva. Veja-se os comentários (e exercícios práticos) de Robert Hale (Hale, Robert, 1964) a este respeito. Mas se isto é comum a muitos renascentistas, Dürer leva-o mais longe do que qualquer outro artista ou anatomista da época, pelos estudos exaustivos e as medições sistemáticas e detalhadas a partir do real. No final, Dürer não chega a qualquer conclusão sobre o que deverá ser o cânone, e abandona mesmo esse propósito — o que ele faz é medir meticulosamente o que existe, e procurar as construções geométricas onde essas medidas podem ser articuladas da forma mais simples e sistemática.

### 2.3.3. O CÂNONE FACIAL NEOCLÁSSICO E A ANTROPOMETRIA

Curiosamente, se Dürer procurou o cânone e encontrou a antropometria, os antropometristas modernos, na perseguição dos seus deveres, reencontraram o cânone.

O *cânone neoclássico de medidas faciais* refere-se a um conjunto de especificações de proporções faciais estabelecidas por critérios modernos de antropometria, e usado em antropologia, estética facial, e em alguns campos médicos, em especial na cirurgia maxilolabial e na reconstrução facial.

É interessante notar que na arte — ou pelo menos nos estudos académicos relacionados com a arte — a noção grega do belo parece ser um conceito obsoleto, e mesmo em certos campos, um pouco ofensivo, que assume certos padrões eurocêntricos, etc. No entanto, em certas disciplinas, a procura do belo continua a ser uma questão fundamental. Na arte “comercial” (ilustração, animação, etc.) — que é, efetivamente, a maioria da arte praticada, e na qual trabalham a esmagadora maioria dos artistas — a procura do belo — do que atrai, do que cativa, do que captura o olhar e mantém a atenção, e, conseqüentemente, do que vende — é essencial, mesmo que se perceba que a “fórmula” que é bela hoje não é a fórmula que é bela amanhã, e que a fórmula que é bela em Paris poderá não ser a fórmula que é bela em Hong Kong. Não interessa que a fórmula que funciona seja fluida e instável, é preciso para tudo ter um padrão em relação ao qual as propostas específicas possam ser referenciadas. É preciso ter um bom sistema de coordenadas, uma boa régua. E é isto que é o cânone — uma boa régua.

Neste campo da arte “comercial” os cânones continuaram a alterar-se a e a multiplicar-se, mas perduraram. Tipicamente são cânones práticos e simplificados, que usam a medida da cabeça como unidade de base. Não têm as intenções teóricas elevadas de um Policleto, não são matematicamente complexos e muitas vezes nem são internamente consistentes, sendo mais regras-de-polegar. Na escola norte-americana de ilustração, são muitas as referências que — embora mutuamente contraditórias — são estudadas e aprendidas pelos estudantes, cada uma com as suas peculiaridades. A. Loomis (Loomis, 2011) desenvolveu um cânone simplificado que é estudado por praticamente qualquer ilustrador em início de carreira. R.B. Hale (1901-1985) (Hale, Robert, 1964) professor na

Art Students League de Nova York, e conhecido pelas suas famosas palestras de anatomia, desenvolveu um cânone que em que a medida de base era a largura e não a altura da cabeça; os exemplos são muitos e o que é característico é precisamente como as opções são variadas demonstrando mais uma vez que não há um cânone, mas muitos. Hale dizia numa das suas palestras de anatomia que o artista adota um cânone no início da sua carreira e passa o resto da vida a refiná-lo.

No caso do cânone facial neoclássico temos um campo que serve precisamente para avaliarmos a importância de um cânone, sem estarmos ofuscados pela confusão das fontes históricas, pela ausência dessas fontes ou dificuldade das traduções. E ao contrário dos cânones dos ilustradores modernos, é elaborado com grande precisão e com cuidado para evitar contradições internas. Este é um cânone que foi explicitamente elaborado, que está documentado, cujas funções podemos observar, tanto nas suas intenções como na sua funcionalidade real: um cirurgião quer reconstruir a face de uma vítima de um acidente grave, ou quer corrigir uma deformidade grave. Há escolhas a fazer. O artista de galeria ou o esteta académico pode recusar a noção de cânone e simplesmente dizer “não há um critério de beleza, todos os corpos são igualmente belos”. Mas isto é apenas doutrinário; no fundo é uma nova doutrina estética para a arte, tão arbitrária como a de Policleto, e que se caracteriza por exigir muito pouca — ou nenhuma — capacidade técnica ao seu praticante. Mas esse é um luxo que o cirurgião não pode ter: ele tem de fazer escolhas, e a escolha errada tem um efeito muito severo sobre a qualidade de vida e o bem-estar psicológico do doente, que em geral não concorda que todos os corpos sejam igualmente belos.

Assim é natural que os cirurgiões tenham tido grande interesse em estabelecer algum tipo de critério orientador acerca do que é uma face “bela”, ou simplesmente o que é uma face “normal”. E, naturalmente, procuraram a inspiração clássica como modelo.

Leslie G. Farkas é uma das figuras proeminentes no campo da antropometria e medições faciais. Desempenhou um papel significativo no avanço da compreensão e aplicação das proporções faciais, particularmente em relação a diferentes populações. Embora Farkas não seja o criador do cânone neoclássico de medidas faciais — é difícil traçar um

“criador”, sendo essencialmente um trabalho desenvolvido pelo acréscimo progressivo de contribuições em cima de uma base de padrões clássicos retirados dos cânones renascentistas (Leonardo, Dürer, etc.) — contribuiu para o seu refinamento, teste e aplicação, tendo conduzido uma extensa pesquisa sobre anatomia facial, medições antropométricas e variações nas características faciais entre diferentes grupos étnicos e faixas etárias. Conduziu estudos abrangentes envolvendo populações diversas para melhor compreender como as proporções faciais variam e como se relacionam com as diretrizes proporcionais previstas no cânone, de forma a adaptá-lo de forma útil para as várias populações.

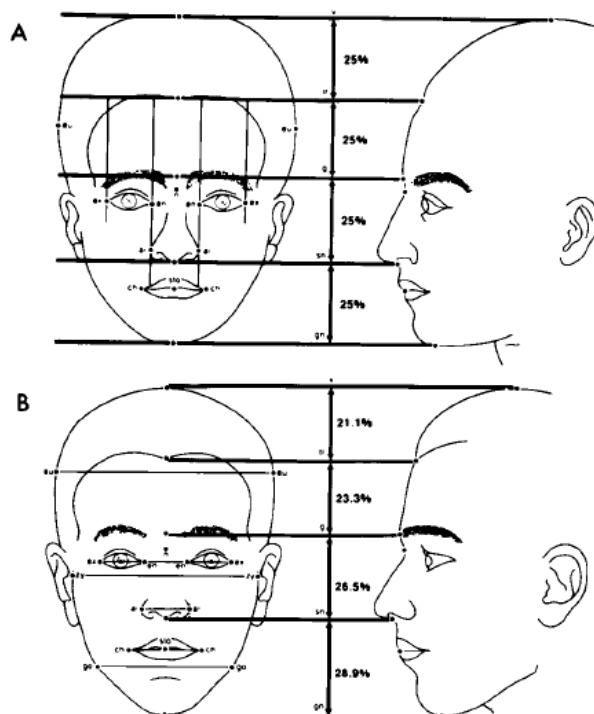


Figura 16: Cânone facial neoclássico comparado com as medições médias de um adulto caucasiano norte-americano (Farkas L. G., 1985).

FIG. 11. (A) Frontal and lateral views of a young adult face constructed with the help of the neoclassical canons. The head and face have four equal vertical sections, and the upper lip represents one-third of the lower face. The nose width equals the eye fissure length and the interocular diameter. The mouth is  $1\frac{1}{2}$  times the width of the soft nose, the face four times the width of the soft nose, and the head five times the interocular diameter. The nose and ear are equal in size and inclination ( $FH$  = Frankfurt horizontal). (B) Frontal and lateral views of average young adult North American Caucasian head and face constructed with the help of the mean measurements of both sexes. The inclinations of the profile are based on our unpublished data from young adults ( $FH$  = Frankfurt horizontal).

Ao contrário dos cânones puramente artísticos, este cânone antropométrico tem critérios de definição e medição objetivos e testáveis (medições antropométricas diretas (Farkas L. G., 1996), fotogrametria (Farkas, Bryson, & Klotz, *Is Photogrammetry of the Face Reliable?*, 1980)). Este tipo de precisão permite testar e eliminar hipóteses longamente deixadas em aberto. Por exemplo, é frequentemente dito nos meios artísticos que as proporções verticais do cânone facial (que divide a face em três partes iguais — ver Figura 16) correspondem a uma “média” da população. Esta noção da média corresponder ao belo é recorrente na ideia do cânone grego, e como já vimos estava subjacente às ideias de Vesalius acerca do espécime ideal para efeitos didáticos.

Ora Farkas testou precisamente esta ideia em populações reais (Farkas L. G., 1985), com medições cuidadosas e tratamentos estatísticos dos dados. Verificou que a igualdade do cânone não corresponde à realidade da média da população. Mas mais do que verificar essa não-correspondência, obteve uma medida estatística da variação em torno desta. Ora a medição do desvio em relação ao modelo ideal é ela própria tão útil como seria a eventual correspondência ao mesmo. O que importa não é que o modelo corresponda à média, mas que o modelo é simples — e mesmo mnemónico; a divisão em três partes iguais é a mais fácil de estabelecer num desenho e de manter em mente — é esteticamente aceitável, é compatível com a biologia (seria possível e aceitável ter uma cara que corresponde ao modelo — ou seja, é “realista”) e serve de base de referência para medir a variabilidade real da população, ou seja, esta distribui-se em torno dele de uma forma que o torna um referencial razoável.

Estes estudos foram repetidos para diversas populações; ver por exemplo a aplicação a uma amostra de jovens gregos (Zacharopoulos, 2012), Afro-Americanos (Farkas L. F., 2000), árabes (Al-Sebaei, 2015) e asiáticos (Le, Farkas, Ngim, Levin, & Forrest, 2002) e contribuíram para uma compreensão mais abrangente da diversidade nas proporções faciais. Foram desenvolvidos bancos de dados extensos de informações antropométricas, que forneceram pontos de referência valiosos para profissionais em áreas como cirurgia plástica, ortodontia e antropologia forense. Esses bancos de dados auxiliaram os profissionais a adaptar suas abordagens às características únicas de diferentes populações. Utilizaram-se métodos estatísticos para analisar os dados coletados,

identificando padrões e variações nas proporções faciais. Foi analisado de que forma as diferentes populações divergem das proporções canônicas, com implicações para as práticas em áreas como cirurgia plástica, cirurgia craniofacial e ortodontia. Ao compreender as variações nas proporções faciais, profissionais de medicina puderam alcançar resultados mais naturais e culturalmente sensíveis nas suas intervenções.

O que é interessante nos estudos de Farkas, para o nosso propósito, é que temos um exemplo de um cânone que tem objetivos eminentemente práticos, mas que se sujeita ao rigor da investigação científica. E é um cânone que se verifica não corresponder à média de qualquer população e mesmo assim verifica-se ser um modelo útil para a compreensão não só dessas médias — como ponto de referência — mas mesmo da variabilidade em torno desta.

Isto reforça a nossa tese de que o cânone não tem de ser visto como prescrição de beleza; não tem de ser visto como uma afirmação de uma realidade estatística; é essencialmente um modelo, que para ser útil, deve ser simples, compatível com a realidade, e deve ser um referencial adequado para localizar e caracterizar as variabilidades do real em relação ao padrão canônico. Ou seja, o cânone é uma régua e não uma regra.

### 3. ESTADO DA ARTE

#### 3.1. CÂNONE

O domínio das ferramentas é apenas parte do trabalho no processo de escultura da figura humana. A outra parte, infundável e trabalhosa, é a constante aquisição de competências artísticas através do estudo da anatomia humana (Eaton, *Body Work*, 2006). Este desafio deve ser encarado pelo escultor atual, com as suas ferramentas digitais, tal como foi pelos mestres do Renascimento, com os seus escopros e martelos. Contudo, se o conhecimento da anatomia humana não estiver bem fundado, as ferramentas digitais — ainda que, aparentemente mais fáceis de utilizar —, continuam a intimidar aqueles que as utilizam para modelar uma geometria base ou esculpir os detalhes da figura humana em 3D — o cânone anatómico é uma ferramenta clássica que serve de apoio nesta tarefa.

Recapitulemos as considerações a que chegámos na secção anterior, ao rever criticamente a história do cânone: considerámos que o cânone não é, como vulgarmente se diz, apenas um padrão arbitrário de beleza anatómica, mas uma mnemónica anatómica. É um modelo do corpo que, acima de tudo, deve ser simples o suficiente para que fique registado na mente do artista, como um padrão, com o qual um corpo real pode ser triangulado e medido: ao observar ou conceber um corpo específico, o artista pode constatar as diferenças relativamente ao cânone de referência. Desta forma, o cânone — e em particular o cânone digital — serve de ponto de partida, mas também, de suporte e guia contínuos durante o processo de escultura; sem esse guia, o potencial inerente às ferramentas é anulado.

O cânone não é único. Um cânone é uma ferramenta simples e elegante que o artista pode utilizar no início da sua vida criativa e que, poderá alterar e ajustar, de acordo com a sua preferência pelo resto da vida. É aqui proposto um cânone, uma primeira iteração, especialmente adaptada às necessidades do escultor digital.

A criação de um cânone anatómico digital apresenta um desafio particular, pois deve especificar não apenas uma geometria, mas também uma topologia: a superfície geométrica requer proporções precisas e simples, para facilitar a sua compreensão; a

topologia — ou seja, a conectividade dos vértices e arestas da *mesh* que subdividem a figura — deve ser simples e apropriada para uma deformação correta no processo de animação (Seo & Magnenat-Thalmann, An automatic modeling of human bodies from sizing parameters, 2003), ou seja, o cânone digital deve ser inerentemente dinâmico.

Se queremos desenvolver um cânone para a modelação 3D, temos de estar cientes do estado da arte no campo dessa mesma modelação, e é isso que discutimos no que se segue.

A modelação da anatomia humana realista em computação gráfica tem sido uma área de intensa pesquisa desde o início dos anos setenta. A complexidade de simular o corpo humano e o seu comportamento espelha a complexidade do próprio corpo (Scheepers, Parent, Carlson, & May, 1997), desta forma, algumas aplicações como a MakeHuman (Bastioni, Re, & Misra, 2008) ou MetaHuman (MetaHuman, 2023) tem sido desenvolvidas de forma a automatizar a criação de modelos humanos 3D. Nas últimas décadas, a prática artística convergiu em várias técnicas para modelar o corpo humano em três dimensões, cada uma com sua abordagem única do problema, e, no entanto, o realismo anatómico, na maioria das vezes, parece permanecer um objetivo ilusório. Apesar disso, existe um consenso global sobre a modelação do corpo humano, que pode ser resumido em dois importantes conselhos: boas referências da anatomia do corpo humano; modelo 3D do esqueleto como base para modelação dos músculos (Briggs, 2018). Atualmente, o modelo 3D do esqueleto humano é usado em simulações físicas das estruturas anatómicas de personagens animados. Essa abordagem permite a deformação do corpo de um personagem de maneira anatómica e fisicamente realista (Jacobs, Barbic, Edwards, Doran, & van Straten, 2016) (Clutterbuck, Jacobs, & Dorling, 2022). Segundo Nedel (Nedel & Thalmann, 2000) quanto mais real for o modelo digital melhor será a simulação. No entanto, encontrar um modelo 3D do esqueleto humano adequado ou criar um modelo com uma anatomia e antropometria corretas é extremamente difícil, e na maioria dos casos, acaba por se tornar uma base inadequada devido às suas imprecisões.

De acordo com Seo (Seo, Cordier, Philippon, & Magnenat-Thalmann, 2000) existem vários métodos de modelação 3D. Um deles, antigo e caído em desuso, consistia em

cobrir partes do corpo de uma pessoa com gesso, desenhar uma grelha por cima e, após o levantamento fotográfico de vários ângulos, a informação era introduzida no computador de forma a criar o modelo 3D (Magenat-Thalmann & Thalmann, 1987). DeRose (DeRose, Kass, & Truong, 1998), apresenta a técnica de *Subdivision Surfaces* que começou a ser utilizada em produção pela Pixar logo nos primeiros filmes. Esta técnica, muito utilizada nos dias de hoje, consiste na criação de uma *mesh* de controlo com baixo teor de polígonos. Posteriormente, esta *mesh* é subdividida  $n$  vezes de forma a suavizar a geometria e a criar um resultado bastante apelativo visualmente, como se descreve na construção do modelo otimizado, no capítulo 4.3. Esta técnica foi utilizada na modelação do cânone proposto no capítulo 4.10. Outra técnica de modelação consiste na utilização de *metaballs* (Shen & Thalmann, 1995) para moldar uma forma básica. Posteriormente, é acrescentado detalhe à forma adicionando mais *metaballs*, ou simplesmente, editando as existentes. A utilização de *Freeform Deformations* (Chadwick, Haumann, & Parent, 1989) permite a alteração da forma de objetos utilizando uma matriz 3D, cujos pontos são manipulados individualmente.

O método utilizado por Garvey (Garvey, 2002) para modelar o corpo humano, consiste em criar vários círculos, posicionados e escalados de acordo com a referência anatómica projetada nas vistas frontal e lateral. No final, esses círculos são utilizados para criar a superfície do modelo com recurso a NURBS. Contudo, este método não apresenta uma topologia anatómica e é muito difícil de implementar em áreas do corpo humano, como: cabeça, ombro, mão e pé. Com a técnica de subdivisão de polígonos, Ratner (Ratner, 2003) cria o modelo humano a partir de um cubo, fazendo várias subdivisões e extrusões de geometria. Essa abordagem é complexa porque requer inúmeras operações e usa várias ferramentas de modelação. Além disso, a topologia não possui precisão anatómica e o modelo não é adequado para a escultura digital porque apresenta triângulos e a *mesh* não é uniforme. O método é também complexo de implementar pelo artista porque é extremamente complicado memorizar a sequência de operações para construção do modelo. Spencer (Spencer, 2010) propõe um método para criar um modelo humano de baixa definição para escultura digital. Este método consiste em criar as formas e proporções básicas da figura humana e pode ser desenvolvido utilizando *software* 3D,

como Maya, Blender, entre outros. No entanto, a geometria resultante não possui precisão anatômica e a topologia da *mesh* necessita de ser completamente reconstruída no decorrer do processo de escultura digital.

**Proposta:** Propõe-se um novo cânone que permite a construção de um modelo humano de baixa definição. A definição do modelo aumenta nas zonas em que os detalhes do corpo humano são mais relevantes (e.g., rosto). A topologia respeita as principais características da anatomia humana e a abordagem tradicional dos ciclos de arestas adequados à deformação de geometria em animação.

### 3.2. MODELO ANATÓMICO

#### ZygoBody

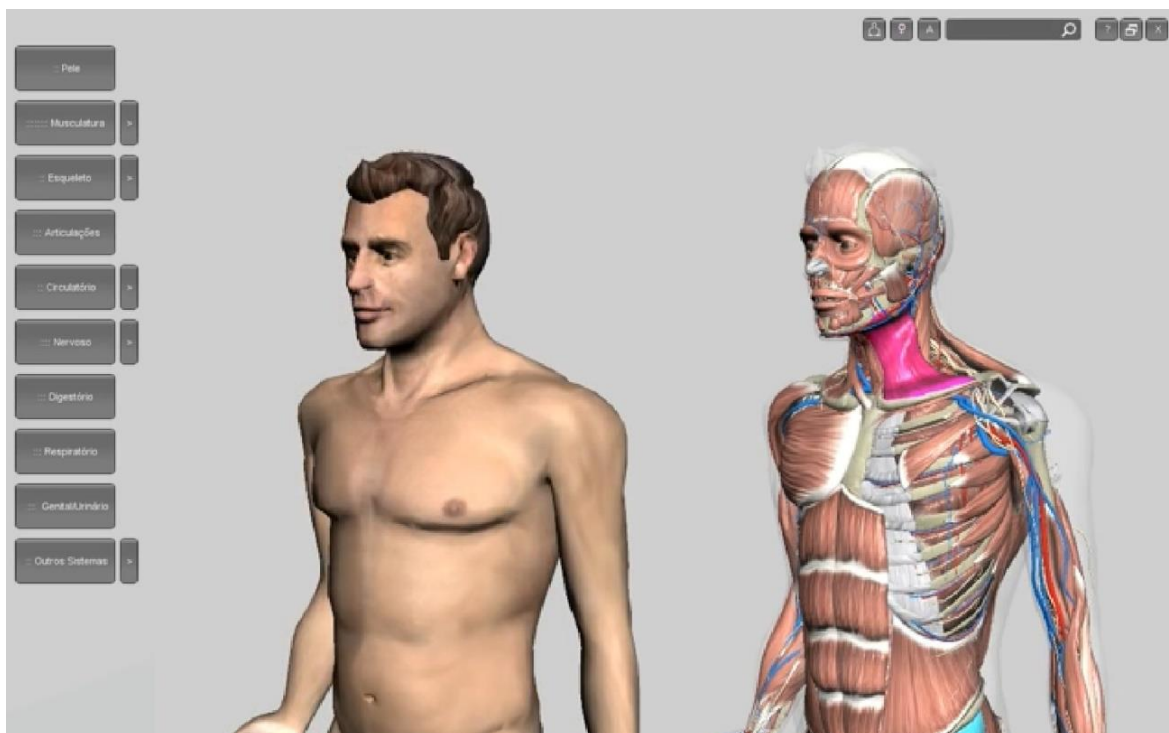
A aplicação ZygoBody (Zygo Body 3D Anatomy Online Visualizer | Human Anatomy 3D, 2023), tem disponível uma versão em inglês para iOS e outra para a Web. A primeira tem um custo associado, a segunda, apresenta três tipos de subscrição (Lite, Premium, Professional), sendo apenas gratuita a subscrição “Lite”. Todas as subscrições apresentam um modelo com anatomia completa, no entanto, as que não são gratuitas facultam conteúdos e ferramentas adicionais que ajudam a compreender a anatomia humana. Mesmo na versão gratuita é apresentada muita informação, sendo que, uma grande parte desta informação poderá ser considerada irrelevante para a anatomia artística: esta debruça-se essencialmente sobre a anatomia de superfície que inclui o esqueleto, músculos e pele. Estas estruturas são apresentadas em rigor, mas é necessário isolar as mesmas dos restantes sistemas para que se possa compreender a informação. A aplicação apresenta um modelo masculino e feminino de qualidade inquestionável (Figura 17), no entanto, ambos perdem algum realismo devido à fraca qualidade das texturas e dos *shaders* utilizados, dando um aspeto de boneco aos modelos. A visualização do modelo é feita através da rotação no eixo vertical, sendo possível aproximar, afastar e ainda deslocar o mesmo verticalmente. Ambos os modelos são apresentados em pose anatómica estática, não sendo possível alterar esta pose de acordo com os requisitos do artista.



**Figura 17: Interface da aplicação ZygoteBody.**

## **Biosphera**

A aplicação Biosphera (3D Human Anatomy Introduction, 2023), tem disponível uma versão para PC Windows e outra para Apple OSX. Para adquirir esta aplicação existe um custo associado e cada licença será destinada a um único computador, sendo necessário ligação à internet para concluir a ativação. É apresentado um modelo com anatomia completa com muita informação disponível, sendo ainda possível fazer pesquisa. Grande parte da informação apresentada poderá ser considerada irrelevante para o estudo da anatomia de superfície. Para compreender a informação é necessário isolar determinados sistemas e essa operação não é simplificada. O *software* apresenta um modelo masculino e feminino com fraca qualidade (Figura 18) e o rigor anatómico da geometria 3D é reduzido. A visualização do modelo é feita de forma bastante funcional, permitindo ao utilizador orbitar em torno do modelo, aproximar, afastar e arrastar o modelo com o rato, ou ainda, utilizando as teclas de cursor. Os modelos são apresentados em pose anatómica estática, o artista não pode alterar a pose dos mesmos.



**Figura 18: Interface da aplicação Biosphera.**

## **BioDigital**

A aplicação BioDigital (BioDigital | Interactive 3D Anatomy, 2023), tem disponível uma versão em inglês para iOS, Android e outra para a Web. É disponibilizada uma extensa livreria com dezenas de modelos repletos de informação, alguns acompanhados de pequenas animações, outros destinados a compreender determinadas condições de saúde. Grande parte da informação apresentada poderá ser considerada irrelevante se vocacionada para o ensino artístico. Para compreender a informação é necessário ocultar ou isolar determinados sistemas. Os modelos apresentados nesta aplicação são, inquestionavelmente, os melhores de todas as aplicações testadas no decorrer deste estudo. Apenas a qualidade das texturas e *shaders* poderia ser mais realista (Figura 19). A visualização do modelo é feita de forma prática, permitindo ao utilizador orbitar em torno do modelo. Para aproximar, afastar e arrastar o modelo é necessário utilizar ferramentas próprias que estão disponíveis na aplicação para a Web. Na aplicação móvel o funcionamento é mais prático, sendo completamente tátil. A apresentação dos modelos é feita em pose anatómica estática, a manipulação e alteração da pose não é possível.

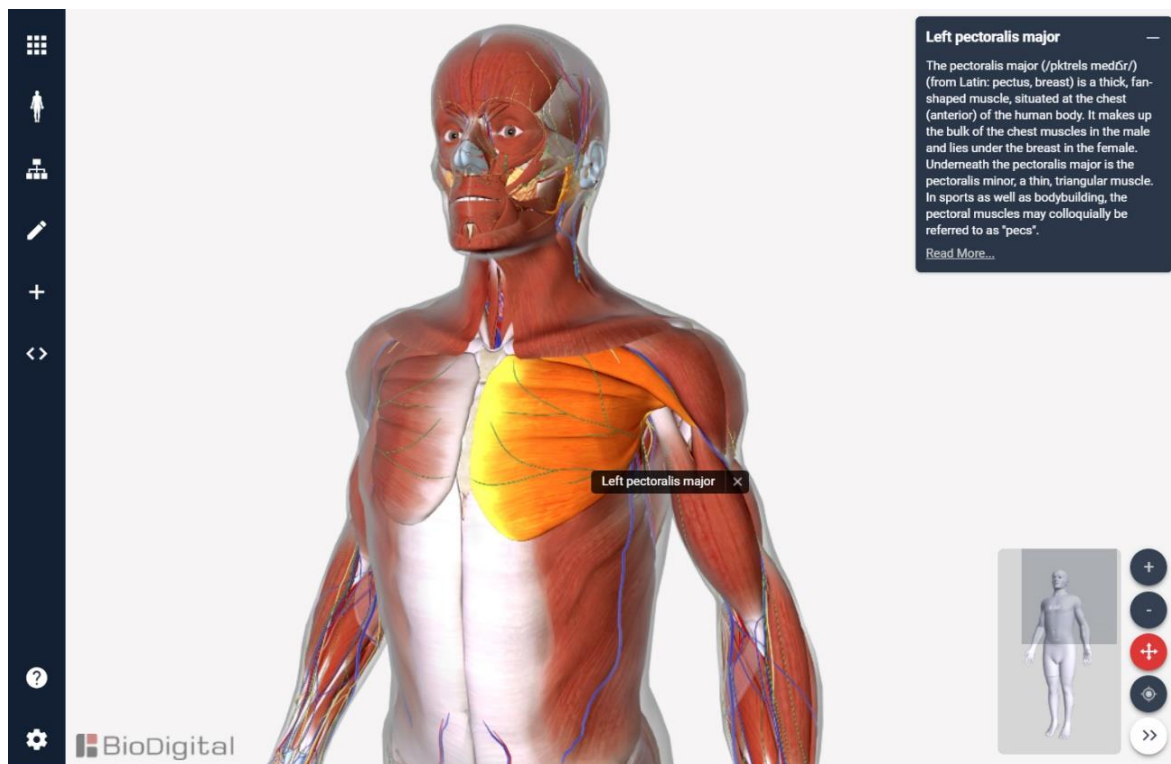


Figura 19: Interface da aplicação BioDigital.

**Proposta:** Relativamente aos modelos estudados, a proposta apresentada vem essencialmente resolver a falta de um modelo digital perfeitamente adequado aos artistas. O modelo proposto deve obedecer com rigor ao cânone grego de oito cabeças de altura (Pipes, 1999) para um indivíduo adulto. Este cânone foi considerado por Andrew Loomis (Loomis, 2011) e por Gottfried Bammes (Bammes, 2017) como o que apresenta a figura ideal humana, sendo também o mais utilizado entre os artistas. Deverá permitir articular todas as suas partes, à semelhança do corpo humano, enquanto é demonstrada a deformação dos músculos em tempo real, mediante a pose determinada. Adicionalmente, será integrado numa aplicação virtual disponibilizada na Web, onde qualquer utilizador poderá utilizar o modelo.

## 4. PROPOSTA DE CÂNONE

### 4.1. PREMISSAS

A proposta apresentada fundamenta-se em três premissas que se consideram fundamentais para o artista que pretende modelar o corpo humano utilizando *software* 3D, com rigor anatómico:

1 - Baixa definição: Segundo Eaton (Eaton, *Body Electric*, 2008), a geometria base de um modelo humano digital deve ser de baixa definição e manter as principais características da anatomia humana. Uma geometria de base com baixa definição permite alterar a sua forma deslocando um único vértice de forma isolada e simples. Esta abordagem também permite definir os contornos básicos do modelo, assim como, a criação e alteração de pontos chave na anatomia do modelo;

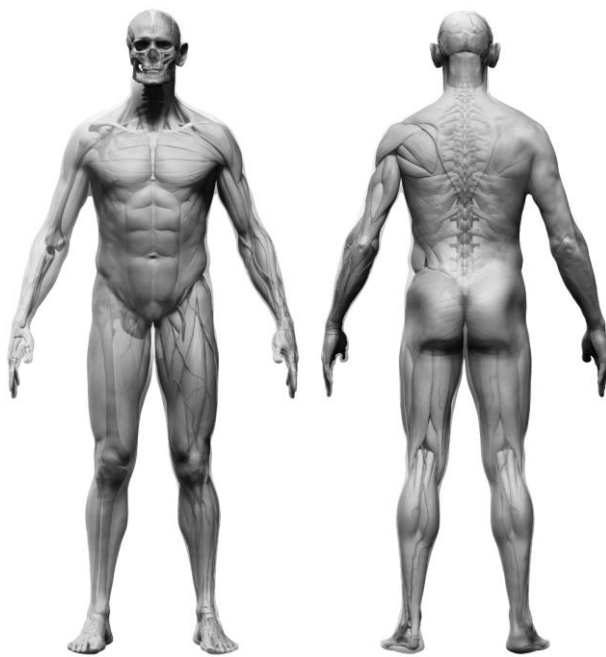
2 - Topologia adequada: A topologia da geometria do modelo tridimensional deve ser adequada à anatomia humana, contudo, também deve ser apropriada para a posterior deformação do modelo em animação (Martin, 2021). O modelo deve ser construído com polígonos de quatro lados, com a forma aproximada do quadrado e uma distribuição uniforme, de forma a permitir a correta subdivisão da geometria do modelo no processo de escultura digital (Eaton, *Body Work*, 2006). As arestas servem como limites para definir os músculos do modelo humano digital;

3 - Rigor anatómico: A soma das duas premissas anteriores, deve facultar uma estrutura sólida para alcançar o rigor anatómico. Contudo, o corpo humano não pode ser compreendido apenas através da observação da sua superfície. É necessário compreender o interior; os seus elementos estruturais devem ficar registados na mente do artista (Gage, 1980). O estudo da anatomia humana é um processo interminável e necessário para atingir uma melhor compreensão da mecânica do corpo e toda a sua complexidade.

## 4.2. MODELO HUMANO DIGITALIZADO

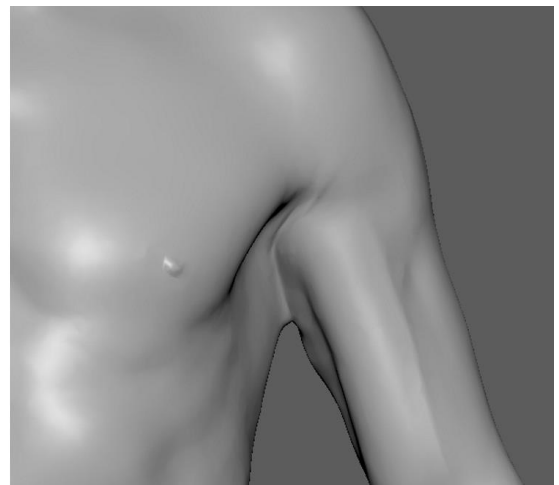
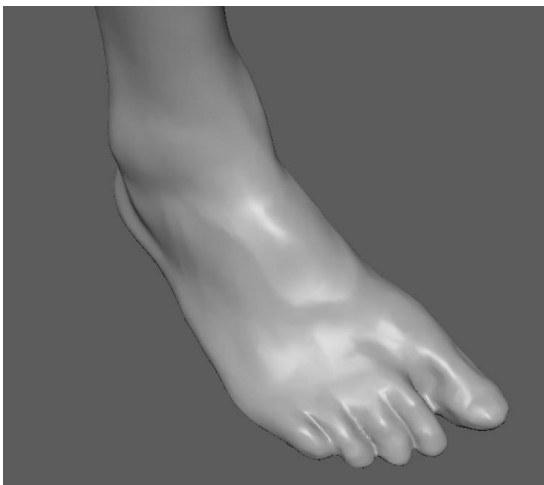
O início da proposta foi dominado pela incontornável necessidade de utilizar um modelo humano, de forma a garantir uma base real e evitar possíveis divergências que pudessem existir em modelos construídos, essencialmente, numa base estética. Tendo a fidelidade ao modelo humano como premissa, determinou-se que o modelo de suporte deveria ser um adulto, do sexo masculino, com características propícias ao estudo a realizar, nomeadamente: proporções antropométricas aproximadas ao cânone grego de oito cabeças de altura; físico atlético com massa muscular relevante e sem evidente acumulação de gordura corporal. Para além da necessidade evidente do modelo humano adequado ao estudo e proposta, assomou a necessidade de utilizar um esqueleto apropriado a este modelo humano. Determinados estes factos inalienáveis, tornou-se evidente recorrer à digitalização 3D de modelos de referência. No entanto, juntamente com estes requisitos, arvoraram-se as dificuldades inerentes à obtenção destas digitalizações 3D, mais concretamente: onde encontrar um indivíduo adequado e acessível à execução da fotogrametria em pose nua; onde obter um esqueleto completo com características congruentes com o modelo humano digitalizado.

