

**UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná**

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

Colegiado de Ciência da Computação

***Curso de Bacharelado em Ciência da Computação***

**Animação digital de personagens virtuais humanoides**

*Eduardo Luiz Sebben*

**CASCAVEL**

**2019**

**EDUARDO LUIZ SEBEN**

**Animação digital de personagens virtuais humanoides**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel.

Orientador: Prof. Adair Santa Catarina

CASCADEL

2019

**EDUARDO LUIZ SEBEN**

**Animação digital de personagens virtuais humanoides**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de *Bacharel em Ciência da Computação*, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

---

Prof. Adair Santa Catarina (Orientador)  
Colegiado de Ciência da Computação, UNIOESTE

---

Prof. André Luiz Brun  
Colegiado de Ciência da Computação, UNIOESTE

---

Prof. Josué Pereira de Castro  
Colegiado de Ciência da Computação, UNIOESTE

Cascavel, 04 de Dezembro de 2019.

# Lista de Figuras

1.1 Exemplos de personagens virtuais humanoides em animações, filmes e jogos .....	1
1.2 A evolução da animação digital .....	2
2.1 Histórico do desenvolvimento da animação baseada em quadros-chave .....	5
2.2 Quadros chaves de uma animação mostrando o mesmo objeto em tempos distintos .....	6
2.3 Interpolação dos quadros intermediários.....	7
2.4 Interpolação Suave .....	7
2.5 Tensão na interpolação suave .....	8
2.6 Continuidade na interpolação suave .....	8
2.7 Viés na interpolação suave .....	8
2.8 A trajetória do movimento na interpolação constante .....	9
2.9 Exemplo de um esqueleto humanoide .....	9
2.10 Representação de Ossos em um esqueleto digital .....	10
2.11 Representação de dobra em uma malha rígida .....	11
2.12 Exemplo de animação de personagens baseada em princípios Físicos .....	13
2.13 Exemplo de simulações de partículas, fluídos e corpos macios .....	13
2.14 Ilustração da ação de forças sobre objeto .....	15
2.15 Ilustração da utilização de juntas entre objetos .....	16
2.16 Exemplo de um traje de captura de movimento mecânico .....	21
2.17 Refletores e câmeras empregadas em um sistema óptico de captura de movimentos .....	22
2.18 Funcionamento do sistema implementado por HABIBIE e outros .....	26
2.19 Funcionamento da rede PFNN .....	28
3.1 Janela padrão ao iniciar o Blender .....	34
3.2 Área de trabalho do Blender .....	35
3.3 Área de trabalho do software Daz Studio .....	36
3.4 Morphing dentro do Daz Studio proporcionado pela plataforma Genesis 8 .....	37
3.5 Tela inicial do software Mixamo .....	38
3.6 Tela de posicionamento dos marcadores do personagem .....	39
3.7 Tela de ajustes da animação .....	39
4.1 Modelo 3D do personagem a ser animado .....	41

4.2	Parâmetros de download do personagem com esqueleto .....	42
4.3	Menu de importação de arquivos fbx .....	43
4.4	Criação do quadro-chave inicial da animação .....	44
4.5	Criação do quadro-chave intermediário da animação .....	44
4.6	Tela de upload de personagem do software mixamo .....	45
4.7	Personagem animado utilizando o Mixamo e importado para o Blender .....	46
5.1	Frame 51 da animação gerada .....	49
5.2	Frame 60 da animação gerada .....	49
5.3	Frame 83 da animação gerada .....	50

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>iv</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>viii</b>
<b>Capítulo 1: Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	3
<b>Capítulo 2: Técnicas para animação de personagens humanoides</b> .....	<b>5</b>
2.1 Animação baseada em quadros-chave .....	5
2.1.1 Esqueletos .....	9
2.2 Animação baseada em princípios da Física .....	12
2.2.1 Simulação física .....	14
2.2.2 Personagem baseado em Física .....	16
2.2.3 Controlador de movimento .....	17
2.3 Captura de movimento .....	19
2.3.1 Processo de captura de movimento .....	19
2.3.2 Captura de movimento com marcadores .....	20
2.3.2.1 Sistemas acústicos .....	20
2.3.2.2 Sistemas mecânicos .....	21
2.3.2.3 Sistemas magnéticos .....	21
2.3.2.4 Sistemas ópticos .....	22
2.3.3 Captura de movimento sem marcadores .....	23
2.4 Animação e Inteligência artificial .....	24
2.4.1 Agentes virtuais .....	24
2.4.2 Rede neural .....	25
2.4.2.1 Transferência de estilo de movimento utilizando redes neurais .....	25
2.4.2.2 Controle de personagem utilizando redes neurais .....	27
2.5 Considerações sobre as diferentes técnicas de animação digital de personagens humanoides .....	28
2.5.1 Quadro comparativo de técnicas .....	31
<b>Capítulo 3: Softwares livres ou gratuitos para criação de animação</b> .....	<b>33</b>
3.1 Blender .....	33
3.2 Daz Studio .....	35
3.3 Mixamo .....	37

<b>Capítulo 4: Metodologia</b> .....	<b>40</b>
4.1 A animação selecionada .....	40
4.2 As técnicas de animação .....	40
4.3 Softwares de animação .....	41
4.4 Criando as animações com o Blender e o Mixamo .....	42
4.4.1 Animação de quadros-chave utilizando Blender .....	42
4.4.2 Animação de captura de movimento utilizando Mixamo .....	45
<b>Capítulo 5: Resultados e discussões</b> .....	<b>47</b>
5.1 Dificuldades .....	47
5.1.1 Movimento humano .....	47
5.1.2 Movimento e suas colisões .....	48
5.2 Resultados .....	48
<b>Capítulo 6: Conclusões</b> .....	<b>52</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>54</b>

# Resumo

A animação desde o princípio vem nos proporcionando prazeres com os desenhos animados e filmes de ficção. Desde 1972 computadores são usados para construir animações digitais e as técnicas empregadas tornaram-se cada vez mais complexas e fiéis à realidade. Assim, utilizando-se de técnicas adequadas pode-se projetar e criar animações digitais com maior facilidade e realismo. Este trabalho teve como foco o estudo de técnicas de animação digital empregadas na animação de personagens virtuais humanoides e, para tal, utilizou-se de pesquisas em base de dados com foco em periódicos, teses e dissertações na área de computação e animação, selecionando-se materiais que auxiliaram na compreensão do processo de animações deste tipo de personagens. Da seleção e estudo destes materiais foram identificadas as técnicas de quadros-chave, princípios da Física, captura de movimento e animação utilizando inteligência artificial, que foram avaliadas nos quesitos custo monetário, custo computacional, facilidade de implantação e fidelidade com a realidade. Considerando a avaliação realizada e o suporte às técnicas em softwares livres ou gratuitos, selecionaram-se duas delas: quadros-chaves e captura de movimentos, ambas aplicadas com esqueletos. Usando softwares livres ou gratuitos construiu-se uma animação empregando as técnicas selecionadas e, como resultado, comparou-se as animações geradas em termos de fidelidade e facilidade de criação. Em ambos os quesitos, a técnica aplicando captura de movimento mostrou-se superior à técnica que utiliza quadros-chave.

**Palavras-chave: Quadros-chave, Captura de movimentos, Inteligência artificial.**

# Capítulo 1

## Introdução

Uma animação consiste em uma sequência de imagens estáticas que, ao serem exibidas sequencialmente no tempo adequado, criam a ilusão de movimento. Cada imagem estática é chamada de frame e o tempo para exibição de um frame é de aproximadamente 1/30 segundos.

A animação 3D de personagens virtuais humanoides está presente em nosso dia a dia, seja em filmes, desenhos animados, jogos ou propagandas. Exemplos de personagens virtuais humanoides são apresentados na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Exemplos de personagens virtuais humanoides em animações, filmes e jogos.

