

Rodrigo Marcondes Hasse

**CRIAÇÃO DE UM MODELO-BASE DE RIGGING 3D COM
MOVIMENTO MUSCULAR REALISTA PARA ANIMAÇÕES.**

Projeto de Conclusão de Curso
submetido ao Programa de
graduação da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Bacharel
em Design.

Orientador: Prof. Dr. William
Machado de Andrade.

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Hasse, Rodrigo Marcondes
Criação de um Modelo-Base de Rigging 3D com
Movimento Muscular Realista para Animações. /
Rodrigo Marcondes Hasse ; orientador, Dr. William
Machado de Andrade, 2019.
43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Comunicação e Expressão, Graduação em Design,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Design. 2. Animação. 3. Anatomia. 4. Miologia.
I. Andrade, Dr. William Machado de. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Design. III. Título.

Rodrigo Marcondes Hasse

CRIAÇÃO DE UM MODELO-BASE DE RIGGING 3D COM MOVIMENTO MUSCULAR REALISTA PARA ANIMAÇÕES.

Este Projeto de Conclusão de Curso (PCC) foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Design e aprovado em sua forma final pelo Curso de Design da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de 07 de 2019.

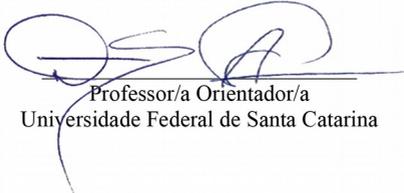
Profª. Marília Matos Gonçalves, Dra. Coordenadora do Curso de Design UFSC

Banca Examinadora:

Prof. William Machado de Andrade, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Milton Luiz Horn Vieira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Gabriel de Souza Prim, Me.
Universidade Federal de Santa Catarina



Professor/a Orientador/a
Uniyersidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe, meus amigos, minhas irmãs e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família, aos meus pais pelo apoio tanto financeiro quanto emocional nestes anos de formação e às minhas irmãs pelo carinho.

Aos meus amigos e colegas de faculdade pelo convívio e companheirismo que me fizeram uma pessoa melhor tanto social quanto intelectualmente.

Agradeço ao Professor William, meu orientador, sem o qual este projeto não seria possível, bem como ao resto do corpo docente do curso de design da UFSC por esta jornada de aprendizado.

RESUMO

Este trabalho relata a criação de um modelo base de *rigging* 3d com movimentação muscular realista para animações. Foi feita uma pesquisa em campo para aferir o quanto o músculo bíceps braquial se dilatava durante sua flexão, e com esse conhecimento seus controladores foram ajustados no modelo. Esta pesquisa rendeu um artigo científico que, na data de produção deste Projeto de Conclusão de Curso, ainda espera publicação.

Foram também estipulados quais outros pontos-chave no corpo eram dignos de atenção para se aplicar as técnicas utilizadas neste projeto. E por fim uma análise das ferramentas do mercado e avaliação das vantagens do modelo produzido sobre seus concorrentes.

Palavras-chave: Animação. Anatomia. Miologia.

ABSTRACT

This work reports the creation of a base model of 3d rigging with realistic muscular movement for animation. A field research was conducted to gauge how much the biceps brachii muscle dilates during its flexion, and with this knowledge the controllers in the model were adjusted. This research generated a scientific article that, at the date of production of this Project of Conclusion of Course, still awaits publication.

It was also stipulated which other key points in the body were worthy of attention to apply the techniques used in this project. And finally an analysis of the tools on the market and evaluation of the advantages of the produced model over its competitors.

Keywords: Animation. Anatomy. Miology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ferramentas pesquisadas e suas características para análise. Acervo do autor.....	21
Tabela 2: Participantes do estudo e suas respectivas medidas. Acervo do autor.....	24
Tabela 3: Desvios os padrões e variâncias calculados com os dados coletados. Acervo do autor.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As estruturas biomecânicas do bíceps braquial como descrita por HALL (2015).....	23
Figura 2: Braço de um dos voluntários com destaque do bíceps (vermelho), alcance da primeira medição (azul), e alcance da segunda medição (amarelo). Acervo do autor.....	24
Figura 3: Bíceps relaxado e flexionado dentro do programa DAZ Studio com a ferramenta Genesis 8.....	25
Figura 4: Esqueleto do rigging e formas feitas para simular os volumes do bíceps e do cotovelo fazendo o movimento de adução do braço. Acervo do autor.....	30
Figura 5: Malha com o braço relaxado (esquerda), flexionado com os objetos afetando a malha através do Skin Wrap (meio), e flexionado sem o efeito na malha. Acervo do autor.....	30
Figura 6: Malha final no 3ds Max. Acervo do autor.....	31
Figura 7: Esqueleto aplicado na malha. Acervo do autor.....	32
Figura 8: Volumes do braço sob a malha (frontal). Acervo do autor.....	33
Figura 9: Volumes do braço sob a malha (superior). Acervo do autor.....	33
Figura 10: Volumes do braço sob a malha (dorsal). Acervo do autor.....	34
Figura 11: Músculos bíceps e tríceps (centro inferior e centro superior respectivamente) em seus dois estágios de flexão alternada, e seus respectivos morph targets (superior e inferior). Acervo do autor.....	35
Figura 12: Malha do braço afetada pelos dos objetos referentes ao bíceps e tríceps em seus dois estágios. Acervo do autor.....	35
Figura 13: Pilha de modificadores na malha principal. Acervo do autor	36
Figura 14: Sliders dos braços (em verde) em seus dois estágios presentes na tela do programa 3ds Max. Acervo do autor.....	37
Figura 15: Reaction Manager apresentando a relação de hierarquia entre os sliders dos dois braços com seus objetos subordinados. Acervo do autor.....	38
Figura 16: Braço direito flexionado apenas com um rig simples (esquerda) e com a técnica aplicada (direita). Acervo do autor.....	39
Figura 17: Braço esquerdo flexionado apenas com o rig (esquerda) e com os modificadores aplicados (direita). Acervo do autor.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.1.2. DELIMITAÇÃO.....	16
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. PESQUISA SOBRE FERRAMENTAS JÁ ESTABELECIDAS NO MERCADO.....	18
2.2. SELEÇÃO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE.....	21
2.3 O MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL.....	21
2.4. MÉTODO DE PESQUISA.....	22
2.5. ANÁLISE DOS DADOS.....	24
2.2.4. MÉTODO DE PESQUISA.....	21
2.2.5. CONCLUSÕES DA PESQUISA.....	24
3. CRIAÇÃO DO MODELO 3D.....	26
3.1. DEFINIÇÃO DAS FERRAMENTAS.....	26
3.2. DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS.....	26
3.3. PROTOTIPAGEM.....	28
3.4. MODELO FINAL.....	30
3.4.1. MALHA E SKINNING.....	30
3.4.2. DEFINIÇÃO DOS VOLUMES.....	31
3.4.3. PILHA DE MODIFICADORES E HIERARQUIA.....	33
3.4.4. CONTROLADORES.....	36
3.4.5. RESULTADO.....	38
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

O *rigging* é o processo pelo qual um objeto em animação 3d (em alguns casos em 2d digital também) passa para ser manipulado e executar os movimentos coordenados pelo animador, e é algo fundamental para quase todos os processos gráficos em terceira dimensão. Um dos desafios deste processo é fazer com que os movimentos da figura virtual simulem o que é encontrado no mundo real, tal como o tempo e o espaçamento dos movimentos ou até mesmo a maneira como estes movimentos afetam as superfícies dos seres ou objetos onde ocorrem.

Apesar de todos os avanços na computação gráfica, a qualidade de uma animação ainda se define pela habilidade dos artistas envolvidos em sua produção. Até quando se implementam tecnologias como a captura de movimento é preciso alguma correção a fim de se evitar um resultado com estranheza.

E mesmo com todos esses recursos e cuidados, o personagem em movimento na tela ainda corre o risco de parecer um boneco de pano. Isso se deve em muito não a sua modelagem ou a animação aplicada, mas ao modo como o esqueleto afeta a malha digital.

Seria então necessário repensar os processos de *rigging* e *skinning*; processo posterior ao *rigging*, já definido anteriormente neste documento; onde se estabelece apenas a influência que cada osso tem na superfície do objeto tridimensional, para se produzir movimentos que pareçam flexões e extensões musculares dinâmicas, e não apenas dobras robóticas em uma marionete sem vida.