No decorrer da pesquisa relacionada com a digitalização 3D de modelo humano, à semelhança do estudo de transformação anatómica desenvolvido por James Busby (McKenzie, 2023), surgiu a proposta de utilizar um dos modelos da empresa TEN24 (Ten24 - 3D scanning / Photogrammetry / Characters, 2022). Esta empresa, conceituada pela qualidade das suas digitalizações através de fotogrametria, e pela digitalização de modelos utilizados na indústria de cinema e videojogos, apresentava uma oferta diversificada de modelos humanos digitalizados, no entanto, destacou-se um modelo em particular. O modelo foi escolhido por fazer parte integrante de um pacote de três modelos, nomeadamente: modelo humano digitalizado; modelo miológico *écorché*; modelo osteológico do esqueleto (Figura 20).



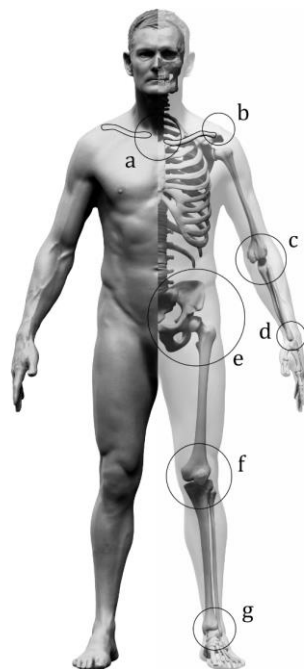
**Figura 20: Modelo utilizado, criado pela empresa TEN24.**

Este modelo digitalizado foi utilizado por apresentar uma qualidade superior à que seria de esperar de um modelo digitalizado, não só na densidade poligonal, como também, na qualidade das texturas, resultado de uma fotogrametria muito bem elaborada. É possível salientar apenas pontuais defeitos relativos à digitalização, nas zonas onde o levantamento fotográfico foi ineficaz, nomeadamente, onde diferentes partes do corpo estão muito próximas. Uma destas zonas, está situada entre os dedos dos pés e entre os braços e tronco (Figura 21).



**Figura 21: Defeitos resultantes da fotogrametria.**

De acordo com a informação obtida por parte da empresa TEN24, o modelo *écorché* e do esqueleto, foram ambos modelados manualmente com base no modelo digitalizado. Constatou-se que ambos carecem de uma perfeita integração com o modelo humano digitalizado. No entanto, se no modelo *écorché*, as divergências são pouco notórias, no modelo do esqueleto, são bastante relevantes. De uma forma geral não foi corretamente feita a adaptação do modelo do esqueleto ao modelo digitalizado. Identificam-se algumas divergências mais notórias, nomeadamente, nas zonas onde os ossos se encontram junto à superfície do corpo e provocam algumas protuberâncias típicas. Começa-se por identificar, uma dessas divergências na localização da clavícula entre o modelo digitalizado e o modelo do esqueleto (Figura 22, «a»).



**Figura 22: Comparação entre o modelo digitalizado e o modelo do esqueleto.**

A posição da clavícula não está corretamente alinhada com o modelo digitalizado, assim como, o esterno e a escápula que se ligam à clavícula em ambas as suas extremidades. Na referência, é evidente também, que a articulação entre a clavícula e o acrómio deveria estar localizada à superfície do modelo digitalizado (Figura 22, «b»), proporcionando assim, a protuberância típica localizada entre o músculo trapézio e deltóide. Os ossos do antebraço, nomeadamente, o rádio e a ulna apresentam a forma incorreta na sua

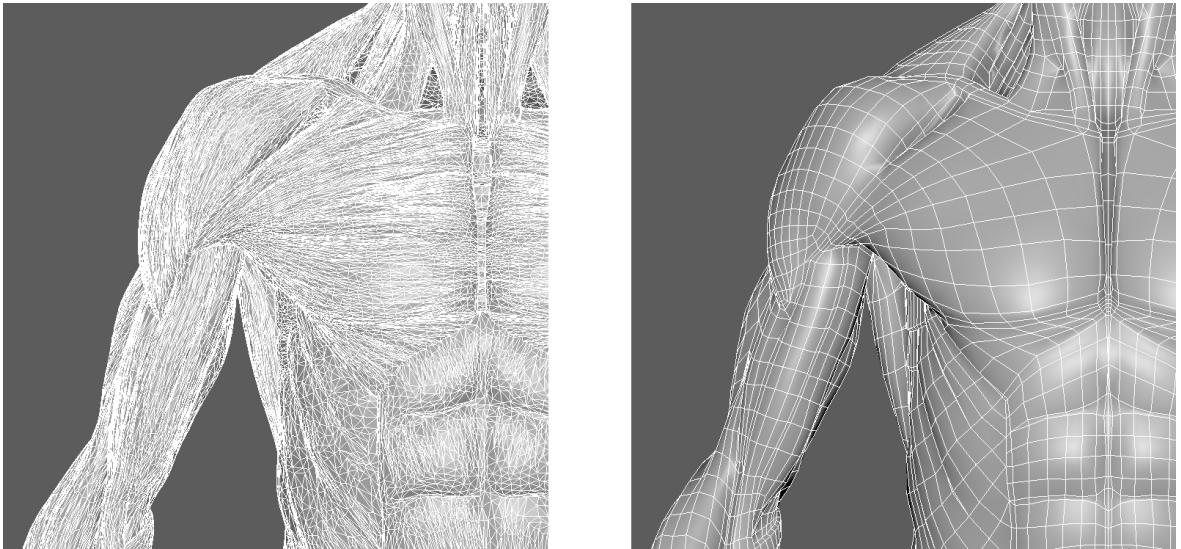
extremidade superior (Figura 22, «c»). O olecrano não se encontra junto à extremidade do modelo digitalizado, como seria de esperar ao facultar a forma típica do cotovelo. Também na sua extremidade inferior, o rádio e a ulna não apresentam a forma anatomicamente correta. A cabeça da ulna não fica posicionada à superfície do modelo digitalizado, dando origem a outra protuberância típica localizada no pulso (Figura 22, «d»). Os ossos coxais não apresentam a forma adequada ao modelo. De salientar que a crista ilíaca deveria estar junto da superfície do modelo, demarcando a concavidade existente na zona da cintura, entre o glúteo médio e o oblíquo externo do abdómen. Também a grande trocânter tocar a extremidade do modelo (Figura 22, «e»). A extremidade inferior do osso fémur e a superior da tíbia encontram-se ligeiramente afastados, a patela deveria estar localizada à face do joelho do modelo digitalizado e a sua forma não é correta (Figura 22, «f»). Ao nível do tornozelo, salienta-se apenas, que o maléolo lateral da fíbula deveria, também este, ficar à face da geometria do modelo, proporcionando assim outra típica protuberância existente no tornozelo, em conjunto com o maléolo medial (Figura 22, «g»).

Não obstante as divergências entre os dois modelos relativamente ao modelo humano digitalizado, considerou-se o modelo *écorché* adequado à proposta, mediante a realização de pequenas alterações ao modelo, de acordo com a profunda análise e comparação de referências anatómicas. O modelo do esqueleto foi também uma base importante para perceber a localização correta das articulações e à posterior construção do esqueleto digital.

### **4.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO OTIMIZADO**

Com base no modelo *écorché* original de alta resolução (655.016 polígonos), foi construído um novo modelo otimizado (14.790 polígonos) com uma topologia correta e adequada à anatomia humana (Figura 23). Esta topologia foi criada de forma a obedecer à segunda premissa previamente apresentada no capítulo 4.1, desta forma, todo o modelo otimizado foi construído, sempre que possível, utilizando polígonos de quatro lados ou *quad faces*. Este tipo de topologia permite uma correta subdivisão da geometria,

recorrendo a algoritmos como o Catmull-Clark (Catmull & Clark, 1978) utilizado no modificador *Subdivision* do *software* Blender (entre outros). Esta subdivisão suaviza a superfície da geometria, tornando-a mais apelativa (Blender, 2023), sendo possível adicionar vários milhões de polígonos ao modelo, de forma a permitir adicionar detalhar no processo de escultura digital, feito através de *software* como o ZBrush. Uma topologia correta é fundamental em diversas operações relacionadas com a modelação 3D, como a simplificação (Ju, Zhou, & Hu, 2007), permitindo obter melhores resultados ao fazer o processo inverso da subdivisão, utilizando algoritmos como o *Decimation* (Schroeder, Zarge, & Lorensen, 1997).



**Figura 23: Modelo *écorché* original da TEN24 (esquerda) e o modelo otimizado (direita).**

Esta otimização foi acompanhada de uma análise rigorosa de ilustrações anatómicas (Bourgery & Jacob, 2015) (Schider, 2013) (Costa, 2015). O novo modelo otimizado foi fundamental para a correta interpretação tridimensional da anatomia muscular de superfície, assim como, da orientação das fibras musculares (Figura 24).

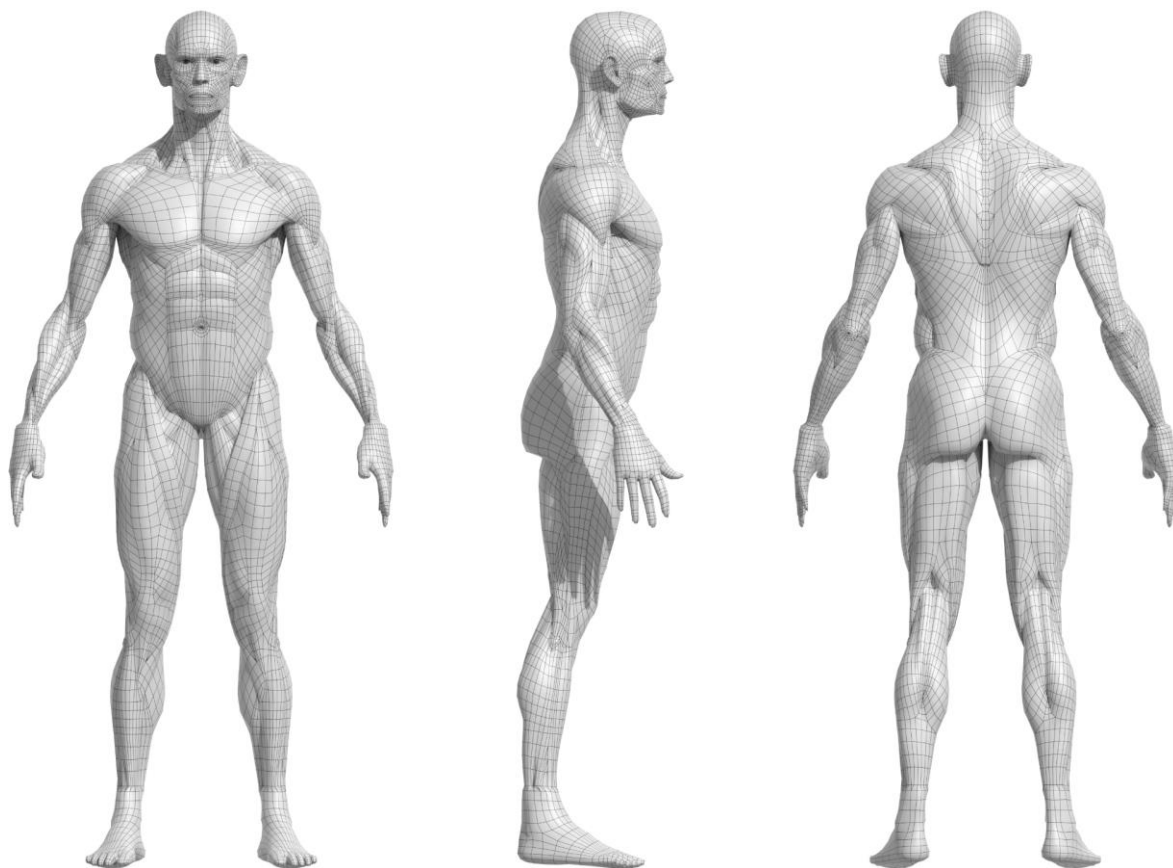


Figura 24: Modelo final otimizado.

#### 4.4. CRIAÇÃO DE COORDENADAS DE MAPEAMENTO

Para mapear uma textura 2D numa superfície 3D é necessário a parametrização da superfície (Heckbert, 1986), ou criação de coordenadas de mapeamento. Este mapeamento permite que a textura acompanhe a deformação da geometria em animação (Blinn & Newell, 1976). Este processo evita também eventuais problemas que por vezes surgem quando se aplica a geometria do modelo ao esqueleto, ou *skinning*. Desta forma, foi executada a criação de UV's, mantendo o constante cuidado em colocar as costuras nas zonas menos visíveis, ou em arestas que definem limites de músculos. Em relação à zona do rosto, aplicou-se a abordagem tradicional, que consistem em manter a integridade do rosto, ou seja, sem costuras nas zonas mais proeminentes. O *layout* dos UV's foi também elaborado cuidadosamente, mantendo a correta orientação das *shell's* e uma distribuição cuidada, colocando, sempre que possível, as *shell's* simétricas juntas, otimizando, ao mesmo, tempo o espaço do *layout*. Houve particular preocupação em

evitar qualquer distorção na planificação, para assegurar a aplicação de texturas sem deformações (Figura 25).

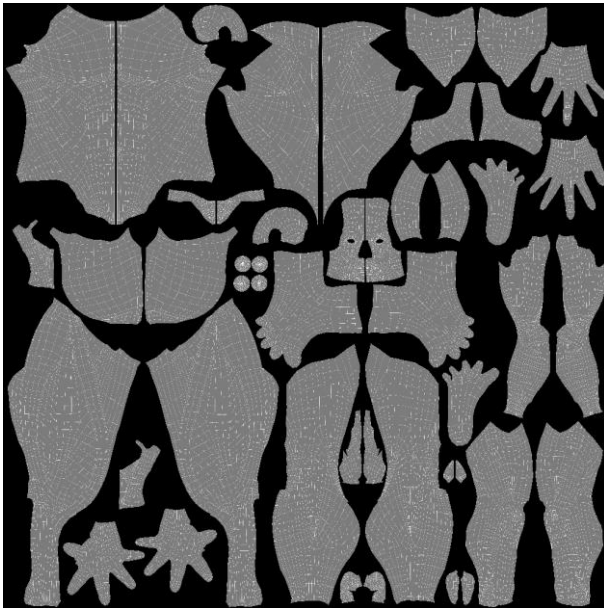


Figura 25: *Layout de UV's.*

#### 4.5. CRIAÇÃO DO ESQUELETO DIGITAL

Como referido anteriormente, utilizou-se o modelo do esqueleto como base para perceber a localização correta das articulações. Deste modo, procedeu-se à criação do esqueleto digital responsável pelo movimento (Magenat-Thalmann & Thalmann, Handbook of Virtual Humans, 2004) do modelo humano, fazendo coincidir, cuidadosamente, cada articulação digital com a articulação do modelo do esqueleto. As hierarquias entre ossos digitais foram mantidas corretamente e utilizou-se a abordagem convencional na construção de esqueleto para personagens 3D. Nomeadamente, a estrutura da Figura 26. A imagem não apresenta as hierarquias dos dedos («a» e «b») para não tornar a lista demasiado longa. A anatomia da mão humana é composta por três falanges para cada dedo, com exceção do dedo polegar, que tem apenas duas. Apesar disso, manteve-se a abordagem tradicional utilizada em esqueletos digitais de personagens humanas, com três ossos para cada dedo, sendo que, o primeiro osso do polegar, atua como primeiro metacarpo, o que faculta ao dedo uma maior amplitude de movimento, à semelhança da mão humana. Foi utilizada a nomenclatura convencional, com exceção dos ossos (SpineBase; SpineMiddle; SpineTop) que tradicionalmente tem

um nome diferente (Spine1; Spine2; Spine3). Adotou-se esta abordagem porque o modelo foi posteriormente utilizado para desenvolver uma aplicação virtual dedicada ao estudo da anatomia humana. Após vários testes, detetou-se um conflito na deteção dos ossos com a nomenclatura tradicional utilizada na indústria.

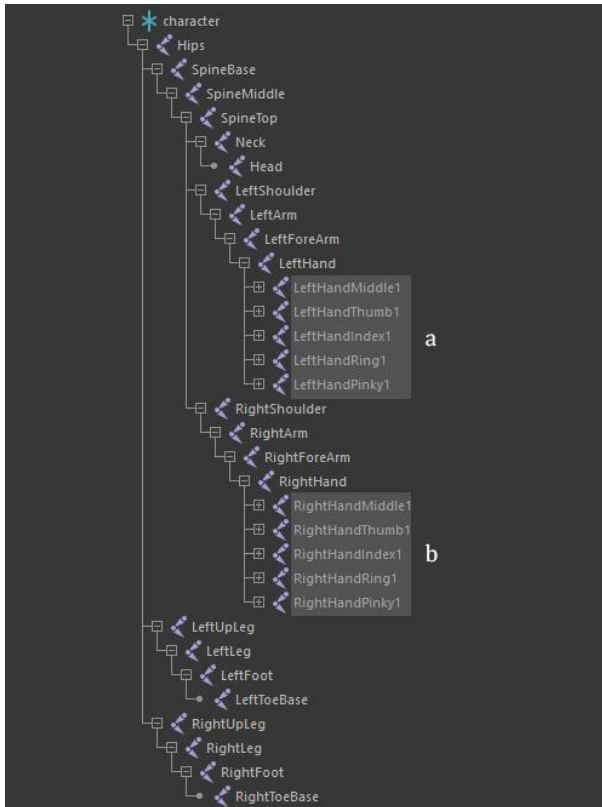
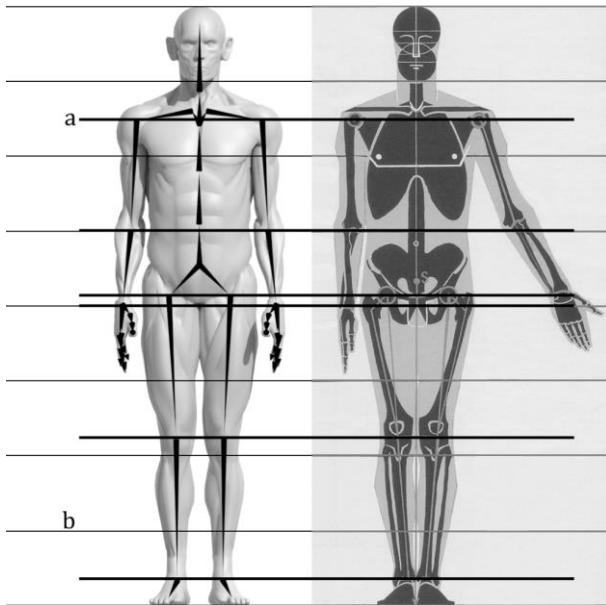


Figura 26: Hierarquia utilizada para o esqueleto.

Esta hierarquia é amplamente utilizada na construção de esqueletos para personagens utilizados em animação e jogos 3D. Como se pode observar, simplificou-se os ossos dos pés, reduzindo seu número para apenas um osso. Isto não permite articular os dedos dos pés, contudo, considerou-se desnecessária essa possibilidade. Em relação às pernas e pélvis utilizou-se a abordagem tradicional, assim como para os braços e mãos, com a estrutura completa de ossos nos dedos. Em relação à coluna vertebral, utilizaram-se apenas quatro ossos, colocados, em vista lateral, de forma a coincidir com as vértebras, nas zonas onde a amplitude da curvatura na coluna vertebral é mais acentuada. Em relação ao osso que controla a cabeça, foi colocado cuidadosamente na posição das vértebras cervicais C1 e C2 (Atlas e Áxis), que permitem a rotação da cabeça.

#### 4.6. CORREÇÃO ANTROPOMÉTRICA

Com a conclusão do esqueleto digital, procedeu-se ao *skinning* da geometria do modelo otimizado com o esqueleto, de forma a permitir que cada vértice seja influenciado por um ou mais ossos do esqueleto digital (Aubel & Thalmann, 2001), permitindo assim a animação do modelo. Desta forma foi possível rodar ou deslocar os ossos, de forma a adaptar o novo modelo à referência escolhida. Como já foi referido, utilizou-se o cânone grego de oito cabeças para um indivíduo adulto. Este cânone foi considerado por Andrew Loomis (Loomis, 2011) e por Gottfried Bammes (Bammes, 2017) como o que apresenta a figura ideal humana, sendo também muito utilizado entre os artistas. Desta forma, iniciou-se a rigorosa correção antropométrica do modelo otimizado, feita através das medições efetuadas por Bammes (Figura 27).

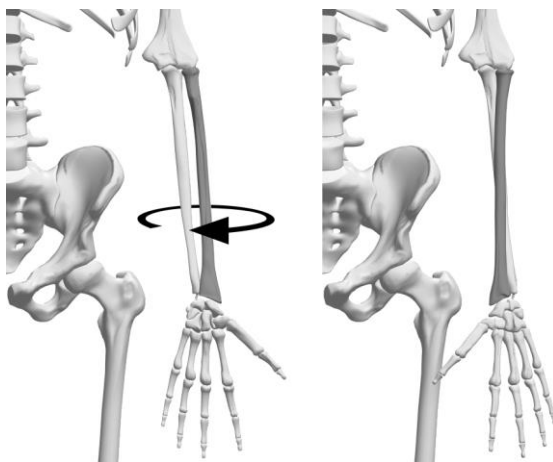


**Figura 27: Modelo otimizado com esqueleto (esquerda) e a referência de Bammes (direita).**

Durante este processo, foi ainda necessário ajustar a geometria do modelo para evitar deformações incorretas que surgiram com a deslocação dos ossos do esqueleto digital. O novo modelo sofreu diversas correções com a sua adaptação ao novo cânone. A correção foi realizada cuidadosamente, de forma a obter o alinhamento rigoroso da posição das articulações, assim como, o afastamento entre as articulações dos ombros e anca, relativamente ao modelo de Bammes (Figura 27, «a»), mantendo a proporção exata de oito cabeças de altura (Figura 27, «b»).

#### 4.7. POSE ESCOLHIDA

A modelação de personagens 3D tem por norma escolher a pose «T», os braços estão colocados na horizontal e afastados do tronco. Esta pose facilita a modelação, a criação do esqueleto e a pintura de pesos durante o processo de *skinning*. Tradicionalmente, o estudo anatómico tem preferência pela conhecida «pose anatómica», eleita para o estudo osteológico humano, porque os ossos Rádio e Ulna ficam paralelos e não se cruzam, facilitando assim o estudo da anatomia dos ossos do antebraço. No entanto, considerou-se inadequado utilizar a pose «T» na nossa proposta porque os músculos Trapésio e Deltóide estão contraídos e não se encontram numa postura neutra. Além disso, parece ser mais simples retratar a figura humana com os braços junto ao tronco do que retratá-la de braços abertos — o que não é a pose mais vulgar no dia-a-dia. Não foi utilizada a tradicional «pose anatómica» porque, quando a palma da mão está orientada para a frente, o osso Rádio fica próximo da sua rotação máxima, segundo o esqueleto KineMan (Barber, 2022) (Figura 28 - Esquerda).



**Figura 28: Amplitude de rotação do osso Rádio segundo o esqueleto KineMan.**

**Esquerda: Rotação máxima (5°)  
«Pose Anatómica»**

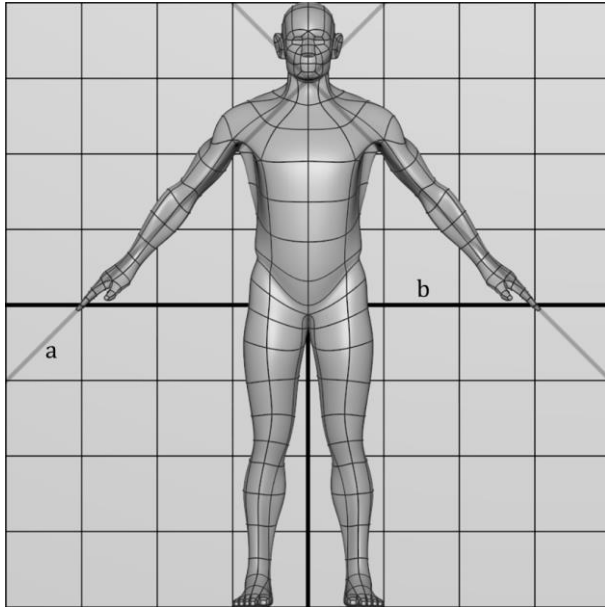
**Direita: Rotação mínima (-155°)**

Adotou-se uma pose semelhante à digitalização original porque, quando a palma da mão está orientada para o tronco, o antebraço encontra-se sensivelmente na metade da amplitude da sua rotação. Com esta abordagem, a geometria 3D do antebraço não faz uma torção de 160°, mas sim de, aproximadamente 80° para cada um dos lados. Com esta pose, evita-se a deformação problemática da geometria do modelo 3D, prevenindo incorreções anatómicas. O único inconveniente desta pose, prende-se com o facto de os braços ficarem na posição diagonal (relativamente à pose «T»), o que, complica

ligeiramente o processo de modelação e a criação do esqueleto, no entanto, como referido acima, é uma pose mais próxima do convencional e facilita a abordagem da anatomia dos braços e ombro.

#### **4.8. CÂNONE**

Neste trabalho de investigação é apresentado um modelo tridimensional de baixa definição poligonal, sem detrimento às principais características anatómicas do corpo humano. O processo de modelação foi desenvolvido com um algoritmo de subdivisão poligonal, inerente ao principal *software* 3D utilizado na indústria, como o Maya, 3ds Max, Blender, entre outros. O modelo foi construído com base no modelo *écorché* otimizado e pode ser construído com primitivas 3D de baixa definição poligonal, no entanto, algumas alterações foram implementadas para facilitar a representação da figura humana em três dimensões e evitar problemas de geometria (como mencionado acima), mas também para criar uma boa mnemónica para o artista. Com a rotação adotada para os braços, estes podem ser alinhados com uma diagonal a 45 graus entre o queixo e a ponta dos dedos (Figura 29, «a»). Esse cânone cria uma mnemónica fácil, no qual o modelo tem oito cabeças de altura, seis cabeças de largura, o tronco tem aproximadamente duas cabeças de largura e os dedos estão localizados a quatro cabeças de altura — metade da altura do cânone (Figura 29, «b»). Decidiu-se não aproximar as pernas, para facilitar a pintura de pesos no processo de *skinning*, e também, não afastar, evitando alterar a altura do modelo, quebrando assim a regra do cânone de base com oito cabeças de altura.



**Figura 29: Modelo anatômico de baixa definição (vista anterior).**

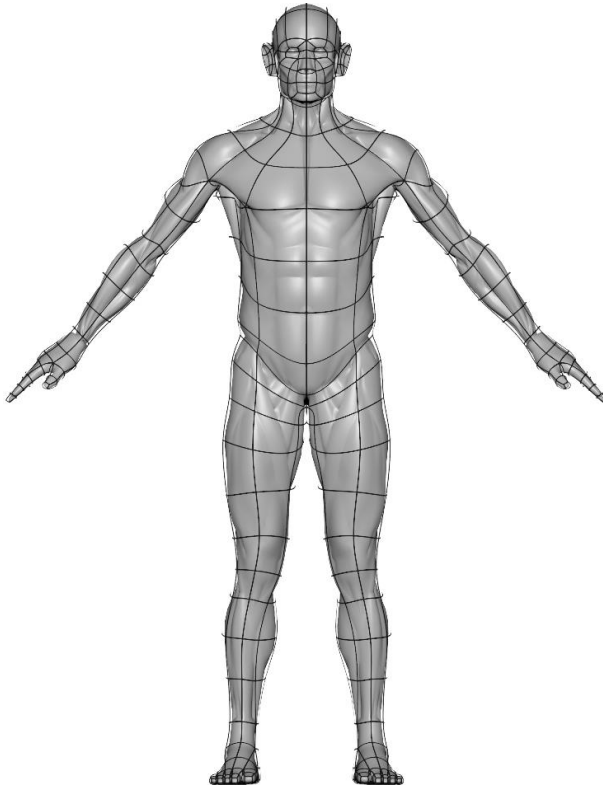
A geometria que contorna os membros inferiores e superiores é constituída de apenas seis lados para cada anel. A forma simétrica do hexágono permite a colocação intencional da aresta no meio da face anterior e posterior da perna, com a intenção de criar uma linha de continuidade favorável à topologia geral do modelo. O tronco foi construído com dez polígonos em cada anel de forma a facilitar a ligação com a geometria dos membros superiores e inferiores e preservar as principais características anatômicas. Todos os dedos têm quatro polígonos para cada anel, de forma a garantir uma conexão correta com a geometria da mão e do pé. Para respeitar a anatomia do pescoço, decidiu-se criar a sua geometria com anéis de quatorze polígonos, facultando também uma boa conexão com a geometria da cabeça, ombros e tronco. Para a construção da cabeça, optou-se por uma abordagem com um número de polígonos superior às restantes partes do corpo para facultar maior detalhe. Houve a preocupação em manter a abordagem tradicional utilizada na modelação do crânio e do rosto, com a utilização de ciclos que contornam a boca, nariz, olhos e orelhas. O modelo final de baixa definição possui 764 faces sem o algoritmo de subdivisão. Com um nível de subdivisão, o modelo apresenta 3020 faces. Esta abordagem de baixa definição poligonal parece estar próxima do mínimo apropriado para alcançar as principais características anatômicas no modelo humano digital. É necessário usar um algoritmo de subdivisão, no entanto, o principal desafio foi desenvolver uma maneira simples de modelar o corpo humano com as proporções e

anatomia corretas. O cânone apresentado também pode ser adotado para criar o modelo digital humano utilizando NURBS.

#### **4.9. ANATOMIA COM BAIXA DEFINIÇÃO**

Na descrição que se apresenta do modelo nas vistas anterior, posterior e lateral, destaca-se a localização propositada das arestas da geometria do modelo proposto, de acordo com as principais características anatómicas de superfície do corpo humano.

**Descrição da vista anterior do modelo (Figura 30).**



**Figura 30: Modelo anatômico de baixa definição sobreposto à referência *écorché* (vista anterior).**

**Cabeça:** destacam-se os ciclos de arestas que contornam os olhos, boca, nariz e orelhas de forma a respeitar os músculos do rosto e proporcionar uma deformação correta da geometria em animação.

**Pescoço:** as arestas realçam a forma do músculo esterno-cleido-mastoideo, contornam a forma do trapézio e a concavidade onde se situa o triângulo occipital e triângulo subclávio.

**Dorso:** apresenta-se apenas a forma do músculo grande dorsal.

**Abdómen:** as arestas apresentam o contorno vertical do abdómen, com particular destaque entre o músculo oblíquo externo do abdómen e o latíssimo do dorso, assim como, a localização exata do umbigo.

**Ombro:** deu-se particular atenção aos contornos do músculo deltoide e peitoral maior.

**Braço:** uma das arestas foi colocada sobre o músculo braquial, situado entre os músculos bicípite braquial e tricípite braquial. Outra aresta encontra-se sobre o bicípite braquial, na zona que divide a porção longa da porção curta.

**Antebraço:** destaca-se essencialmente a fronteira entre os músculos bráquio-radial e o flexor radial do carpo.

**Mão:** foram colocadas arestas com precisão nas zonas onde estão localizadas as articulações dos dedos e no pulso.

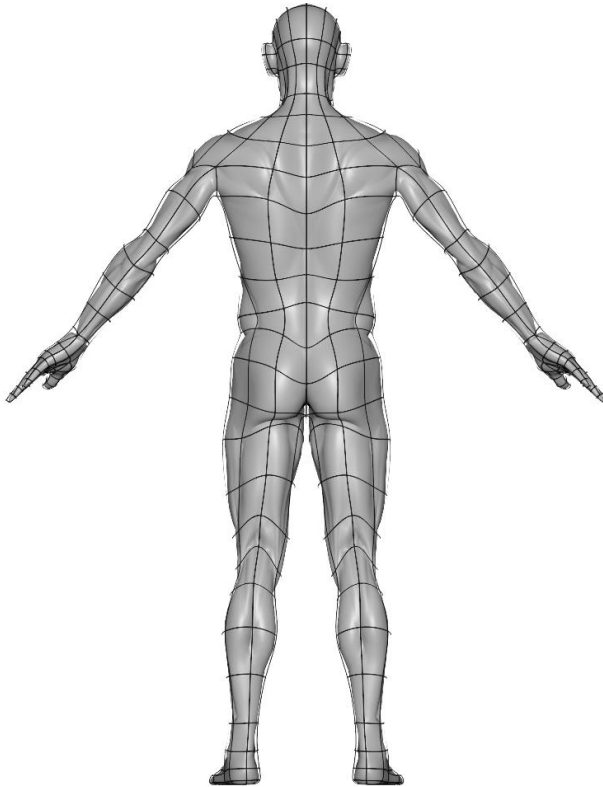
**Pelve:** deu-se particular relevância à forma do músculo glúteo médio e à concavidade definida pela crista ilíaca.

**Coxa:** destaca-se a concavidade onde se situa o grande trocânter do osso fémur e, na face anterior da coxa, as arestas atravessam o centro do músculo reto femoral. Estas arestas fazem também uma separação geral entre os músculos vasto medial e vasto lateral, atravessando, ao centro o ligamento patelar.

**Perna:** realça o contorno do músculo gastrocnémio medial e do músculo solhar junto do osso tibia. Outro contorno define a aresta anterior da tibia.

**Pé:** as arestas enfatizam a localização do maléolo lateral e medial, situando-se também na zona das articulações dos dedos e tornozelo.