Fonte: PIXAR (1995); YouTube (2006); SERRA (2018); Naughty Dog (2013)

O processo de animação de personagens virtuais em 3D, usando computadores, iniciou-se nas décadas de 1940 e 1950 com John Whitney. Em conjunto com seu irmão James criaram

uma série de filmes experimentais utilizando um dispositivo personalizado baseado em computadores analógicos antiaéreos, mas que não se tornou popular. Apenas em meados dos anos 1980, com a modernização dos computadores, o primeiro filme com uso extensivo da animação computacional, Tron World, foi lançado e teve grande visibilidade. O filme contava com 15 minutos totalmente gerados por computador (EMPIRE, 2019).

A partir de então, com a evolução do hardware e software, a qualidade e o realismo das animações foram significativamente incrementados. A Figura 1.2 ilustra a evolução da animação digital, confrontando uma cena de animação desenvolvida por Jhon Whitney, em 1972 (Figura 1.2-a), uma cena do filme Tron de 1982 (Figura 1.2-b), outra cena de Toy Story de 1995 (Figura 1.2-c) e a última, mais atual, de Os Incríveis 2 de 2018 (Figura 1.2-d).

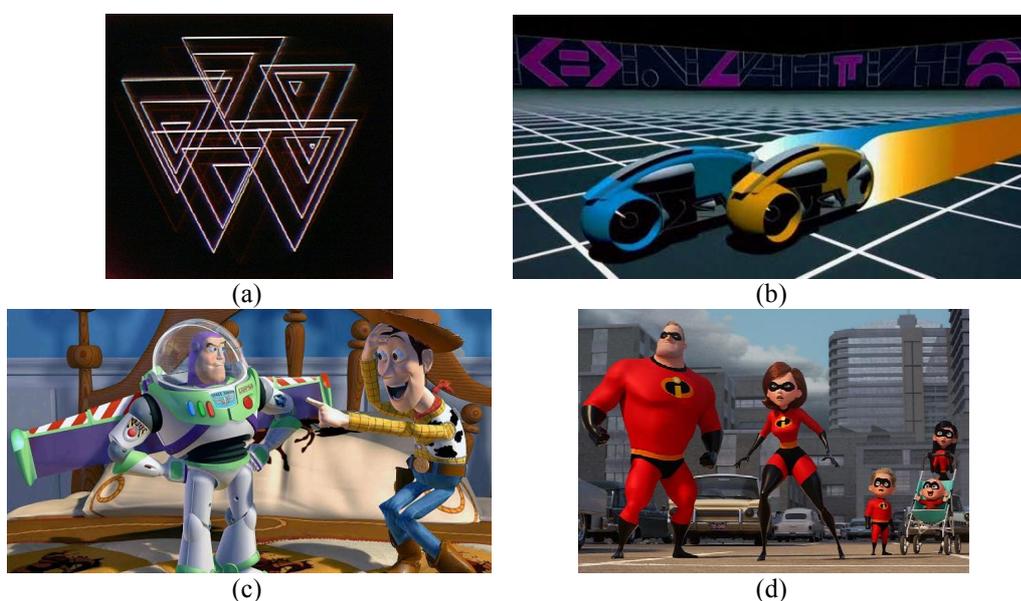


Figura 1.2 – A evolução da animação digital. (a) Matrix III – Jhon Whitney, 1972; (b) Tron: Uma Odisséia Eletrônica, 1982; (c) Toy Story, 1995; (d) Os Incríveis 2, 2018.

Fontes: (a) DINCA (2019); (b) FRANÇA (2010); (c) PIXAR (1995); (d) GOES (2019).

A evolução é notória, pois em 1972 não havia computadores capazes de produzir animações gráficas. O pioneiro Jhon Whitney implementou um visual complexo (Figura 1.2-a), por meio do incremento de um programa antiaéreo M-5 da Segunda Guerra Mundial (SIGGRAPH, 2019). Com o avanço do hardware e do software, junto com as novas técnicas de animações, foi possível retratar uma realidade que antigamente não era possível. No filme Os Incríveis 2 (Figura 1.2-d) vê-se o que pode ser realizado com as técnicas atuais de animação digital. Neste trabalho iremos abordar apenas animações de personagens humanoides.

Algumas das técnicas para animação de personagens humanoides empregadas atualmente são:

- Animações baseadas em esqueletos: esta técnica é muito utilizada e serve de base para quaisquer outras relatadas. O esqueleto, que consiste em um conjunto de ossos interconectados, é animado e, em seguida, aplicam-se os vértices de um modelo de malha ao esqueleto; os vértices da malha são vinculados aos vértices do esqueleto e, assim, a malha (textura) ajusta-se ao esqueleto suporte (ALUMNI, 2019).
- Animações baseadas em Princípios da Física: esta técnica tem o objetivo gerar animações que estão de acordo com as leis naturais da Física, tentando aproximar-se ao máximo da realidade (BABADI, 2019). Para que esta técnica funcione é necessário um ambiente totalmente interativo com o humanoide presente no mesmo.
- Animações baseadas em quadros-chave (*key-frames*): é a forma mais simples de animar um objeto ou um humanoide e está baseada na noção de que um objeto deve ter uma posição inicial e uma final e que, em determinado período de tempo, ele deve mover-se da posição inicial para a posição final. As posições intermediárias deste objeto são interpoladas criando uma noção de movimento (MARK, 2019). Nesta técnica é muito utilizado o esqueleto para representar um humanoide e a interpolação acontece nos vértices do mesmo.
- MoCap (*Motion capture*): a captura de movimento é o processo de capturar o movimento de um objeto real e mapeá-lo em um objeto computadorizado. Para realizar a captura, marcadores especiais são colocados nas juntas dos atores que atuarão na animação e em seguida um hardware faz a captura destes movimentos. Dentro do MoCap temos alguns sistemas, como o acústico, mecânico, magnético e ótico; todos eles trabalham com os marcadores para retratar uma animação (NOGUEIRA, 2011).
- Animação e Inteligência Artificial: esta técnica baseia-se na utilização de agentes virtuais e técnicas de *Inteligência artificial* (IA) para representar comportamentos e decisões que tornam a animação mais próxima da realidade (DAMIANO *et al.*, 2013).

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi compreender como as técnicas de animação digital transpõem os movimentos humanos para personagens humanoides 3D, apresentando suas características, vantagens e desvantagens.

Foram objetivos secundários deste trabalho:

- Pesquisar e compreender as diferentes técnicas de animação de personagens virtuais humanoides;
- Relatar as principais características das diferentes técnicas de animação, comparando-as e apresentando suas vantagens e desvantagens;
- Pesquisar softwares livres que permitem a construção de animações digitais;
- Utilizar-se das técnicas de animação baseada em quadros-chave e captura de movimentos, com fundamentação na pesquisa bibliográfica realizada e nas características das mesmas, aplicando-as em uma animação digital utilizando software livre.
- Comparar, na prática, duas técnicas de animação selecionadas: quadros-chave e captura de movimento, mostrando em quais situações uma se sobressai à outra. Esta escolha justifica-se pela técnica de quadros-chave ser universal, sendo suportada por diversos softwares de animação digital; já a técnica de captura de movimento foi escolhida pela diversidade e gratuidade dos movimentos capturados da base Mixamo (Mixamo, 2019).

## Capítulo 2

# Técnicas para animação de personagens humanoides

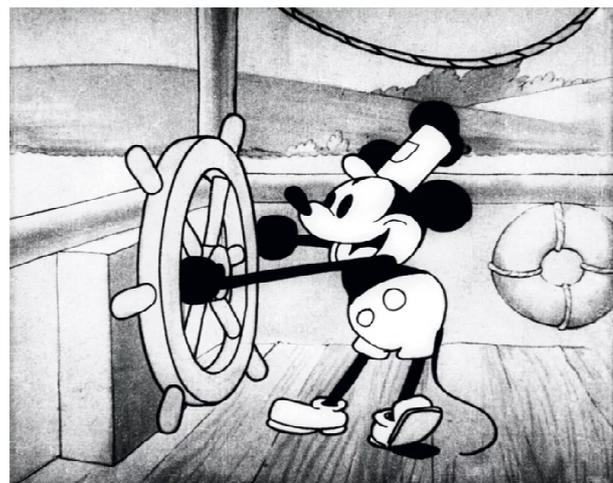
Neste capítulo apresentaremos as diversas técnicas de animação de personagens humanoides, mostrando seu funcionamento, vantagens e desvantagens. Ao final discutiremos qual a melhor técnica de acordo com diferentes cenários que se apresentam no processo de animação digital.