Existem diversos programas de computador para a animação 3d que, apesar de suas particularidades, apresentam processos semelhantes para a criação de *rigs*. Este projeto de conclusão de curso de Graduação em Design de Universidade Federal de Santa Catarina aborda a criação de um sistema de *rig* em um modelo tridimensional genérico de um homem adulto com movimentação muscular artisticamente aproximada do real, a fim de ser facilmente reproduzido por criadores de animações independentes sem preferência por um *software* específico.

Foi decidido que o projeto iria se focar no músculo bíceps braquial e suas adjacências, por se tratar de uma área onde a musculatura é mais notável devido a sua presença no imaginário popular, seja por ser utilizada em diversas culturas como medidor de força e valor social ou por sua presença caricata em representações artísticas e conseqüentemente na animação. Para isto uma pesquisa foi feita em duas partes, onde em um primeiro momento foram mostrados

softwares de animação 3d, relevantes no mercado atual, onde é possível a simulação da flexão muscular. Em seguida foi feita uma coleta de dados entre alunos da Universidade Federal de Santa Catarina referente ao diâmetro dos bíceps destes indivíduos. Os dados desta coleta foram cruzados com o que é representado em um dos programas destacados e o resultado desta análise foi tomado como guia para a construção do modelo deste projeto.

O presente documento se estrutura em 4 capítulos. Este primeiro consistindo da introdução, justificativa, objetivos e delimitações. O segundo descreve a fundamentação teórica onde é feita uma pesquisa dos programas, uma revisão bibliográfica sobre a anatomia do bíceps braquial, e, por fim, é apresentada a pesquisa em campo com os alunos da UFSC e seus resultados. No terceiro capítulo é demonstrado o processo de criação do modelo 3d e os resultados obtidos com este. E no quarto capítulo são apresentadas as conclusões sobre o projeto.

1.1. OBJETIVOS

Este projeto visa entregar aos animadores um modelo-base que possa servir de ferramenta ativa na criação de animações com estéticas próximas ao realismo.

Tanto por utilização do próprio modelo disponibilizado no final do projeto para ser alterado ou proporcionando conhecimento sobre a técnica para que o animador crie seu próprio *rigging* semelhante ao utilizado aqui.

Apesar de todos os avanços na computação gráfica, a qualidade de uma animação ainda se define pela habilidade dos artistas envolvidos em sua produção. Até quando se implementam tecnologias como a captura de movimento é preciso alguma correção a fim de se evitar um resultado com estranheza.

E mesmo com todos esses recursos e cuidados, o personagem em movimento na tela ainda corre o risco de parecer um boneco de pano. Isso se deve em muito não a sua modelagem ou a animação aplicada, mas ao modo como o esqueleto afeta a malha digital.

Seria então necessário repensar os processos de *rigging* e *skinning*; processo posterior ao *rigging*, já definido anteriormente neste documento; onde se estabelece apenas a influência que cada osso tem na superfície do objeto tridimensional, para se produzir movimentos que pareçam flexões e extensões musculares dinâmicas, e não apenas dobras robóticas em uma marionete sem vida.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir os resultados esperados neste trabalho, são traçadas os seguintes objetivos.

Desenvolver uma maneira eficaz para se simular a movimentação muscular em um personagem.

Identificar os principais grupos musculares que afetam a aparência do corpo quando são estendidos ou flexionados, e como estes a afetam.

Procurar documentar o processo de criação do arquivo para que possa ser facilmente replicado por acadêmicos no futuro.

1.1.2. DELIMITAÇÃO

Este trabalho se limita a musculatura masculina. Vale lembrar, no entanto, que o modelo pode ser modificado para que tenha características femininas.

O trabalho está restrito aos membros e tronco, não contemplando a musculatura facial, uma vez que os processos de animação e *rigging* desta diferem bastante dos aplicados no resto do corpo. Os movimentos do rosto são muito complexos e particulares de cada indivíduo, na animação 3d é comum se utilizar de posições pré-definidas para os gestos faciais de cada personagem a fim de dar-lhe mais personalidade. Sendo assim, a movimentação dos músculos da face seria uma solução mais complicada e de resultado menos agradável do que a que já é comum na indústria.

Por fim, não é o objetivo deste trabalho produzir uma réplica fiel dos mecanismos musculares do corpo humano, mas sim simular os mais aparentes de forma que o movimento pareça mais agradável e realista ao observador.

1.2. JUSTIFICATIVA

Para se construir um modelo funcional 3d com movimento muscular atualmente, o desenvolvedor fica limitado quase que totalmente a utilizar programas ou *plugins* específicos para esse fim. O que complica a *pipeline*; que é a sequência otimizada dos processos de produção; e pode levar a atrasos no projeto. Outro empecilho é o preço que alguma destas ferramentas tem, o que pode ser limitante ou até proibitivo para alguns orçamentos, sendo uma boa alternativa recorrer a sites de compartilhamento de arquivos entre usuários.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A maneira como o personagem se move na tela é fundamental para o fluxo das ações em um videogame ou animação. Segundo Curtiss (2011) isso influencia tanto a capacidade de compreensão dos jogadores/espectadores quando a atenção que eles desprendem, estes dois fatores estão diretamente ligados ao quesito entretenimento. Sendo assim, uma movimentação mais fiel à do corpo humano real se mostra como um fator de peso quando o quesito realismo é levado em conta.

É notável que a dependência de softwares muito específicos e de difícil compatibilidade com o processo de trabalho de um estúdio gera atrasos e com isso prejuízo. Saber da capacidade dessas ferramentas se torna fundamental para que os projetos não fracassem.

2.1. PESQUISA SOBRE FERRAMENTAS JÁ ESTABELECIDAS NO MERCADO

Existem ferramentas que contribuem para o trabalho do animador, muitas delas garantem economia de tempo e uma maneira melhor para controlar o movimento da imagem. No entanto, se faz necessário avaliar se cada um destes recursos é realmente importante para os processos de produção específicos de cada projeto. Analisando os principais produtos no mercado que prometem simular o movimento muscular real na computação gráfica encontramos vários problemas em comum, destacando-se falta de compatibilidade entre programas, dificuldade de conversão de arquivos e preços altos. Este trabalho então procura criar o modelo-base com técnicas que podem ser adaptadas na maioria dos programas de animação 3d.

Os itens citados a seguir foram selecionados com base em sua relevância no mercado de animação 3d, e em sua capacidade de cumprir a tarefa de simular uma flexão muscular de alguma forma em um modelo humano.

X-Muscle System¹ é um *add-on*² para Blender que permite a criação de músculos customizáveis e até mesmo de modelos não humanos. No entanto, estas funções estão divididas em duas versões com mais e menos conteúdo. Seu sistema cria músculos que afetam a malha da pele no modelo 3D; estes músculos podem ainda ter suas

1 Disponível em: <<https://blendermarket.com/products/x-muscle-system?ref=2>>
Acesso em 18/09/2018

2 Uma suplementação opcional do programa criada por terceiros.

propriedades alteradas para representarem partes do corpo com outras propriedades físicas, como gordura ou osso.

Skin FX³ era um *add-on* para 3ds Max. Trabalhava com volumes de gordura e osso além de músculos. No entanto, está descontinuado a um certo tempo, tornando sua última instalação mais num empecilho do que numa ferramenta eficiente para o trabalho em versões atuais do 3ds Max, mas é digno de nota devido a sua antiga popularidade, segundo 3dtotal (2007), entre os usuários do programa.

Quantum Human⁴ é um software que promete sistemas musculares complexos em rigging tanto de bípede quanto outros tipos. No entanto, ainda está em produção e sem data oficial de lançamento.

ZIVA VFX⁵ é um *add-on* para Autodesk Maya. Com um sistema que preserva o volume muscular nas contrações e simula colisões e deformações na superfície da pele, é uma ferramenta de alta performance. Apresenta modelos prontos em sua loja on-line e suporte para os usuários. Seu preço elevado e a exclusividade para Autodesk Maya acabam sendo seus maiores impeditivos, principalmente para produções de baixo custo.

Genesis 8⁶ é um complemento do programa gratuito DAZ 3D que lida com a criação de personagens humanos. Ele fornece ferramentas para a criação de corpos tanto realistas quanto estilizados em um ambiente bastante intuitivo. É possível fazer flexão do bíceps dentro deste programa, mas apenas com um *add-on* disponível em sua loja virtual. O programa é bastante intuitivo, e conta com uma grande comunidade de usuários ativos que produzem conteúdo compartilhável.