**Descrição da vista posterior do modelo (Figura 31).**



**Figura 31: Modelo anatômico de baixa definição sobreposto à referência *écorché* (vista posterior).**

**Cabeça:** as arestas realçam a forma do osso occipital e contornos das orelhas.

**Pescoço:** destaca-se o contorno do músculo trapézio.

**Dorso:** o destaque vai para a forma do músculo trapézio, latíssimo do dorso, infra-espinal e redondo maior. Não se apresentam os contornos destes músculos através das arestas do modelo, por forma a manter o modelo com polígonos de quatro lados. Pode-se, no entanto, constatar que os vértices foram colocados em pontos chave, de forma a permitir a alteração da topologia proposta no capítulo 4.11.5, e assim, delinear a forma oblíqua do músculo latíssimo do dorso e trapézio.

**Abdômen:** destaca-se apenas o oblíquo externo do abdômen e a sua fronteira com o músculo latíssimo do dorso.

**Ombro:** as arestas contornam a forma do músculo deltoide.

**Braço:** destaca-se a divisão entre a porção longa e a lateral do músculo tricípite braquial.

**Antebraço:** encontra-se a marcação precisa do olecrano e uma linha que divide a face posterior do braço até à mão.

**Mão:** encontram-se arestas nas articulações dos dedos e do pulso. Pode-se também observar, na face anterior da mão, a colocação de arestas que formam o contorno dos músculos abductor curto do polegar e flexor do polegar.

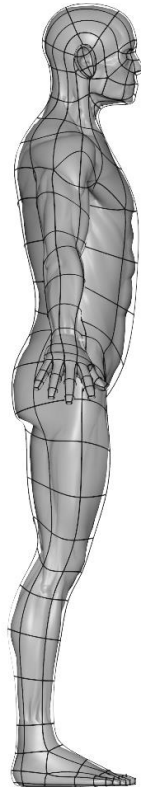
**Pelve:** destaca-se a forma do músculo glúteo máximo e glúteo médio, concavidade definida pela crista ilíaca e forma em «V» entre os dois glúteos, definida pelo osso sacro.

**Coxa:** destaca-se a fronteira entre o músculo vasto lateral e o músculo bicípite femoral, entre o bicípite femoral e o semitendinoso, assim como o contorno da base do músculo glúteo.

**Perna:** o principal destaque vai para a fronteira entre o músculo gastrocnémio medial e gastrocnémio lateral.

**Pé:** enfatiza-se a localização do maléolo lateral e medial, a articulação do tornozelo e o tendão de aquiles.

**Descrição da vista lateral do modelo (Figura 32).**



**Figura 32: Modelo anatômico de baixa definição sobreposto à referência *écorché* (vista lateral).**

**Cabeça:** também se evidenciam os ciclos que contornam a orelha e os olhos.

**Pescoço:** é identificado o músculo esterno-cleido-mastoideo e do músculo trapézio.

**Dorso:** observa-se essencialmente o volume do músculo, latíssimo do dorso.

**Abdômen:** é de salientar a separação entre o músculo oblíquo externo do abdômen e o reto do abdômen.

**Ombro:** destaca-se novamente o músculo deltoide.

**Braço:** observa-se, novamente, a linha colocada sobre o músculo braquial, situado entre os músculos bicípite braquial e tricípite braquial.

**Antebraço:** é relevante a linha que proporciona o volume essencialmente ao músculo bráquio-radial.

**Mão:** é perfeitamente visível as arestas colocadas sobre as articulações dos dedos e no pulso.

**Pelve:** lê-se a curvatura que é característica da crista ilíaca.

**Coxa:** novamente se destaca a fronteira entre o músculo vasto lateral e o músculo bicípite femoral, assim como o contorno da base do músculo glúteo com o músculo bicípite femoral.

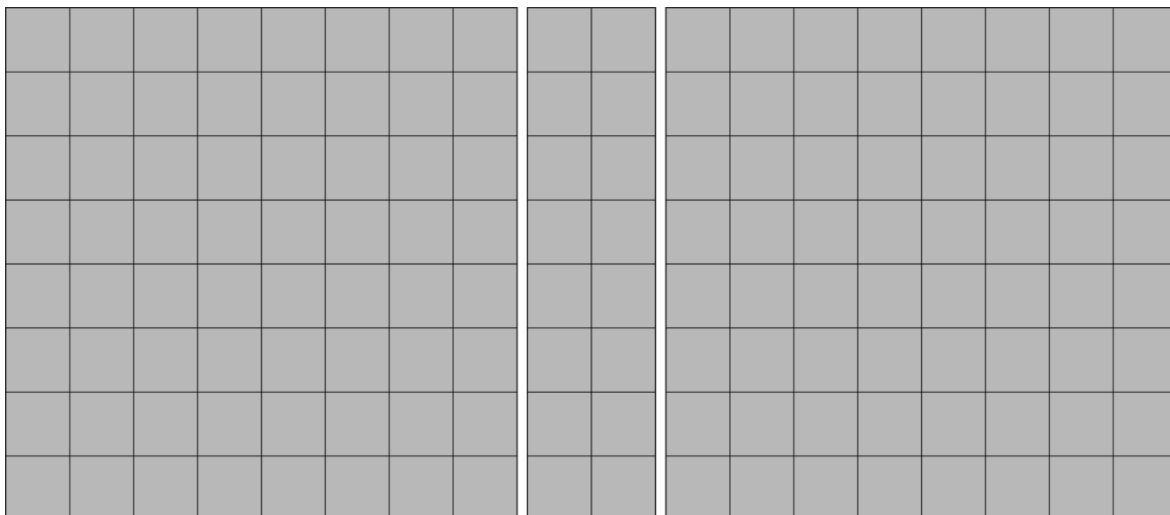
**Perna:** pode-se salientar o contorno do músculo tibial anterior que faz fronteira com o músculo extensor longo dos dedos.

**Pé:** pode-se salientar a linha horizontal que define a posição do maléolo lateral.

#### 4.10. MODELAÇÃO DO CÂNONE PROPOSTO

Após a proposta de cânone apresentada anteriormente, considerou-se adequado desenvolver um método para a modelação do respetivo cânone — de forma simples e de fácil memorização. Este método evita operações complexas de modelação 3D, utilizando primitivas 3D para modelar grande parte do modelo. Estes objetos são os blocos construtivos do 3D (Giambruno, 2002) e inerentes a qualquer *software* de modelação 3D. No método apresentado, utilizou-se o *software* Maya, contudo, todos os passos podem ser executados de forma semelhante utilizando outro *software* de modelação 3D (e.g., Blender, 3ds Max).

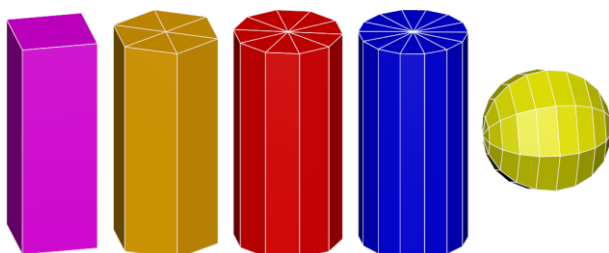
A primeira tarefa realizada foi a criação da matriz de referência de acordo com a proposta de cânone apresentada. Esta matriz serviu de suporte para todo o processo de modelação do modelo do cânone. A matriz foi criada através da primitiva *Plane*, com 180 centímetros e 8 subdivisões na largura e altura, correspondendo assim às 8 cabeças de altura do cânone. A medida da matriz corresponde à altura definida para o modelo, no entanto, esta medida poderá ser alterada de acordo com os objetivos do artista. A matriz foi utilizada como referência nas vistas anterior, lateral esquerda e posterior, contudo, na vista lateral optou-se por remover seis colunas de faces, de forma a facilitar a observação do modelo sobre a matriz (Figura 33). As matrizes foram criadas com geometria 3D, contudo, poderão ser utilizados planos de referência com imagens. Considerou-se mais adequado criar as matrizes com geometria para evitar operações desnecessárias e o recurso a um programa de criação e edição de imagem (e.g., Adobe Photoshop).



**Figura 33:** Matriz utilizada na vista anterior (esquerda); matriz utilizada na vista lateral esquerda (centro); matriz utilizada na vista posterior (direita).

De forma a facilitar a compreensão deste método, optou-se por apresentar todos os diferentes passos da modelação com o enquadramento completo na matriz (Figura 35), mas também, com imagens de pormenor (Figura 36). Todo o método é sempre apresentado nas vistas: Anterior (esquerda); Lateral Esquerda (centro); Posterior (direita). Cada primitiva foi identificada com uma cor diferente (Figura 34). Desta forma, apresentam-se as seguintes primitivas:

- Primitiva Rosa: Cilindro com 4 subdivisões no eixo;
- Primitiva Laranja: Cilindro com 6 subdivisões no eixo;
- Primitiva Vermelha: Cilindro com 10 subdivisões no eixo;
- Primitiva Azul: Cilindro com 14 subdivisões no eixo;
- Primitiva Amarela: Esfera com 8 subdivisões no eixo e 10 na altura.



**Figura 34:** Cilindros com 4, 6, 10 e 14 subdivisões no eixo, criados com a primitiva *Cylinder*. Esfera com 8 subdivisões no eixo e 10 na altura, criada com a primitiva *Sphere*.

Optou-se por construir o cânone a partir do dorso e abdómen, não apenas por esta ser a zona central do modelo, mas também, por ser uma das zonas mais simples de modelar.

#### 4.10.1. GRAMÁTICA DE OPERAÇÕES DE MODELAÇÃO 3D

Para facilitar a compreensão das operações utilizadas na modelação do cânone proposto, apresenta-se uma breve descrição de cada uma das operações. Como a modelação foi executada utilizando o *software* Maya, optou-se também por apresentar a operação equivalente utilizando o Blender.

<b>Maya</b>	Fill Hole	<b>Blender</b>	Fill
Cria uma face preenchendo um buraco em torno de um rebordo constituído por uma seleção de arestas.			

<b>Maya</b>	Multi-cut	<b>Blender</b>	Knife
Divide polígonos através do corte e insere ciclos de arestas.			

<b>Maya</b>	Combine	<b>Blender</b>	Join
Combina uma seleção de objetos num único objeto.			

<b>Maya</b>	Merge	<b>Blender</b>	Merge Vertices / At Center
Fundeu uma seleção de vértices num único vértice.			

<b>Maya</b>	Bridge	<b>Blender</b>	Bridge Edge Loops
Cria uma ponte entre duas arestas ou faces.			

<b>Maya</b>	Extrude	<b>Blender</b>	Extrude Region
Cria arestas ou faces a partir de uma seleção.			

<b>Maya</b>	Target Weld Tool	<b>Blender</b>	Merge Vertices / At Last
Junta duas arestas ou vértices num único ponto de destino.			

<b>Maya</b>	Extrude Edge	<b>Blender</b>	Extrude Edges
Cria arestas a partir de uma seleção.			

<b>Maya</b>	Delete Edge	<b>Blender</b>	Dissolve Edges
Apaga a aresta selecionada.			

<b>Maya</b>	Connect Components	<b>Blender</b>	Connect Vertex Path
Cria arestas ligando os componentes selecionados.			

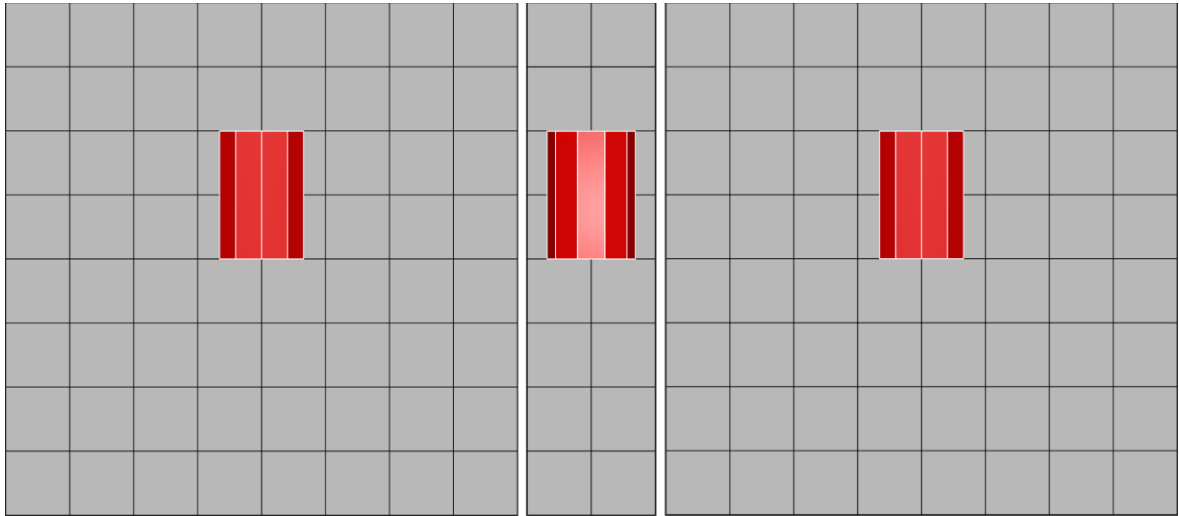
<b>Maya</b>	Merge to Center	<b>Blender</b>	Merge / At Center
Funde uma seleção de vértices, arestas ou faces num único vértice ao centro da seleção.			

#### 4.10.2. DORSO E ABDÓMEN

A modelação da zona do dorso e do abdómen teve início com a criação de um cilindro de 10 subdivisões no eixo, utilizando a primitiva *Cylinder*.

Posteriormente, aplicou-se uma rotação de 18º na coordenada Y, de forma a deixar uma aresta ao centro, quer na vista anterior, mas também, na vista posterior.

O cilindro foi escalado e posicionado de acordo com a imagem da Figura 35.



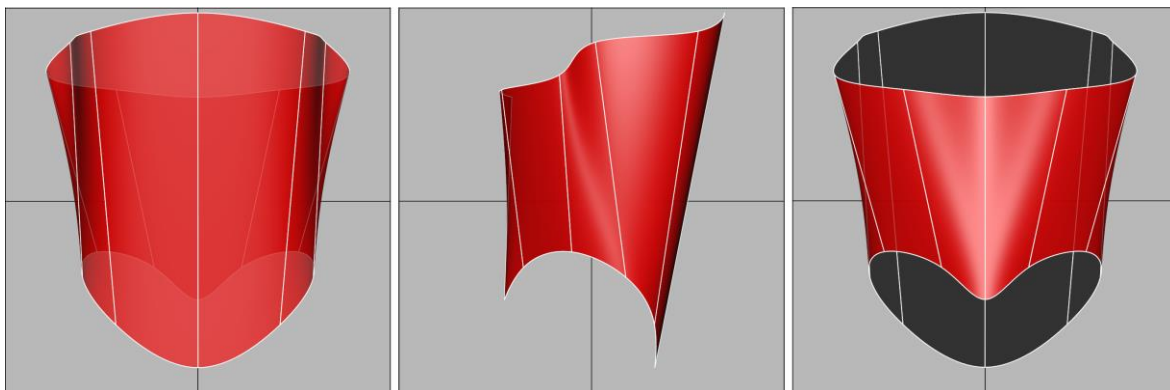
**Figura 35:** Cilindro de 10 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

Foram removidas as 10 faces de cada topo, de forma a permitir a futura ligação com as restantes partes do modelo.

Foi ativada a opção *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão. Para obter o mesmo resultado no *software* Blender, será necessário aplicar o modificador *Subdivison Surface* com 2 níveis, ativando a opção *On Cage*. No *software* 3ds Max será necessário aplicar o modificador *TurboSmooth* com duas iterações.

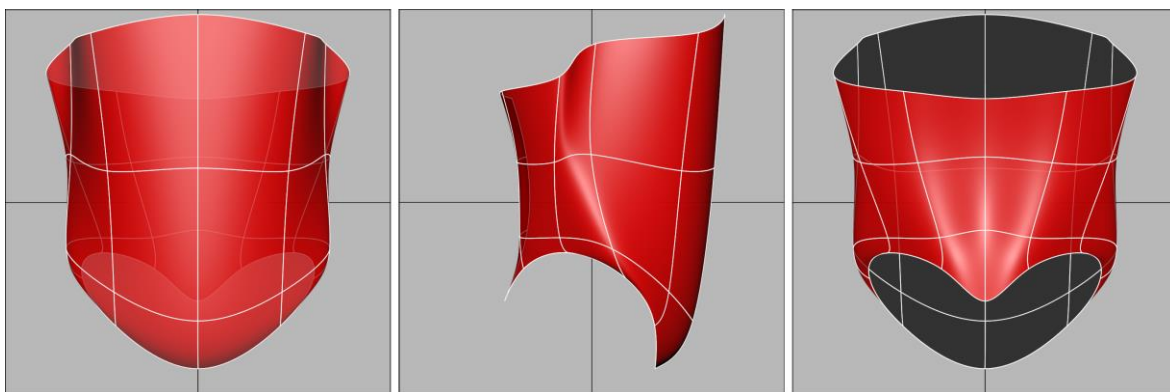
Todos os vértices da primitiva do dorso e do abdómen foram reposicionados de acordo com a imagem da Figura 36.

Salienta-se que os vértices podem ser reposicionados utilizando a opção *Symmetry*. Esta opção permite alterar a posição dos vértices na metade esquerda ou direita da primitiva, espelhando a alteração para o lado oposto. Desta forma, é possível alterar apenas metade da primitiva e o resultado é perfeitamente simétrico. Contudo, é necessário que o ponto *pivot* esteja perfeitamente localizado ao centro da primitiva.



**Figura 36: Primitiva do dorso e abdómen com os vértices reposicionados.**

Posteriormente, foram introduzidos 2 ciclos de arestas na altura da primitiva, de forma a obter a geometria adicional necessária para detalhar a anatomia do modelo, de acordo com a Figura 37.



**Figura 37: Primitiva do dorso e abdómen com 2 ciclos de arestas na altura.**

### **Notas Anatômicas**

Na forma anatómica do dorso e abdómen, destaca-se, na vista anterior, o músculo reto do abdómen, na vista lateral, o músculo oblíquo externo do abdómen, e na vista posterior, o volume do latíssimo do dorso. As arestas estão colocadas próximo das linhas alba, semilunar e inguinal.

Os limites da geometria são definidos, na parte superior, pela fronteira com o músculo peitoral maior e redondo maior, na parte inferior, pela crista íliaca, sacro e a base do reto do abdómen.

#### 4.10.3. PESCOÇO E OMBRO

Na modelação do pescoço e ombro utilizou-se a primitiva *Cylinder* com 14 subdivisões no eixo. Esta é a primitiva com mais subdivisões porque irá fazer a ligação com a geometria proveniente da primitiva anterior do dorso e abdómen, mas também, com a geometria proveniente dos braços e cabeça.

Aplicou-se uma rotação de  $12.857^\circ$  na coordenada Y, para que uma das arestas ficasse ao centro da vista anterior e na posterior. O cilindro foi posteriormente escalado e posicionado de acordo com a imagem da Figura 38.

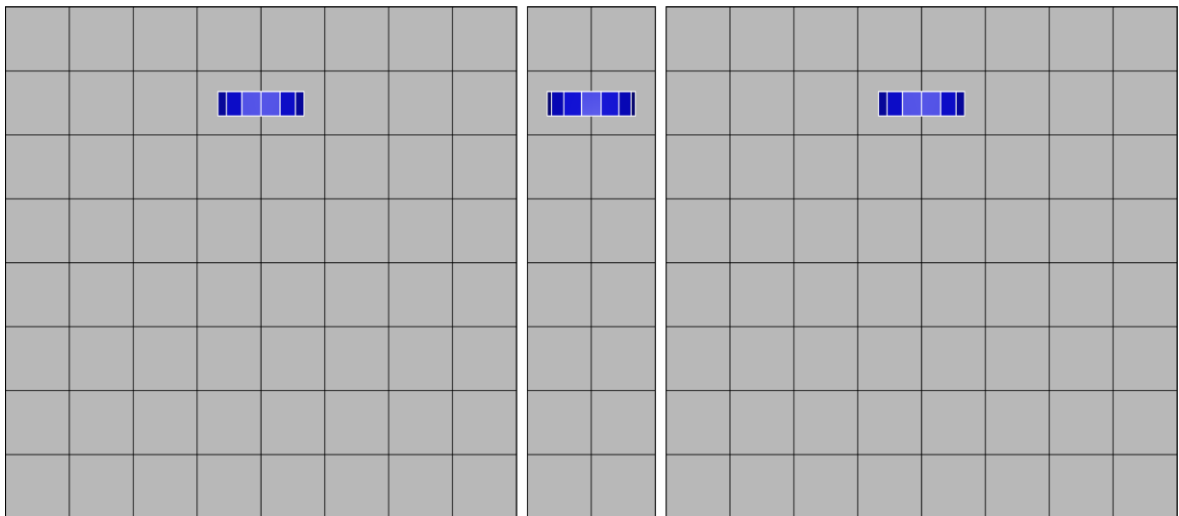
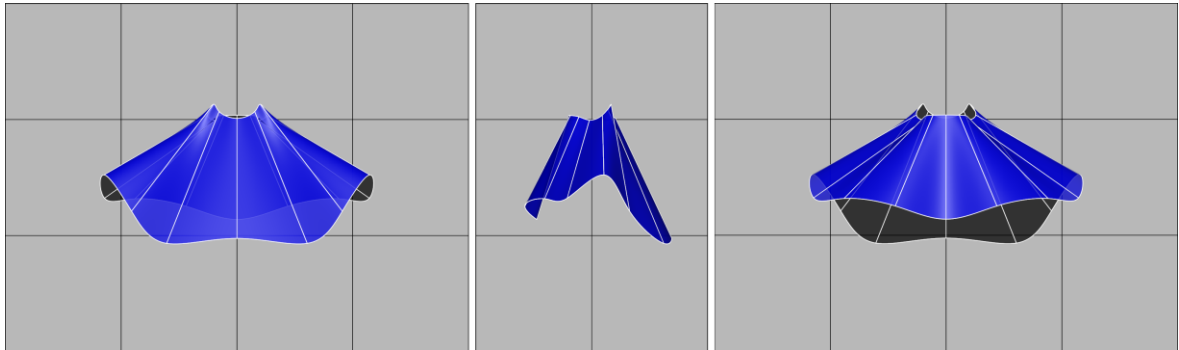


Figura 38: Cilindro de 14 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

As 14 faces de cada topo da primitiva foram removidas para permitir a ligação com a geometria proveniente da primitiva do dorso e abdómen, mas também, com a futura geometria dos braços e cabeça.

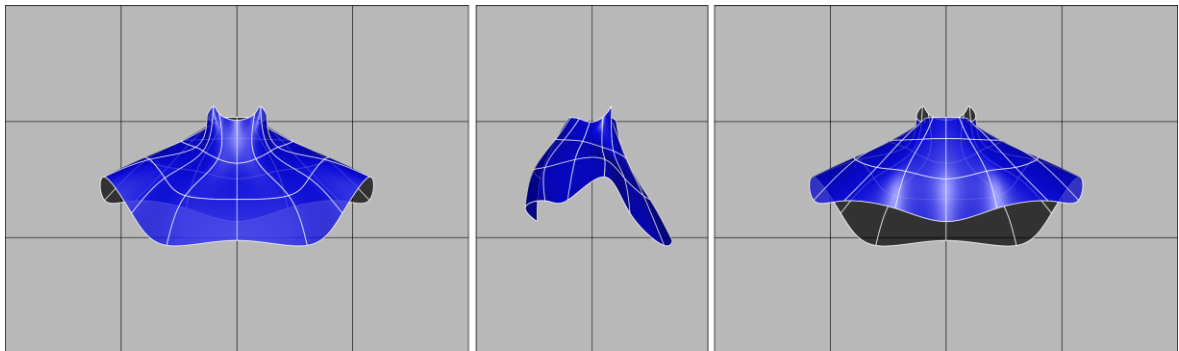
Aplicou-se a opção *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para visualizar o modelo com alta definição.

Todos os vértices da primitiva do pescoço e ombro foram reposicionados de acordo com a imagem da Figura 39.



**Figura 39: Primitiva do pescoço e ombro com os vértices reposicionados.**

À semelhança da primitiva do dorso e abdómen, foram também introduzidos 2 ciclos de arestas na altura da primitiva, para permitir alterar a anatomia do modelo, de acordo com a Figura 40.



**Figura 40: Primitiva do pescoço e ombro com 2 ciclos de arestas na altura.**

### **Notas Anatômicas**

Na forma anatômica do pescoço e ombro, destaca-se o volume do músculo peitoral maior na vista anterior e parte do músculo deltóide. Na vista posterior destaca-se o músculo trapézio.

Os limites da geometria são definidos, na parte superior, não pela fronteira entre músculos, mas pelo volume da cabeça. Na parte inferior, são definidos pela fronteira entre o músculo peitoral maior e o reto do abdômen, entre o redondo maior e o grande dorsal.

#### 4.10.4. COXA E PERNA

Para modelar a coxa e perna direita do cânone utilizou-se a primitiva *Cylinder* com 6 subdivisões no eixo.

Foi aplicada uma rotação de 30° na coordenada Y para colocar uma das arestas ao centro, na vista anterior e posterior.

O cilindro foi posteriormente escalado e posicionado de acordo com a imagem da Figura 41. Contudo, na imagem são apresentadas as duas coxas e pernas porque, posteriormente foi efetuada uma cópia espelhada e instanciada da primitiva para o lado oposto. Esta operação permitiu modelar apenas uma coxa e perna.

Também seria possível concluir a modelação da coxa e perna direita do cânone e fazer uma cópia espelhada apenas no fim. No entanto, optou-se por modelar as duas coxas e pernas para facilitar a compreensão do conjunto.

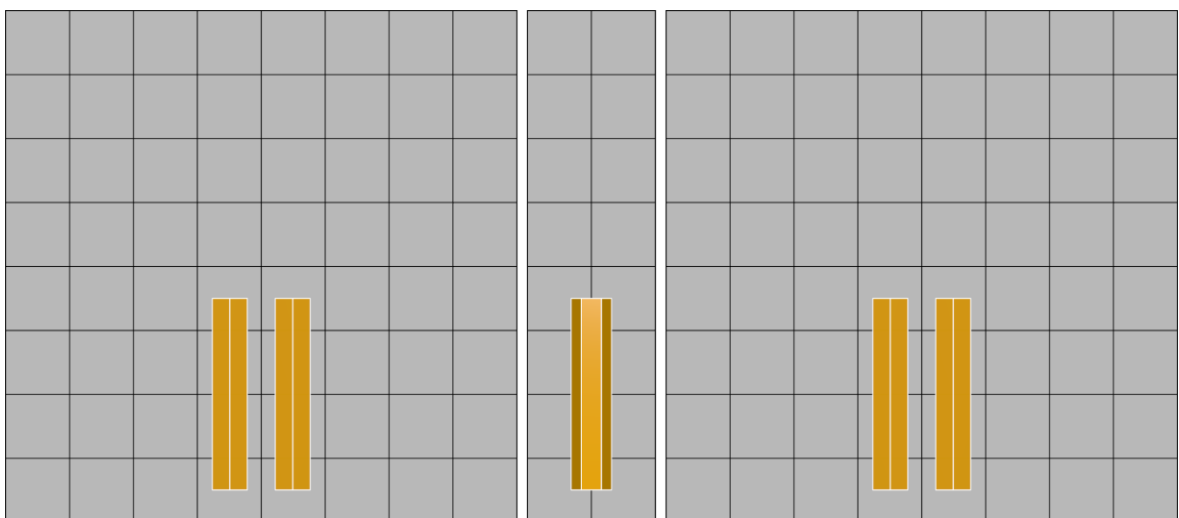
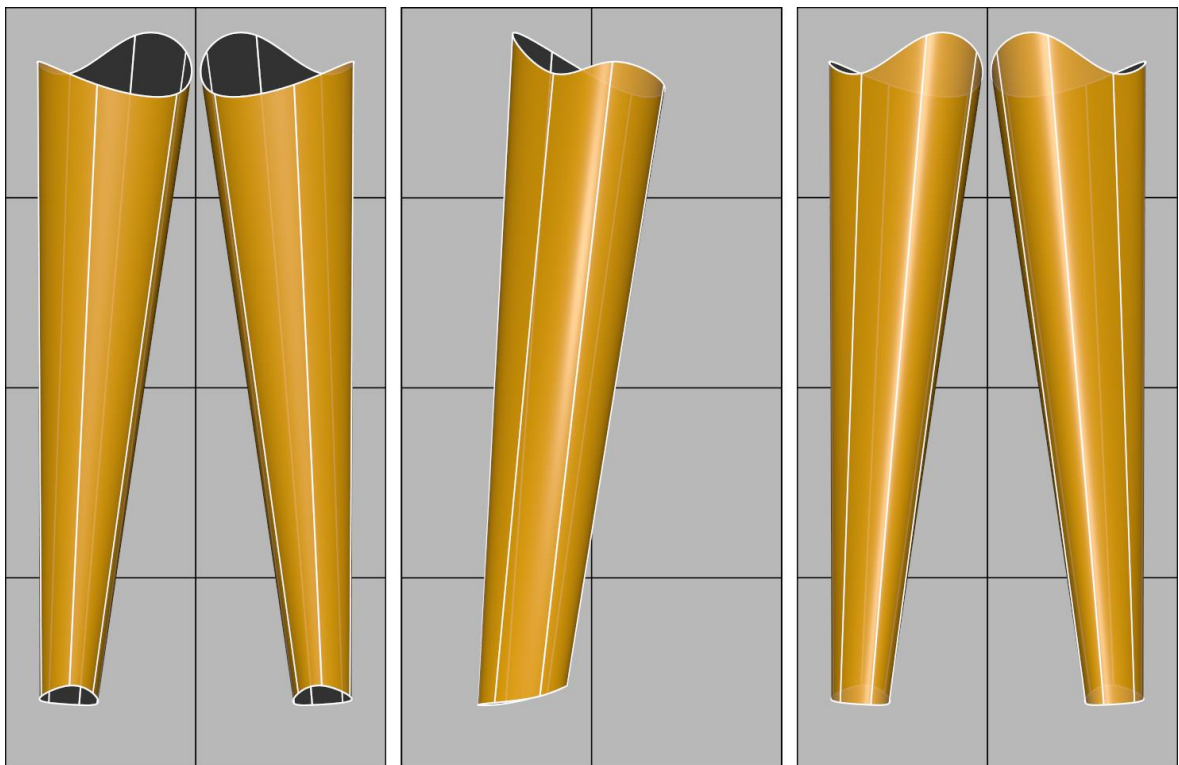


Figura 41: Cilindros (original e cópia espelhada e instanciada) de 6 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

Posteriormente, foram eliminadas as 6 faces de cada topo da primitiva para facilitar a criação de geometria adicional para as ligações com o pé, dorso e abdômen.

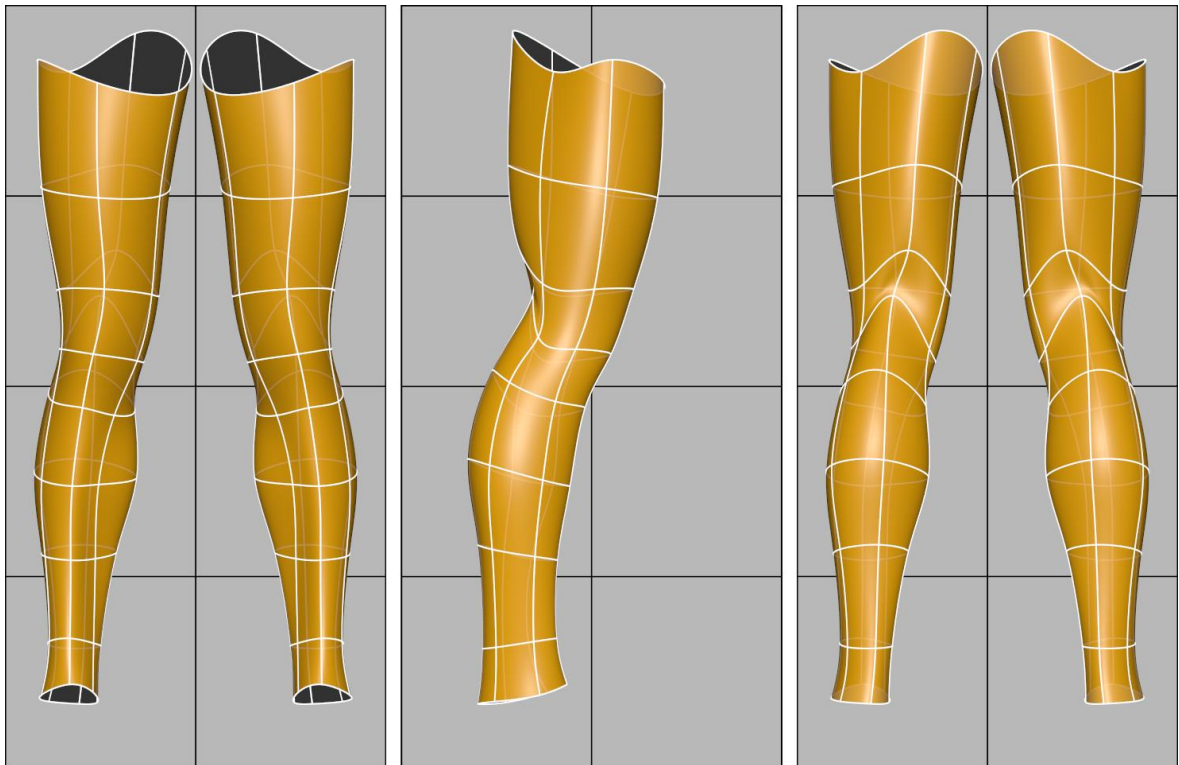
Foi também aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição.

Todos os vértices da primitiva da coxa e perna foram reposicionados de acordo com a imagem da Figura 42.