### 2.1 Animação baseada em quadros-chave

Os primeiros filmes e desenhos animados foram desenvolvidos com a técnica de animação baseada em quadros-chave (*key-frame*). Em cada quadro-chave é retratado certo momento da cena que, ao serem exibidos em velocidade adequada, nos dão a percepção de movimento.



(a)



(b)

Figura 2.1 – Histórico do desenvolvimento da animação baseada em quadros-chave.

(a) Fenacístoscópio; (b) SteamBoat Willie – Disney

Fonte: BECastanheiraDePera (2019) e Fortune (2019)

O fenacístoscópio (Figura 2.1-a) é um exemplo deste processo. Com a rotação desta ferramenta podemos perceber o movimento da imagem que está impressa. Esta percepção de movimento obtida a partir de quadros estáticos tornou o cinema um dos lazeres mais popular entre as pessoas.

Os primeiros desenhos animados tinham todos seus quadros fotografados, na razão de 24 fotos/segundo. Ou seja, toda foto era considerada um quadro-chave. Na Figura 2.1-b pode-se observar um quadro-chave do desenho animado Steamboat Willie que, em 1928, foi considerado um sucesso mundial e popularizou o personagem Mickey Mouse de Walt Disney.

A animação digital baseada em quadros-chave trabalha de maneira semelhante, armazenando as propriedades dos objetos a serem animados em diferentes intervalos de tempo. A animação sempre se inicia no primeiro quadro-chave e, quando algum dos objetos animados muda sua trajetória, torna-se necessária a definição de outro quadro-chave. Assim, uma sequência de quadros-chave espaçados no tempo constitui a roteiro principal da animação. Para se criar a percepção do movimento quadros intermediários são interpolados entre os quadros-chave (BLENDER, 2019).

A Figura 2.2 apresenta dois quadros-chave de uma animação. No quadro-chave 1 vemos o objeto formado por um segmento de reta que, no quadro-chave 2, curva-se sobre um ponto intermediário, passando a ser constituída por dois segmentos de reta.



Figura 2.2 – Quadros chaves de uma animação mostrando o mesmo objeto em tempos distintos  
Fonte: Adaptado de HEARN e BAKER (1997)

Os quadros intermediários, interpolados automaticamente por software, consideram a quantidade e o tipo de movimento realizado pelos vértices dos objetos entre os quadros-chave, bem como o tempo entre eles. Os diferentes métodos de interpolação aplicados neste processo de animação são a linear, a suave e a constante (DEMOPAJA, 2019). Na Figura 2.3 podemos observar um quadro intermediário, interpolado linearmente entre os dois quadros-chave.

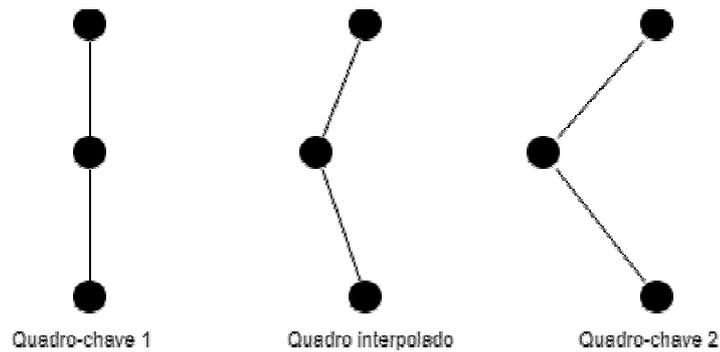


Figura 2.3 – Interpolação dos quadros intermediários  
 Fonte: Adaptado de HEARN e BAKER (1997)

Considerando que nos quadros-chave estão registrados os momentos em que os objetos mudam de trajetória, a interpolação linear cria um movimento uniforme (Figura 2.3) para os objetos entre dois destes quadros e, por isso, na transição para o próximo quadro-chave a trajetória muda bruscamente deixando a animação mecânica e não realista.

As Figuras 2.4 a 2.8 representam uma abstração do movimento que os objetos realizam no espaço ao longo do tempo, em uma cena animada.

A interpolação suave reduz as transições bruscas entre os quadros-chave (pontos assinalados nas curvas) conforme pode ser visto na Figura 2.4. Ela usa informações dos quadros-chave anterior, atual e posterior e, desta forma, os quadros-chave vizinhos alteram sua curva de trajetória, seu movimento resultante, entre os mesmos. Outra vantagem desta técnica é que podemos alterar alguns parâmetros para que a mesma possa se encaixar em certos tipos de animações. Existem três valores que alteram a interpolação suave: tensão, continuidade e viés.



Figura 2.4 – Interpolação Suave  
 Fonte: Moppi (2019)

O valor de tensão controla a nitidez da curva, mais ampla com valores menores e mais apertada com valores maiores; a tensão também altera diretamente a curvatura da linha podendo também alterar sua velocidade. Na Figura 2.5-b observamos que o aumento no valor

da tensão acentua a trajetória da curva, ou seja, faz com que o movimento se torne mais rápido nesta transição entre quadros-chave, quando comparado à situação da Figura 2.5-a.

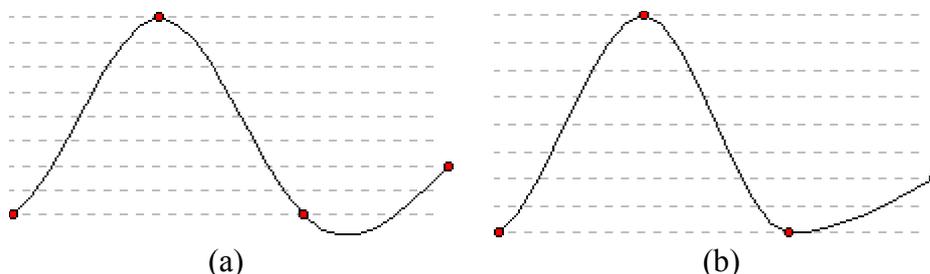


Figura 2.5 – Tensão na interpolação suave. (a) Tensão = baixa; (b) Tensão = alta.  
Fonte: Moppi (2019)

O valor de continuidade controla a suavidade com que a curva passa pelos quadros-chave. Um valor padrão é adotado como peso médio; com um valor maior ou menor que este valor médio teremos um canto no quadro-chave, a direção deste canto dependerá do valor associado a esta continuidade (Figura 2.6).

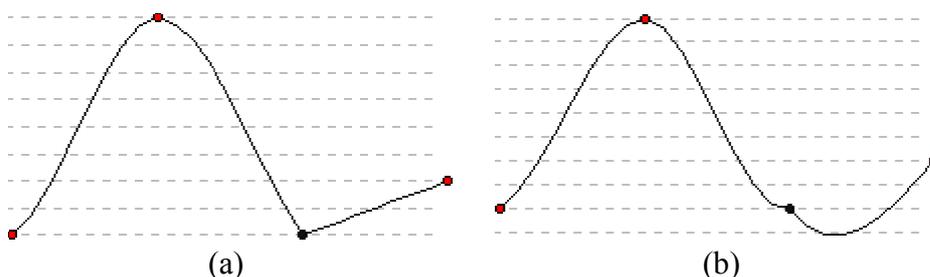


Figura 2.6 – Continuidade na interpolação suave. (a) continuidade = baixa; (b) continuidade = alta  
Fonte: Moppi (2019)

O viés controla a curva de trajetória depois de um quadro-chave; como na continuidade, um valor padrão médio é adotado. Um valor menor dará maior peso para o lado esquerdo do quadro-chave, já um valor maior dará um peso maior para o lado direito do quadro-chave (Figura 2.7).