CAT Muscle⁷ é uma função dentro do sistema de *rig* CAT do 3ds Max, serve para criar deformações simulando movimento muscular, bem como para corrigir dobras que fiquem esteticamente ruins ou estranhas dentro desse sistema.

3 Disponível em: <https://cgpress.org/archives/skin_fx.html> Acesso em 18/09/2018

4 Disponível em: <<http://quantum-human.com/>> Acesso em 18/09/2018

5 Disponível em: <<https://zivadynamics.com/ziva-vfx>> Acesso em 18/09/2018

6 Disponível em: <<https://www.daz3d.com/genesis8>> Acesso em 18/09/2018

7 Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/3DSMax/files/GUID-49276514-378F-4FDA-9B3B-E31E332DD966-htm.html>> Acesso em 18/9/2018

Maya Muscle⁸ é uma função do software de animação Autodesk Maya, nele é possível criar deformadores de malha que se contraem com o movimento de ossos de *rigs*, é possível até mesmo definir o quanto o músculo contrai.

Tissue⁹ é um programa de alta tecnologia utilizado em projetos de maior orçamento. Seu intuito é a renderização de produções cinematográficas. O programa apresenta simulações de colisão e deformações altamente complexas de modo a apresentar um resultado o mais fiel possível a realidade. Está no escopo dos grandes produtores de cinema, no entanto ele se mostra relevante nesta lista por ser o ápice do que seria alcançável (mesmo que improvável) dentro deste projeto.

Nome	Tipo	Plataforma	Gratuito
X-Muscle System	Add-on	Blender	Não
Skin FX	Add-on	3ds Max	-
Quantum Human	Software próprio	-	-
ZIVA VFX	Add-on	Maya	Não
Genesis 8	Ferramenta	DAZ 3D	Sim
CAT Muscle	Ferramenta	3ds Max	Não
Maya Muscle	Ferramenta	Maya	Não
Weta Tissue	Software próprio	-	Não

Tabela 1: Ferramentas pesquisadas e suas características para análise. Acervo do autor.

-
- 8 Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-90B5E302-8DAA-4780-BCD6-FB9C60FF9E05-htm.html>> Acesso em 18/09/2018
- 9 Disponível em: <<https://www.wetafx.co.nz/research-and-tech/technology/tissue/>> Acesso em 10/12/2018

2.2. SELEÇÃO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE

Embora todas as ferramentas apresentadas cumprem de alguma forma o papel de simular a flexão muscular; quase todas elas apresentam a possibilidade de se alterar parâmetros e variáveis que afetam as propriedades da animação, podendo gerar resultados bastante diversos em seus movimentos. Longe de ser uma desvantagem, esta característica, no entanto, torna a tarefa de se verificar a fidelidade da flexão muscular redundante, uma vez que não se tem um comparativo fixo dos atributos que necessitam ser mensurados.

A ferramenta escolhida, Genesis 8, apresenta uma flexão constante e pode então ser analisada objetivamente. Outra consideração foi o fato de sua plataforma (DAZ Studio) ser gratuita; visto que, como dito antes, uma das barreiras enfrentadas na hora de se realizar um projeto de animação 3d é o custo elevado que os softwares deste tipo costumam ter.

2.3 O MÚSCULO BÍCEPS BRAQUIAL

O músculo bíceps braquial é um ponto importante na síntese deste trabalho devido a sua relevância no imaginário popular, sobre tudo quando se trata da animação. Segundo Hall (2015) o bíceps braquial, *biceps brachii* ou bicípite braquial, é um músculo esquelético que apresenta função de alavanca interpotente.

Como visto na Figura 1, ele se insere proximalmente no úmero e na escápula. Esta fixação em dois pontos permite que ele faça a rotação do ombro; além da flexão do cotovelo, movimento pelo qual é mais lembrado. O músculo bíceps braquial é um dos mais aparentes no físico humano, e por isso, é bastante conhecido e presente no imaginário comum. Sua função principal (a adução do antebraço) é bastante conhecida por pessoas leigas em anatomia, e por isso a representação de sua flexão em uma animação, seja tanto por preciosismos realistas quanto por exageros caricatos, é algo que o espectador facilmente identifica e conseqüentemente gera credibilidade para o movimento em que se está trabalhando.

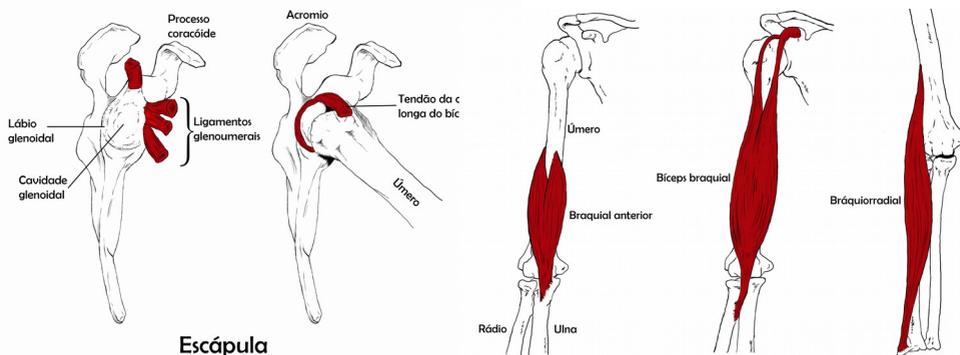


Figura 1: As estruturas biomecânicas do bíceps braquial como descrita por HALL (2015).

2.4. MÉTODO DE PESQUISA

As medidas observadas na flexão muscular do programa Genesis 8 foram comparadas com uma amostra diversa de jovens entre 21 e 24 anos, para isso se utilizou de um paquímetro de precisão. As medidas no *software* foram tiradas sem se preocupar com unidades, uma vez que o intuito do estudo é comparar a razão entre o braço flexionado e relaxado, não necessitando que os diferentes itens da pesquisa estejam na mesma escala.

Em sete voluntários de diferentes gêneros e biotipos, selecionados ao caso dentro do Campus Florianópolis da Universidade Federal de Santa Catarina, foram realizadas medições transversais do braço na altura do ápice do bíceps em dois momentos, com o músculo em repouso e flexionado (Figura 2). Também foi feita uma coleta de dados levando em conta apenas o tamanho do bíceps, a fim de se eliminarem discrepâncias nos casos onde o voluntário tenha uma adiposidade elevada ou então um tríceps bastante desenvolvido.

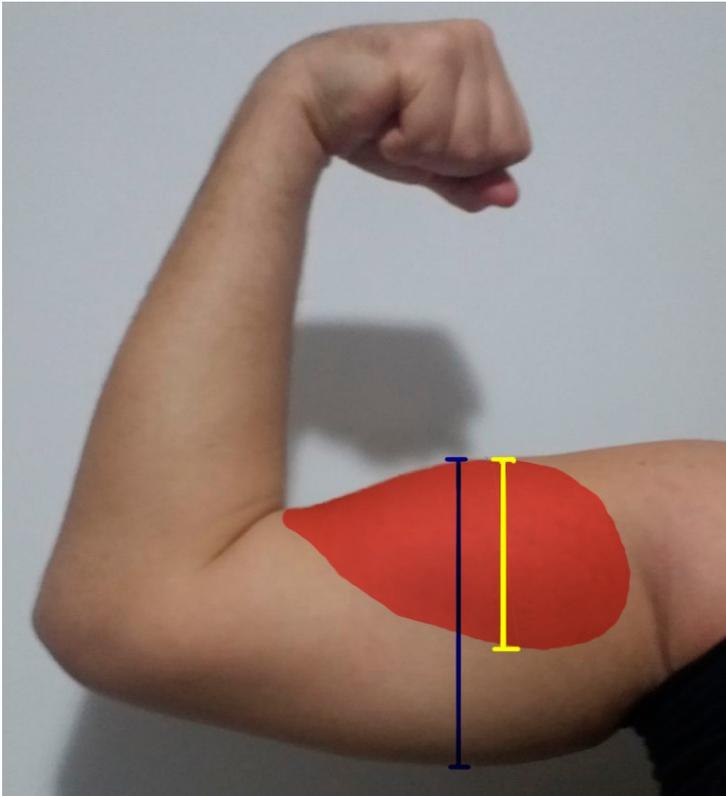


Figura 2: Braço de um dos voluntários com destaque do bíceps (vermelho), alcance da primeira medição (azul), e alcance da segunda medição (amarelo).
Acervo do autor.