**Figura 42: Primitivas (original e cópia espelhada e instanciada) da coxa e perna com os vértices reposicionados.**

Para modelar a anatomia da coxa e perna foi necessária uma quantidade de geometria superior à que foi utilizada nas primitivas anteriores. Optou-se por introduzir 7 ciclos de arestas na altura da primitiva, de acordo com a Figura 43. Com esta quantidade de ciclos foi possível deixar um ciclo ao centro da primitiva, definindo a localização do joelho. Os restantes 6 ciclos são distribuídos de forma a deixar 3 para a coxa e outros 3 para a perna.



**Figura 43: Primitivas (original e cópia espelhada e instanciada) da coxa e perna com 7 ciclos de arestas na altura.**

#### **Notas Anatômicas**

Na forma anatômica da coxa e perna, destaca-se na vista frontal, a forma do músculo mais volumoso do corpo humano, o quadrícipite. Na vista posterior, o bicípete femoral e semitendinoso são facilmente identificados na coxa, assim como, o tricípite sural na perna.

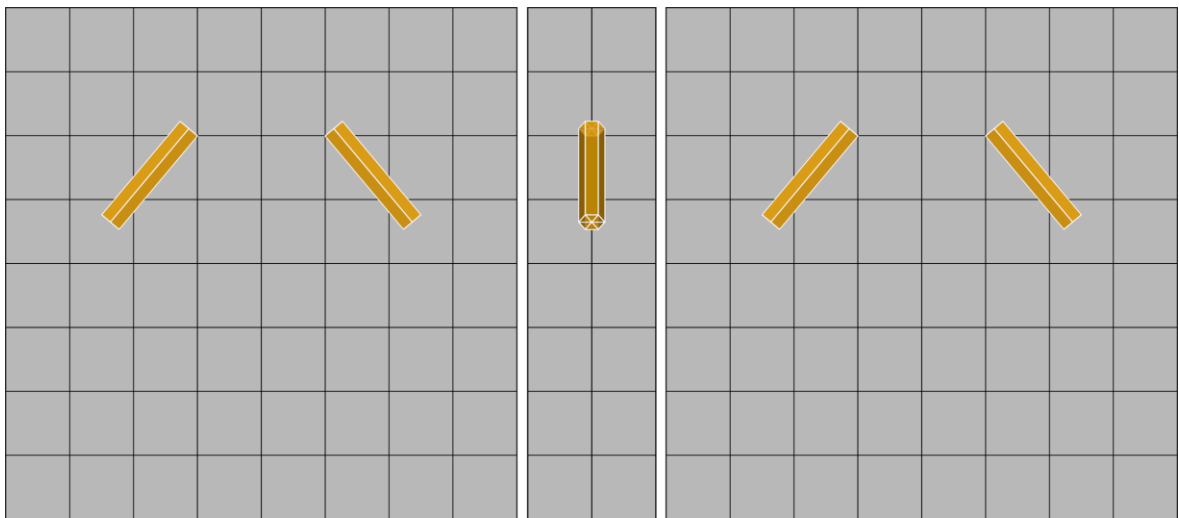
Os limites da geometria são definidos, na parte superior, pela fronteira entre o músculo quadrícipite e o oblíquo externo do abdômen, entre o bicípete femoral e semitendinoso com o músculo glúteo máximo. Na parte inferior, o limite é definido pelo volume do pé.

#### **4.10.5. BRAÇO E ANTEBRAÇO**

A modelação do braço e antebraço direito do cânone foi efetuada com recurso à primitiva *Cylinder* com 6 subdivisões no eixo, à semelhança da coxa e perna.

A primitiva foi rodada 30° na coordenada Y para colocar uma das arestas ao centro, na vista anterior e posterior.

O cilindro foi posteriormente escalado e posicionado de acordo com a imagem da Figura 44. Tal como na modelação da coxa e perna, procedeu-se à criação de uma cópia espelhada e instanciada, de forma a modelar apenas um braço e antebraço, como se pode ver também na mesma figura.

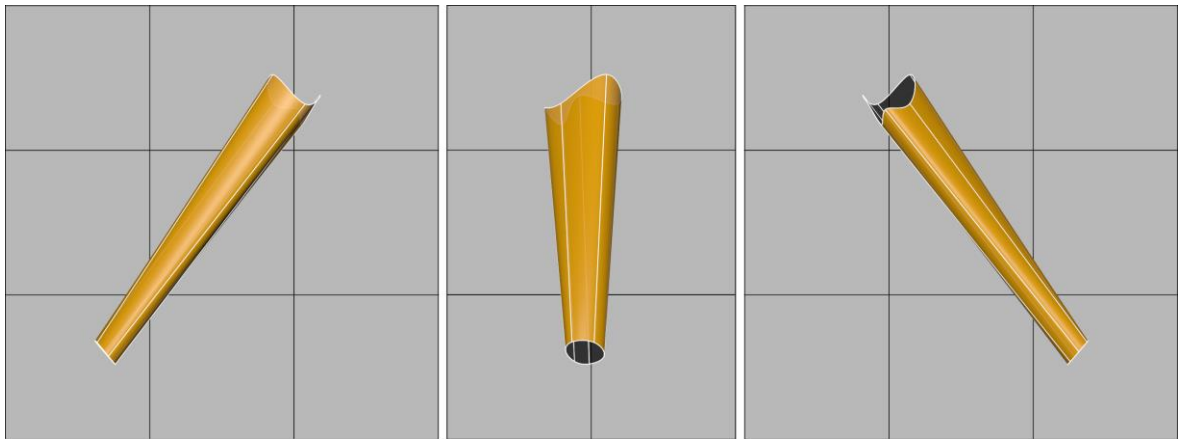


**Figura 44: Cilindros (original e cópia espelhada e instanciada) de 6 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.**

Eliminaram-se as 6 faces de cada topo da primitiva para facilitar a ligação posterior com a geometria da mão, pescoço e ombro.

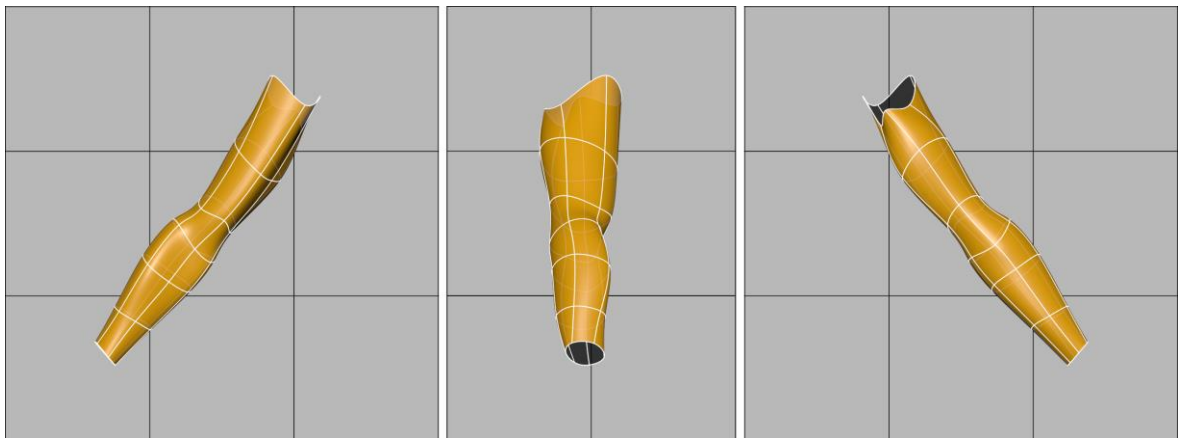
Foi também aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição.

Todos os vértices da primitiva do braço e antebraço foram reposicionados de acordo com a imagem da Figura 45. Nesta figura é apresentada apenas o braço e antebraço direito, para facilitar a compreensão da geometria.



**Figura 45: Primitiva do braço e antebraço direito do cânone com os vértices reposicionados.**

Para modelar a anatomia do braço e antebraço foi necessário adicionar 5 ciclos de arestas na altura da primitiva, de acordo com a Figura 46. Esta quantidade de ciclos permite definir a localização do cotovelo, deixando 2 ciclos para o braço e outros 2 para o antebraço.



**Figura 46: Primitiva do braço e antebraço com 5 ciclos de arestas na altura.**

### **Notas Anatômicas**

A forma anatômica do braço e antebraço tem, na vista frontal, particular destaque a forma do bicípite braquial, com um ciclo de arestas situado entre a porção longa e a porção curta deste músculo. O mesmo ciclo de arestas faz a divisão entre o músculo braquiorradial e flexor radial do carpo no antebraço. Na vista posterior, um ciclo de arestas divide o músculo tricépete braquial entre a porção longa e a porção lateral.

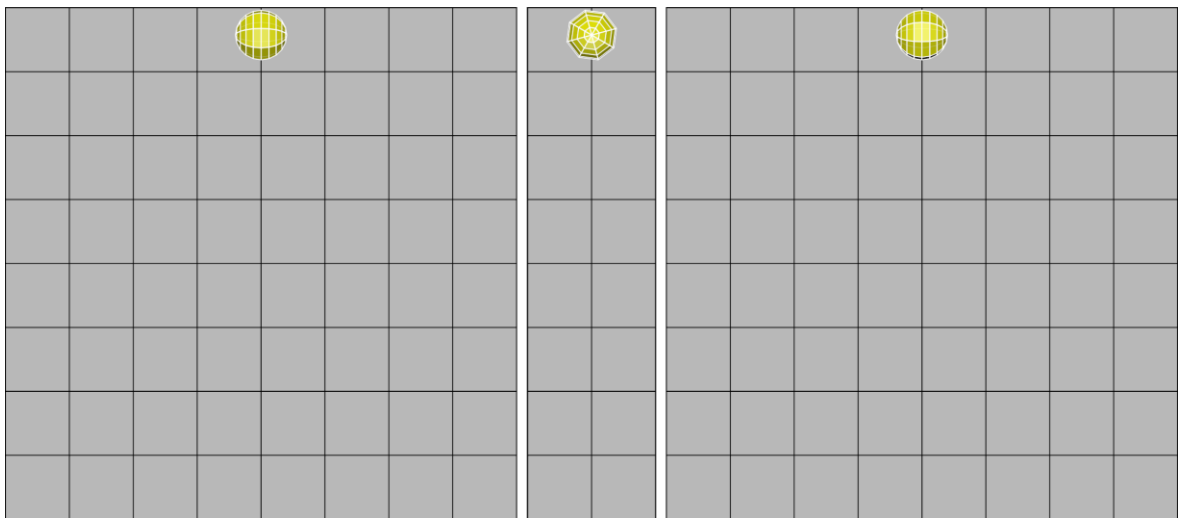
Os limites da geometria são definidos, na parte superior, pela divisão entre os músculos bícípíte braquial, tricípíte braquial e o deltóide. Na parte inferior, a divisão é feita apenas pela zona do pulso.

#### 4.10.6. CABEÇA

A modelação da cabeça foi iniciada com a criação de uma primitiva *Sphere* com 8 subdivisões no eixo e 10 na altura.

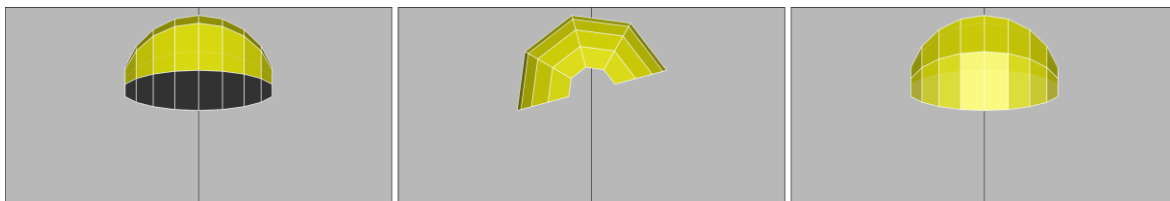
A primitiva foi posteriormente rodada 30º na coordenada Y e -90º na coordenada Z, de forma a alinhar as arestas para a modelação correta da anatomia da cabeça.

Posteriormente a esfera foi escalada proporcionalmente e posicionada de acordo com a imagem da Figura 47.



**Figura 47:** Esfera com 8 subdivisões no eixo e 10 na altura posicionada sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

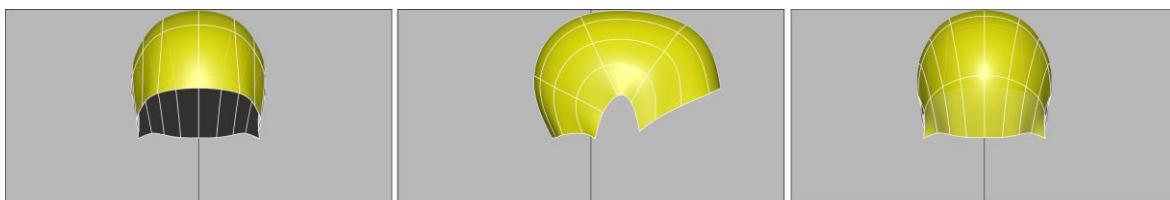
A modelação da cabeça exigiu algumas operações de modelação mais elaboradas, devido à sua complexidade inerente. Desta forma, cerca de metade da geometria da primitiva foi eliminada como é apresentado na Figura 48, para permitir a criação de nova geometria adequada à modelação do rosto e orelhas.



**Figura 48:** Esfera com a geometria eliminada para permitir a criação da geometria do rosto e das orelhas.

Foi aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição.

Todos os vértices foram reposicionados de acordo com a Figura 49, de forma a adaptar a geometria à anatomia da cabeça.



**Figura 49:** Primitiva com os vértices reposicionados.

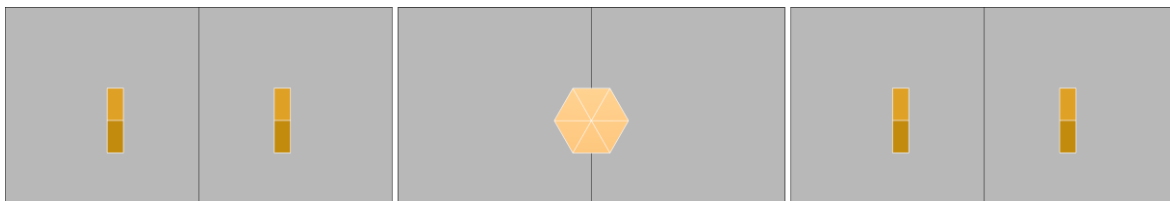
Nesta fase decidiu-se modelar as orelhas de forma a obter a geometria necessária para fazer a futura ligação com a geometria da cara.

A modelação da orelha direita do cânone foi iniciada com a criação da primitiva *Cylinder* com 6 subdivisões no eixo, à semelhança da coxa, perna, braço e antebraço.

A primitiva foi rodada 90º na coordenada Z para ficar na horizontal e, posteriormente, foi também feita uma rotação de 30º na coordenada Y, de forma a ficar com uma das arestas ao centro, tanto na vista anterior como na posterior.

O cilindro foi escalado e posicionado de acordo com a imagem da Figura 50.

Tal como na modelação da coxa e perna, procedeu-se à criação de uma cópia espelhada e instanciada, de forma a modelar apenas uma das orelhas, como podemos ver também na Figura 50.

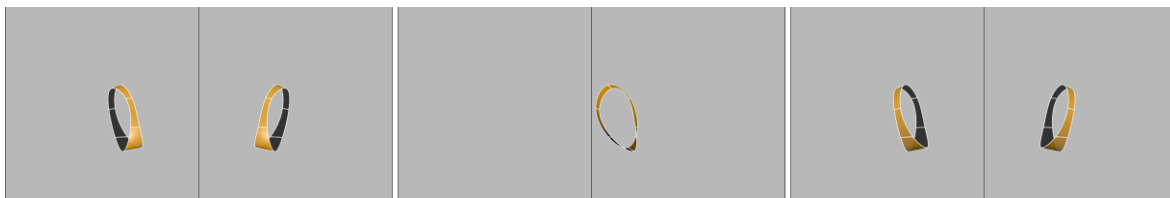


**Figura 50: Cilindros (original e cópia espelhada e instanciada) de 6 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.**

Foram eliminadas as 6 faces de cada topo do cilindro de forma a permitir a ligação da geometria da orelha com a da cabeça, assim como, a reconstrução da geometria do interior da orelha.

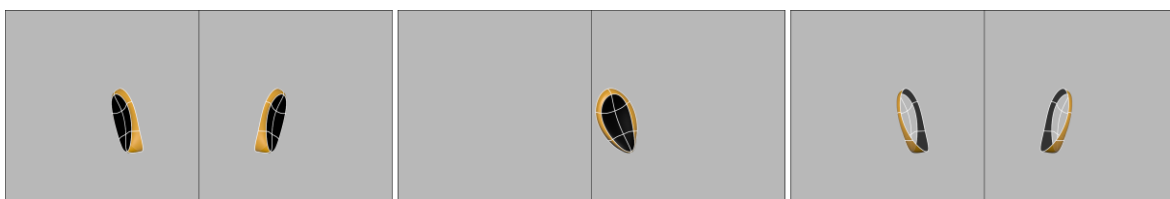
Foi aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição.

Todos os vértices da primitiva da orelha foram reposicionados de acordo com a imagem da Figura 51.



**Figura 51: Primitivas (original e cópia espelhada e instanciada) da orelha com os vértices reposicionados.**

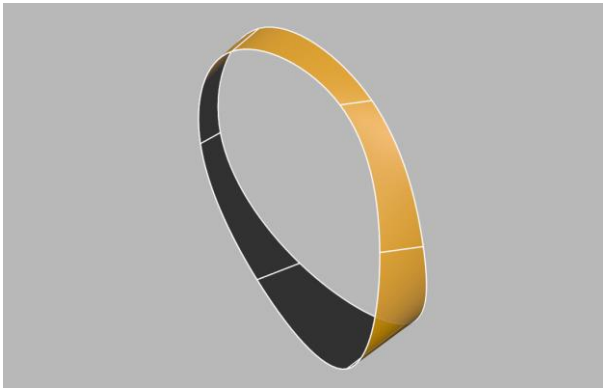
A extremidade da orelha foi modelada com uma topologia diferente da topologia original da primitiva (Figura 52).



**Figura 52: Modelação da extremidade da orelha apresentada na cor preta.**

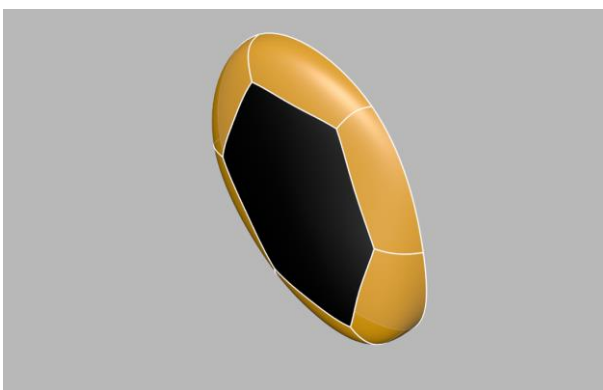
Neste método de modelação do cânone, foram efetuadas determinadas abordagens à modelação, contudo, são possíveis muitas outras abordagens, e também, a utilização de diferentes ferramentas de modelação 3D. As abordagens tomadas foram escolhidas de forma a minimizar o número de passos de modelação e a quantidade de ferramentas utilizadas. Decidiu-se também apresentar na cor preta toda a geometria que não é original das primitivas e que foi criada através da modelação 3D posterior.

Os diferentes passos na modelação da geometria da orelha são apresentados nas figuras que se seguem, começando pela fase inicial em que a geometria da orelha tem as duas extremidades abertas, de acordo com a Figura 53.



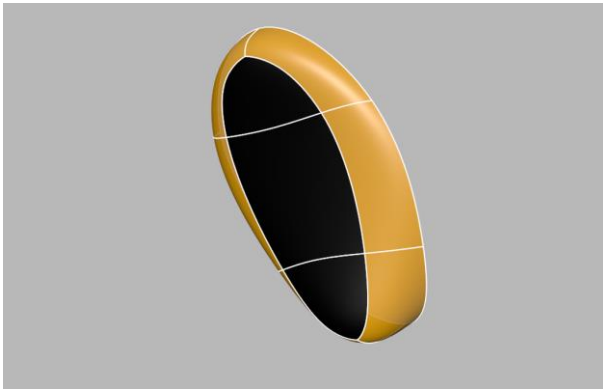
**Figura 53: Geometria da orelha com as duas extremidades abertas.**

Na Figura 54 é apresentado o primeiro passo da modelação da nova topologia. Desta forma, decidiu-se tapar a extremidade da orelha direita do cânone, utilizando a ferramenta *Fill Hole* no componente *Edge*.



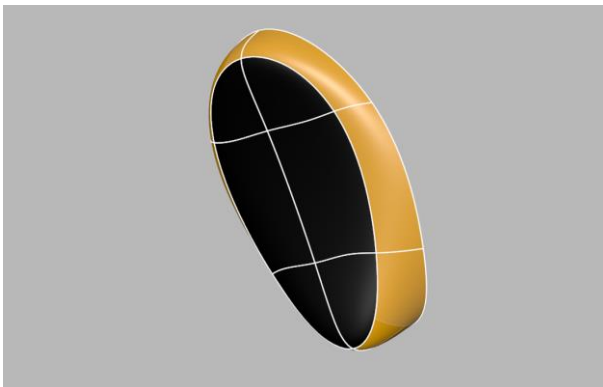
**Figura 54: Extremidade da orelha tapada utilizando a ferramenta *Fill Hole* no componente *Edge*.**

De seguida utilizou-se a ferramenta *Multi-Cut* no componente *Vertex* para fazer um corte entre vértices, de forma a criar as 2 arestas horizontais apresentadas na Figura 55.



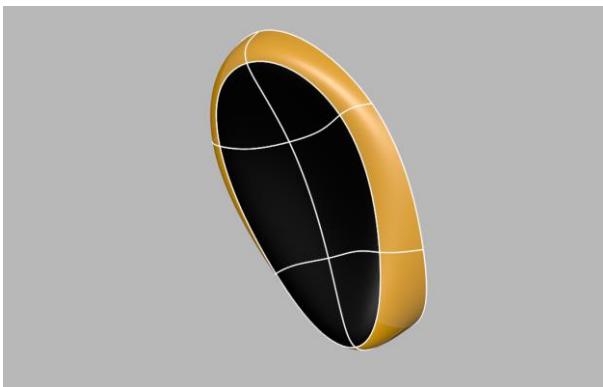
**Figura 55: Corte entre vértices para criar as 2 arestas horizontais.**

Foi ainda efetuado um novo corte entre vértices e arestas de forma a criar as 3 arestas verticais apresentadas na Figura 56.



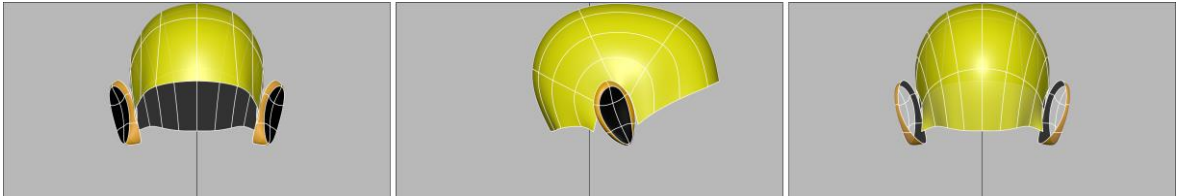
**Figura 56: Corte entre vértices e arestas para criar as 3 arestas verticais.**

Os vértices do centro foram movidos para tornar o interior da orelha com uma forma mais côncava (Figura 57).



**Figura 57: Alteração da forma do interior da orelha.**

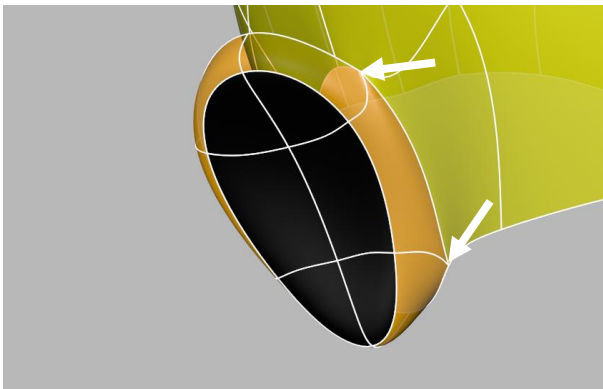
O passo seguinte foi a união da geometria da cabeça com a das orelhas. A geometria da cabeça e das orelhas foi selecionada e unida utilizando a ferramenta *Combine*, de forma a criar um único objeto (Figura 58). Esta fusão dos 3 objetos permitiu proceder às próximas operações de modelação.



**Figura 58: Fusão dos 3 objetos (cabeça e orelhas) num único objeto.**

A partir desta fase, as operações seguintes foram executadas utilizando a opção *Symmetry* em modo *Topology*. Esta opção permite modelar em espelho, facilitando muito o processo de modelação porque é apenas necessário modelar um dos lados da cabeça.

A operação seguinte consistiu em unir a geometria da orelha com a do crânio. Desta forma, a abordagem começou com a união dos vértices indicados na Figura 59. Foram unidos 2 vértices de cada vez com recurso à ferramenta *Merge to Center*.



**Figura 59: União dos vértices entre a orelha e o crânio.**

Na zona posterior da orelha, foram criadas 2 faces utilizando a ferramenta *Bridge* entre as arestas indicadas na Figura 60. Estas arestas fazem a ligação entre a orelha, na parte posterior, e o crânio.

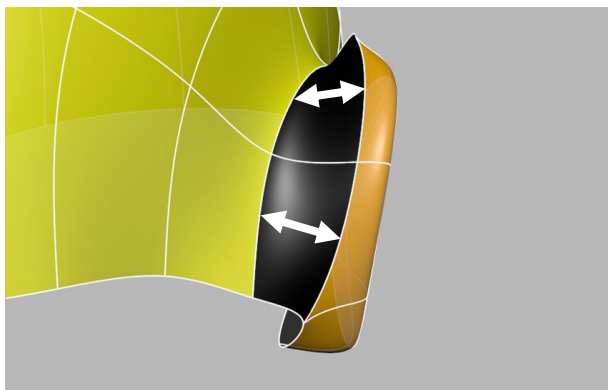


Figura 60: União entre as arestas da orelha e do crânio.

A execução da operação anterior não fez a ligação completa entre a orelha e o crânio, deixando um buraco que foi fechado posteriormente, utilizando a ferramenta *Fill Hole*, dando origem a uma face com 3 arestas (Figura 61).

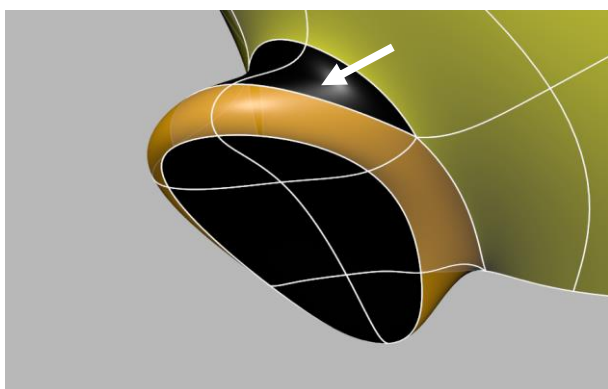


Figura 61: Criação de uma face triangular para tapar o buraco.

Na base da orelha, foi criada uma face com 3 arestas adicional para fechar a ligação entre a orelha e o crânio. Esta abordagem foi realizada utilizando a ferramenta *Extrude* (Figura 62).

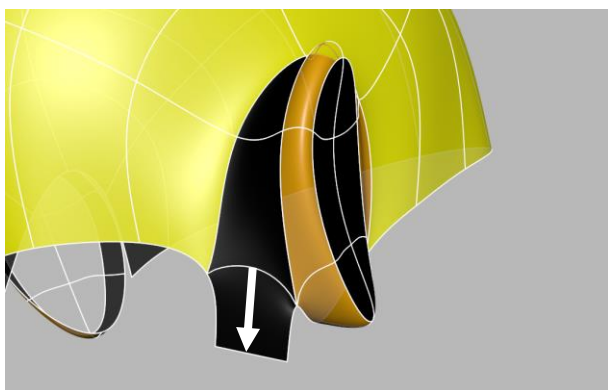
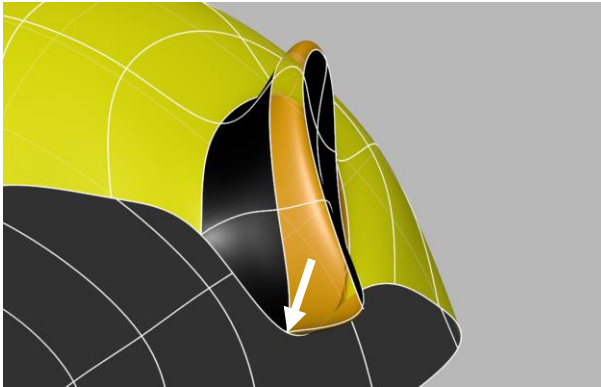


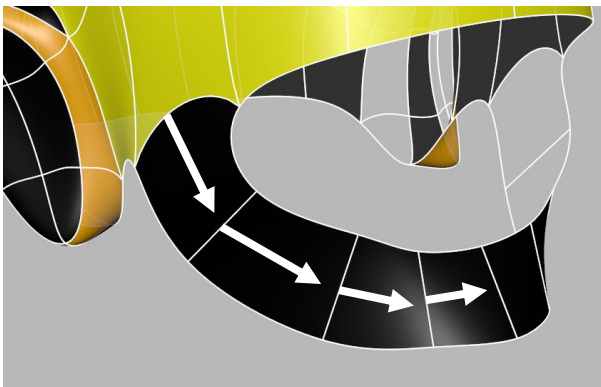
Figura 62: Criação de uma face triangular: *Extrude*

Os 2 vértices da aresta inferior da nova face foram ligados ao vértice da base da orelha, como indicado na Figura 63. A operação foi executada utilizando a ferramenta *Target Weld Tool*.



**Figura 63:** Criação de uma face triangular:  
*Target Weld Tool*

Concluída a modelação da orelha e a sua fusão com a geometria do crânio, deu-se início à modelação do rosto. Esta tarefa foi iniciada com a criação das 4 faces indicadas na Figura 64, utilizando a ferramenta *Extrude*.



**Figura 64:** Criação de 4 faces no rosto.

Os 4 vértices indicados na Figura 65 foram unidos através da ferramenta *Merge*. Esta operação permitiu unir a geometria proveniente dos dois lados do rosto.

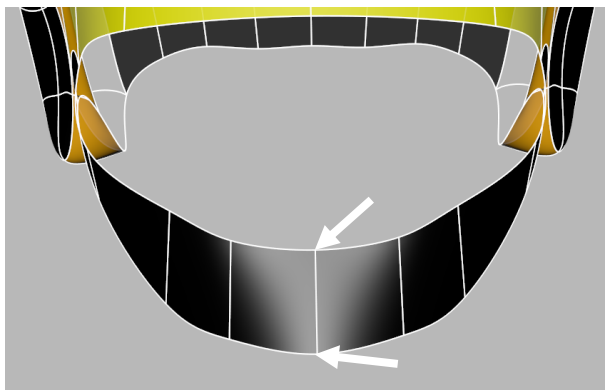


Figura 65: União dos vértices do centro.

Foi necessário reposicionar os vértices das faces criadas, de acordo com a Figura 66.

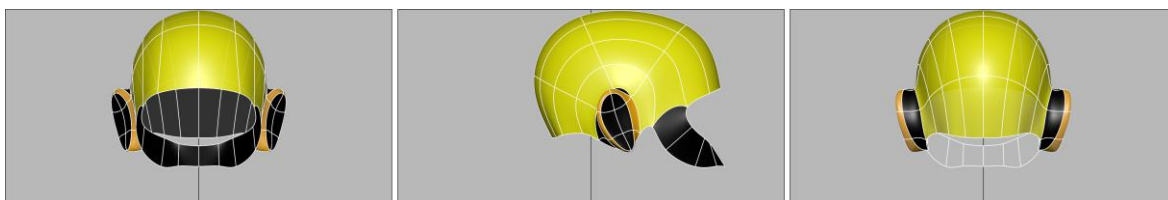


Figura 66: Vértices reposicionados.

Deu-se início à modelação do contorno dos olhos com a criação das 5 faces. A operação foi realizada conforme apresentado na Figura 67, utilizando a ferramenta *Extrude*.



Figura 67: Criação de 5 faces no rosto.

Foi eliminado um vértice na face indicada na Figura 68, de forma a deixar esta face apenas com 3 arestas. Esta face irá posteriormente facilitar a ligação com a restante geometria.



Figura 68: Face com 3 arestas.

Os vértices das faces criadas foram reposicionados da forma apresentada na Figura 69.

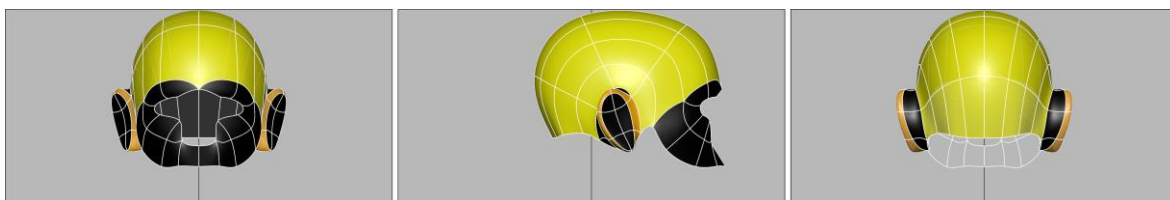


Figura 69: Vértices reposicionados.

A zona do olho foi modelada com a criação de 2 faces adicionais, utilizando a ferramenta *Bridge* com 1 divisão entre as arestas indicadas na Figura 70. Esta divisão permitiu que a ponte criada ficasse com 2 faces adequadas à ligação com a geometria envolvente.