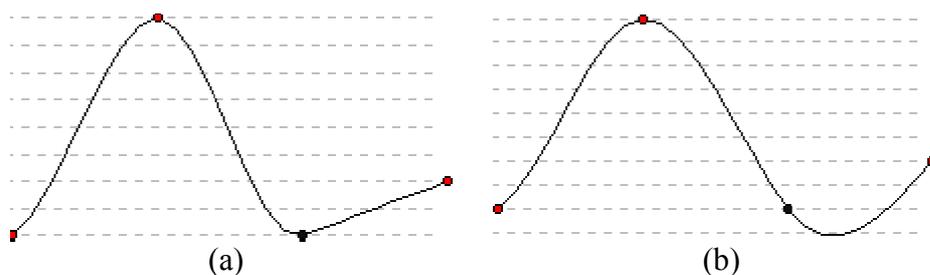


Figura 2.7 – Viés na interpolação suave. (a) Viés = baixo; (b) Viés = alto.  
Fonte: Moppi (2019)

A interpolação constante mantém o estado de um quadro-chave anterior até que o próximo seja detectado, ou seja, os objetos não sofrem alteração em suas posições relativas ou formas. Este método produz, em termos de movimento e mudança na trajetória, uma linha horizontal entre quadros-chave (Figura 2.8) e pode ser usado para alterar imediatamente a posição espacial dos objetos na cena quando estes não sofrem mudança de pose, como em uma translação, ou quando se faz a movimentação da câmera.

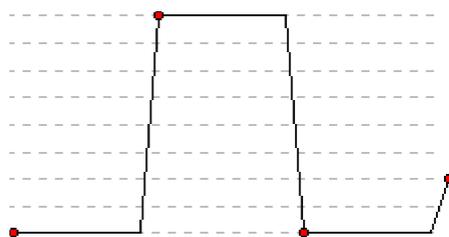


Figura 2.8 – A trajetória do movimento na interpolação constante.  
Fonte: Moppi (2019)

### 2.1.1 Esqueletos

A animação de personagens virtuais usando a técnica baseada em quadros chaves é facilitada quando usamos um esqueleto para representá-los, seja o personagem humanoide, animal ou objeto articulado. A utilização de esqueletos não está limitada apenas a quadros-chaves e podem ser aplicados nas demais técnicas que serão descritas a seguir.

Este esqueleto constitui-se em um objeto que armazena dados referentes às suas articulações, seus ossos e suas características. Com todos estes dados a animação pode ser realizada efetuando transformações diretamente sobre estas características.

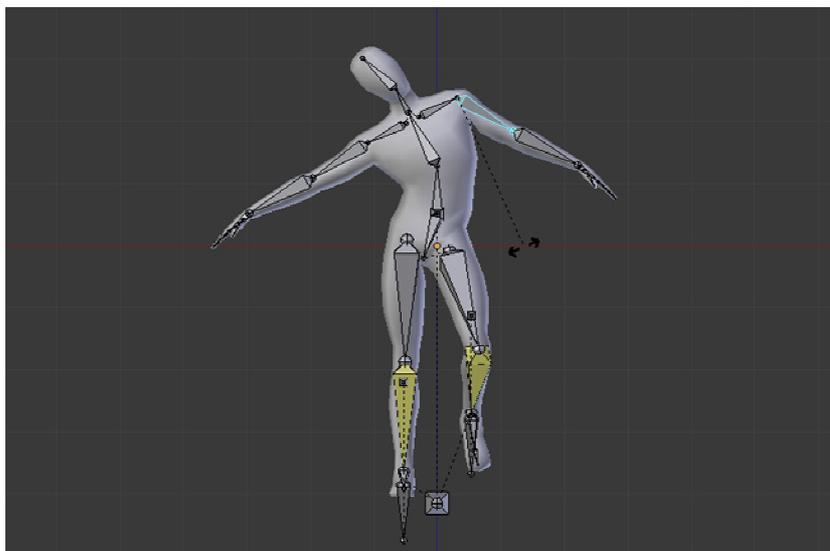


Figura 2.9 – Exemplo de um esqueleto humanoide.  
Fonte: FRANCO *et al.* (2019)

A animação esquelética foi desenvolvida para simplificar o processo de animação utilizando objetos humanoides, por exemplo, e fornecer um maior realismo devido a melhor aparência e movimento (EIKE, 2019).

Esta técnica faz uso de uma estrutura hierárquica, isto é, de vértices conectados que definem os ossos do objeto. O osso, definido pelo relacionamento pai-filho entre dois vértices, pode ser representado como um elemento cônico que possui um ponto de articulação no topo (vértice pai) e liga-se ao ponto de articulação (vértice filho) no topo do próximo osso, como exemplificado na Figura 2.10.

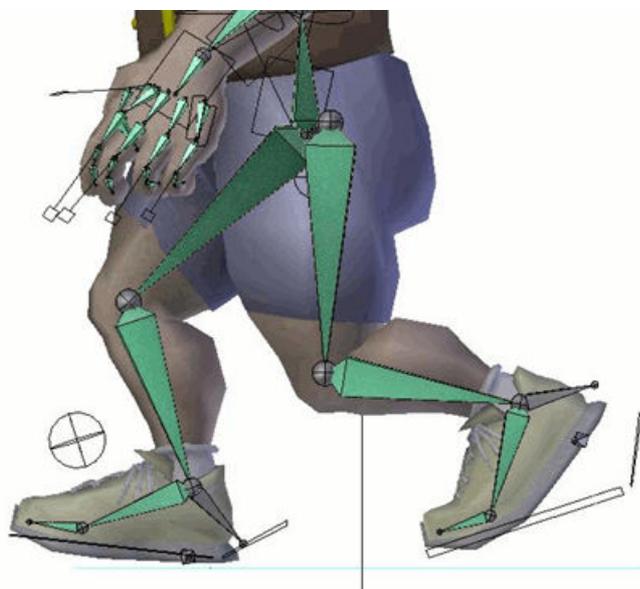


Figura 2.10 – Representação dos ossos em um esqueleto digital.  
Fonte: ANNARUMMA (2019).

A técnica divide-se em 3 principais partes: a estrutura, o funcionamento e a malha. A estrutura determina como os dados de cada osso, características e o objeto em si serão armazenados. Ela está baseada nos ossos que constituem o esqueleto; para cada osso é armazenado um ponteiro para o osso pai, ao qual está conectado, e sua posição em relação ao mesmo. Outras informações que influenciam o objeto também podem ser armazenadas.

O funcionamento determina as transformações que este objeto sofrerá e depende diretamente da estrutura do objeto. Sobre o esqueleto atuam transformações geométricas como rotações e translações de seus ossos, de modo que quando um osso pai sofre uma transformação, seu osso filho também é afetado. Portanto, a relação entre pai-filho representa uma estrutura hierárquica, a qual facilita o entendimento e utilização desta técnica.

A malha atua principalmente na parte visual do objeto, trabalhando principalmente como a pele ou casca do objeto. As informações sobre a malha são armazenadas separadamente das características dos ossos (estrutura), mas os dois ainda contém ligações, uma vez que a malha trabalha em conjunto com a informação da estrutura. Existem dois tipos de malha ou pele que podem ser vinculados ao objeto: malha rígida e malha suave.

- Malha rígida: Neste tipo de malha, cada vértice da mesma está associada a um único osso (EIKE, 2019). Cada transformação geométrica aplicada ao osso é também aplicada à malha, criando uma malha sem emendas nas articulações e dobras não realistas (Figura 2.11). Esta técnica deve ser utilizada apenas em objetos com baixo número de polígonos, ou seja, naqueles que não possuem muitos detalhes em sua malha.