Os dados coletados foram agrupados em uma tabela, onde foram calculadas as médias dos quatro valores, bem como as razões entre as posições de flexão e descanso.

SEXO	IDADE	BRAÇO ESTENDIDO (cm)	BRAÇO FLEXIONADO (cm)	RAZÃO BRAÇO	BÍCEPS ESTENDIDO (cm)	BÍCEPS FLEXIONADO (cm)	RAZÃO BÍCEPS
M	24	8,700	9,000	1,034	3,500	5,000	1,429
M	22	11,400	12,400	1,088	6,100	6,900	1,131
M	22	11,200	11,800	1,054	6,500	7,200	1,108
M	21	8,600	9,800	1,140	4,600	5,900	1,283
M	22	7,100	8,500	1,197	4,400	5,500	1,250
F	22	6,700	8,600	1,284	3,700	4,000	1,081
F	21	7,200	9,800	1,361	4,200	5,200	1,238
MÉDIA		10,433	11,067	1,165	5,367	6,367	1,217

Tabela 2: Participantes do estudo e suas respectivas medidas. Acervo do autor.

Com isso foi possível então calcular as variâncias e desvios padrões, que servem para melhor analisar se a contração representada no software condiz com o que é encontrado na natureza.

Braço Inteiro			
Desvio pop.	0,1131548911	Variância pop.	0,012804029
Desvio amostra	0,1222212514	Variância amostra	0,014938034

Apenas Bíceps			
Desvio pop	0,1123729395	Variância pop.	0,012627678
Desvio amostra	0,1213766471	Variância amostra	0,01473229

Tabela 3: Desvios os padrões e variâncias calculados com os dados coletados. Acervo do autor.

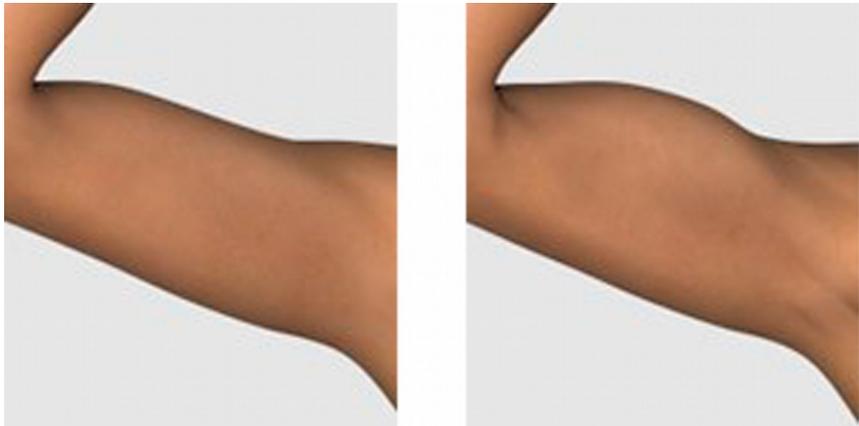


Figura 3: Bíceps relaxado e flexionado dentro do programa DAZ Studio com a ferramenta Genesis 8.

2.5. ANALISE DOS DADOS

Foi aferido que o programa se encontra dentro dos limites aceitáveis para uma contração normal do bíceps, cerca de 13% de aumento no tamanho.

Mesmo que a contração muscular do Genesis 8 esteja dentro de um intervalo que é encontrado na realidade, ainda existem outros fatores que podem alterar a qualidade de uma animação feita com esse recurso. Por exemplo, se a flexão ocorre de maneira fluida ou se ela é rígida, quanto mais controle o animador tiver sobre como o movimento é executado, melhor poderá ser o resultado.

Ainda sobre o intervalo limite encontrado no estudo, é de se refletir sobre quando utilizar seus valores como algo absoluto ou como uma base extrapolável, uma vez que segundo Thomas e Johnston (1981) o exagero é um dos princípios da animação e deve ser utilizado de acordo com a sensibilidade do animador a fim de evitar um resultado enfadonho para o público. Sendo assim, até mesmo em uma produção que prese pelo realismo é preciso estar atento a estas nuances.

3. CRIAÇÃO DO MODELO 3D

3.1. DEFINIÇÃO DAS FERRAMENTAS

Para a criação do modelo final foram selecionados os softwares que foram julgados como melhor escolha a partir da pesquisa prévia sobre as ferramentas proeminentes no mercado da produção de gráficos tridimensionais, bem como de outras experiências obtidas durante a graduação. Nesta seleção foram levadas em conta as etapas da produção e as capacidades que os programas devem ter em cada estágio deste processo.

Antes de mais nada é necessária a criação do objeto 3d que será submetido ao processo de *rigging*. O DAZ Studio foi escolhido como programa onde será criada a base pra a malha poligonal do produto final. Como já foi discutido, o Genesis 8 (ferramenta presente no DAZ Studio) gera modelos bípedes a partir de parâmetros editáveis em um modelo base. Ele é então uma opção para se criar uma malha 3d com uma superfície fiel à musculatura de um ser humano real.

A próxima etapa do processo foi no 3ds Max. Aqui, em um primeiro momento, foram feitos testes com modificadores em uma malha simplificada para validação da técnica escolhida para utilização, bem como para a familiarização do autor para com os processos utilizados, a fim de desenvolver melhor a técnica e ter uma capacidade melhor de contornar eventuais obstáculos no desenvolvimento desta parte do projeto. Após o detalhamento do processo de *rigging*, foram feitas as modificações necessárias na malha gerada no DAZ Studio, bem como a aplicação de modificadores, os processos de ajustes finais do modelo, a aplicação dos controladores do *rig* e a produção das animações de demonstração da funcionalidade do projeto.

Na construção do esqueleto foi utilizado o Mixamo¹⁰. O serviço deste *web site* foi escolhido a fim de acelerar os processos de *rigging* e *skinning* do modelo, já que esta parte não é o foco principal do trabalho proposto.

3.2. DEFINIÇÃO DOS MÉTODOS

Foram pesquisados métodos que cheguem mais perto do que foi estabelecido: a criação de um *rig* com efeito de flexão muscular facilmente replicável.

¹⁰ Disponível em: <<https://www.mixamo.com/>> Acesso em 12/12/2018

Nas primeiras tentativas de criar efeitos de deformação semelhantes aos aqui propostos, Lewis et al. (2000) descrevem as vantagens de se utilizar a deformação do espaço pose¹¹ no lugar de interpolação de forma¹² ou deformações comuns¹³ pelo esqueleto. Entre estas vantagens está justamente a capacidade de simular uma deformação por movimento mais agradável ao observador ou mais próxima da realidade. Apesar de antiga, a técnica descrita aqui é utilizada ainda hoje, pela sua facilidade e compatibilidade com a grande maioria dos softwares de animação tridimensional. No programa 3ds Max essa deformação do espaço pose é obtida por meio do modificador *Skin Morph*.

Apesar da existência do sistema CAT Rig, e da ferramenta CAT Muscle, no 3ds Max; foi decidido que o modelo utilizaria ossos comuns e não integrados ao CAT por dois motivos: para não atrelar o trabalho a um sistema exclusivo de um software específico (algo que dificultaria a replicação ou exportação do modelo em outros programas, ferindo os objetivos determinados anteriormente aqui), e para que se possa utilizar a ferramenta Mixamo na *pipeline* (visto que o CAT Rig é incompatível com esta).

Um resultado interessante foi obtido pelo veterano da indústria da animação Paul Neale. Em seu site ele descreve uma animação de músculos e gordura em um *rig* quadrupede¹⁴. Este método se utiliza de objetos representando as partes internas do corpo, conectados ao esqueleto, afetando a malha através de modificadores. Os modificadores utilizados são o *Skin Wrap*, que utiliza a influência de um objeto sobre o outro para gerar deformações, notavelmente empregado para controlar um objeto de alta resolução com um de baixa ou transferir *rigs* entre objetos semelhantes, aqui ele tem a função de controlador parcial de uma superfície; e o *Flex*, que simula a física de corpos moles, sendo empregado aqui na implementação dos tecidos moles do corpo. Os efeitos destes dois modificadores são aplicados sobre um objeto já animado e colapsados, sem a possibilidade de alteração futura, sendo mais uma forma de refinar a animação do que propriamente parte do *rig*.