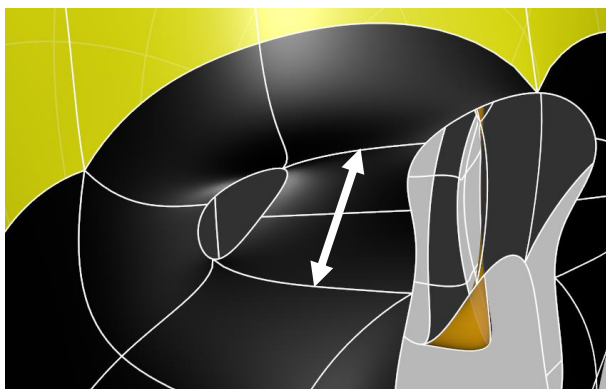


Figura 70: Criação de 2 faces na zona do olho.

De seguida foi necessário fechar o buraco deixado pelo passo anterior. Esta operação foi realizada utilizando a ferramenta *Target Weld Tool*, do vértice da direita para o da esquerda (Figura 71).

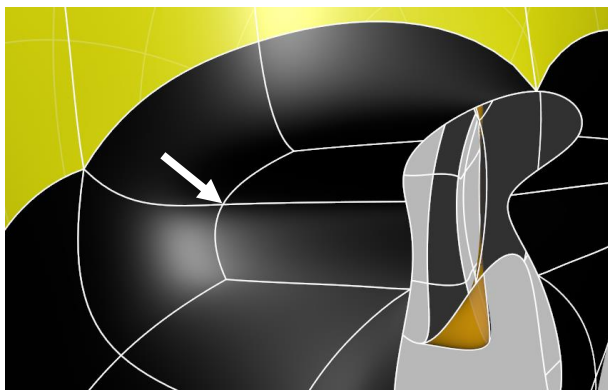


Figura 71: Ligação dos vértices para fechar o buraco.

Os vértices das faces criadas foram reposicionados conforme indicado na Figura 72.

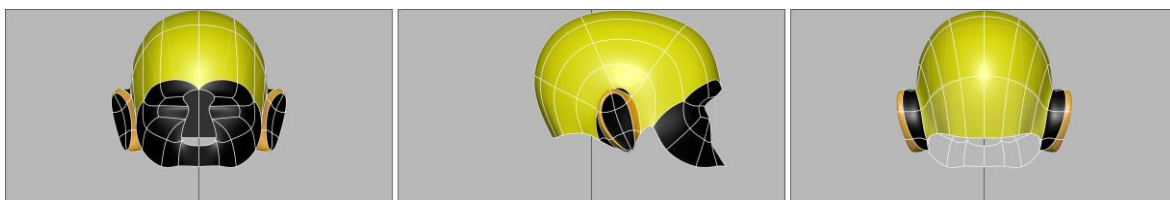


Figura 72: Reposicionamento dos vértices.

A operação seguinte consistiu em criar a geometria para o nariz. Para isso, foram criadas 6 faces utilizando a ferramenta *Bridge* com 1 divisão, da forma apresentada na Figura 73.

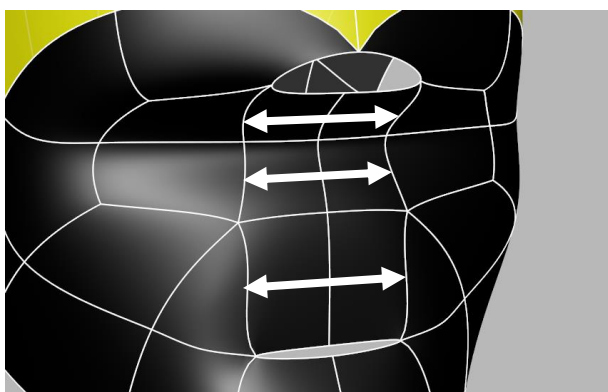


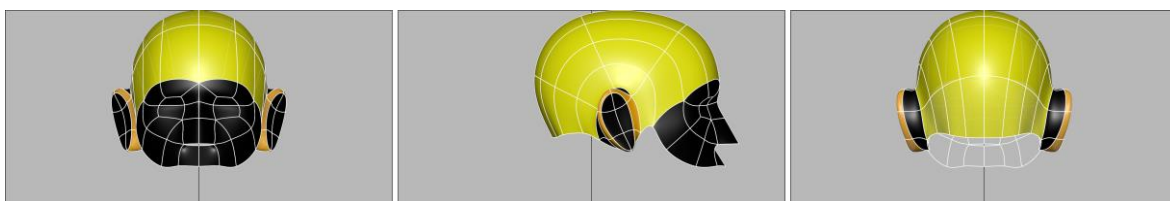
Figura 73: Criação das 6 faces adicionais para modelar o nariz.

Para fechar o buraco situado na zona entre as sobrancelhas, utilizou-se a ferramenta *Target Weld Tool*, do vértice inferior para o superior (Figura 74).



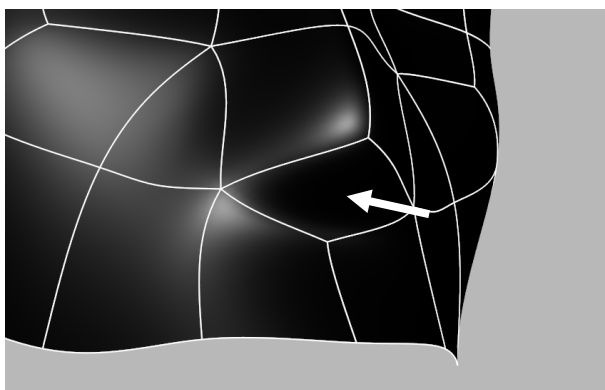
**Figura 74:** Ligação dos vértices para fechar o buraco.

Todos os vértices da geometria criada sofreram uma reposição para melhorar a anatomia do nariz (Figura 75).



**Figura 75:** Reposicionamento dos vértices.

Procedeu-se de seguida à resolução do buraco situado na zona das narinas. Esta operação foi feita com a ferramenta *Fill Hole* (Figura 76)



**Figura 76:** Buraco fechado na zona das narinas.

Foi ainda criada uma aresta ao centro, conforme indicado na Figura 77. Esta aresta melhora significativamente a anatomia do nariz e mantém a linha vertical central que divide todo o modelo em duas partes.

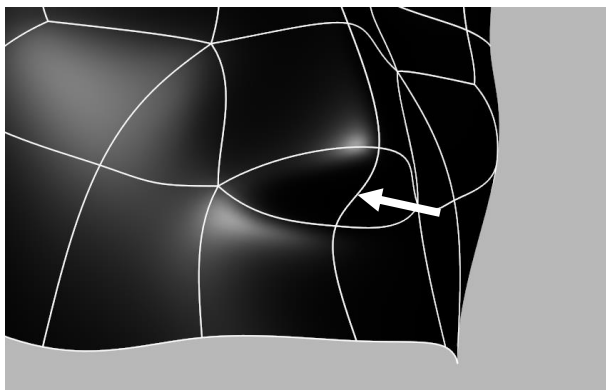


Figura 77: Criação da aresta vertical.

Deu-se início à modelação da geometria do maxilar e mandíbula com a criação de 6 faces. A criação destas faces foi realizada através da ferramenta *Extrude* sobre as arestas indicadas na Figura 78.

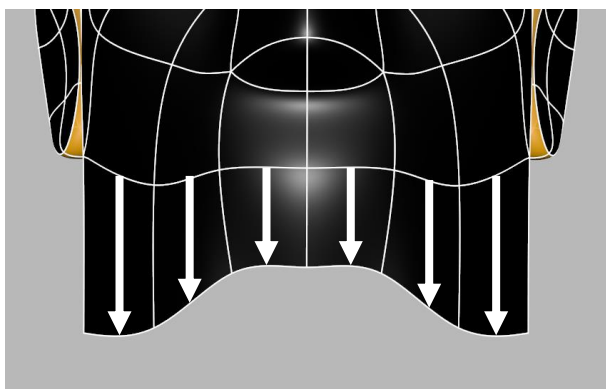


Figura 78: Criação de 6 faces para modelar o maxilar e mandíbula.

De seguida, foram criadas as faces adicionais indicadas na Figura 79, de forma a criar um anel em torno da boca, adequado à deformação da geometria em animação.

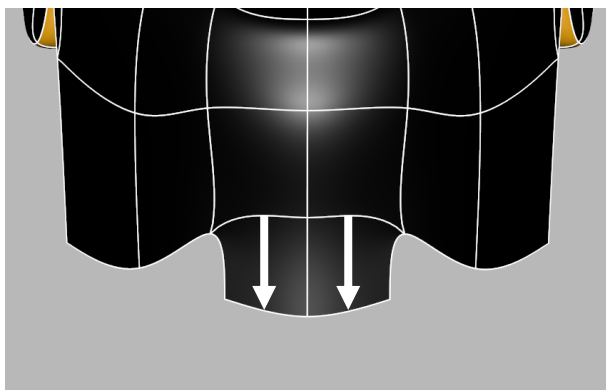


Figura 79: Criação de 2 faces na zona do queixo.

Os vértices dos cantos inferiores foram ligados à geometria anterior nos pontos assinalados na Figura 80, com recurso à ferramenta *Target Weld Tool*.

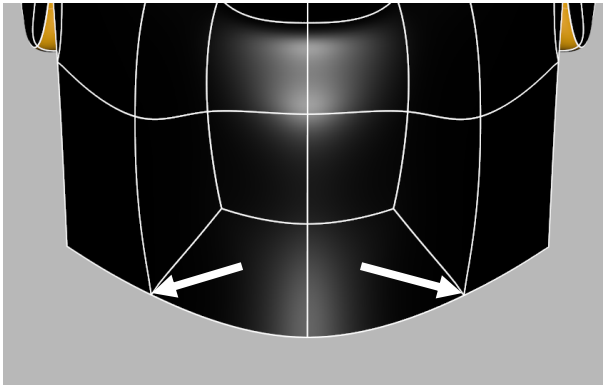


Figura 80: Ligação dos vértices dos cantos.

Na parte seguinte, seguiu-se a conclusão da modelação da cabeça. Desta forma, iniciou-se a criação da restante geometria do pescoço através da ligação da geometria da cabeça com a geometria inicialmente criada para o pescoço e ombro. De forma a proceder à criação de geometria entre ambos os 2 objetos (objeto da cabeça, objeto do pescoço e ombro) foi necessário proceder à fusão dos dois objetos através da ferramenta *Combine*. De seguida, criou-se 10 faces na parte posterior do pescoço com recurso à ferramenta *Bridge* (Figura 81).

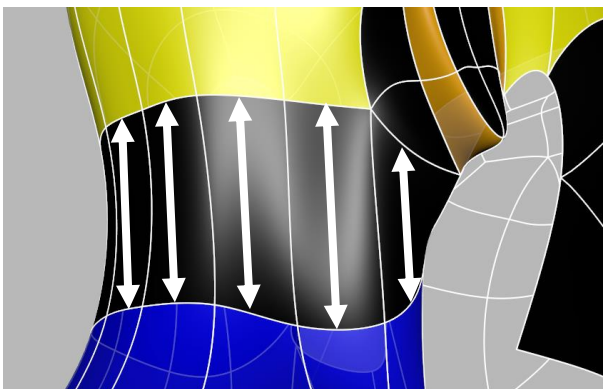
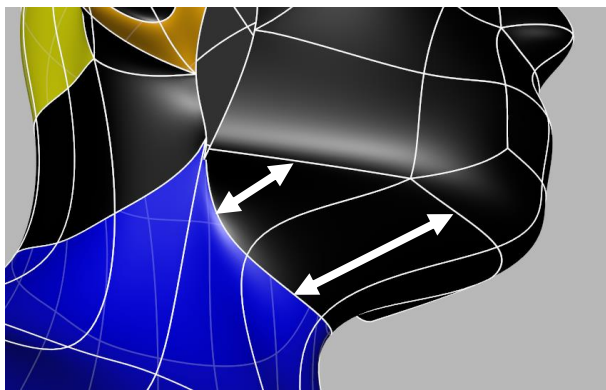


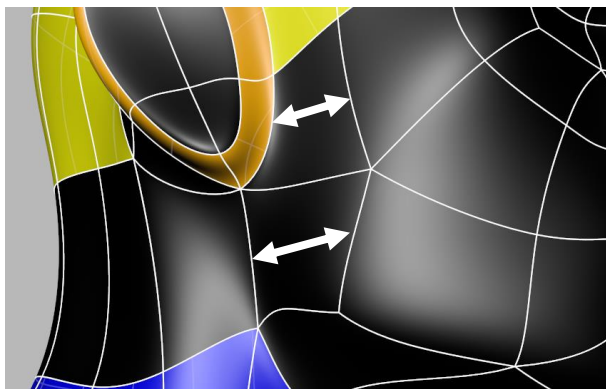
Figura 81: Criação de 10 faces na zona posterior do pescoço (apresentado apenas um dos lados).

Posteriormente, foram criadas mais 4 faces na parte inferior da mandíbula, através da ferramenta *Bridge*, como indicado na Figura 82.



**Figura 82:** Criação de 4 faces na zona inferior da mandíbula (apresentado apenas um dos lados).

A conclusão da modelação da cabeça foi feita com a criação de 2 faces (em cada lado da cara), entre a orelha e o maxilar, pescoço e mandíbula, de acordo com a Figura 83.



**Figura 83:** Criação de 2 faces entre a orelha e o maxilar, pescoço e mandíbula.

Os vértices da geometria sofreram uma ligeira reposição, de acordo com a Figura 84.



**Figura 84:** Reposicionamento dos vértices.

### **Notas Anatômicas**

Na forma anatómica da cabeça destacam-se o volume superior do músculo esternocleido-mastoideu e trapézio.

#### 4.10.7. Mão

A modelação da mão direita do cânone foi efetuada com recurso à primitiva *Cylinder* com 4 subdivisões no eixo.

Foram criadas 5 primitivas, que posteriormente foram escaladas e posicionadas de acordo com a Figura 85 e a Figura 86.

Após a junção das 5 primitivas, com recurso à ferramenta *Combine*, procedeu-se à criação de uma cópia espelhada e instanciada, de forma a modelar apenas uma das mãos.

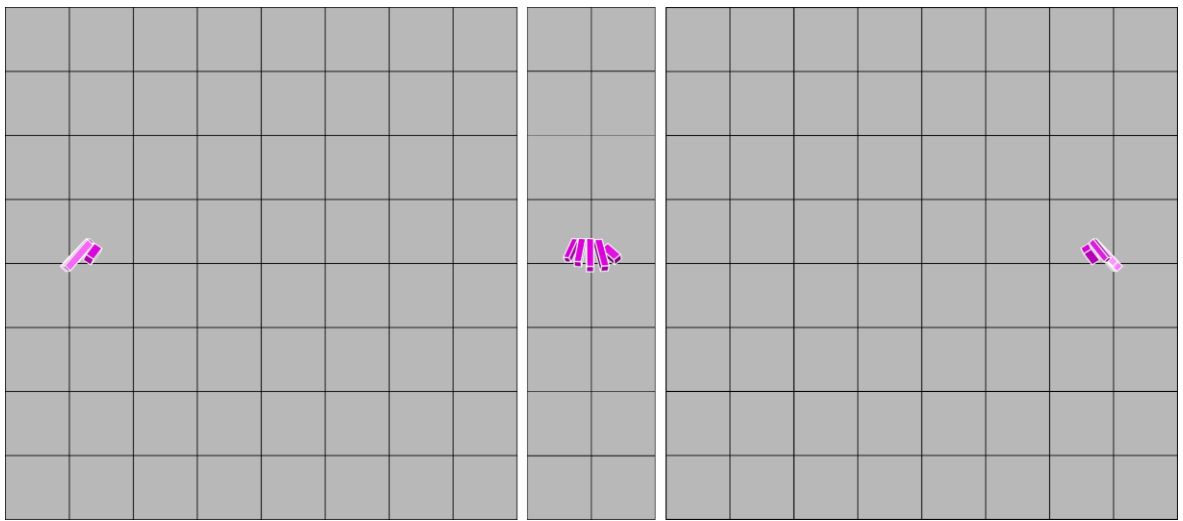


Figura 85: Cilindros de 4 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

Nas figuras que se seguem, é apenas apresentada a mão direita, para facilitar a compreensão da geometria.

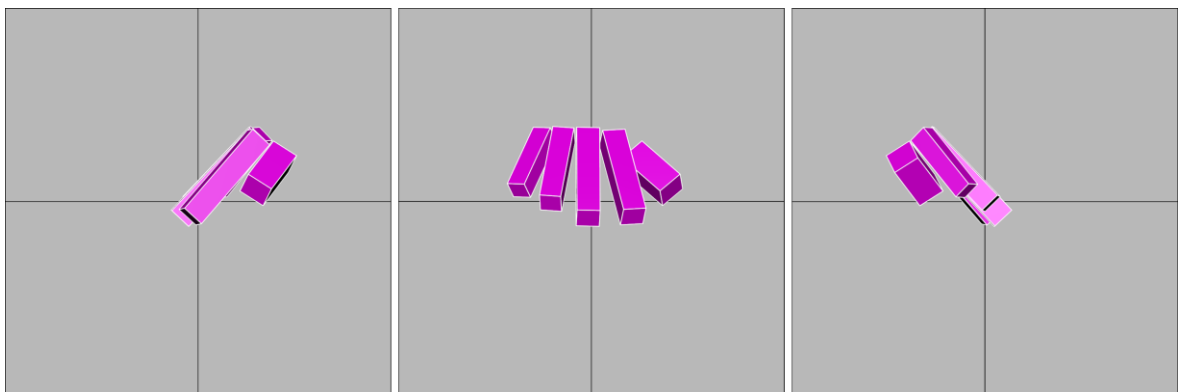
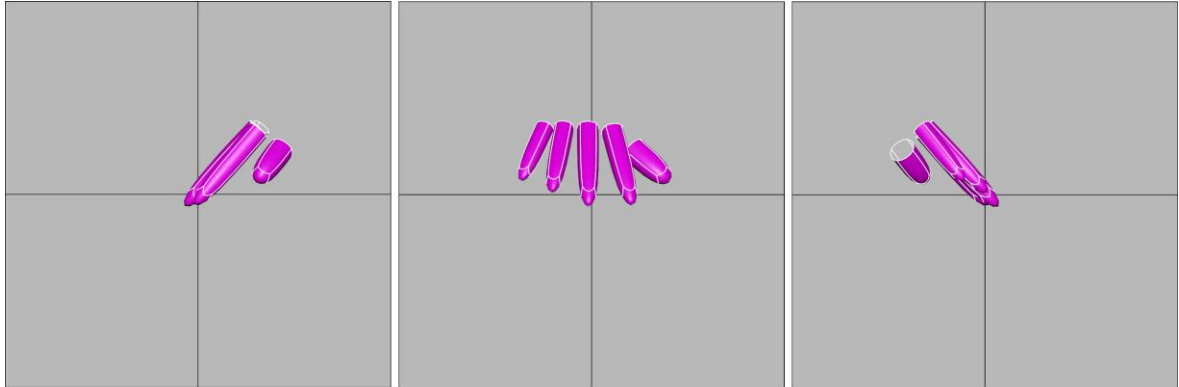


Figura 86: Detalhe sobre a posição e escala entre os diferentes cilindros.

As faces dos topos orientados para o interior da mão foram apagadas.

Foi aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição (Figura 87).

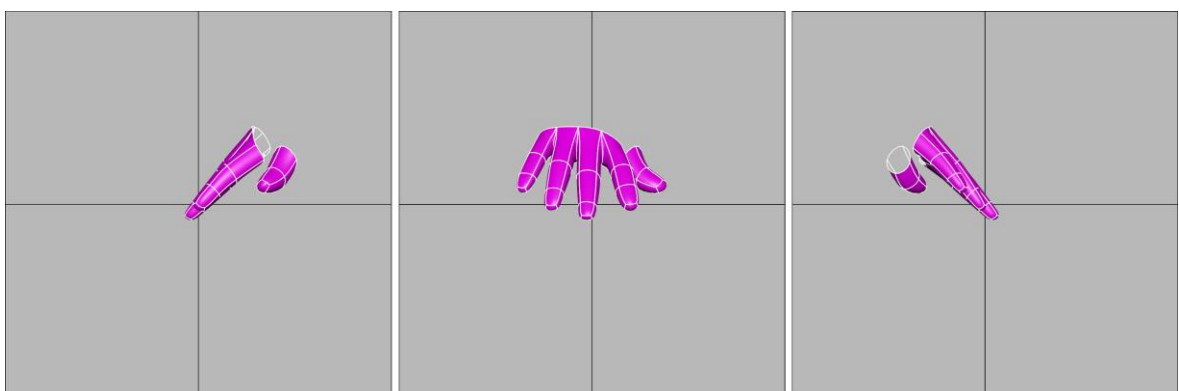


**Figura 87: Primitivas com as faces dos topos eliminadas.**

Seguidamente, foram inseridos dois ciclos de arestas nos dedos: indicador, médio, anelar, mínimo; e um ciclo de arestas no dedo polegar. Estes ciclos de arestas servem para definir a posição das articulações dos dedos.

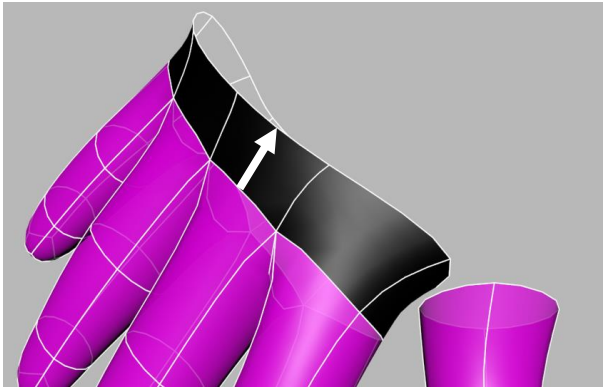
De forma a criar a ligação entre os dedos, foram unidos os vértices (dois a dois) entre os dedos: indicador e médio; médio e anelar; anelar e mínimo. O dedo polegar ficou separado desta ligação.

Posteriormente, os vértices foram reposicionados de acordo com a Figura 88.



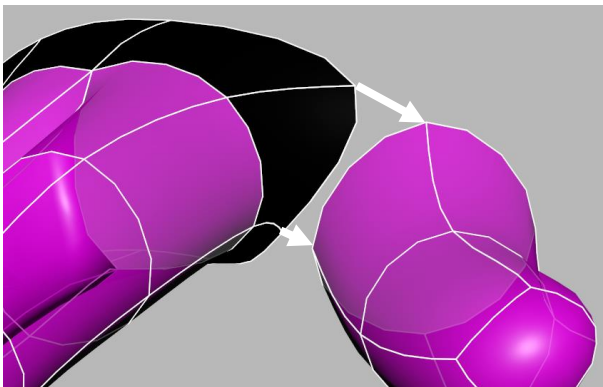
**Figura 88: Primitivas com os ciclos de arestas e vértices reposicionados.**

De seguida iniciou-se a modelação da geometria da mão. Desta forma, foram criadas 10 faces a partir do ciclo de arestas da extremidade dos 4 dedos: indicador, médio, anelar, mínimo, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 89).



**Figura 89:** Criação das 10 faces da mão.

Os vértices entre o dedo indicador e o dedo polegar foram unidos, utilizando a ferramenta *Target Weld Tool* entre vértices (Figura 90).



**Figura 90:** União dos vértices entre o dedo indicador e o polegar.

Foram criadas 12 faces a partir do ciclo de arestas da extremidade utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 91 e Figura 92).

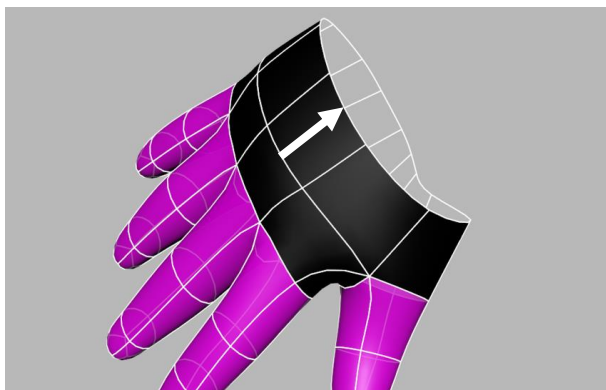


Figura 91: Criação das 12 faces (detalhe 1)

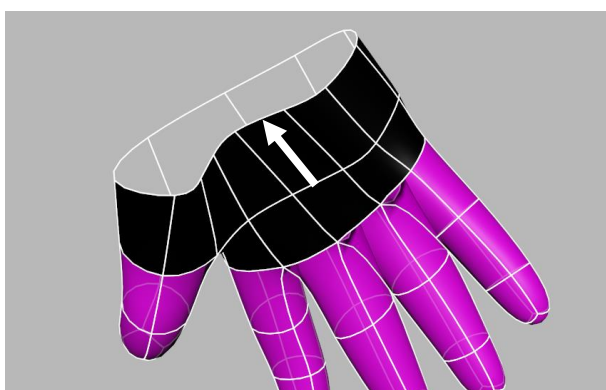


Figura 92: Criação das 12 faces (detalhe 2)

De forma a corrigir a anatomia da face anterior da mão, foi efetuada a alteração de alguns vértices. O vértice proveniente do ciclo de arestas situado entre o dedo mínimo e o anelar, assim como, o vértice proveniente do ciclo de arestas situado entre o dedo indicador e o médio, ambos convergem para o vértice do centro, situado no ciclo de arestas entre o dedo médio e anelar (Figura 93 e Figura 94). Esta operação foi efetuada através da ferramenta *Target Weld Tool*.

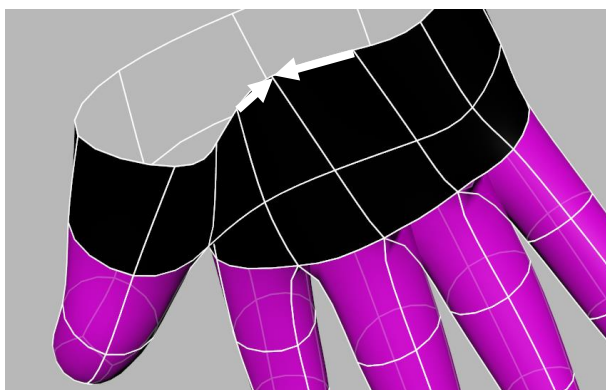


Figura 93: União dos vértices.

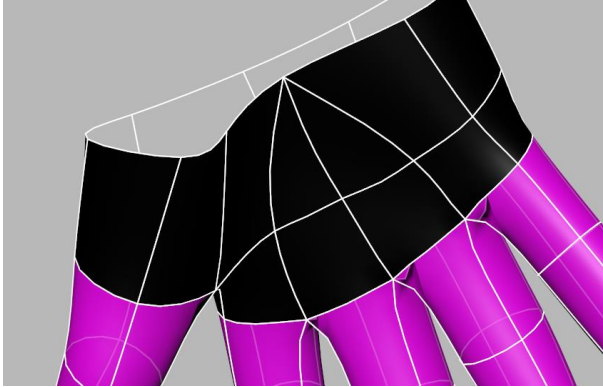


Figura 94: Resultado da união dos vértices.

Para corrigir a anatomia do polegar, o vértice situado no ciclo de arestas localizado entre o dedo polegar e o indicador, foi unido ao vértice à esquerda. Esta união foi efetuada com a utilização da ferramenta *Target Weld Tool* (Figura 95 e Figura 96).

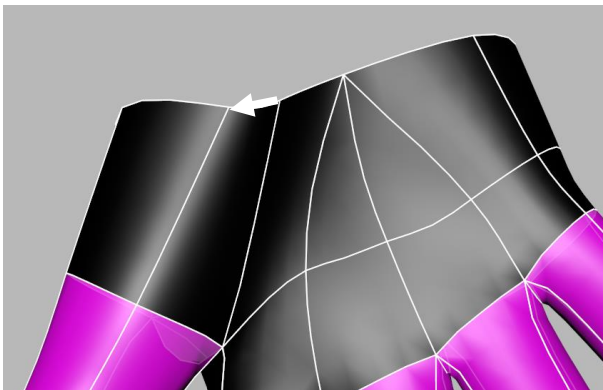


Figura 95: União dos vértices no polegar.

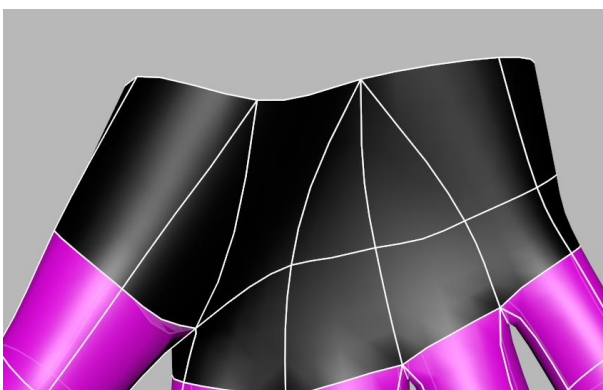


Figura 96: Resultado da união dos vértices.

Para corrigir a forma dos músculos do polegar, foi alterada a posição de uma das arestas. Desta forma, removeu-se a aresta indicada na Figura 97, utilizando a ferramenta *Delete Edge*.

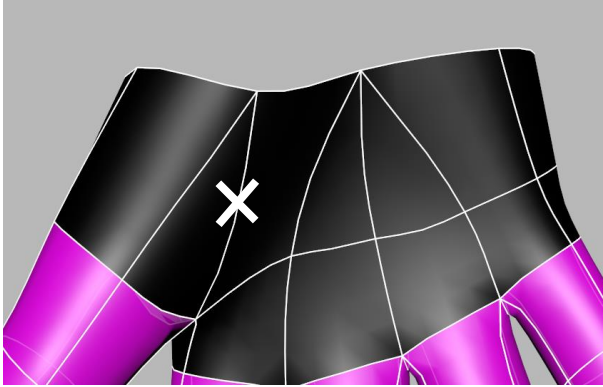


Figura 97: Remoção de aresta.

De seguida, foi criada uma nova aresta, conforme indicado na Figura 98, utilizando a ferramenta *Connect Components*.

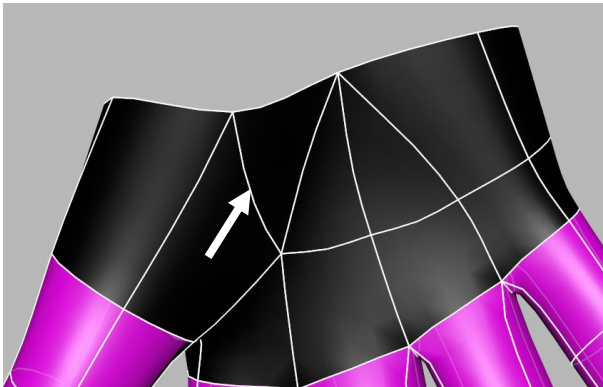


Figura 98: Criação de aresta.

Foram criadas 9 faces através do ciclo de arestas da extremidade, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 99 e Figura 100).

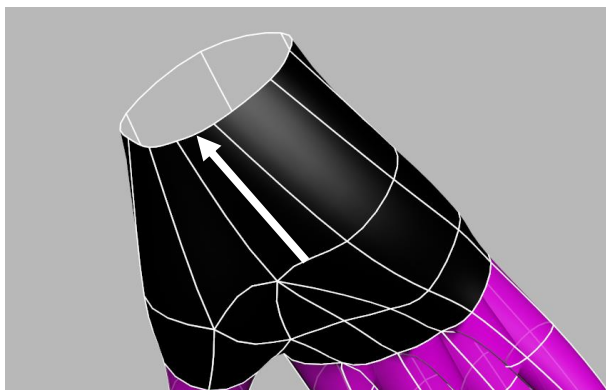


Figura 99: Criação das 9 faces (detalhe 1).

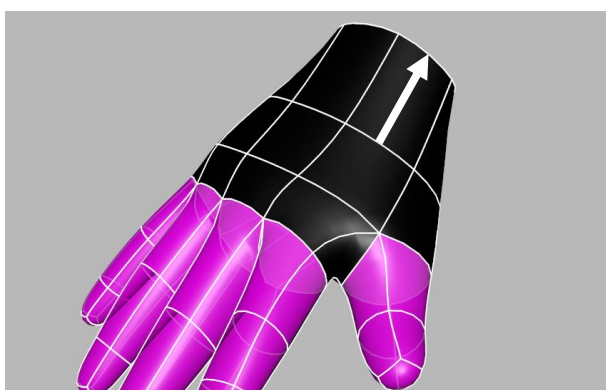


Figura 100: Criação das 9 faces (detalhe 2).

De forma a melhorar a anatomia da mão e a fazer a ligação com a geometria do antebraço, foram feitas algumas alterações às faces criadas. Desta forma, foram unidos os vértices assinalados na Figura 101. Esta operação foi feita através da ferramenta *Target Weld Tool*. O resultado é apresentado na Figura 102.

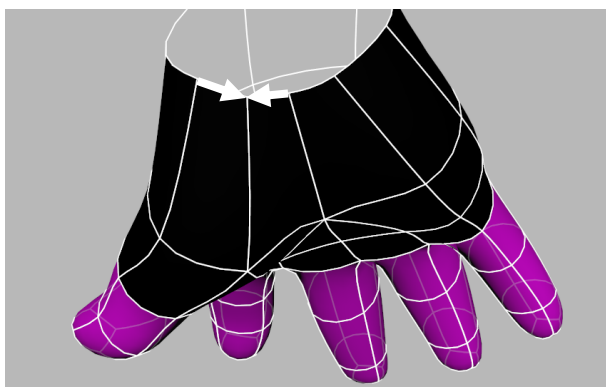


Figura 101: União dos vértices.

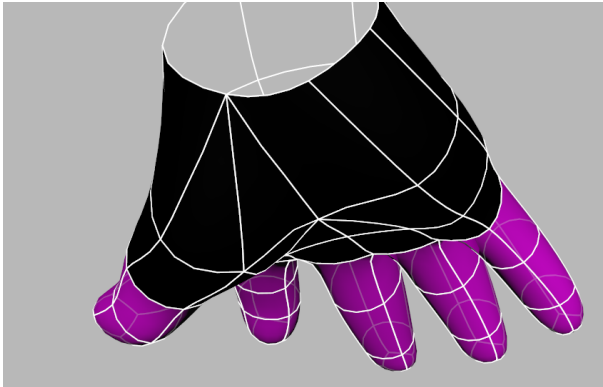


Figura 102: Resultado da união dos vértices.