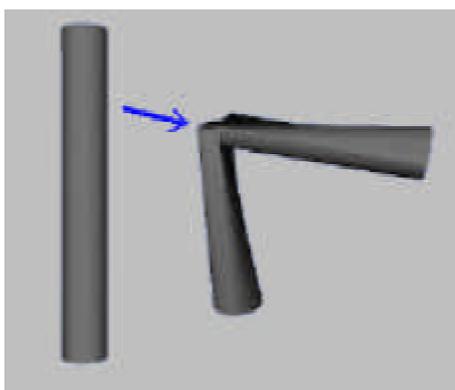


Figura 2.11 – Representação de dobra em uma malha rígida.  
Fonte: EIKE (2019)

- Malha Suave: Esta técnica utiliza a malha rígida como base, visando amenizar os problemas com as dobras não-realistas. A deformação na malha não é influenciada apenas pelo movimento de um osso, mas sim de vários ossos; em outras palavras, ela simula a maneira com que o movimento de cada osso afeta a pele de um ser vivo. Cada vértice da malha possui informação sobre quais e quanto (pesos) os ossos do esqueleto afetam sua deformação. A posição resultante do vértice da malha será dada pela soma do próprio vértice juntamente com todas as transformações aplicadas a cada osso que influencia a malha, multiplicado pelos seus respectivos pesos em relação a malha (EIKE, 2019). Este método aumenta a realidade de acordo com a quantidade de ossos que influenciam um vértice de malha, quanto mais ossos influenciando um vértice maior é a realidade, mas em contrapartida, maior é o número de cálculos

necessários. Este método funciona bem para objetos com maior grau de realismo, que se utilizam de um número maior de pontos na malha.

A técnica de animação baseada em quadros chaves é simples, mas trabalhosa, pois o controle sobre cada quadro-chave é de responsabilidade do animador. Por isso associar esqueletos à técnica de quadros-chave tornou-se interessante, pois os objetos sempre estarão armazenados com suas respectivas informações e, aplicando transformações geométricas sobre os mesmos, facilmente definimos a posição dos objetos nos novos quadros-chave.

A junção destas técnicas é bastante utilizada no mercado, mas ainda há problemas. Supondo que necessitamos de uma animação fluida, e em tempo real, a animação utilizando quadros chaves com esqueletos não irá nos satisfazer, uma vez que as interações entre os objetos ainda serão de responsabilidade do animador e, por vezes, apresentarão aspecto não realista. Para contornar este e outros problemas podemos incluir os princípios da Física nos mecanismos de animação, conforme apresentado na próxima seção deste trabalho.

## **2.2 Animação baseada em princípios da Física**

A animação baseada em princípios da Física tem como principal objetivo a simulação precisa e realista dos movimentos. Desse modo, surgiu como uma área emergente da computação gráfica, encontrando ampla aplicação nas indústrias de filmes, games e até mesmo na medicina, com a simulação de cirurgias virtuais e treinamentos (BARGTEIL e SHINAR, 2019). Como o próprio nome diz, esta técnica baseia-se em princípios da Física, o que demanda grande quantidade de cálculos para melhor retratar a simulação, tornando-a custosa para os computadores.

A utilização desta técnica leva em conta vários fatores, o que torna o ambiente de animação muito variado e realista. Um exemplo é o ambiente criado por GEIJTENBEEK (2013), que utiliza da animação baseada em princípios da Física e IA para simular como andam personagens bípedes (Figura 2.12).

Esta técnica é muito ampla, o que possibilita a utilização em várias áreas como na simulação de fluidos, partículas, corpos rígidos e corpos macios (elásticos), como ilustrado na (Figura 2.13). Todas estas simulações adotam a animação com base em princípios Físicos, utilizando das leis da Física para retratar no meio virtual o meio real, mas aqui, iremos tratar apenas do que é essencial para a animação de personagens humanoides.

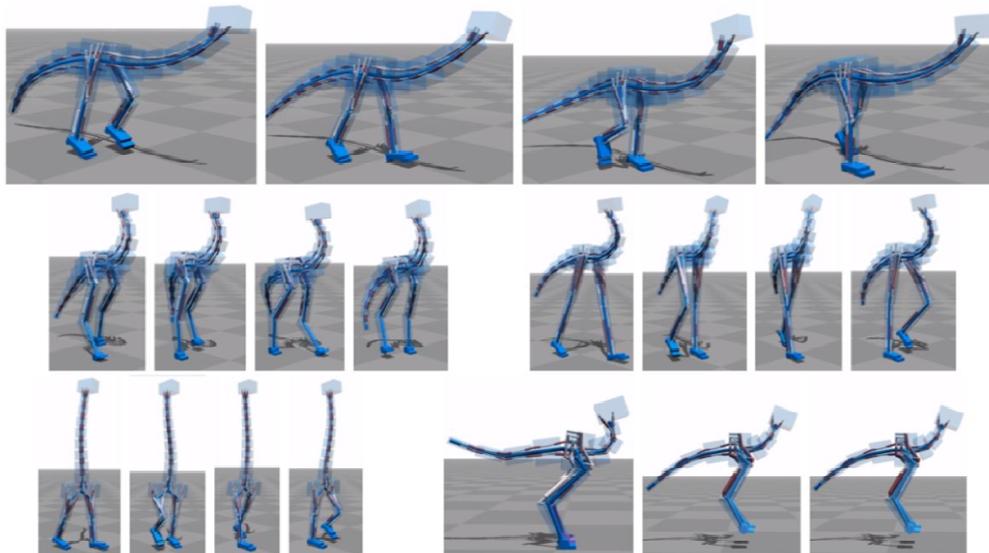


Figura 2.12 – Exemplo de animação de personagens baseada em princípios Físicos.  
 Fonte: GEIJTENBEEK (2019)

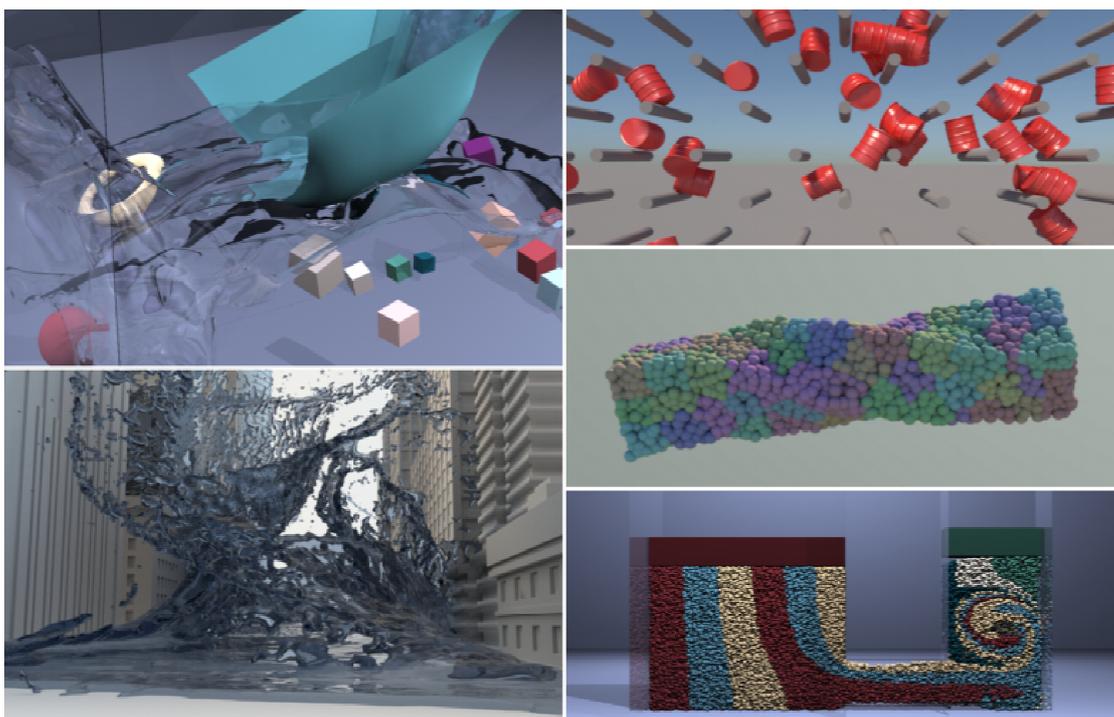


Figura 2.13 – Exemplo de simulações de partículas, fluidos e corpos macios.  
 Fonte: BARGTEIL (2019)

A responsividade é um aspecto importante da animação computadorizada. Muitos aplicativos envolvem recursos ambientais virtuais densos, onde personagens e objetos interagem continuamente entre si e com o ambiente. Tal interação é importante para a percepção de realismo desses ambientes virtuais. No entanto, criar uma animação responsiva realista é um desafio, porque o intervalo de interações possíveis é enorme e variações sutis

nas condições de interação inicial podem exigir respostas substancialmente diferentes (GEIJTENBEEK *et al.*, 2011).