11 *Pose space deformation*: Como definido por Lewis et al. (2000) é a deformação de um espaço em uma malha 3d definida pela posição de um osso específico no *rig*.

12 *Shape interpolation*: Como definido por Lewis et al. (2000) é a transformação de uma forma em outra por meio de justaposições de estados intermediários destas em forma de animação em uma malha 3d.

13 Deformações geradas pela ação normal do esqueleto do *rig*.

14 Disponível em: <<https://paulneale.com/>> Acesso em 12/12/2018.

Foi decidido se utilizar de uma forma modificada do método de Paul Neale que se adapte melhor a um *rig* dinâmico que possa ser utilizado em animações 3d simples. A principal divergência proposta neste trabalho é não colapsar os modificadores, e utilizar seus objetos de controle como parte do *rig* para que os efeitos possam ocorrer na malha poligonal conforme as posições demandam.

Este método se mostra, de certa forma, superior à utilização do *Skin Morph* por dois motivos: A forma da malha nos pontos intermediários da flexão é definida pelo volume correto daquela posição, em vez de por uma interpolação das posições inicial e final; e os volumes afetam não apenas o movimento definido no *morph* mas também outros não calculados, aparentando ser mais realista.

3.3. PROTOTIPAGEM

Em um modelo 3d de baixa resolução (*low-poly*) foram feitos testes com os modificadores e a melhor ordem para a sua aplicação.

Foi decidido que os volumes musculares que deveriam afetar a malha, o fariam através do modificador *Skin Wrap*, assim como no método descrito por Paul Neale. No entanto, o objeto ficaria sendo parte de um sistema de *rigging*, e não seria aplicado posteriormente à animação, como é o caso do método original.

Como exposto na Figura 4, os objetos de baixa resolução ficam em hierarquia com os ossos do *rig* de modo a se moverem junto com estes quando for necessário. Na Figura 5 as principais diferenças na configuração da malha podem ser notadas neste primeiro teste do método aqui proposto, com destaque para a articulação do cotovelo onde sua face convexa muda de um ângulo reto para uma curva simples quando não se utilizam os modificadores aqui propostos.

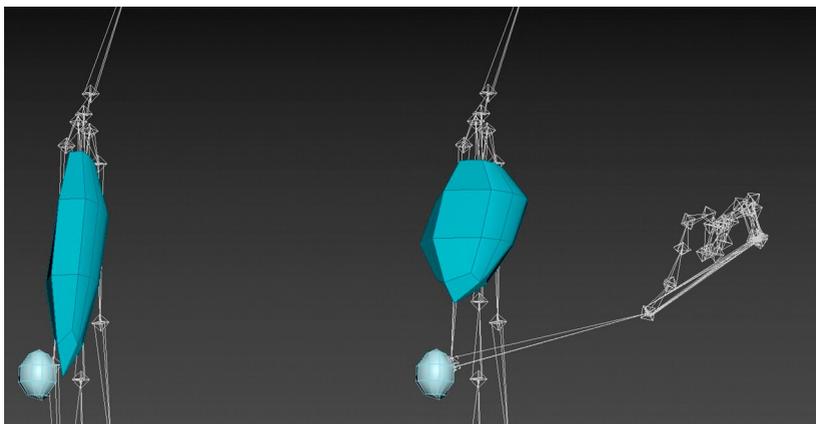


Figura 4: Esqueleto do rigging e formas feitas para simular os volumes do bíceps e do cotovelo fazendo o movimento de adução do braço. Acervo do autor.

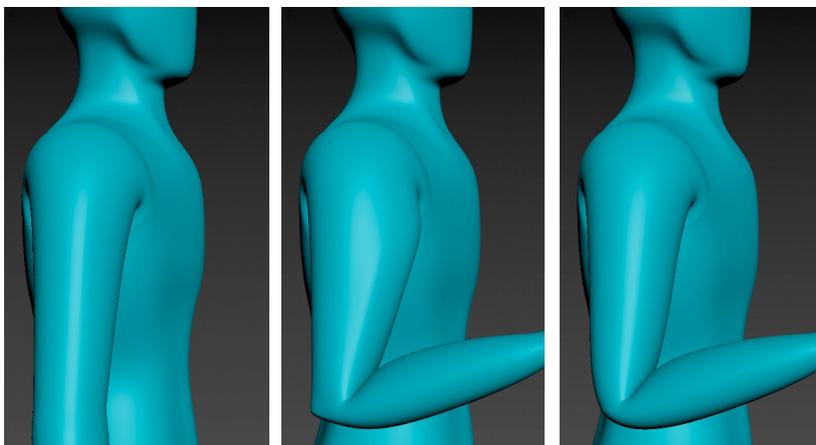


Figura 5: Malha com o braço relaxado (esquerda), flexionado com os objetos afetando a malha através do Skin Wrap (meio), e flexionado sem o efeito na malha (direita). Acervo do autor.

3.4. MODELO FINAL

3.4.1. MALHA E SKINNING

A malha poligonal foi gerada no programa DAZ Studio, onde com a ajuda da ferramenta interna Genesis 8, o modelo tomou proporções realistas com musculatura aparente, para melhor representar o que é proposto no projeto. Esta malha foi então exportada com a extensão .FBX ao 3ds Max onde algumas correções em seus polígonos foram feitas.

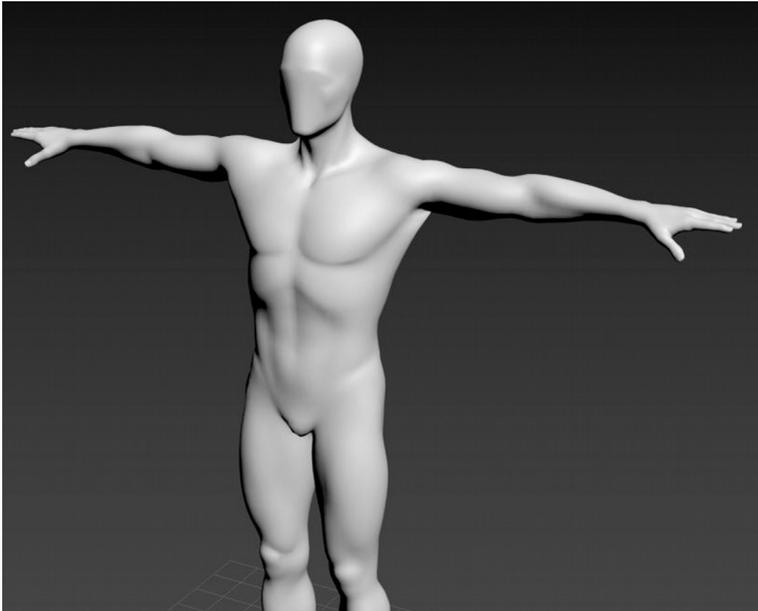


Figura 6: Malha final no 3ds Max. Acervo do autor.

Findado este trabalho, o modelo foi exportado novamente em formato .FBX e enviado ao Mixamo onde um *rigging* (posteriormente completado no 3ds Max) foi feito.

Novamente no 3ds Max o modelo, agora com um esqueleto aplicado é submetido a uma revisão dos valores de influência dos ossos nos envelopes do modificador *Skin*, a fim de se ter um resultado melhor nas dobras dos membros.

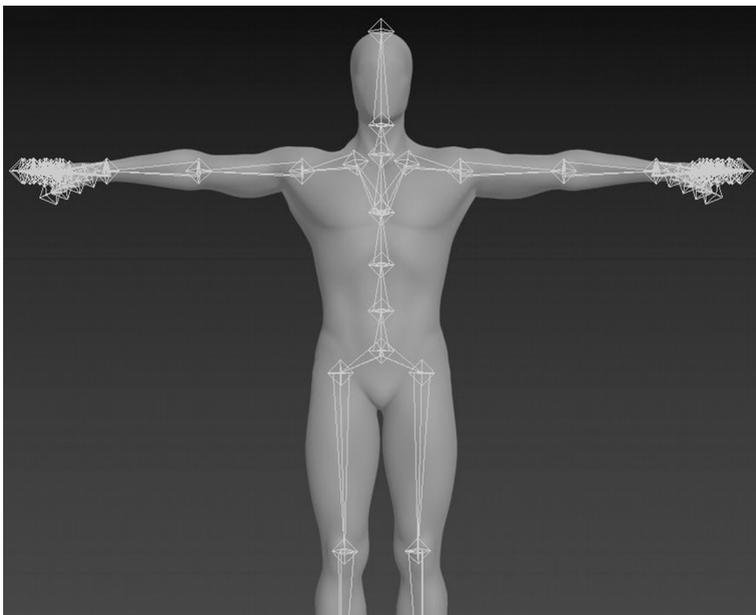


Figura 7: Esqueleto aplicado na malha. Acervo do autor.