Foi feita outra união de vértices na parte lateral da mão, de acordo com a Figura 103 e Figura 104, utilizando a mesma ferramenta *Target Weld Tool*.

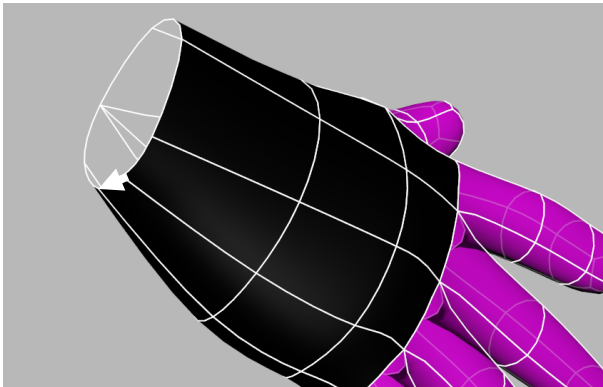


Figura 103: União dos vértices.

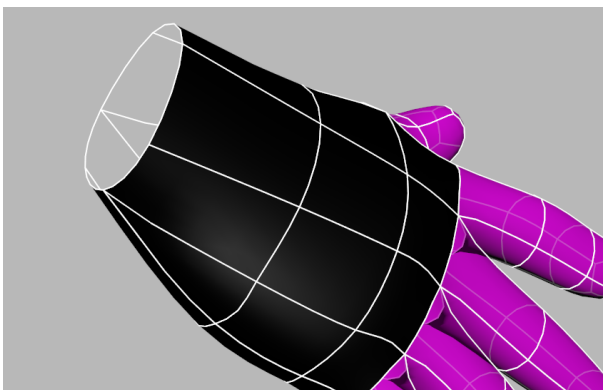
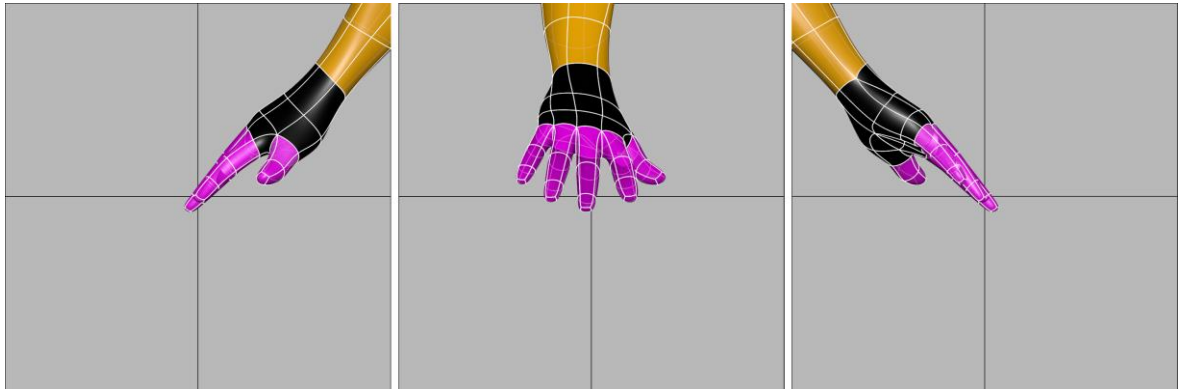


Figura 104: Resultado da união dos vértices.

A conclusão da modelação da mão deu-se com a ligação da geometria desta com a geometria do antebraço. Esta operação foi concretizada através da ferramenta *Combine*.

De seguida, foram unidos os vértices da extremidade de ambas as geometrias utilizando a ferramenta *Merge* (Figura 105).



**Figura 105:** União dos vértices da geometria da mão e antebraço.

#### **Notas Anatômicas**

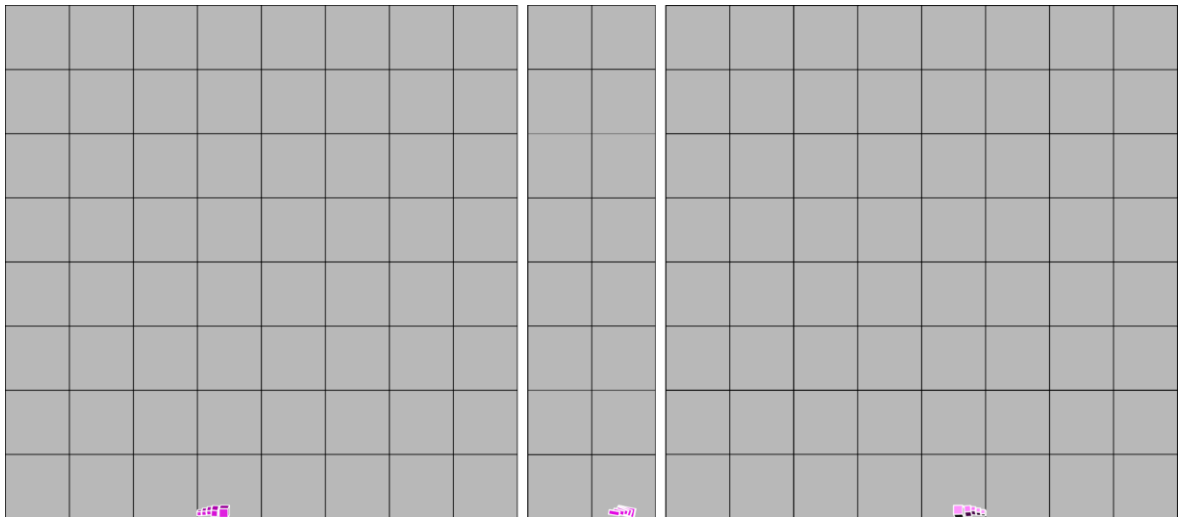
Na forma anatómica da mão destacam-se os volumes criados pelos grupos de músculos da eminência tenar e hipotenar.

#### **4.10.8. Pé**

À semelhança da mão, também na modelação do pé foi utilizada a primitiva *Cylinder* com 4 subdivisões no eixo.

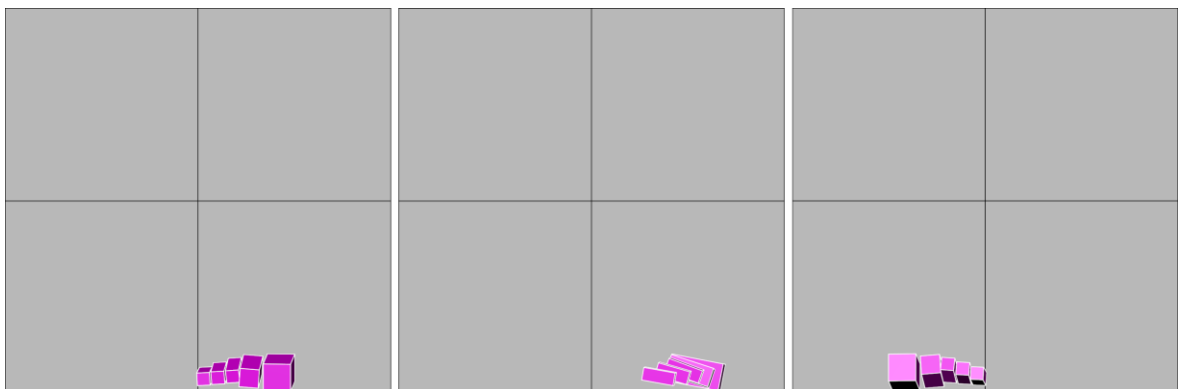
Foram criadas 5 primitivas com a escala e posição de acordo com a Figura 106 e a Figura 107.

Após a junção das 5 primitivas, com recurso à ferramenta *Combine*, procedeu-se à criação de uma cópia espelhada e instanciada, de forma a modelar apenas um dos pés.



**Figura 106:** Cilindros de 4 lados sobre a matriz anterior, lateral esquerda e posterior.

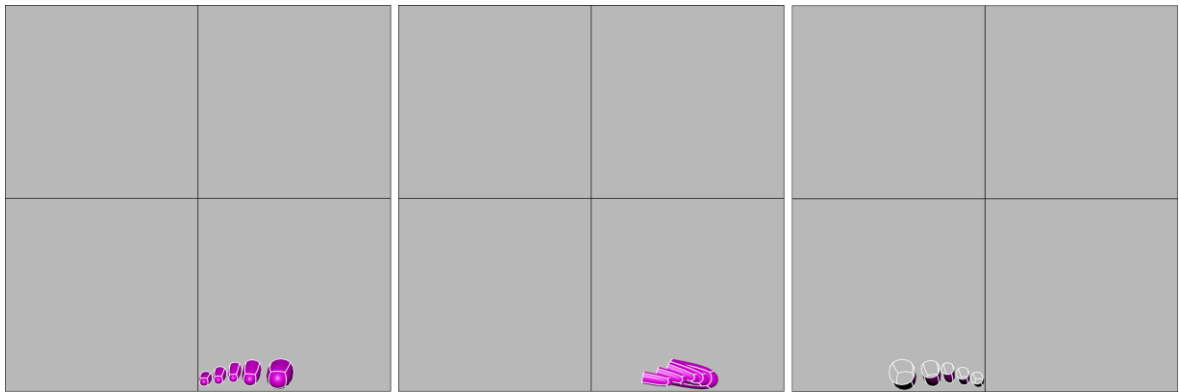
Nas figuras que se seguem, é apenas apresentado o pé direito, para facilitar a compreensão da geometria.



**Figura 107:** Detalhe sobre a posição e escala entre os diferentes cilindros.

As faces dos tops orientados para o interior do pé foram apagadas (Figura 108).

Foi aplicado o *Smooth Mesh Preview* com 2 níveis de subdivisão para apresentar o modelo com alta definição.

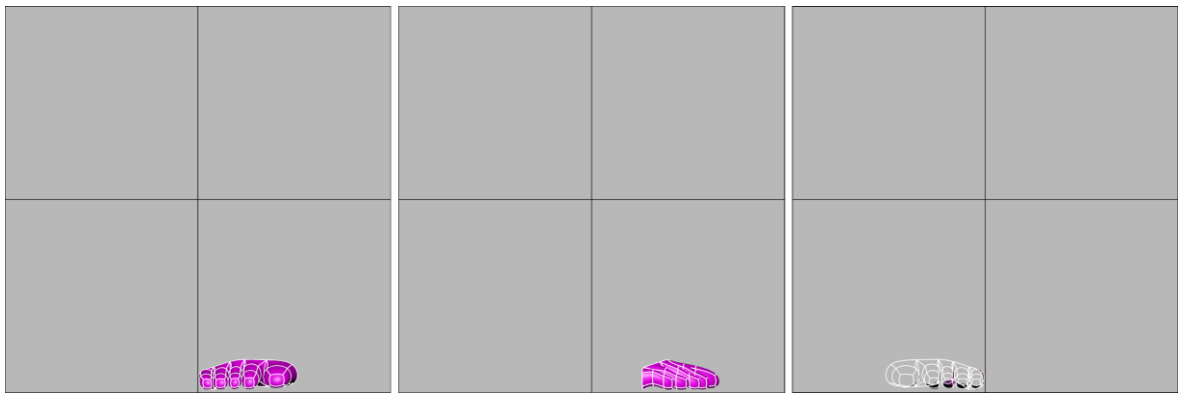


**Figura 108: Primitivas com as faces dos topos eliminadas.**

Foi inserido um ciclo de arestas no dedo hálux e dois ciclos de arestas nos restantes dedos. Estas arestas servem para definir a posição das articulações dos diferentes dedos.

De forma a criar a ligação entre os dedos, foram unidos os vértices (dois a dois) entre os mesmos.

Posteriormente, os vértices foram reposicionados de acordo com a Figura 109.



**Figura 109: Primitivas com os ciclos de arestas e vértices reposicionados.**

Iniciou-se a modelação da geometria do pé com a criação de 12 faces. Estas foram criadas a partir do ciclo de arestas da extremidade dos 5 dedos, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 110 e Figura 111).

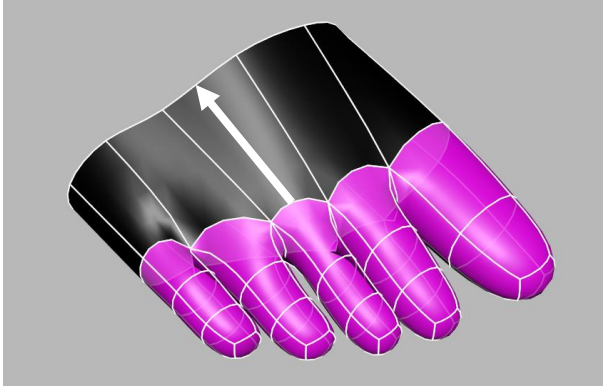


Figura 110: Criação das 12 faces (detalhe 1).

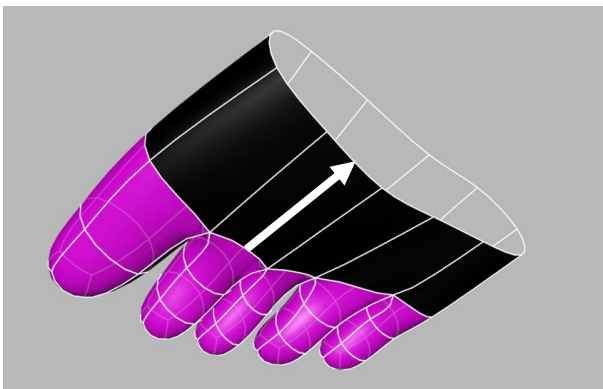


Figura 111: Criação das 12 faces (detalhe 2).

Foram criadas mais 12 faces a partir do ciclo de arestas da extremidade, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 112 e Figura 113).

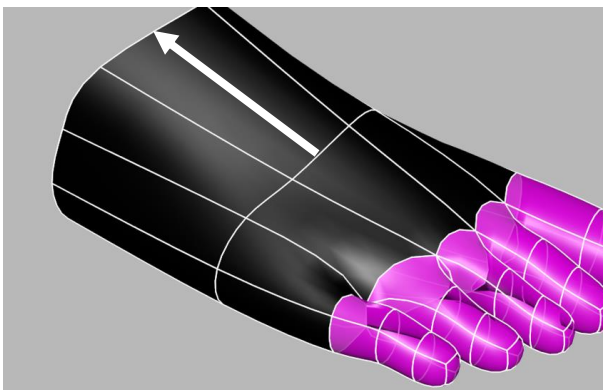


Figura 112: Criação das 12 faces (detalhe 1).

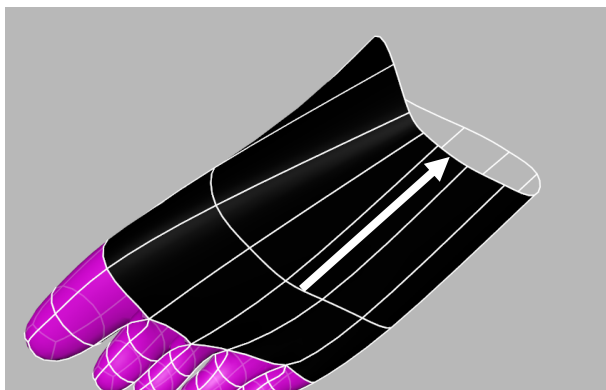


Figura 113: Criação das 12 faces (detalhe 2).

Para corrigir a anatomia do pé, foram unidos dois vértices na parte lateral do pé, como demonstrado na Figura 114 e Figura 115. Esta operação foi feita utilizando a ferramenta *Target Weld Tool*.

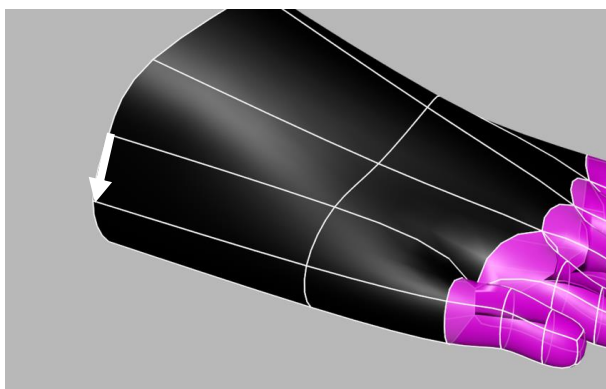


Figura 114: União de vértices.

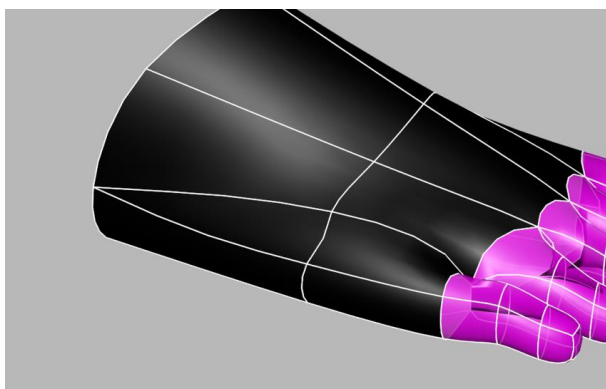


Figura 115: Resultado da união de vértices.

Também na parte inferior do pé foram unidos dois vértices, conforme apresentado na Figura 116 e Figura 117, utilizando a ferramenta *Target Weld Tool*.

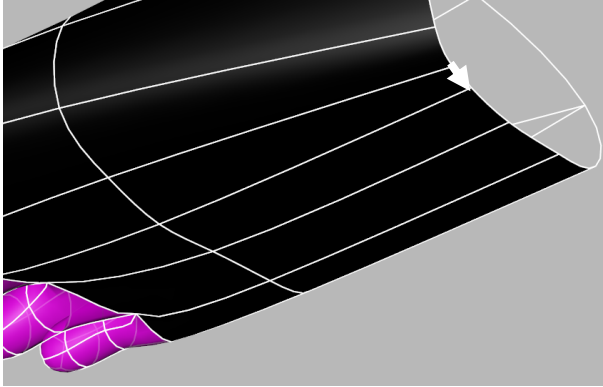


Figura 116: União de vértices.

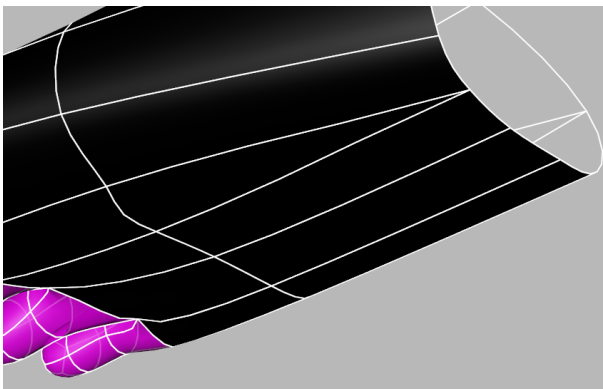


Figura 117: Resultado da união de vértices.

A partir das 8 arestas da extremidade, conforme indicado na Figura 118, foram criadas 8 faces, utilizando a ferramenta *Extrude Edge*.

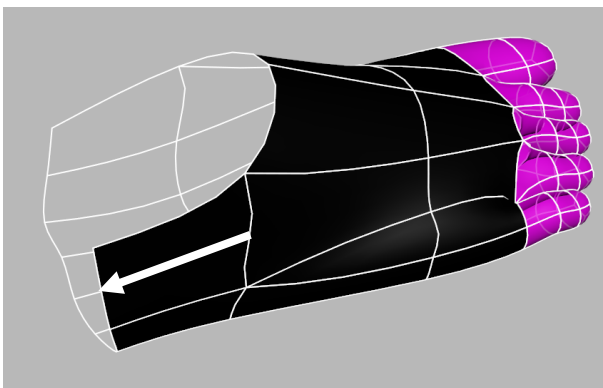


Figura 118: Criação das 8 faces.

Foram selecionadas 3 arestas de ambos os lados do pé para criar mais 6 faces adicionais, de forma a construir a anatomia do calcanhar, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 119).

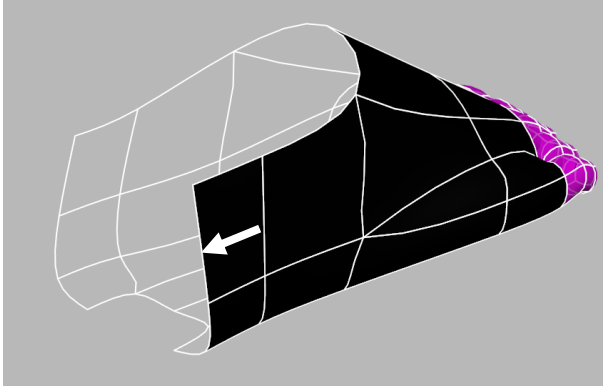


Figura 119: Criação das 6 faces.

A conclusão da anatomia do calcanhar foi concretizada unindo os vértices, dois a dois, conforme assinalado na Figura 120 e Figura 121. Esta operação foi feita utilizando a ferramenta *Merge to Center*.

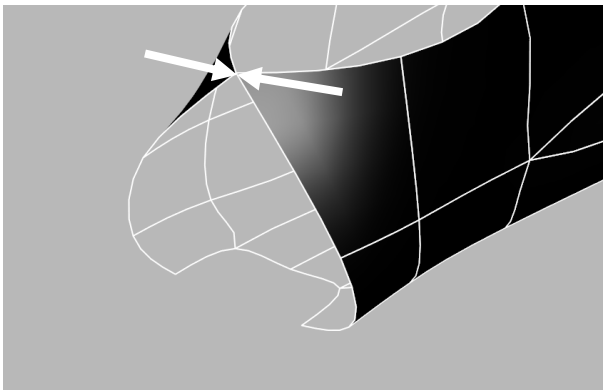


Figura 120: União dos vértices.

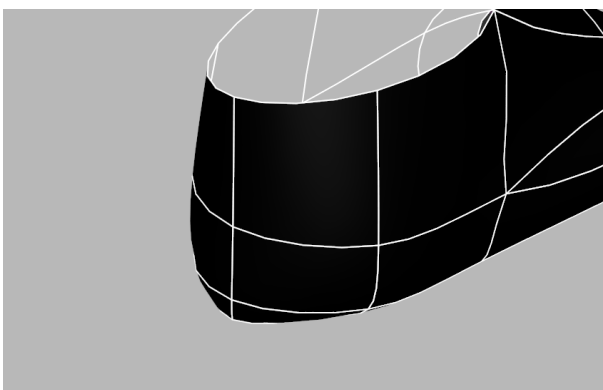


Figura 121: Resultado da união dos vértices.

Na parte inferior do calcanhar foi ainda necessário ligar os vértices assinalados na Figura 122, através da ferramenta *Target Weld Tool*. O resultado é apresentado na Figura 123.

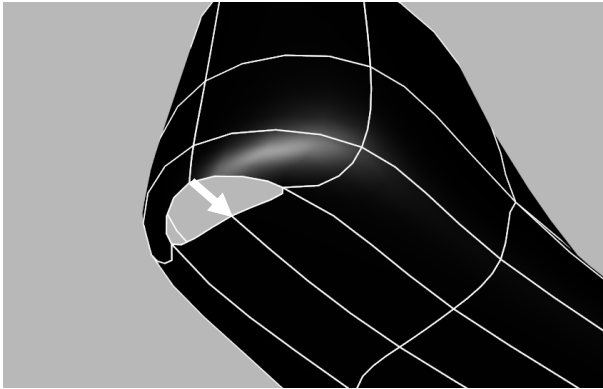


Figura 122: União dos vértices.

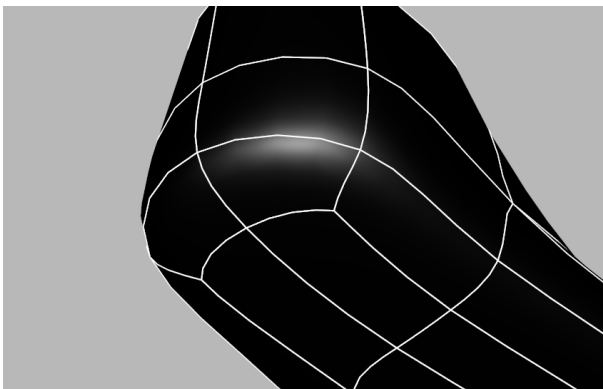


Figura 123: Resultado da união dos vértices.

Na operação seguinte foi concretizada a união da geometria de ambos os pés com a geometria das pernas. Esta união foi realizada com a ferramenta *Combine*. De seguida, foram unidos os vértices da extremidade de ambas as geometrias utilizando a ferramenta *Merge* (Figura 124).

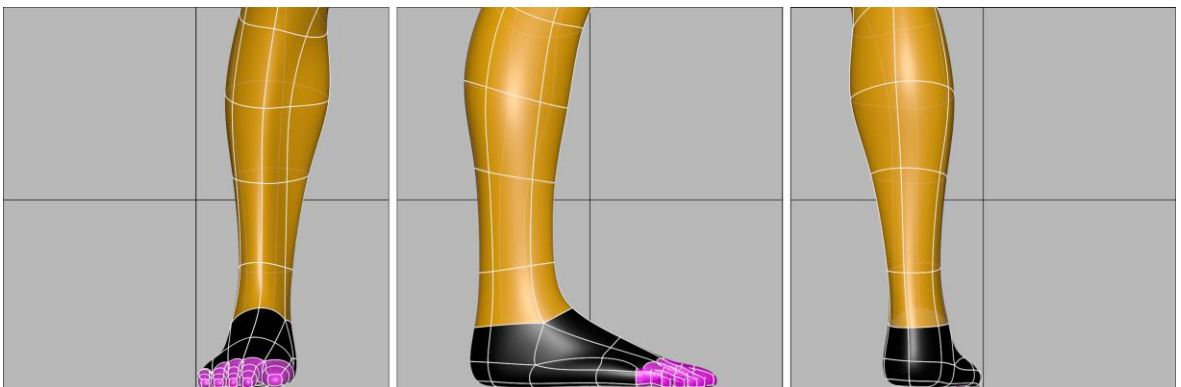


Figura 124: União dos vértices da geometria do pé e perna.

## Notas Anatômicas

Na forma anatômica do pé, há a destacar o volume do músculo abductor do dedo mínimo e abductor do hálux.

### 4.10.9. PELVE

A modelação da pelve irá permitir fazer a ligação entre a geometria das coxas e a geometria do dorso e abdómen. A modelação foi feita a partir da geometria do dorso e abdómen, tendo a geometria das coxas como destino para a ligação (Figura 125).

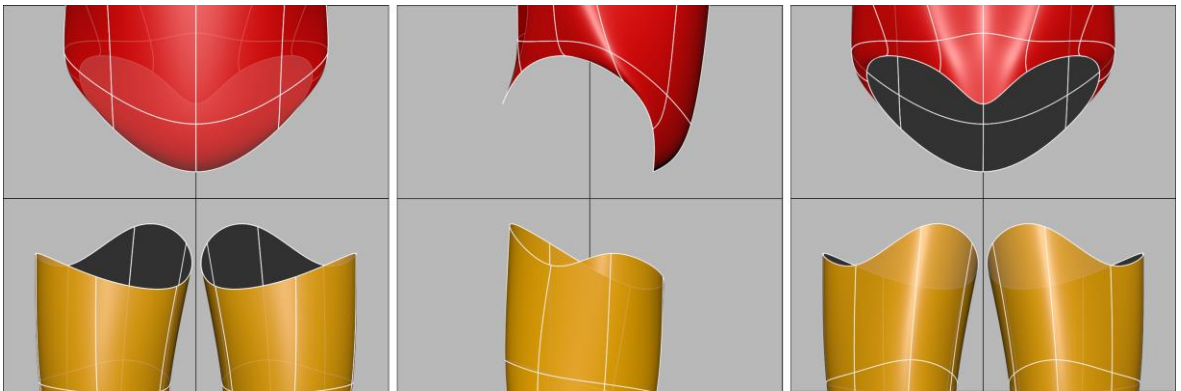


Figura 125: Geometria do dorso e abdómen, e coxas.

Foram criadas 10 faces a partir do ciclo de arestas da extremidade da geometria do dorso e abdómen, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 126).

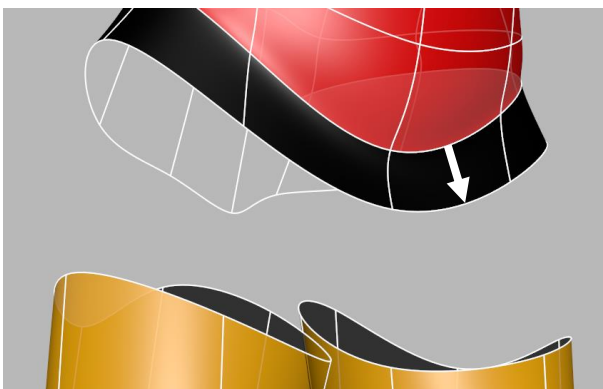


Figura 126: Criação de 10 faces.

Foram unidos os vértices indicados na Figura 127 e Figura 128.

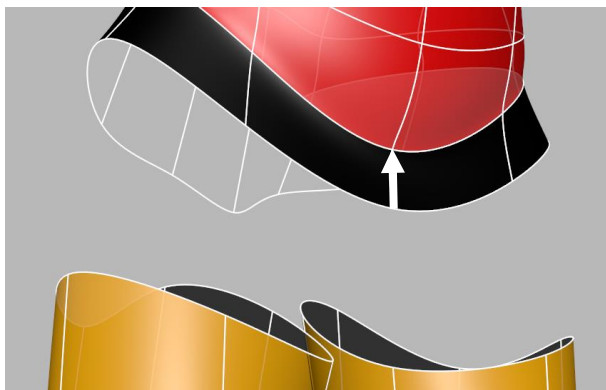


Figura 127: União de vértices.



Figura 128: Resultado da união de vértices.

Foram criadas 10 faces adicionais a partir do ciclo de arestas da extremidade da geometria do dorso e abdômen, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 129).

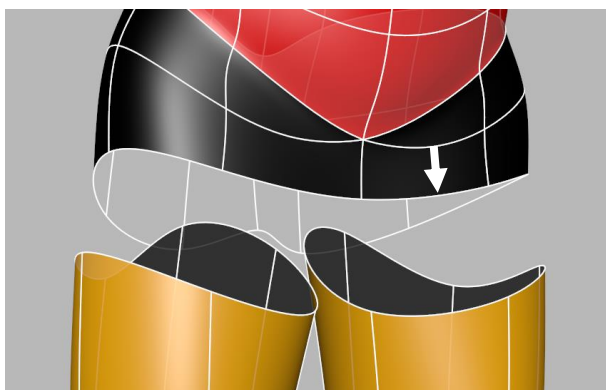


Figura 129: Criação de 10 faces.

Foram unidos os vértices indicados na Figura 130 e Figura 131.

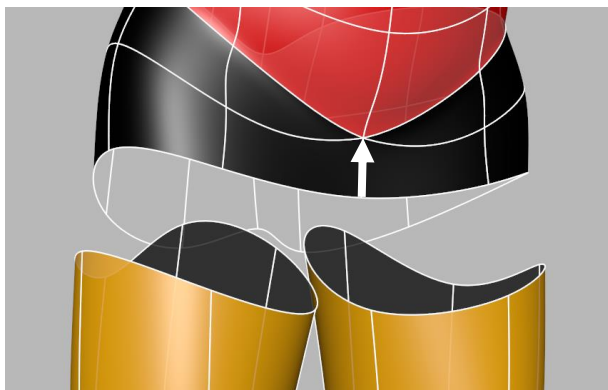


Figura 130: União de vértices.

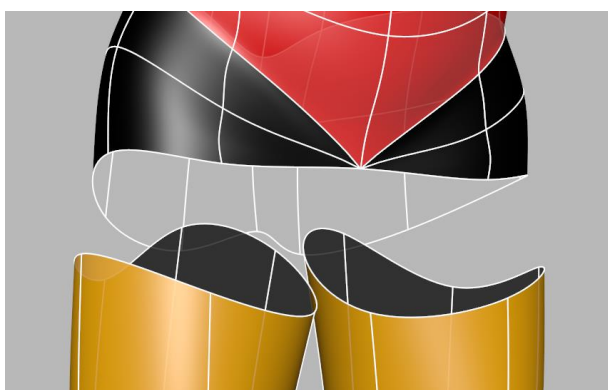


Figura 131: Resultado da união de vértices.

A geometria da pelve foi unida com a geometria das coxas, utilizando a ferramenta *Combine*. De seguida foi feita a ligação entre ambas as geometrias através da ferramenta *Bridge*, entre arestas (Figura 132), excluindo as arestas indicadas na Figura 133.

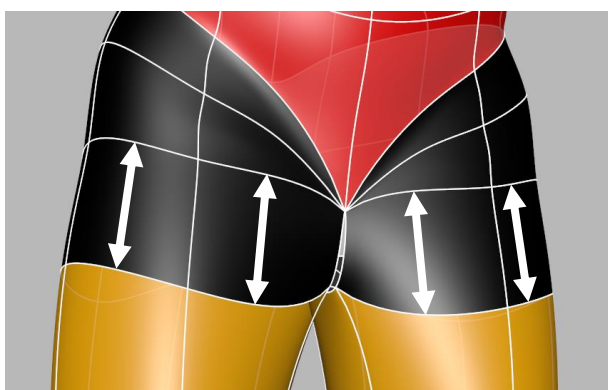
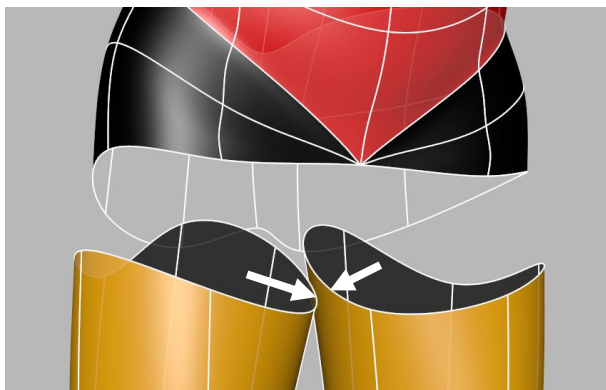


Figura 132: Ligação da geometria da pelve com a geometria das coxas.