Uma animação de personagem interativa usando Física simulada consiste em três componentes fundamentais: simulação física, personagens baseados na Física e controlador de movimento (GEIJTENBEEK *et al.*, 2011). Estes três componentes serão explicados nas seções seguintes.

### **2.2.1 Simulação física**

A simulação física é o componente principal de um sistema de animação baseado em princípios da Física. Ela é responsável por gerar a animação através da aplicação das leis da Física nos componentes do ambiente virtual a ser animado.

Um simulador de Física atualiza iterativamente o estado de um ambiente virtual tendo como base seu estado atual, forças externas e torques. A animação final se dá pela execução completa de todas estas interações físicas. Tendo em vista que, quanto mais cálculos maior a realidade, também maior é o custo computacional; assim, há um balanceamento entre realidade e desempenho. Na animação de personagens, o foco é nas estruturas, assim o tipo considerado mais adequado para este propósito é referido como simulação de corpo rígido, o que significa que os corpos não são penetráveis, não são elásticos e têm seus movimentos limitados, considerando que partes do corpo do personagem (objetos) são ligadas entre si. A simulação física deste tipo é responsável por 3 operações:

- Detecção de colisão: Tradicionalmente, a detecção da colisão é implementada através de um ciclo. O loop começa com uma consulta de detecção a fim de encontrar pontos de contato entre os corpos. Após encontrados os pontos de colisão entre os corpos, sobre estes serão aplicadas forças ou torques, visando determinar seus novos estados (BENDER *et al.*, 2011). Há diversos modos de tratar a colisão, mas o foco nesta seção é tratar apenas quando uma colisão já foi detectada, tendo em vista que isto suprirá nossas necessidades. Há duas formas de reagir à colisões: aplicando uma força de penalidade ou utilizando uma restrição de colisão. Uma força de penalidade consiste em dois componentes, um que está na direção normal de uma superfície de colisão, a qual empurra os objetos que colidem com a mesma, evitando que um objeto penetre no outro, outro componente é uma força perpendicular à superfície de colisão que é o resultado do atrito entre os objetos, conforme ilustrado na Figura 2.14. Quando os

objetos não estão deslizando, ou seja, quando a força de atrito ainda não foi superada, a magnitude da força do atrito é limitada pela força normal e as propriedades do material do objeto em colisão. Neste caso, comumente, utilizamos um modelo de atrito. Uma restrição de colisão utiliza-se de uma ligação simbólica no ponto de colisão entre os dois objetos, restringindo o movimento dos mesmos. Quando estes objetos são afastados ou quando é transformada em uma força de penalidade, esta ligação é removida (GEIJTENBEEK *et al.*, 2011).

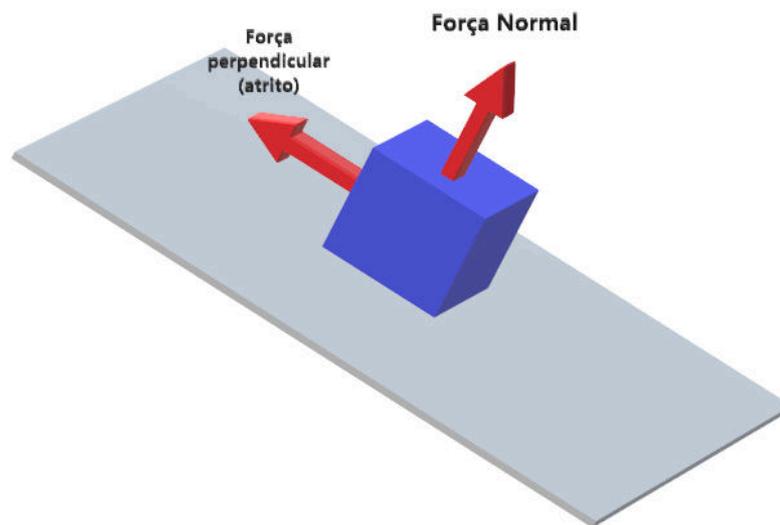


Figura 2.14 – Ilustração da ação de forças sobre objeto.

- **Dinâmica de Movimento:** O objetivo da dinâmica de movimento é calcular acelerações lineares e angulares dos objetos na cena, com base em forças e restrições. Durante a simulação, o estado do corpo rígido é descrito pela posição, orientação e pelas velocidades angular e linear; a mudança nestas velocidades depende da massa do objeto, da posição do centro da massa e de como a massa é distribuída sobre o objeto. Quando não há força ou torque agindo sobre o objeto seu momento linear e angular permanecem constantes e, como o momento e a velocidade estão diretamente relacionados, uma mudança no momento linear é igual a aplicar uma força. Já a mudança no momento angular é igual a aplicar um torque no objeto. Todas estas forças e torques podem ser o resultado de um contato externo, ação da gravidade ou restrições entre objetos (GEIJTENBEEK *et al.*, 2011). Estas restrições internas de um personagem são representadas como juntas, com características próprias que serão descritas na próxima sessão. Na simulação estas articulações (juntas) restringem os movimentos dos corpos através da aplicação de forças de restrições.

- Integração numérica: A integração numérica atua quando todas as acelerações e forças são conhecidas, o objetivo é aplicar todos estes valores para que objetos em cena possam adquirir velocidade e ter suas posições atualizadas.

### 2.2.2 Personagem baseado em Física

O personagem baseado na Física contém uma lista de propriedades físicas e, assim, pode sofrer a influência do ambiente ponderada pelas suas propriedades. Diferente dos personagens cinemáticos, aqueles utilizando quadros-chave e esqueletos, os personagens baseados em Física devem ter características e modelagem específicas, como massa e inércia.

A modelagem é hierárquica, utilizando-se de corpos rígidos. Cada corpo rígido é interligado em outro corpo rígido através de uma junta, por exemplo (Figura 2.15), a perna de um personagem possui três objetos com duas juntas: um objeto pé ligado com uma junta em um objeto canela que este está ligado, também com uma junta, em um objeto fêmur; este objeto fêmur estará também ligado em um corpo e assim por diante. Cada esfera vermelha representa uma junta que interliga os objetos adjacentes.

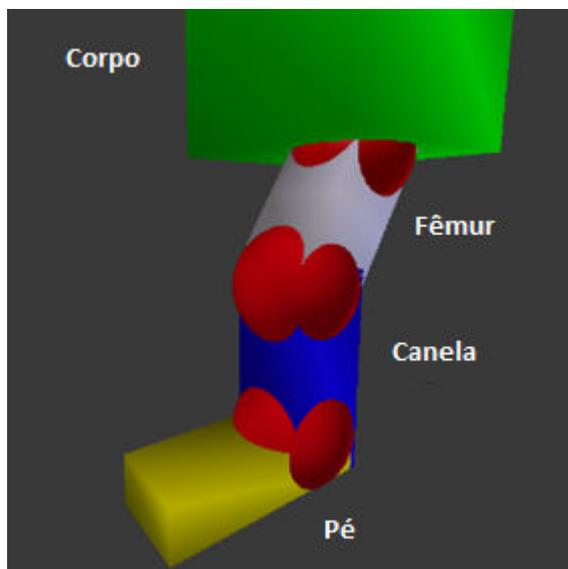


Figura 2.15 – Ilustração da utilização de juntas entre objetos

Cada corpo rígido deve ter uma massa, um centro de massa e uma inércia. Cada junta também tem suas características próprias, como: quais serão os eixos de rotação, qual o ângulo limitado de rotação é permitido, e podendo até ter limites de forças, os quais rompidos podem quebrar a junta. Todas estas características são necessárias para que a simulação consiga realizar todos os cálculos e gerenciar toda a cena.