3.4.2. DEFINIÇÃO DOS VOLUMES

Por meio de extensa observação dos problemas mais comuns nas articulações de modelos tridimensionais e dos músculos e ossos que mais alteram a forma humana no movimento, foi decidido que os volumes representados no modelo seriam: músculo bíceps braquial, músculo tríceps braquial, músculo braquiorradial, músculo deltoide (ombro), músculo peitoral, músculo quadríceps femoral, cabeça distal da ulna (parte convexa do cotovelo), escápula, patela (parte convexa do joelho), e coluna vertebral.

Foram feitos então objetos nestas áreas da malha imitando seu posicionamento, mas com uma quantidade de polígonos significativamente menor do que o da malha que afetam.

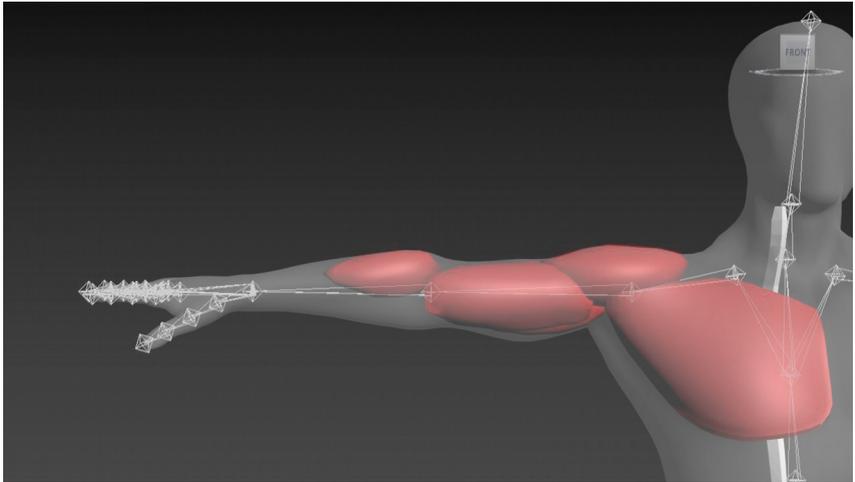


Figura 8: Volumes do braço sob a malha (frontal). Acervo do autor.

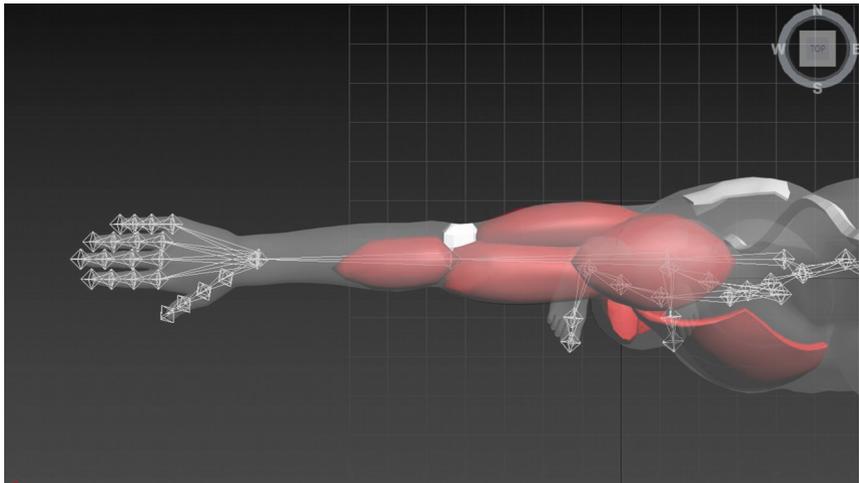


Figura 9: Volumes do braço sob a malha (superior). Acervo do autor.

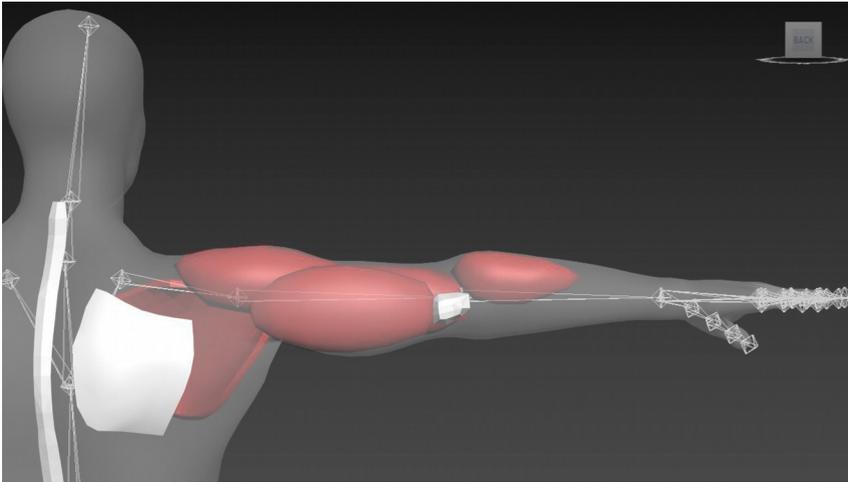


Figura 10: Volumes do braço sob a malha (dorsal). Acervo do autor.

3.4.3. PILHA DE MODIFICADORES E HIERARQUIA

Após a criação de todos os objetos, estes foram divididos em 3 grupos definidos por seu comportamento físico e por como eles afetam a malha.

Primeiro grupo: Deltoide, peitoral e coluna vertebral. Estes três objetos estão rigados no mesmo esqueleto que a malha principal, com a diferença que apenas sofrem influência dos bones de suas articulações.

Segundo grupo: Bíceps e tríceps. Estes dois objetos estão hierarquicamente submetidos ao osso do braço, e tem o modificador *Skin Morph* para animação de suas flexões. Notavelmente o bíceps tem seus limites de tamanho definidos pela pesquisa realizada em campo, com seu diâmetro mudando aproximadamente 20%, como é demonstrado nas tabelas 1 e 2 do capítulo 2 deste trabalho.

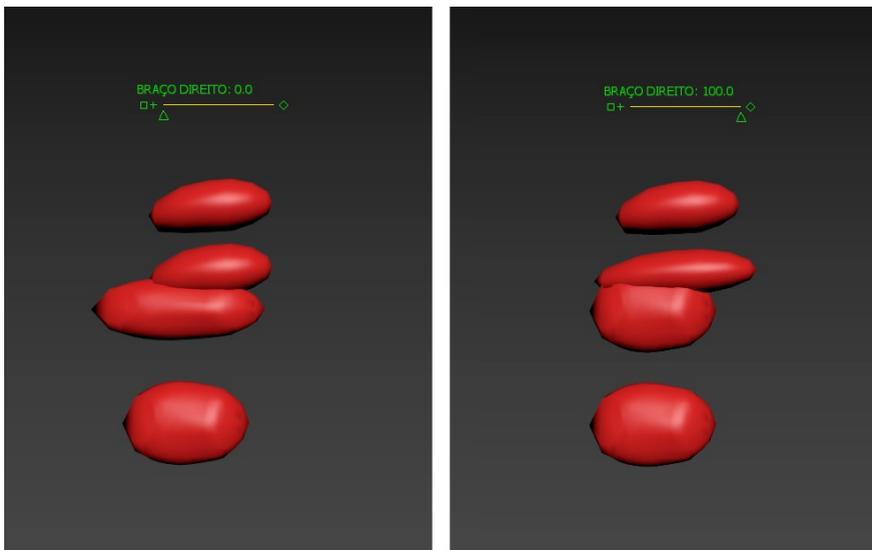


Figura 11: Músculos bíceps e tríceps (centro inferior e centro superior respectivamente) em seus dois estágios de flexão alternada, e seus respectivos morph targets (superior e inferior). Acervo do autor.