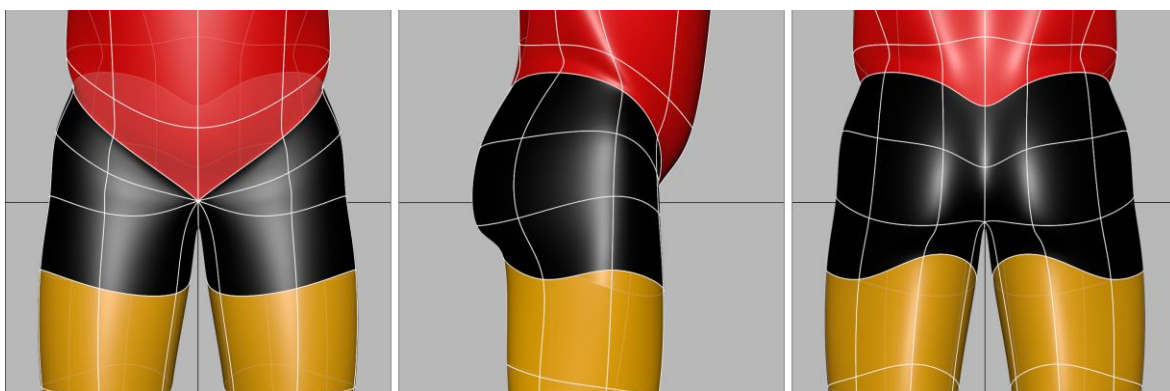
**Figura 133: Arestas excluídas na operação Bridge.**

Na fase seguinte foi feita uma nova ligação entre as arestas indicadas na Figura 134.



**Figura 134: Ligação da geometria da pelve com a geometria das coxas.**

Os vértices foram posicionados de forma a corrigir a anatomia geral da zona da pelve (Figura 135).



**Figura 135: Reposicionamento dos vértices.**

## Notas Anatômicas

Na forma anatômica da pelve, destaca-se na vista frontal, o volume do músculo glúteo médio e tensor da fáscia lata. Na vista posterior destaca-se o volume do músculo glúteo máximo.

Os limites da geometria são definidos pela crista ilíaca na parte superior. Na zona inferior, pela fronteira entre o músculo glúteo máximo e os músculos bicípete femural e semitendinoso.

### 4.10.10. DORSO

A modelação do dorso permitiu unir todas as partes do cânone previamente modeladas. Desta forma, foi feita a união das seguintes geometrias: cabeça; pescoço e ombro; braço e antebraço; mão; dorso e abdómen, pelve, coxa e perna; pé. Esta união foi feita através da ferramenta *Combine* (Figura 136).

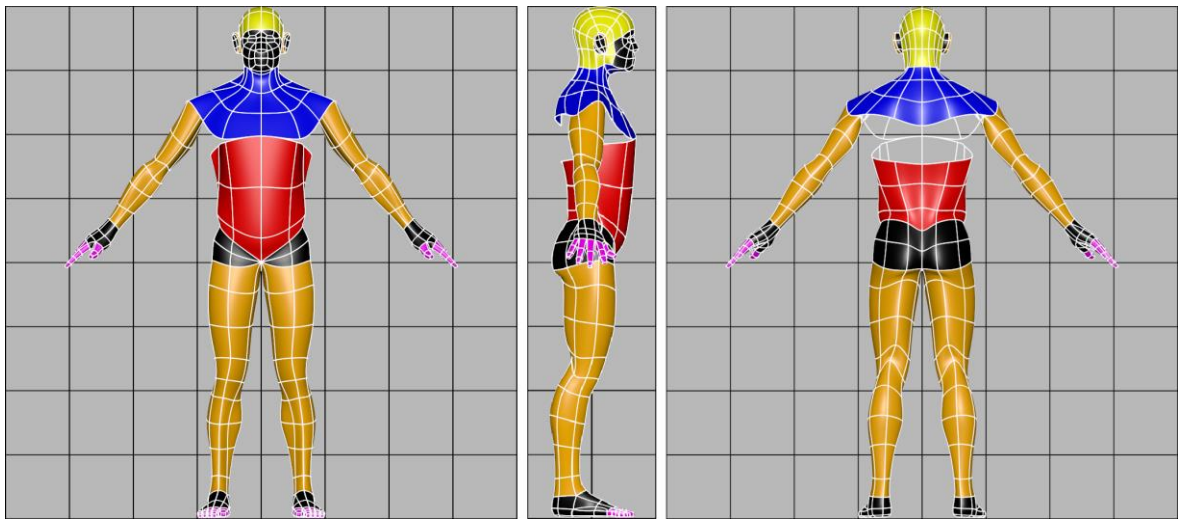
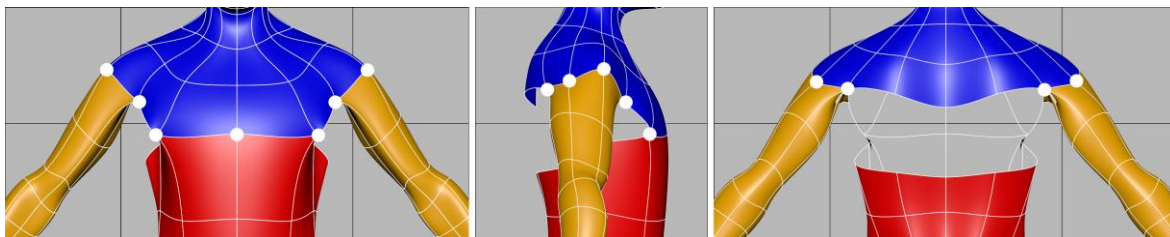


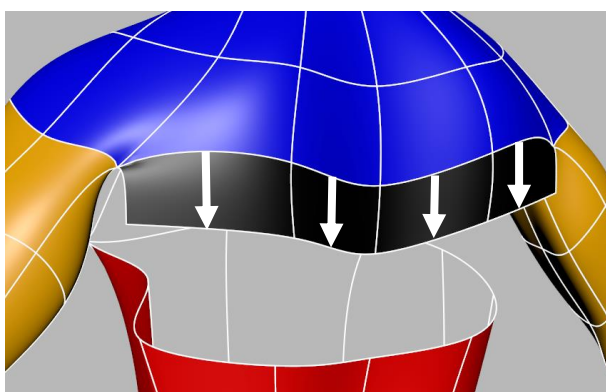
Figura 136: União das várias partes do cânone.

De seguida, foi feita a união entre os vértices apresentados na Figura 137.



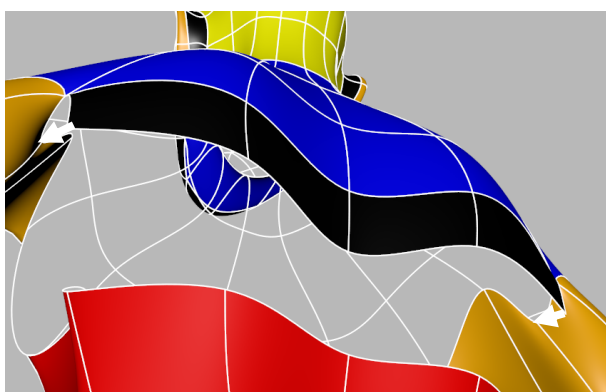
**Figura 137: União entre vértices.**

A conclusão da geometria na zona do dorso foi iniciada com a criação de 4 faces, utilizando a ferramenta *Extrude Edge* (Figura 138).



**Figura 138: Criação de 4 faces.**

Os vértices assinalados na Figura 139 foram unidos utilizando a ferramenta *Target Weld Tool*. O resultado é apresentado na Figura 140.



**Figura 139: União de vértices.**

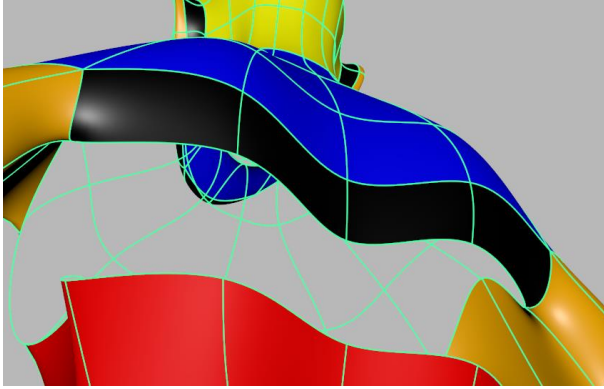


Figura 140: Resultado da união de vértices.

A conclusão da modelação do dorso foi feita através da criação de faces utilizando a ferramenta *Bridge* entre arestas (Figura 141 e Figura 142).

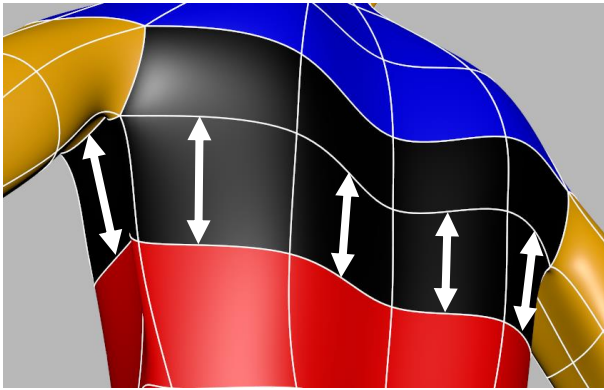


Figura 141: Ligação entre arestas.

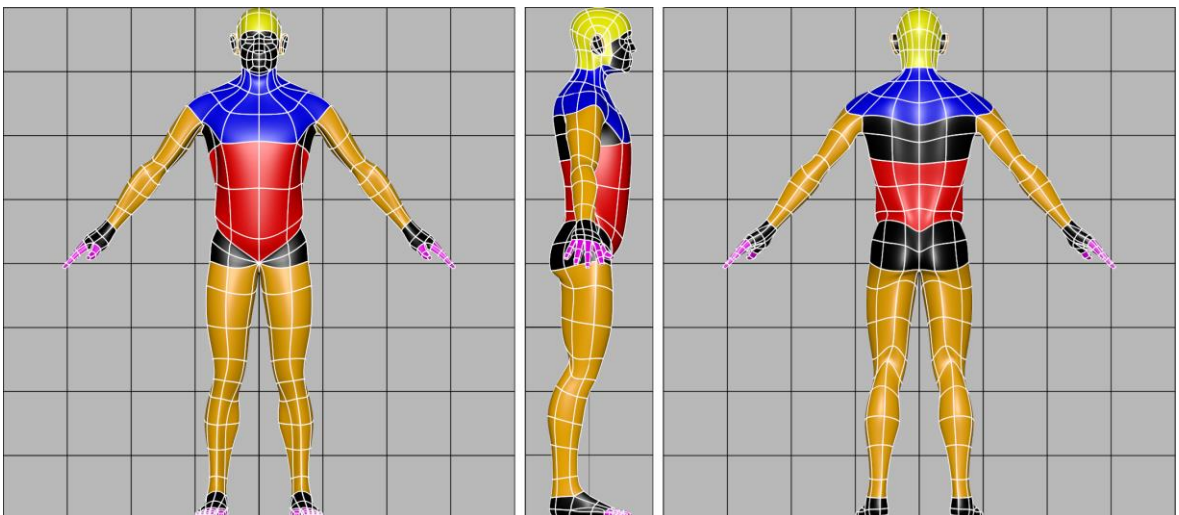


Figura 142: Resultado da modelação do dorso.

### **Notas Anatómicas**

Na forma anatómica do dorso, destaca-se o volume do músculo grande dorsal, trapézio, infraespinhal e redondo maior.

#### 4.11. ALTERAÇÃO DA TOPOLOGIA

Para além do que já foi apresentado sobre o cânone proposto, imperando incondicionalmente a simplificação poligonal e o respeito anatómico, considerou-se pertinente apresentar uma pequena abordagem, que pode ser executada posteriormente, com relativa facilidade, permitindo assim, acrescentar alguns detalhes anatómicos. No entanto, esta alteração implica a criação de alguns triângulos adicionais na geometria do modelo, quebrando assim, a premissa inicial de manter o modelo maioritariamente constituído por polígonos de quatro lados.

##### 4.11.1. ESTERNOCLEIDOMASTÓIDEO

Esta alteração serviu para detalhar o músculo esternocleidomastóideo e foi feita em duas partes e em ambos os lados do modelo. Na primeira, foram adicionadas as arestas utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices, como indicado pelas setas na Figura 143. Na segunda, foram eliminadas as arestas originais assinaladas com o “X”, utilizando a ferramenta *Delete Edge*. O resultado é apresentado na Figura 144.

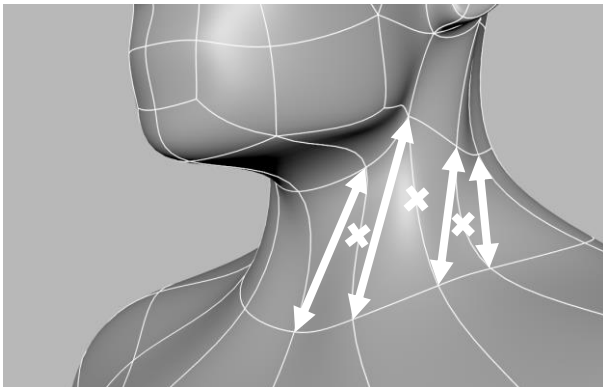
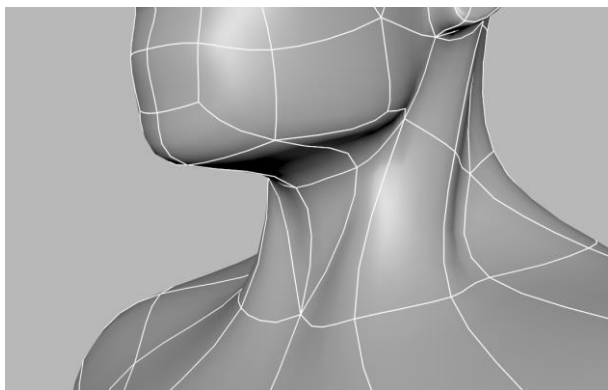


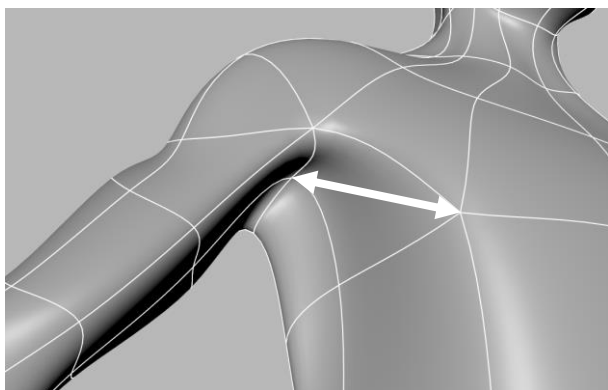
Figura 143: Alteração à geometria.



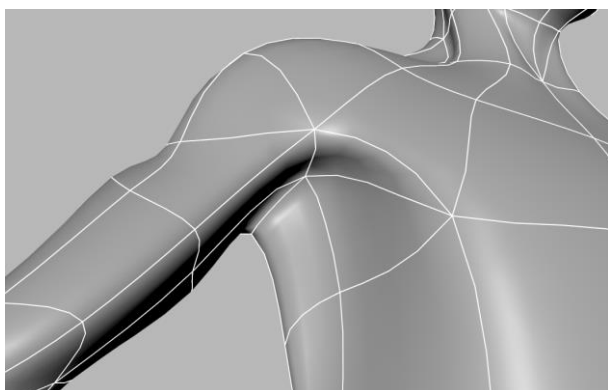
**Figura 144: Resultado.**

#### **4.11.2. PEITORAL MAIOR**

A seguinte alteração serviu para detalhar o músculo peitoral maior com a criação da aresta indicada na Figura 145. A operação foi feita utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices.



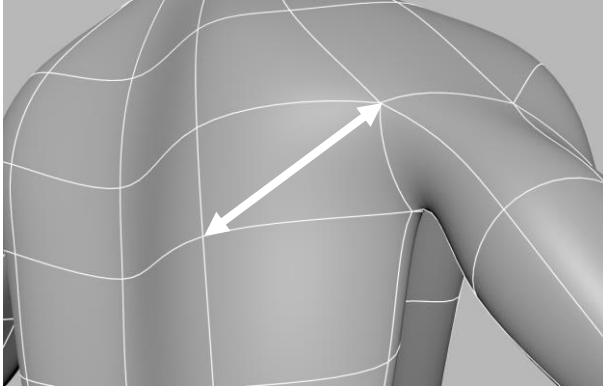
**Figura 145: Alteração à geometria.**



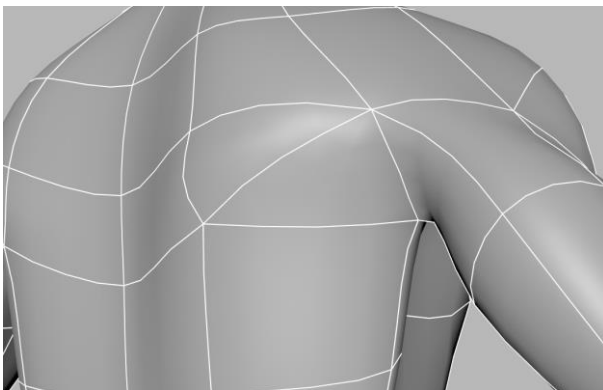
**Figura 146: Resultado.**

#### **4.11.3. INFRA-ESPINHAL E REDONDO MAIOR**

A alteração seguinte serviu apenas para marcar a separação entre os músculos infra-espinal e redondo maior. Foi adicionada uma aresta utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices, conforme indicado na Figura 147 e Figura 148.



**Figura 147: Alteração à geometria.**



**Figura 148: Resultado.**

#### **4.11.4. BICÍPITE BRAQUIAL**

Nesta alteração foi apenas aperfeiçoada a forma do músculo bicípite braquial, junto ao antebraço. Desta forma, foram adicionadas as arestas indicadas na Figura 149 e Figura 150, utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices.

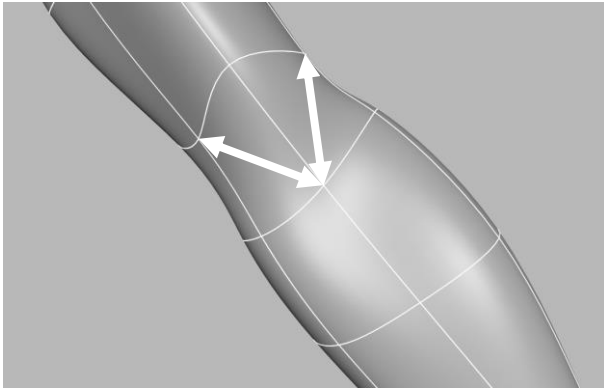


Figura 149: Alteração à geometria.

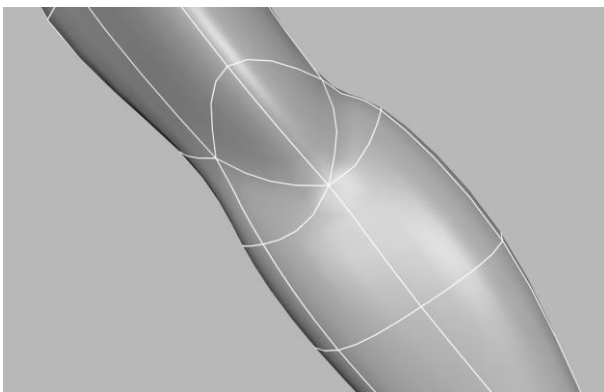


Figura 150: Resultado.

#### 4.11.5. LATÍSSIMO DO DORSO E OBLÍQUO EXTERNO DO ABDÓMEN

Nesta alteração foi apenas detalhada a fronteira entre os músculos latíssimo do dorso e oblíquo externo do abdômen. Foi inserida uma aresta, conforme a Figura 151 e Figura 152, utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices.

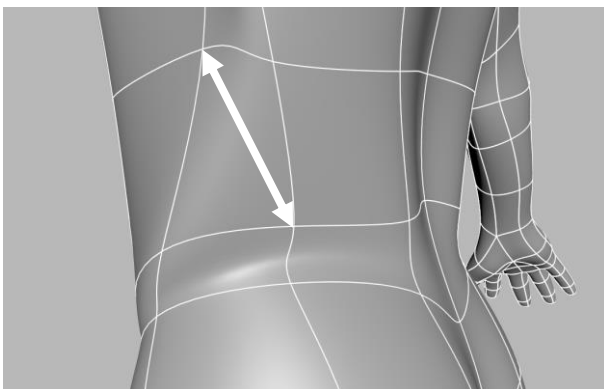
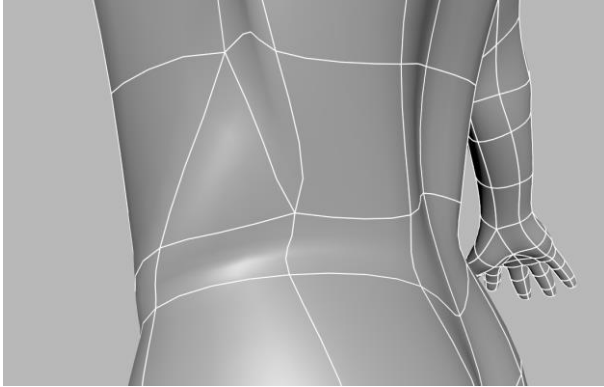


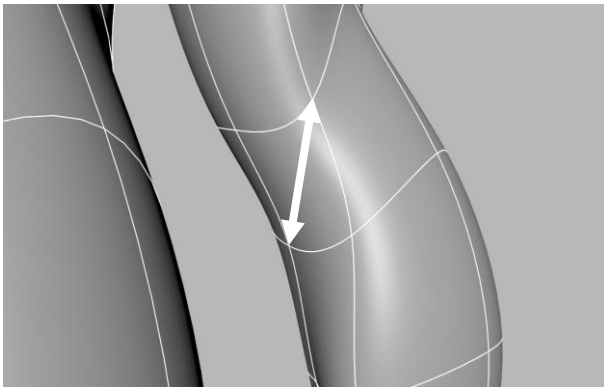
Figura 151: Alteração à geometria.



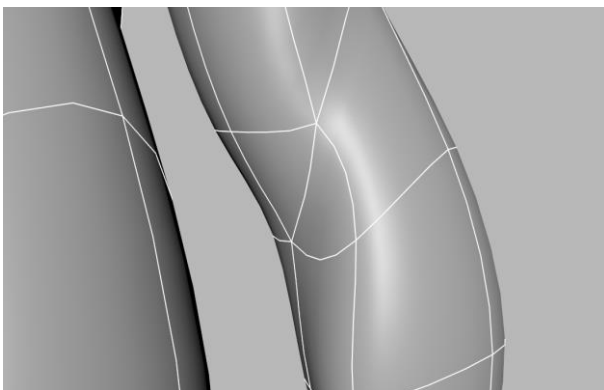
**Figura 152: Resultado.**

#### **4.11.6. SEMIMEMBRANOSO E GASTROCNÉMIO MEDIAL**

Esta alteração serviu para marcar a separação entre os músculos semimembranoso e gastrocnémio medial. A operação foi realizada adicionando uma aresta, conforme indicado na Figura 153 e Figura 154, utilizando a ferramenta *Connect Components* entre vértices.



**Figura 153: Alteração à geometria.**



**Figura 154: Resultado.**

## 5. PRIMITIVAS ANATÓMICAS

Embora a anatomia permaneça inalterada, as ferramentas artísticas de cada era impõem restrições particulares ao processo de modelação do corpo humano. Estas restrições não são apenas de uma perspetiva prática, mas conceptual. Existe um conceito mental do corpo humano para quem utiliza o cinzel e um conceito mental para quem utiliza um pincel. Desta forma, deverá haver um conceito mental peculiar do corpo humano para quem utiliza um computador.

A modelação digital 3D apresenta um vasto campo de novas possibilidades, contudo, levanta uma multidão de complexidades na modelação anatómica (Scheepers, Parent, Carlson, & May, 1997). Em particular, o corpo não é mais estático e passa a ser animado de forma a simular o comportamento do corpo humano (Lee, Sifakis, & Terzopoulos, 2009) (Seo & Magnenat-Thalmann, An automatic modeling of human bodies from sizing parameters, 2003). Muitos artistas dedicaram-se a modelar a expressão de atores famosos, no entanto, só atualmente se espera que as expressões faciais de um modelo digital tenham um comportamento dinâmico que personifique a gama completa de peculiaridades reconhecidas de um ator (Jacobs, Barbic, Edwards, Doran, & van Straten, 2016) (Clutterbuck, Jacobs, & Dorling, 2022). Para isto, é necessário obter texturas de alta qualidade, obtidas através de fotografia, de forma a serem aplicadas digitalmente (Ten24 - 3D scanning / Photogrammetry / Characters, 2022) sobre uma geometria 3D muito rigorosa que se deforma adequadamente quando os atores digitais falam ou se movem. Este processo exige novas formas de escultura, novos conceitos do que é um modelo anatómico humano e novos conceitos de como alcançá-lo. A noção de cânone, testada pelo tempo, tem aqui o seu lugar.

Foi argumentado acima que é um equívoco considerar o cânone anatómico como um mero ideal transitório de beleza física. O cânone é também, e talvez o mais importante, um repositório de conhecimento de modelação, visando a simplicidade do projeto no que diz respeito ao equilíbrio entre a verossimilhança anatómica, as restrições da modelação 3D e as limitações particulares das ferramentas digitais. O artista deve trilhar o ténue caminho entre a elegância conceitual e a prática artística, entre a teoria e o ofício. O

cânone de Polykleitos estaria incompleto sem o Doryphoros encarnado, e o de Vitruvius era apenas um espírito inquieto até que Leonardo encontrou uma encarnação satisfatória — basta uma análise superficial das outras tentativas do ideal vitruviano.

Assim como a forma final do cânone depende do equilíbrio entre a geometria 3D e as ferramentas, os passos intermédios da construção do cânone também dependem.

O público vê a arte principalmente como objeto acabado. Para o artista, a arte é principalmente um processo; e assim o cânone também deve levar a um processo de construção que seja simples e mnemónico — um processo que faça sentido a cada etapa e, de certa forma, que seja completo em cada etapa.

A nossa proposta de cânone anatómico atende aos requisitos aludidos acima: uma construção adequada para a modelação inicial, cuja topologia é simples, uniforme, e adequada à animação. A instalação baseia-se no processo de construção que obtém este cânone, partindo das primitivas básicas de modelação 3D.

O uso de primitivas tridimensionais simples é uma estratégia elegante, que permite simplificar a complexa tarefa de modelar o corpo humano com proporções corretas e características da anatomia de superfície.

Esta abordagem não é óbvia porque, de forma geral, as primitivas 3D são usadas para a modelação 3D de superfícies duras e os artistas preferem a escultura digital 3D para a criação de objetos orgânicos utilizando *software* como o ZBrush. A abordagem apresentada também pode ser usada com esse tipo de *software* de escultura, mas não o exige.

Esta proposta simplifica o processo inicial de modelação do corpo humano. Avançar para a modelação realista da anatomia requer uma aquisição intensiva de habilidades artísticas neste campo (Eaton, *Body Work*, 2006). Mas uma base simples e sólida facilita a construção e aplicação do conhecimento anatómico.

Existem amplos precedentes para este tipo de abordagem em manuais de anatomia construtiva. Bridgman (Bridgman, 1973) e Robert Hale (Hale, Robert, 1964) defendem eloquentemente essa abordagem no desenho. Formas simples tornam o volume, a luz e a

sombra fáceis de entender no bruto e depois refinar progressivamente. A abordagem apresentada tem, portanto, uma base tanto na escultura quanto no desenho, para os quais essas primitivas servem como blocos de construção duplos. Esta dualidade é explorada na instalação proposta, onde os visitantes são incentivados a desenhar a sua própria interpretação do modelo do cânone apresentado.

### 5.1. INSTALAÇÃO

Abaixo descrevemos uma instalação artística que explora a construção do nosso cânone anatómico utilizando primitivas 3D básicas. O processo de construção usa apenas duas primitivas padrão disponíveis em qualquer *software* de modelação 3D:

- 1 - O cilindro, criado em quatro versões diferentes: com 4, 6, 10 e 14 subdivisões no eixo.
- 2 - A esfera, com 8 subdivisões ao longo do eixo e 10 de altura (Figura 155).

Cada primitiva apresenta uma cor diferente para ajudar o visitante a identificá-la no processo de modelação (por exemplo, o cilindro de 6 subdivisões de eixos é utilizado nos membros superiores e inferiores e nas orelhas).

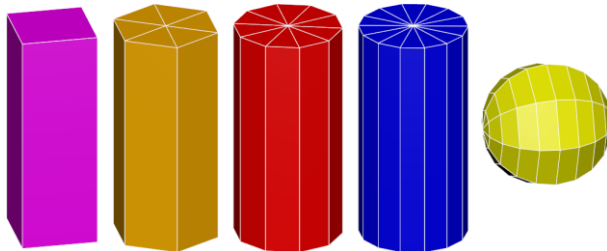


Figura 155: Primitivas utilizadas para construir o modelo.

Os cilindros são girados de modo a ter uma aresta ao centro, voltada para a frente na vista anterior. Todos os cilindros e esferas são escalados e colocados sobre a matriz de referência de oito cabeças que está subjacente ao nosso cânone (Figura 156).

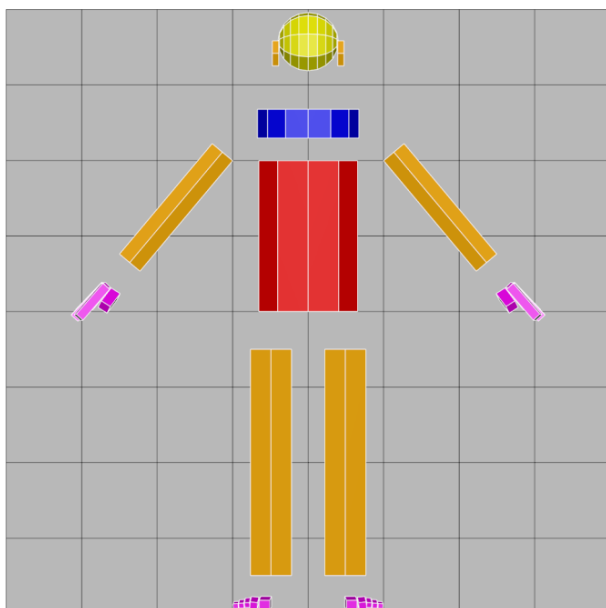
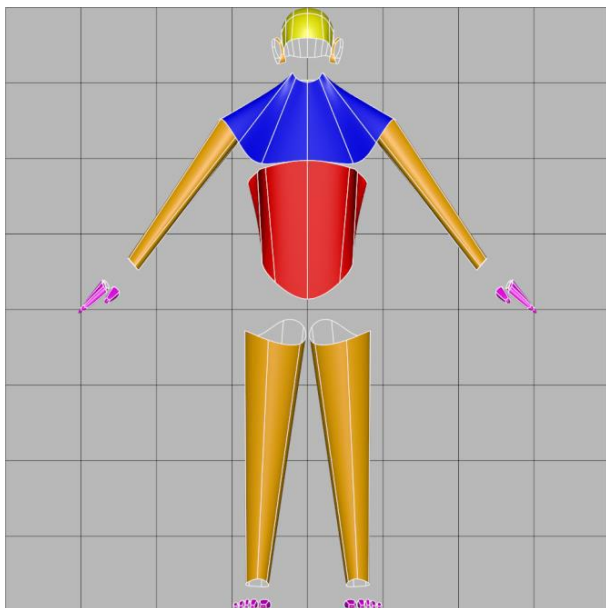


Figura 156: Distribuição das primitivas 3D sobre a matriz.

A colocação das primitivas dos pés e das mãos é a parte mais complexa do processo; é necessário usar várias vistas enquanto o cilindro de 4 subdivisões no eixo é duplicado, girado e escalado de acordo com cada dedo.

As faces do cilindro desnecessárias são excluídas para manter apenas a geometria lateral, permitindo futuras conexões com a geometria dos topos do cilindro. Muitas faces da esfera também são excluídas; a face do cânone será criada usando técnicas de modelação 3D mais avançadas. Todos os vértices são reposicionados sobre a matriz para alterar a forma das primitivas de acordo com a anatomia do cânone de referência (Figura 157).



**Figura 157: Corrigindo a geometria das primitivas.**

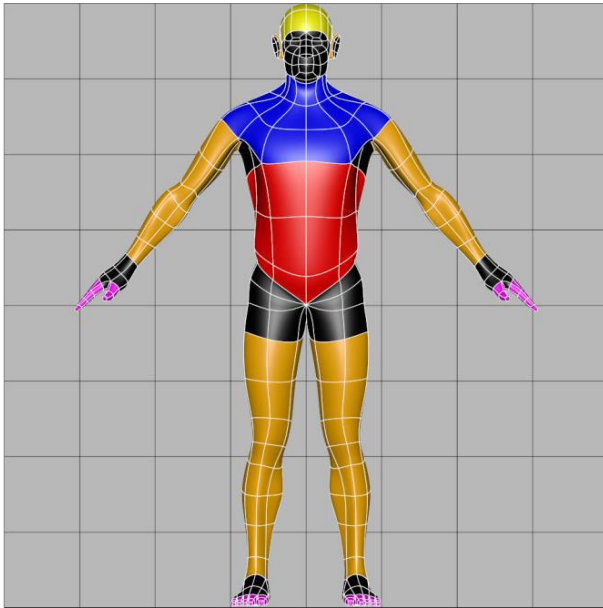
O próximo passo consiste em criar geometria adicional em cada primitiva (Figura 158). Esta geometria é criada de acordo com o cânone de referência e permitirá aumentar os detalhes da anatomia de superfície, aproximando-se sucessivamente da forma final do cânone.