### 2.2.3 Controlador de movimento

Técnicas baseadas na Física simulam o mundo real onde o movimento de um objeto é determinado como resultado de forças aplicadas. Neste caso, animar um personagem simulado requer o cálculo dos torques musculares que o personagem deve exercer em suas articulações para realizar uma tarefa motora desejada. Esta tarefa será realizada pelo controlador de movimento (FALOUTSOS, 2002).

Um controlador de movimento dos mais comuns é o controlador baseado em servo. Este modelo propõe a utilização de um servo motor em cada junta controlando todos os graus de liberdade da mesma. A principal vantagem deste modelo é o controle direto e intuitivo de cada junta e, como este controle é mais simples, ele causa um comportamento não natural, diminuindo a realidade da cena. Neste modelo a força é calculada dependendo do eixo de rotação livre de cada junta e, normalmente, valores máximos devem ser estabelecidos para que haja maior controle.

Outro modelo, mais complexo, é a utilização de controles baseado em músculos. Como na biologia, os músculos estão ligados aos ossos através dos tendões. Quando os músculos são ativados, os mesmos contraem, aplicando certo torque na articulação em que ele atua. Deste modo, este método trabalha semelhante a biologia, tendo músculos atuantes em cada junta, aplicando torque nas mesmas. A quantidade de torque que um músculo pode exercer dependerá de seu tamanho, sua posição, sua velocidade e sua força máxima; músculos menores e mais rápidos tendem a ser mais fracos. A quantidade de músculos presente em uma articulação é maior que o número de eixos de rotação livres e como estes músculos apenas se contraem, necessariamente uma articulação deve ter, pelo menos, dois músculos, considerando apenas um eixo de rotação livre. Devido ao maior controle das juntas, este modelo nos traz mais realismo às animações, contudo apresenta maior custo computacional, devido ao controle de diversos músculos.

Estas técnicas nos trazem certa realidade, mas controlá-las é uma tarefa complexa; o controle vindo apenas dos ângulos livres de rotação de um personagem é praticamente impossível. Para contornar tal cenário, algumas forças externas podem facilitar o controle deste personagem. Elas são aplicadas em algum corpo rígido ou juntas e não são propriedades do personagem, mas operam nele a fim de trazer um maior controle (GEIJTENBEEK *et al.*, 2011). É certo dizer que estas forças ajudam no controle, mas um preço é pago, tendo perda no realismo das animações. Para que exista um controle intuitivo, estes controles internos são

abstraídos usando o controlador externo deste movimento. O feedback é muito importante para o motor realizar este controle, o mesmo necessita de várias informações sobre o ambiente, como pontos de contato, inclinação do terreno, obstáculos, etc. Para isso, utilizam-se sensores.

Os sensores capturam os dados do ambiente que são enviados para o controlador, junto com os parâmetros passados em alto nível. Tais parâmetros são velocidade, rumo, destino e estilo de movimento. Com estes dados e parâmetros o controlador executa o simulador físico criando toda a animação. Dados vindos dos sensores são:

- **Estado da junta:** A maioria dos controladores de movimento necessita de dados da junta, como velocidade e orientação;
- **Orientação global:** A orientação do personagem se dá pela direção do rumo e inclinação atual do personagem;
- **Informação de contato:** Se dá pela informação do equilíbrio do personagem, pode vir de um polígono na base do personagem ou um estado booleano;
- **Centro de massa:** Posição do centro da massa, importante para o controle do equilíbrio;
- **Centro de pressão:** O centro de pressão é a origem da força combinada entre o solo e o personagem;
- **Momento angular:** Momento angular que o personagem possui naquele instante. Várias técnicas tendem a diminuir o momento angular, propiciando um maior equilíbrio;
- **Ponto de momento zero:** É definido pelo ponto onde uma força de reação vinda do solo resultaria em um momento líquido zero. Um personagem é estaticamente balanceado quando seu ponto de momento zero coincidir com o centro de pressão;
- **Posição alvo:** Posição relativa de um destino interativo.

Todas estas informações tratadas pelo controlador nos dão maior controle da cena, tornando toda a animação mais realista e interativa (FALOUTSOS, 2002).

O Controlador de movimento é uma grande área de estudos, onde diversas técnicas e métodos são aplicados tornando o ambiente de simulação muito mais realista e interativo. Esta área tem ligações com a biomecânica, robótica e inteligência artificial.

Contudo, podemos notar que a animação baseada em princípios da Física dispõe de uma iteração diferente das outras técnicas e um realismo aceitável, mas possui um custo computacional superior, podendo até não ser possível a implementação em certos cenários. A aplicação em games é a mais presente hodiernamente, visto que a iteração é o principal fator requerido neste tipo de aplicação. Entretanto, a animação realista de personagens humanoides com esta técnica ainda não é possível, pois com a mesma ainda teremos imperfeições nos movimentos. Assim, outra técnica vem sendo amplamente utilizada no processo de animação digital de personagens humanoides, a técnica de animação baseada em captura de movimentos, que será apresentada em maiores detalhes na próxima sessão.

## **2.3 Captura de movimento**

A captura de movimento foi criada com a finalidade de aperfeiçoar ainda mais o processo de animação, superando todas as outras técnicas no quesito realismo. A captura de movimento é o meio pelo qual registramos os movimentos dos objetos ou atores no mundo real e depois atribuímos estes dados, capturados em um modelo tridimensional do mundo, a um ambiente virtual (NOGUEIRA, 2011).

### **2.3.1 Processo de captura de movimento**

O processo de captura de movimento se divide em quatro principais passos, segundo SHARMA *et al.* (2013). São eles:

- Primeiramente um movimento padronizado, chamado de ginástica, é efetuado e registrado para fazer a sincronização entre o esqueleto computacional e o ator humano;
- Após a sincronização o ator realiza uma série de movimentos seguindo um roteiro determinado pelo diretor. Caberá ao diretor avaliar se a performance realizada pelo ator é adequada ou não.
- A fase de pós-processamento acontece após o ator realizar todos os movimentos requeridos; nesta fase todo o movimento humano capturado é processado e transmitido para um esqueleto computacional.
- O último estágio é a conversão da informação do movimento realizado pelo ator para o personagem virtual, mantendo toda as características do movimento real.

O processo de captura de movimentos pode ser realizado de dois modos distintos: com ou sem a utilização de marcadores. Dentro destes modos há diferentes tecnologias que serão apresentadas na sequência.

### **2.3.2 Captura de movimento com marcadores**

Nestes sistemas utilizam-se mecanismos fixados, principalmente nas articulações do ator, que emitem informação de posição e rotação para algum receptor. Este receptor fará a leitura e enviará a informação para um computador que, posteriormente, irá transformá-la em animação. Há quatro diferentes tipos de sistemas que usam marcadores: acústicos, mecânicos, magnéticos e ópticos.

#### **2.3.2.1 Sistemas acústicos**

Nestes sistemas um conjunto de transmissores sonoros é fixado nas principais articulações do ator, enquanto ao menos três receptores são inseridos no ambiente de captura. Os transmissores emitem conjuntos característicos de frequências, as quais são captadas pelos receptores e utilizadas para o cálculo das posições dos emissores no espaço tridimensional.

O cálculo feito pelos receptores para determinar as posições dos emissores considera a diferença de tempo entre a emissão do ruído pelo emissor e a captura do ruído pelo receptor. Conhecendo a posição de três sensores receptores posicionados no ambiente, e sabendo a velocidade de deslocamento do som, pode-se calcular a posição do emissor no ambiente através da triangulação das distâncias entre ele e cada um dos receptores, obtendo-se então a posição tridimensional do emissor. Estes sistemas apresentam problemas como a grande quantidade de cabos conectados ao ator, o que restringe e dificulta alguns movimentos; a quantidade de emissores limitada, o que prejudica a animação; a dificuldade em obter os dados em determinado instante, pois os emissores emitem disparos sequenciais criando uma descrição não fluida dos dados.