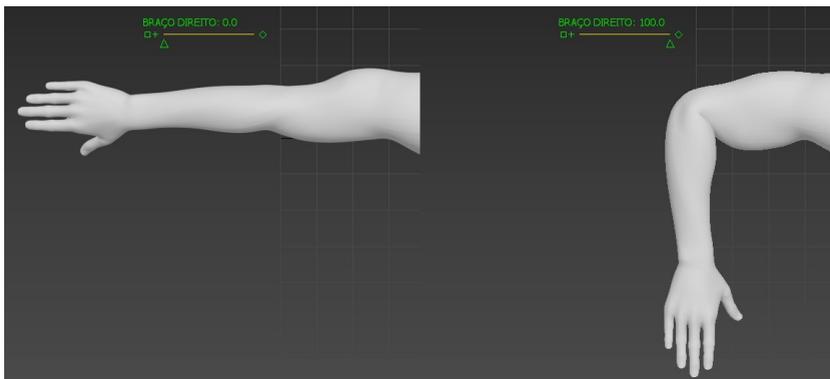


Figura 12: Malha do braço afetada pelos dos objetos referentes ao bíceps e tríceps em seus dois estágios. Acervo do autor.

Terceiro grupo: Músculo braquio radial, quadríceps femoral, cotovelo, escápula e patela.

Estes objetos do último grupo são os mais simples, estão apenas posicionados e em hierarquia com ossos dentro dos locais onde devem fazer volume quando a malha principal se dobrar sobre eles, não necessitam ser animados.

Todos os objetos dos três grupos citados anteriormente foram adicionados como ‘objetos de controle’ no modificador *Skin Wrap* na malha principal. E por fim o modificador *TurboSmooth* foi adicionado por cima para homogeneizar distorções na malha através das subdivisões que este provoca nos polígonos.

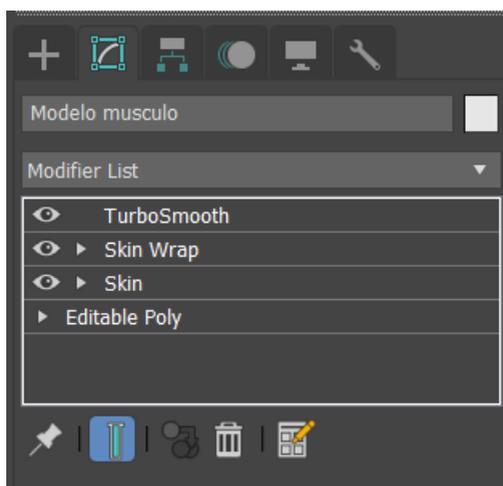


Figura 13: Pilha de modificadores na malha principal. Acervo do autor.

3.4.4. CONTROLADORES

O controle dos membros afetados pelos músculos bíceps e tríceps braquiais foi feito por *sliders*, que são ferramentas de auxílio visual no controle de objetos dentro do 3ds Max. Embora esta seja uma ferramenta exclusiva do programa, não é um fator que interfira diretamente com a funcionalidade do sistema de *rigging* ou que não possa ser facilmente substituído por funções semelhantes em outros programas.

O *slider* se apresenta como uma linha com um controlador que define um valor numérico e este define um estado ou controla uma outra variável. Ele se sobrepõe graficamente à tela, e não tem presença tridimensional visível na *viewport* do programa ou na renderização posterior da cena.

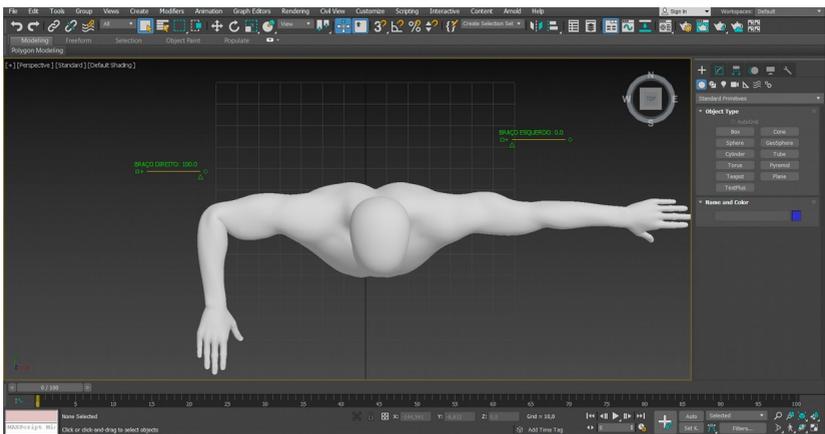


Figura 14: Sliders dos braços (em verde) em seus dois estágios presentes na tela do programa 3ds Max. Acervo do autor.

Para subordinar os objetos musculares aos *sliders* foi utilizado o *Reaction Manager*¹⁵, um recurso do software onde objetos e variáveis podem ser designados como controladores dos parâmetros uns dos outros através de relacionamentos de hierarquia destes por uma caixa de

15 *Reaction Manager*: Ferramenta de controle de relações de servidão de valores, como descrito em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/3DSMax/files/GUID-CF777319-B48C-40B9-B3AD-4A8A62651BB3-htm.html>> Acesso em: 12/12/2018.

diálogo. Nesta ferramenta foram atreladas as seguintes propriedades à escala de zero a cem do *slider* de cada braço: 90 graus da rotação do antebraço, e os estados dos *morphs* do biceps e do tríceps. Deste modo quando o controlador for alterado para algum valor dentro do intervalo definido, os estados dos objetos subordinados a ele serão interpolados em sincronia para a posição desejada.

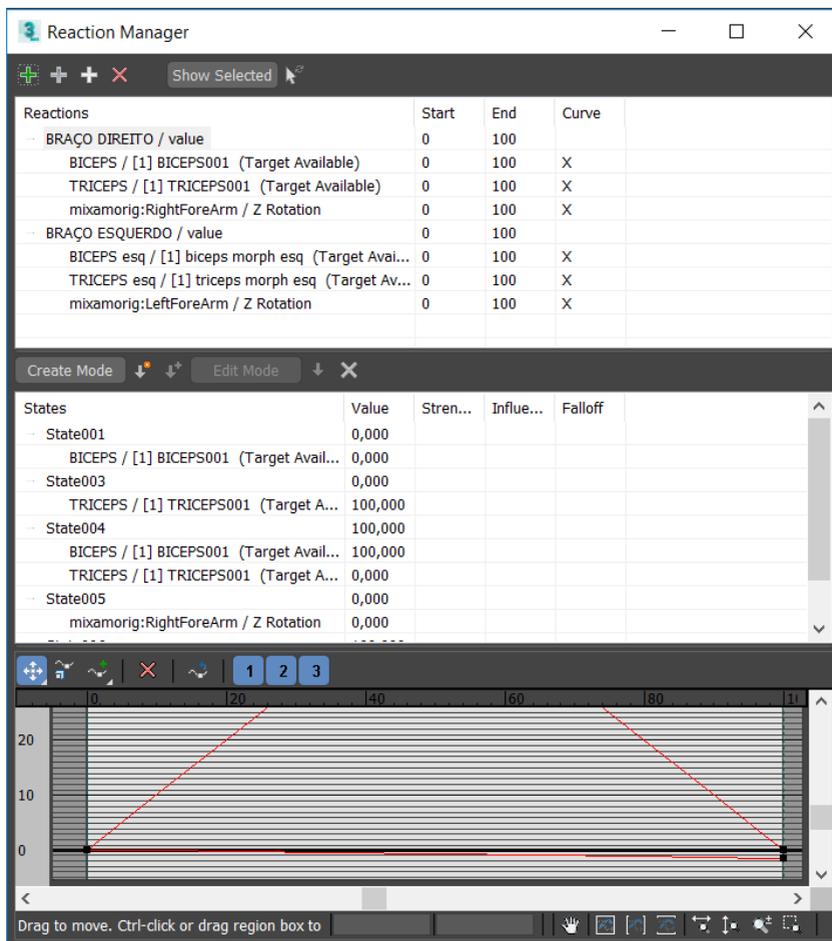


Figura 15: Reaction Manager apresentando a relação de hierarquia entre os sliders dos dois braços com seus objetos subordinados. Acervo do autor.