**Figura 158: Criação de geometria adicional.**

A instalação apresenta as várias etapas realizadas para a criação da geometria final (Figura 159, em preto). A geometria final é criada utilizando técnicas e ferramentas de

modelação mais avançadas. No entanto, todas as técnicas são desenvolvidas de forma simples para que o visitante possa compreender esta construção com relativa facilidade.



**Figura 159: Geometria construída sem primitivas.**

## 5.2. ARTEFACTO

A instalação convida o visitante a desenhar, e através do processo de desenho, a explorar a anatomia humana utilizando o filtro particular do cânone. Contudo, o visitante inexperiente também é convidado a entrar na linguagem do processo de modelação 3D, interpretando visualmente as formas complexas através das primitivas simples. O artefacto é uma colaboração com os visitantes, que são convidados a expor os seus desenhos num mural que se enche de obras de arte à medida que estes vão chegando, criando uma galeria de arte em evolução. É uma experiência interessante ver como os visitantes irão interpretar o modelo. O desenho da linha ou volume é apropriado? Não é óbvio. A exibição das interpretações dos primeiros visitantes influenciará a escolha da linguagem visual que os visitantes posteriores adotarão?

Para o utilizador inexperiente em desenho, esta instalação pode funcionar como a experiência de desenho pré-escolar, quando crianças são convidadas a fazer construções com objetos poligonais simples: um guia passo a passo de complexidade crescente evita o medo da página vazia.

Para o utilizador com experiência em desenho, a experiência pode assemelhar-se às sequências de poses rápidas na aula de desenho ao vivo, de 30 segundos ou um minuto, envolvendo a interpretação fragmentária, porém completa, de versões intermediárias de corpos que são ao mesmo tempo fragmentários e completos.

### 5.3. REQUISITOS TÉCNICOS

A sala de instalação é de 4m x 4m, ou aproximado. A apresentação é feita numa tela de projeção, com dimensões superiores a 2m x 2m, colocada na parede. Na parede oposta, uma cadeira confortável ou espreguiçadeira, uma mesa com lápis e papel para desenhar. Na parede lateral uma tela para fixação de desenhos. O dispositivo de controlo da instalação também fica sobre a mesa e um laptop na prateleira da mesa, oculto e não acessível ao visitante. Outra pequena mesa colocada ao lado da tela de projeção é usada para colocar o projetor vertical.

O ambiente da sala deve, idealmente, ser escuro, para ajudar o visitante a observar a geometria interativa do modelo e manter um ambiente de intimidade durante o processo de desenho. As únicas fontes de luz devem ser um candeeiro de pé ao lado da cadeira, iluminando o desenho do visitante, e alguns pontos iluminando a galeria de desenhos (Figura 160).



Figura 160: Pré-visualização da instalação.

#### **5.4. INTERAÇÃO**

O visitante interage com a instalação utilizando os controlos colocados sobre a mesa, ao lado da cadeira. Lápis e papel para desenho estão disponíveis na mesa ao lado dos controlos.

O modelo é apresentado animado com uma rotação lenta em torno de seu eixo vertical, permitindo a observação dos seus detalhes geométricos em todos os ângulos. Os controlos permitem a interação com o modelo: um botão avança o processo de construção; outro botão retrocede esse processo; um terceiro botão liga ou desliga a rotação do modelo, permitindo a observação da sua geometria em diferentes ângulos. O processo de construção do modelo será sempre acompanhado de breves descrições de texto em cada etapa.

## 6. PROPOSTA DE MODELO ANATÓMICO

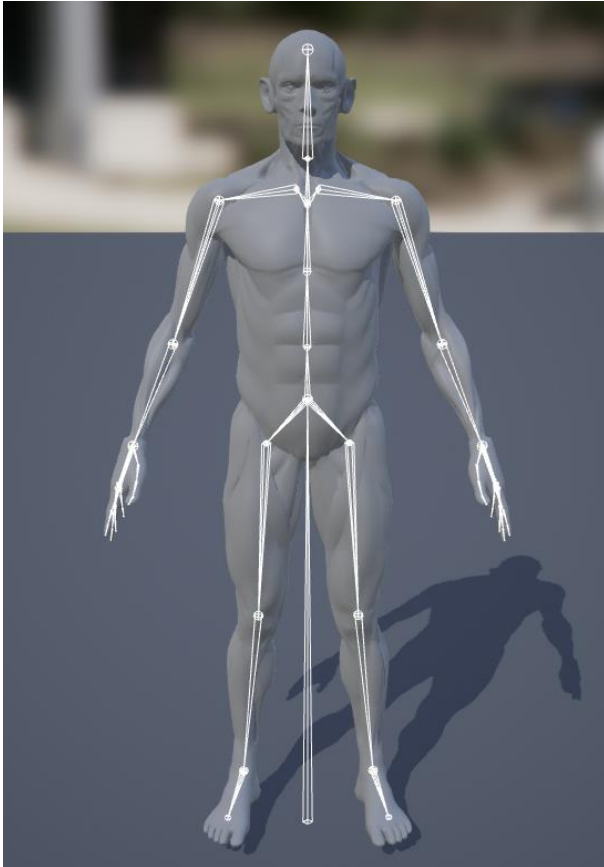
De acordo com a proposta apresentada no estado da arte, desenvolveu-se um modelo anatómico interativo mais adequado ao ensino da anatomia artística. O modelo anatómico foi criado utilizando o trabalho previamente desenvolvido para a proposta de cânone dedicado à modelação digital 3D da figura humana.

A parte inovadora e, ao mesmo tempo, o grande desafio do modelo proposto, centrou-se na deformação interativa da superfície muscular. Nesta fase de desenvolvimento dedicou-se muito tempo para encontrar a ferramenta e a solução para a proposta. Assim, numa fase inicial, optou-se por utilizar o *software* Unity e 3ds Max. Executaram-se diversos testes com uma geometria 3D simples de um braço, de forma a simular a deformação do músculo bicípete braquial em simultâneo com a flexão do antebraço. Foi possível executar a deformação interativa deste modelo básico utilizando o modificador *Morpher* em 3ds Max. Este modelo posteriormente foi exportado em formato FBX. De seguida, o modelo importado para o Unity permitiu aceder à deformação da geometria feita em 3ds Max através do controlo dos *BlendShapes*. Desenvolveu-se um *script* para controlar a intensidade da deformação de acordo com a rotação do osso digital do antebraço. Esta abordagem foi abandonada devido aos seguintes problemas:

- A única forma de exportar deformações de geometria provenientes do 3ds Max é através da utilização do modificador *Morpher*. No entanto, este modificador obriga a duplicar a geometria original para cada deformação que se pretende realizar. Assim sendo, para desenvolver todas as deformações anatómicas do modelo, seria necessário duplicar o modelo em 3ds Max inúmeras vezes. O resultado seria uma gestão complexa do ficheiro e das deformações anatómicas devido ao elevado número de cópias do modelo original.
- O *software* 3ds Max tem um sistema de coordenadas diferente do Unity: a coordenada vertical em 3ds Max é a Z e no Unity é a Y;
- As rotações negativas dos ossos do esqueleto impossibilitaram o controlo adequado das deformações do modelo.

Posteriormente, procurou-se outra abordagem para o desafio proposto. A solução foi encontrada através da utilização do *software* Unreal e Maya. O Maya permite exportar deformações de geometria criadas através do sistema *Pose Space Deformation*. Com este sistema é possível criar inúmeras deformações sem a necessidade de duplicar o modelo original. Isto mantém o ficheiro otimizado e permite uma gestão fácil das deformações. Por outro lado, o Unreal permite gerir os *Morph Targets* de forma bastante simples, sendo ainda possível aplicar uma curva para controlar a intensidade da deformação nos extremos. Desta forma, ultrapassaram-se as dificuldades existentes no Unity.

Determinada a abordagem correta e o *software* adequado à proposta, deu-se início ao desenvolvimento da aplicação utilizando o modelo 3D otimizado desenvolvido inicialmente como base para a proposta de Cânone do capítulo 4. Este modelo foi criado contemplando a sua posterior utilização na aplicação interativa, desta forma, contempla um equilíbrio adequado entre a quantidade de polígonos e a definição anatômica, através de uma topologia corretamente construída. Relativamente ao esqueleto, também se utilizou todo o trabalho previamente desenvolvido no capítulo 4.5. O modelo completo foi posteriormente exportado a partir do Maya, no formato FBX e importado no Unreal (Figura 161).



**Figura 161: Modelo importado em Unreal.**

A primeira fase do desenvolvimento começou com a detecção dos ossos do esqueleto do modelo através da posição do cursor. Determinou-se quais as partes do modelo que seriam manipuladas na aplicação e construíram-se as físicas de acordo (Figura 162).

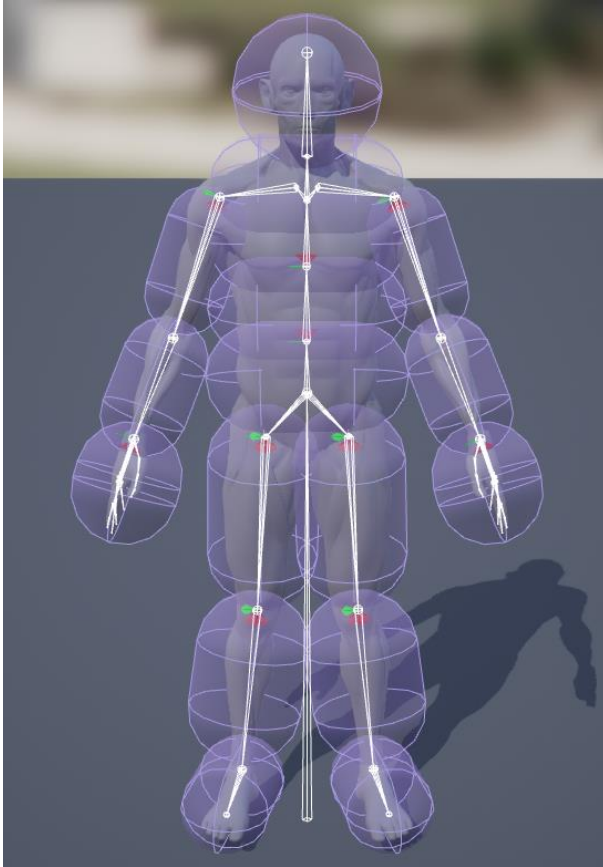
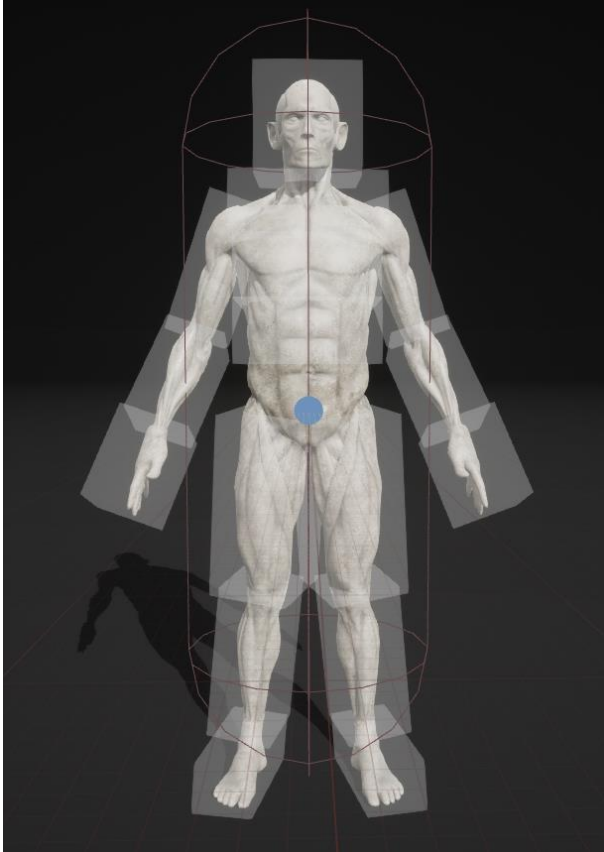


Figura 162: Físicas do modelo.

De seguida foram construídas caixas com um material translúcido, utilizadas para que o utilizador possa observar qual a parte do modelo que está ativa (Figura 163). A posição de cada caixa ao osso correspondente e o controlo da visibilidade de acordo com a física detetada foi executado através de um *Blueprint*.



**Figura 163: Caixas utilizadas para assinalar as partes ativas do modelo.**

Quando o utilizador clica numa das partes do corpo é ativado um conjunto de 3 *sliders* correspondente às coordenadas X, Y, Z, e que permite rodar a parte selecionada (Figura 164).



Figura 164: *Sliders* para controlo da parte ativa do modelo.

Cada *slider* tem uma posição neutra específica, a qual corresponde à posição da parte selecionada na pose inicial apresentada. A partir desta posição, é possível manipular o *slider* para os dois extremos, de acordo com as amplitudes de rotação do esqueleto estipulada por Barber (Barber, 2022) no seu KineMan. No topo de cada *slider* adicionou-se um botão que permite reverter o *slider* ao seu valor inicial e desfazer a alteração da pose do modelo. A manipulação dos *sliders* serve não apenas para alterar a pose da parte selecionada, mas também, para controlar o *Morph Target* correspondente, e desta forma, alterar a deformação muscular do modelo de forma interativa (Figura 165).





**Figura 166: Alteração do material do modelo.**

Futuramente, pretende-se implementar uma ferramenta que permita ao utilizador alterar a localização da fonte de luz, proporcionando assim, o estudo da luz e sombra na superfície do modelo. Pretende-se ainda implementar uma ferramenta que permita ao utilizador alterar o tipo de lente da câmara utilizada na aplicação.

## 7. CONCLUSÃO

Recapitulemos os objetivos que atingimos neste trabalho:

- Fizemos uma análise crítica do conceito de cânone ao longo da história, bem como das suas interpretações (por vezes frágeis, por vezes contraditórias) por parte da literatura, e extraímos desta análise um conjunto de propriedades fundamentais que consideramos que um cânone deve verificar.
- Especializámos esse conjunto de propriedades para o caso específico de um cânone anatómico digital destinado à modelação 3D realista.
- Desenvolvemos uma proposta específica de um cânone anatómico 3D, materializada numa escultura digital concreta.
- Desenvolvemos um processo canônico de modelação desse mesmo cânone baseado numa gramática de operações elementares sobre primitivas 3D.
- Propusemos uma aplicação artística e didática do cânone que utiliza o mesmo para estimular o desenho anatómico.

Consideramos que os objetivos principais propostos para esta tese foram atingidos. Cabe-nos agora considerar as insuficiências presentes e as linhas de desenvolvimento futuro.

A insuficiência mais séria diz respeito à validação externa das nossas propostas até ao momento presente. A proposta de cânone e da sua construção por primitivas foi já alvo de validação por pares através da publicação de um artigo de conferência (Azevedo & Araújo, Towards a Canon for Digital Human Anatomy 3D Modeling, 2020) e de um artigo em revista científica (Azevedo & Araújo, Canon and Process in the 3D Modeling of Human Anatomy, 2021). No entanto, a validação mais importante é o teste do cânone no âmbito das funções para o qual este foi feito, isto é, no contexto da sua utilização como base para a modelação 3D de personagens, e em especial no contexto do ensino da modelação de personagens. Esta validação poderá ser integrada na lecionação de modelação 3D a alunos do ensino superior, nos cursos de animação e modelação 3D, ou por inquérito a especialistas da área. A primeira opção é particularmente interessante para o autor desta

tese já que o ímpeto inicial para a criação do modelo decorreu precisamente da necessidade deste para a lecionação das suas aulas de modelação. Idealmente seria desejável contrastar turmas em que o cânone é utilizado para introduzir a modelação da figura humana em 3D com turmas em que se segue o procedimento usual anterior à introdução do cânone. Esta linha de validação será prioritária no futuro próximo.

Também a instalação que propusemos como um estímulo à reflexão sobre o desenho anatómico carece de validação. Por um lado, a instalação deu origem a um artigo que foi avaliado por pares e publicado em atas de conferência (Azevedo & Araújo, *Anatomy Primitives*, 2021) mas por outro lado, devido a diversos imprevistos, a instalação ainda não foi apresentada em galeria, tendo sido apenas testada em ambiente controlado, com um número reduzido de pessoas que não são representativas do público geral.

Relativamente à própria proposta de modelo há também um longo caminho a percorrer, nomeadamente, com o desenvolvimento das deformações musculares do modelo, de acordo com cada pose. Já dissemos que o cânone digital se caracteriza pela adequação ao movimento. É interessante considerar a noção de que deverá haver um cânone para a variação da forma muscular, para a amplitude dos movimentos das articulações, por exemplo, constrangidos claro — mas não inteiramente determinados — pelos dados antropométricos e por questões físicas fundamentais como a conservação do volume muscular, mas também pelas habituais considerações de simplicidade geométrica e valor mnemónico.

Uma lacuna também evidente é a ausência de modelo feminino, bem como modelos de ambos os sexos para diversas faixas etárias. Tendo o modelo masculino servido de teste conceptual, esse será um passo seguinte uma vez que este modelo inicial — e os procedimentos da sua realização — estejam devidamente solidificados. Eventualmente, seria também desejável adicionar mais ferramentas à aplicação de visualização e manipulação do modelo, de forma a permitir alterar a iluminação, câmara, e outros parâmetros.

Terminamos com a menção de que, não existindo ainda uma validação formal do nosso modelo, podemos, no entanto, adiantar que este — à data da escrita deste parágrafo —

foi já testado numa primeira turma de modelação 3D na Universidade Lusófona, tendo a receção por parte dos alunos sido muito positiva. Restará no futuro registar esta e outras observações de maneira sistemática e tirar conclusões mais concretas sobre a utilidade do modelo aqui proposto.

## BIBLIOGRAFIA

*3D Human Anatomy Introduction*. (2023). Retrieved from Biosphera:

<https://biosphera3d.com/>

Al-Sebaei, M. O. (2015). The validity of three neo-classical facial canons in young adults originating from the Arabian Peninsula. *Head & face medicine*, 11(4).

doi:10.1186/s13005-015-0064-y

Araújo, A. (2016, 09). Topologia, anamorfoses, e o bestiário das perspectivas curvilíneas. *Convocarte*, 51-69.

Araújo, A. (2020). Anamorphosis Reformed: From Optical Illusions to Immersive Perspectives. In: Sriraman, B. (eds) *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*. 1-68. doi:10.1007/978-3-319-70658-0\_101-1

Ashmole, B. (1967). *The Classical Ideal in Greek Sculpture. Lectures in Memory of Louise Taft Semple*. University of Cincinnati.

Aubel, A., & Thalmann, D. (2001). Interactive modeling of the human musculature. *Proceedings Computer Animation 2001. Fourteenth Conference on Computer Animation*, 167-255. doi:10.1109/CA.2001.982390

Azevedo, H., & Araújo, A. (2020). Towards a Canon for Digital Human Anatomy 3D Modeling. *ARTeFACTo2020, International Conference on Digital Creation in Arts and Communication* (pp. 115–120). Centro de Investigação e Comunicação (CIAC).

Azevedo, H., & Araújo, A. (2021). Anatomy Primitives. *ARTECH 2021, 10th International Conference on Digital and Interactive Arts* (pp. 691-694). Association for Computing Machinery.

Azevedo, H., & Araújo, A. (2021). Canon and Process in the 3D Modeling of Human Anatomy. *International Journal of Creative Interfaces and Computer Graphics (IJCICG)*. 12, pp. 1-16. Hershey, PA, USA: IGI Global.  
doi:<http://doi.org/10.4018/IJCICG.291088>

- Bammes, G. (2017). *The Complete Guide to Anatomy for Artists & Illustrators* (1st ed.). Search Press Limited.
- Barber, A. (2022). Retrieved from KineMan: Movable 3D Skeleton:  
<https://www.kineman.com/>
- Bastioni, M., Re, S., & Misra, S. (2008). Ideas and methods for modeling 3D human figures: the principal algorithms used by MakeHuman and their implementation in a new approach to parametric modeling. *Proceedings of the 1st Bangalore Annual Compute Conference*, (pp. 1-6). Bangalore, India. doi:10.1145/1341771.1341782
- Benndorf, O. (1869). Der Kanon des Polyklet [The Canon of Polyclitus]. In *Zeitschrift für Österreichische Gymnasien [Journal of Austrian High Schools]*, 20, 260-268.
- BioDigital | Interactive 3D Anatomy*. (2023). Retrieved from BioDigital:  
<https://www.biodigital.com>
- Blender. (2023, Julho 28). *Subdivision Surface Modifier*. Retrieved from Blender 3.6 Manual:  
[https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/subdivision\\_surface.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/subdivision_surface.html)
- Blinn, J., & Newell, M. (1976). Texture and reflection in computer generated images. *Association for Computing Machinery*, 542–547. doi:10.1145/360349.360353
- Bourgery, J., & Jacob, N. (2015). *Atlas of Human Anatomy and Surgery*. Taschen.
- Bridgman, G. (1973). *Constructive anatomy (Vol. 501)*. Courier Corporation.
- Briggs, M. (2018). *10 ways to improve your human anatomy modelling*. Retrieved from Creative Bloq: <https://www.creativebloq.com/advice/10-ways-to-improve-your-human-anatomy-modelling>
- Carpenter, R. (1960). *Greek Sculpture*. Chicago.

- Catmull, E., & Clark, J. (1978). Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. *Computer-Aided Design*, 10(6), 350-355.  
doi:[https://doi.org/10.1016/0010-4485\(78\)90110-0](https://doi.org/10.1016/0010-4485(78)90110-0)
- Chadwick, J., Haumann, D., & Parent, R. (1989). Layered construction for deformable animated characters. *Proceedings of the 16th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 243–252. doi:10.1145/74333.74358
- Childs, W. A. (1988). The Classic as Realism in Greek Art. *Art Journal*, 47(1), 10-14.  
doi:10.1080/00043249.1988.10792386
- Clutterbuck, S., Jacobs, J., & Dorling, R. (2022). *Tissue | Visual Effects + | Wētā FX*. Retrieved from Visual Effects + | Visual Effects + | Wētā FX:  
<https://www.wetafx.co.nz/research-and-tech/technology/tissue/>
- Costa, H. A. (2015). *Projeto original de modelo tridimensional para anatomia artística : constituição osteológica e miológica do corpo humano*. Lisboa: FBAUL, Tese de doutoramento.
- DeRose, T., Kass, M., & Truong, T. (1998). Subdivision surfaces in character animation. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '98)*, pp. 85–94. doi:10.1145/280814.280826
- Eaton, S. (2006, 3). Body Work. *3D World*, pp. 42–47.
- Eaton, S. (2008, 7). Body Electric. *3D World*, pp. 42–51.
- Erwin, P. (1927). *Die Perspektive als symbolische Form* (Vol. 320). Vortrage der Bibliothek Warburg 1924–1925.
- Estrada, M. F. (2000). *História da Matemática*. Universidade Aberta. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.2/10668>.
- Farkas, L. F. (2000). Revision of Neoclassical Facial Canons in Young Adult Afro-Americans. *Aesth. Plast. Surg.*, 24, 179–184. doi:10.1007/s002660010029

- Farkas, L. G. (1985). Vertical and horizontal proportions of the face in young adult North American Caucasians: revision of neoclassical canons. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 75(3), 328-338.
- Farkas, L. G. (1996). Accuracy of Anthropometric Measurements: Past, Present, and Future. *The Cleft Palate Craniofacial Journal*.
- Farkas, L. G., Bryson, W., & Klotz, J. (1980). Is Photogrammetry of the Face Reliable? *Plastic and Reconstructive Surgery*, 66(3), 346-355.
- Farkas, L. G., Hreczko, T. A., Kolar, J. C., & Munro, I. R. (1985). Vertical and Horizontal Proportions of the Face in Young Adult North American Caucasians. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 75(3), 328–337. doi:10.1097/00006534-198503000-00005
- Fowler, D. (1987). *The Mathematics of Plato's Academy: A New Reconstruction*. Oxford University Press.
- Fowler, G. (1994). The story of the discovery of incommensurability, revisited. In *Trends in the Historiography of Science*. Eds. , K. Gavroglu, J. Christianidis, & E. Nicolaidis.
- Friederichs, K. (1863). Der Doryphoros des Polyklet [The Doryphoros of Polyclitus]. In *23 Berl. Winckelmannsprogramm [23rd Berlin Winckelmann Program]*.
- Gage, J. (1980). *Goethe on Art*. University of California Press.
- Garvey, G. P. (2002). Life drawing and 3D figure modeling with MAYA. *ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications*, 56. doi:10.1145/1242073.1242092
- Giambruno, M. (2002). *3D Graphics & Animation* (2 ed.). New Riders Pub.
- Gombrich, E. (1960). *Art and illusion; a study in the psychology of pictorial representation*. New York: Pantheon Books.
- Goodman, N. (1968). *Languages of art: an approach to a theory of symbols* (2 ed.). Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Hale, Robert, B. (1964). *Drawing Lessons from the Great Masters*. New York: Watson-Guption.

- Heckbert, P. (1986). Survey Of Texture Mapping. *Computer Graphics and Applications*, 56-67. doi:10.1109/MCG.1986.276672
- Iversen, E. (1955). *Canon and Proportions in Egyptian Art*. London: Sedgwick & Jackson.
- Iversen, E. (1976). *The Proportions of the Face in Egyptian Art*. Studien zur Altägyptischen.
- Jacobs, J., Barbic, J., Edwards, E., Doran, C., & van Straten, A. (2016). How to build a human: practical physics-based character animation. *In Proceedings of the 2016 Symposium on Digital Production (DigiPro '16)*, 7-9. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/2947688.2947698>
- Jahn, O. (1851). *Zu Plinius*. In: *Rheinisches Museum für Philologie* (Vol. 9).
- Ju, T., Zhou, Q.-Y., & Hu, S.-M. (2007). Editing the Topology of 3D Models by Sketching. *ACM Transactions on Graphics*, 26, p. 42. doi:10.1145/1276377.1276430
- Kielland, E. C. (1955). *Geometry in Egyptian Art*. London: Alec Tirandi, Ltd.
- Kultur. (1976). *Studien zur Altägyptischen Kultur*. Helmut Buske Verlag GmbH.
- Le, T. T., Farkas, L. G., Ngim, R. C., Levin, L. S., & Forrest, C. R. (2002). Proportionality in Asian and North American Caucasian Faces Using Neoclassical Facial Canons as Criteria. *Aesthetic plastic surgery*, 26, 64-9. doi:10.1007/s00266-001-0033-7
- Lee, S.-H., Sifakis, E., & Terzopoulos, D. (2009). Comprehensive biomechanical modeling and simulation of the upper body. *ACM Transactions on Graphics*, 27(4), 17. doi:10.1145/1559755.1559756
- Leftwich, G. (1987). *Ancient Conceptions of the Body and the Canon of Polykleitos*. Tese de Doutorado. Princeton University.
- Lepsius, R. (1897). *Denkmaler aus Aegypten und Aethiopien*. Erster Textband, Leipzig.
- LG., F. (1996). Accuracy of Anthropometric Measurements: Past, Present, and Future. *The Cleft Palate Craniofacial Journal*, 33(1), 10-22. doi:10.1597/1545-1569\_1996\_033\_0010\_aoampp\_2.3.co\_2
- Loomis, A. (2011). *Figure Drawing for All It's Worth*. Titan Books.

- Magenat-Thalmann, N., & Thalmann, D. (2004). *Handbook of Virtual Humans* (1 ed.). John Wiley & Sons.
- Magenat-Thalmann, N., & Thalmann, D. (1987). The Direction of Synthetic Actors in the Film *Rendez-Vous a Montreal*. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 9–19. doi:10.1109/MCG.1987.276934
- Martin, J. (2021). *Modeling with Animation in Mind*. Retrieved from Topology Guides: <https://topologyguides.com>
- Massey, L. (2022). *The Polykleitos Problem: Illusions of the Ideal in European Anatomical Images. Palestra por ocasião da exposição Flesh and Bones: The Art of Anatomy. Getty Research Institute*. Retrieved from <https://youtu.be/-3Ckm5eiVQc>
- Maxon. (2023). *Maxon*. Retrieved from ZBRUSH: The industry standard for digital sculpting and painting: <https://www.maxon.net/en/zbrush>
- McKenzie, T. (2023). *Incredible Body Morphing Experiment by James Busby*. Retrieved from 80.lv.
- MetaHuman*. (2023). Retrieved from Unreal Engine: <https://www.unrealengine.com/en-US/metahuman>
- Mitrovic, B. (2013). Nelson Goodman's Arguments Against Perspective: A Geometrical Analysis. *Nexus Network Journal*, 15(1), 51–62. doi:10.1007/s00004-012-0133-5
- Mitrovic, B. (2013). Visuality After Gombrich: the Innocence of the Eye and Modern Research in the Philosophy and Psychology of Perception. *Zeitschrift für Kunstgeschichte*, 76, 71–89.
- Murtinho, V. (2015). Leonardo's Vitruvian Man Drawing: A New Interpretation Looking at Leonardo's Geometric Constructions. *Nexus Network Journal*, 17, 507–524. doi:10.1007/s00004-015-0247-7
- Nedel, L. P., & Thalmann, D. (2000, 10). Anatomic modeling of deformable human bodies. *Visual Computer*, 16, 306–321. doi:10.1007/PL00007212

- North, M., & Rhee, Y. (2016). *Historical Anatomies on the Web*. Retrieved from National Library of Medicine:  
<https://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/home.html>
- Panofsky, E. (1927). *Die Perspektive als symbolische Form* (Vol. 320). Vortrage der Bibliothek Warburg 1924–1925.
- Panofsky, E. (1968). *Idea – A concept in Art Theory*. Univ. of South Carolina Press.
- Phelan, J. (2023). *Artcyclopedia*. Retrieved from Those Lips, Those Eyes... Jean-Antoine Houdon: Sculptor of the Enlightenment: <http://www.artcyclopedia.com/feature-2003-06.html>
- Pipes, A. (1999). *Foundations of Art and Design* (1 ed.). Laurence King Publishing Ltd.
- Ratner, P. (2003). *3-D Human Modeling and Animation* (2 ed.). John Wiley & Sons.
- Rifkin, B., Ackerman, M., & Folkenberg, J. (2011). *A Visual History From The Renaissance to the Digital Age* (1 ed.). Harry N. Abrams.
- Ritto, I. (2012). *Albrecht Dürer : um pioneiro da antropometria. In Desenhar, saber desenhar*. Lisboa: Faculdade de Belas Artes.
- Robbins, G. (1994). On Supposed Connections between the 'Canon of Proportions' and Metrology. *The Journal of Egyptian Archaeology*, 80, 191-194.
- Scheepers, F., Parent, R., Carlson, W., & May, S. (1997). Anatomy-based modeling of the human musculature. *Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 163-172. doi:10.1145/258734.258827
- Schider, F. (2013). *An Atlas of Anatomy for Artists* (3rd ed.). Dover Publications.
- Schmidt, E. (1966). Der Kasseler Apollon und seine Repliken. *Antike Plastik*, 5, 38.
- Schroeder, W., Zarge, J., & Lorensen, W. (1997). Decimation of Triangle Meshes. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, pp. 65-70. doi:10.1145/133994.134010
- Sengoku-Haga, K., Buseki, S., Lu, M., Ono, S., Oishi, T., Masuda, T., & Ikeuchi, K. (2017). *Polykleitos and his followers at work: How the Doryphoros was used. In J. M.*

- Daehner, K. Lapatin, & A. Spinelli (Eds.), *Artistry in Bronze: The Greeks and Their Legacy (XIXth International Congress on Ancient Bronzes)*. J. Paul Getty Museum; Getty Conserva. Retrieved from <http://www.getty.edu/publications/artistryinbronze/the-artist/10-haga-et-al/>
- Seo, H., & Magnenat-Thalmann, N. (2003). An automatic modeling of human bodies from sizing parameters. *Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics*, 19-26. doi:10.1145/641480.641487
- Seo, H., Cordier, F., Philippon, L., & Magnenat-Thalmann, N. (2000). Interactive Modelling of MPEG-4 Deformable Human Body Models. *Proceedings of the IFIP TC5/WG5.10 DEFORM'2000 Workshop and AVATARS'2000 Workshop on Deformable Avatars*, pp. 120–131. doi:10.1007/978-0-306-47002-8\_11
- Shen, J., & Thalmann, D. (1995). Interactive Shape Design Using Metaballs and Splines.
- Spencer, S. (2010). *ZBrush Digital Sculpting Human Anatomy* (1st ed.). Sybex.
- Sponenburgh, M. R. (1956). Review of Else Kielland's Geometry in Egyptian Art. *Journal of Near Eastern Studies*, 15(4), 262-263.
- Sponenburgh, M. R. (1956). Review of Erik Iversen's Canon and Proportions in Egyptian Art. *Journal of Near Eastern Studies*, 15(4), 261-262.
- Stewart, A. (1999). *One Hundred Greek Sculptors: Their Careers and Extant Works*. Retrieved from In Perseus Digital Library Project: <https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Atext%3A1999.04.0008>
- Stewart, A. A. (1978). The Canon of Polykleitos: A Question of Evidence. *The Journal of Hellenic Studies*, 98, 122-131.
- Ten24 - 3D scanning / Photogrammetry / Characters. (2022). Retrieved from Ten24: <https://ten24.info/>
- Tobin, R. (1975). The Canon of Polykleitos. *American Journal of Archaeology*, 79(4), 307-321.

Vitruvius. (1914). *The Ten Books on Architecture London*. Cambridge: Harvard University Press.

Zacharopoulos, G. V. (2012). Neoclassical Facial Canons in Young Adults. *Journal of Craniofacial Surgery*, 26(6), 1693-1698. doi:10.1097/SCS.0b013e31826b816b

*Zygote Body 3D Anatomy Online Visualizer | Human Anatomy 3D*. (2023). Retrieved from Zygote Body: <https://www.zygotebody.com>