3.4.5. RESULTADO

O *rig* com a técnica aplicada apresenta, além da flexão dos músculos selecionados, uma clara diferença na aparência e comportamento das articulações. Os volumes internos simulados interferem na superfície da malha de modo a dar mais credibilidade visual ao movimento e à forma estática.

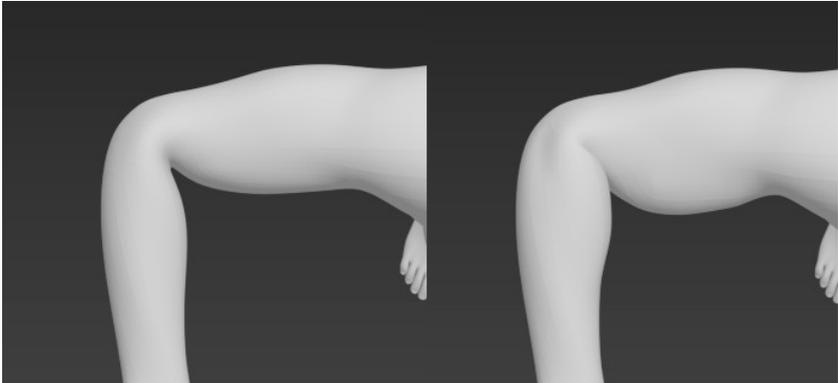


Figura 16: Braço direito flexionado apenas com um *rig* simples (esquerda) e com a técnica aplicada (direita). Acervo do autor.

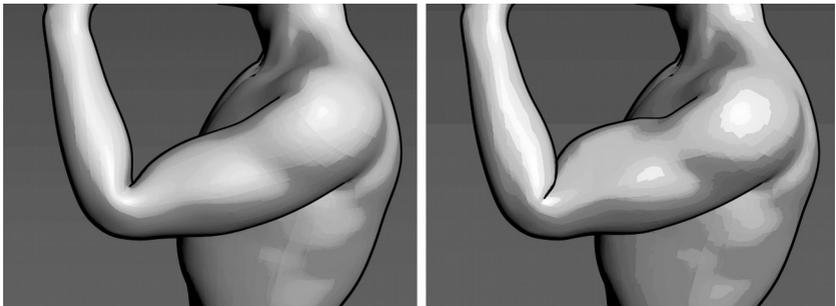


Figura 17: Braço esquerdo flexionado apenas com o *rig* (esquerda) e com os modificadores aplicados (direita). Acervo do autor.

Nas figuras 16 e 17 é possível notar principalmente na área do cotovelo a presença dos volumes alterando a malha.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de finalizado, o arquivo está pronto para ser animado ou então servir de base para a construção de outros *rigs* de personagens com musculatura simulada.

A distribuição do arquivo deve ser acompanhada deste documento para que se entenda facilmente suas funcionalidades e para que possa ser replicado corretamente.

Existem sites de compartilhamento de arquivos para animadores independentes onde é possível que este trabalho venha a ter um impacto positivo em pequenas produções.

Os princípios aqui aplicados podem ainda ser usados para a criação de *rigs* quadrúpedes, ou até mesmo de seres que não apresentam nenhum paralelo com a natureza, mas que ganharão uma vivacidade maior em seu movimento por meio da aplicação adaptada das técnicas demonstradas na construção deste projeto.

Além de aprender com o modelo, é possível aprimorá-lo. Existe espaço para isso, é possível adicionar novos volumes, refinar os já existentes ou até mesmo aplicar diferentes técnicas e modificadores para se ter resultados ligeiramente diferentes.

Uma das vantagens deste modelo é que ele pode ser replicado em outros programas. Ele foi feito no 3ds Max, mas todas as funções utilizadas podem ser encontradas em diversos programas de animação 3d.

Os objetivos traçados neste trabalho foram atingidos. O modelo está feito, se espelhando em uma técnica já utilizada, porém de uma forma diferente que condiz com a meta do trabalho e o faz de uma maneira mais simplificada. A musculatura no objeto 3d segue o que é visto na realidade; devido tanto à geração de sua malha poligonal de base, feita em um programa específico para corpos humanos o Genesis 8, quanto à aplicação dos resultados da pesquisa realizada em campo nas medidas de seus músculos. Por último, o processo está devidamente documentado.

Alguns dos desafios encontrados pelo autor foram: O recrutamento de candidatos para a pesquisa, frequentemente as pessoas abordadas se sentiam intimidadas pelo formulário de consentimento ou não a vontade para realizar as medições; a seleção dos softwares considerados mais relevantes para este trabalho, uma vez que no mercado atual não faltam opções; e o longo processo de tentativa e erro que resultou no produto deste trabalho, uma vez que a produção de *rigs*

complexos ou experimentais são passíveis de erros tanto pela parte humana quanto pelo processamento dos dados pela máquina.

O arquivo resultante deste trabalho se encontra em posse do autor e pronto para compartilhamento com terceiros.

REFERÊNCIAS

3dtotal. 2007. Lumonix upgrade Skin FX, their 3ds Max based modifier, to version 2.0. <<https://3dtotal.com/news/general/lumonix-upgrade-skin-fx-their-3ds-max-based-modifier-to-version-20>> Acesso em: 18/09/2018.

Adobe Systems Incorporated. **Mixamo.** Página inicial. Disponível em: <<https://www.mixamo.com/>> Acesso em: 12/12/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network.** Working With Muscles. 2017. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/3DSMax/files/GUID-49276514-378F-4FDA-9B3B-E31E332DD966-htm.html>> Acesso em: 18/9/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network.** Maya Muscle. 2016. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-90B5E302-8DAA-4780-BCD6-FB9C60FF9E05-htm.html>> Acesso em: 18/09/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network.** Skin Wrap Modifier. 2014. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-1B3C4662-8C42-4F02-BD1B-204CD491166B-htm.html>> Acesso em: 12/12/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network.** Flex Modifier. 2017. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/3DSMax/files/GUID-B92A5449-4AE9-487E-8068-0B39CB9B46AF-htm.html>> Acesso em: 12/12/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network.** TurboSmooth Modifier. 2018. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/3DSMax-Modifiers/files/GUID-EA8FF838-B197-4565-9A85-71CE93DA4F68-htm.html>> Acesso em: 12/12/2018.

AUTODESK. **Autodesk Knowledge network**. Reaction Manager Dialog. 2016. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/3DSMax/files/GUID-CF777319-B48C-40B9-B3AD-4A8A62651BB3-htm.html>> Acesso em: 12/12/2018.

CG COOCKIE. **Blender Market**. X-Muscle Sistem. Disponível em: <<https://blendermarket.com/products/x-muscle-system?ref=2>> Acesso em: 18/09/2018.

CG PRESS. Skin FX. Disponível em: <https://cgpress.org/archives/skin_fx.html> Acesso em 18/09/2018.

DAZ PRODUCTIONS, INC. **Daz STUDIO**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.daz3d.com/genesis8>> Acesso em: 18/09/2018.

Lewis J, Cordner M, Fong N (2000) Pose space deformation: A unified approach to shape interpolation and skeleton-driven deformation. *Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques Proceedings: 165-172*.

MANYMANY CREATIONS. **Quantum Human**. Página inicial. Disponível em <<http://quantum-human.com/>> Acesso em 18/09/2018.

MURPHY, Curtiss (2011). "Why Games Work and the Science of Learning". **Good Games by Design**, 2011. Disponível em: <<http://www.goodgamesbydesign.com/2011/07/why-games-work-the-science-of-learning/>> Acesso em 05/10/2018.

PAUL NEALE. Página pessoal. Disponível em: <<https://paulneale.com/>> Acesso em: 12/12/2018.

Susan J. Hall: **Basic Biomechanics**, 7th edition. Chicago, 2015. 236 p.

Thomas, Frank; Ollie Johnston. **The Illusion of Life: Disney Animation**. 3Rd edition. United States, 1981. 65-66 p.

WETA DIGITAL LIMITED. **WETA DIGITAL**. Página inicial. Disponível em:

<<https://www.wetafx.co.nz/research-and-tech/technology/tissue/>>

Acesso em: 10/12/2018.

ZIVA. **ZIVA VFX.** Página inicial. Disponível em:

<<https://zivadynamics.com/ziva-vfx/>> Acesso em: 18/09/2018.