Estes sistemas não sofrem interferência com objetos metálicos, diferente dos sistemas magnéticos e ópticos, mas, em contrapartida, são suscetíveis a reflexos sonoros e ruídos externos, que em muitas vezes são incontroláveis tornando-os muito difíceis de serem utilizados (NOGUEIRA, 2011).

### 2.3.2.2 Sistemas mecânicos

Nestes sistemas os atores utilizam de um traje (Figura 2.16) com diversos potenciômetros e sliders em suas articulações (NOGUEIRA, 2011). Nestes trajes as informações de voltagem analógica dos potenciômetros são convertidas em valores digitais e, depois, lidos por um software computacional que os aplica a um esqueleto tridimensional. Alguns trajes também utilizam de giroscópios para aumentar ainda mais os dados obtidos e a realidade da animação (META-MOTION, 2019). Como este método não sofre interferências externas e a interface é semelhante a *stop-motion* (tecnologia utilizada na indústria cinematográfica a qual captura a animação utilizando fotografias da cena e montando frame a frame), semelhante a animação baseada em quadros-chave, seu uso torna-se bastante fácil e produtivo (NOGUEIRA, 2011).



Figura 2.16 - Exemplo de um traje de captura de movimento mecânico.  
Fonte: META-MOTION (2019)

### 2.3.2.3 Sistemas magnéticos

Os sistemas de captura de movimento magnético utilizam sensores colocados no corpo, principalmente nas articulações, para medir o campo magnético de baixa frequência gerado por uma fonte transmissora. Os sensores e transmissores são cabeados para uma fonte de controle que relaciona estes elementos e envia estas informações para um computador, o qual, através de um software, converte estas informações em posições e rotações em um ambiente tridimensional (META-MOTION, 2019). A principal desvantagem deste sistema é a necessidade de diversos cabos, os quais dificultam a atuação do ator. Em contrapartida, este sistema é de baixo custo, quando comparado aos outros sistemas de captura de movimento, sendo viável para pequenas empresas de animação (NOGUEIRA, 2011). Sistemas que não

utilizam cabos facilitam a utilização pelo autor, provendo-lhe maior liberdade; os sistemas ópticos, descritos na próxima seção, não utilizam cabos e tornaram-se o sistema mais utilizado pela indústria.

### 2.3.2.4 Sistemas ópticos

Neste sistema o ator utiliza um traje especialmente projetado, com marcadores especiais em suas articulações, que desempenham papéis similares aos transmissores empregados em outros sistemas de captura de movimentos. Os receptores serão câmeras de alta qualidade, estrategicamente posicionadas no ambiente de captura para rastrear os marcadores durante a ação do ator (Figura 2.17).

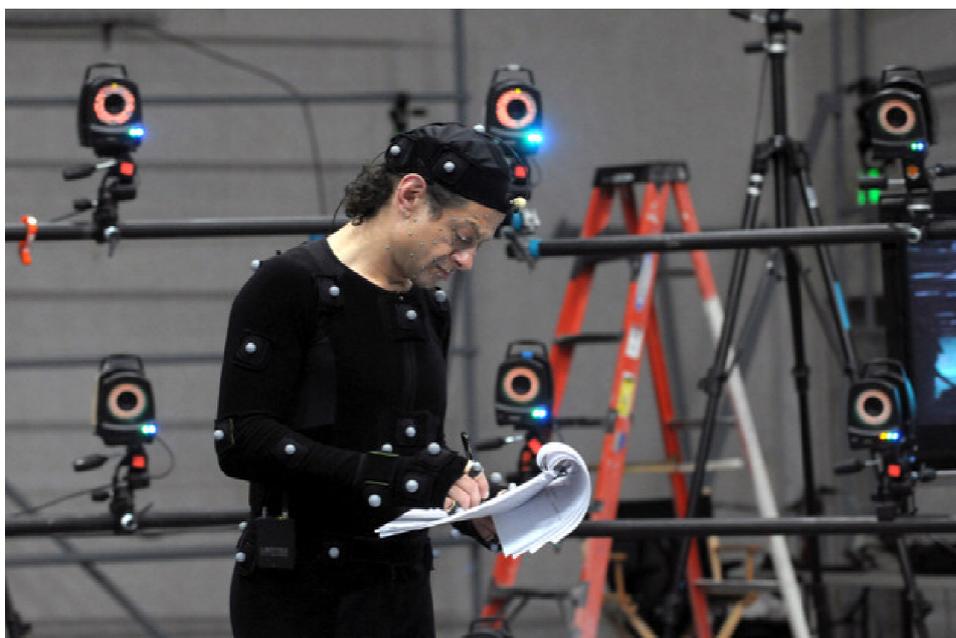


Figura 2.17 - Refletores e câmeras empregadas em um sistema óptico de captura de movimentos.

Fonte: CGICOFFEE (2017)

Cada câmera gera coordenadas 2D de cada refletor, obtidas por meio de algoritmos de segmentação de imagens. Então um software é utilizado para analisar os dados capturados por todas as câmeras em conjunto formando os dados tridimensionais dos marcadores. Este sistema possui dois tipos de marcadores: marcadores ativos e marcadores passivos. Os marcadores ativos utilizam LED emissores de luz em vez de refletir as luzes das câmeras de captura. Já os marcadores passivos, ao contrário dos ativos, são compostos por um material que reflete a luz emitida pelas câmeras de captura, para isso é necessário calibrar as câmeras para que capturem apenas os marcadores, ignorando outros materiais.

A principal vantagem deste sistema é a quantidade de frames capturados, que depende da qualidade das câmeras. Com uma quantidade alta de frames é possível realizar a captura de movimentos rápidos, como ginástica, artes marciais e acrobacias. Outra vantagem é a liberdade provida ao ator, uma vez que não é necessário a utilização de cabos e nem ter uma área limitada de atuação.

Um dos problemas que afeta estes sistemas é a oclusão de alguns marcadores, ocasionando perdas momentâneas nos dados, o que é irrecuperável. Para minimizar este problema pode-se utilizar um número maior de câmeras e/ou marcadores, o que causa um maior custo computacional e financeiro.

Outro problema com marcadores é o *track confusion*, onde o sistema confunde alguns deles, criando falhas na animação. Para minimizar este problema é possível a utilização de câmeras de maior resolução. Outro problema é o atraso entre a captura e a aplicação do movimento no personagem, pois o sistema consome algum tempo para realizar os cálculos de criação da animação, causando um atraso entre os movimentos do ator e a animação.

O principal empecilho deste sistema é o custo alto de produção, tendo em vista que a tecnologia é moderna e são necessários equipamentos, como câmeras especiais de alta resolução, o que torna este sistema inviável para pequenas produtoras. Para produtoras de grande porte este sistema é o mais utilizado, tendo em vista que a alta taxa de frames capturados supera as limitações deste tipo de captura de imagens (NOGUEIRA, 2011). Contudo o hardware acaba custando mais caro do que os demais equipamentos de captura de movimento (ARAUJO, 2015).

### **2.3.3 Captura de movimento sem marcadores**

A captura de movimento que não utiliza marcadores vem crescendo com os estudos na área. Estes sistemas além de proporcionar uma grande liberdade ao ator, devido ao fato de não possuir marcadores fixados ao mesmo, a captura do movimento é feita toda através de software e câmeras. As imagens capturadas são, posteriormente, processadas por algoritmos de visão computacional visando identificar formas humanas, que são decompostas em partes para realizar a animação. Assim, os custos com equipamentos complexos diminuem, facilitando o acesso a estes sistemas (NOGUEIRA, 2011).

## 2.4 Animação e Inteligência artificial

O desenvolvimento e uso de algoritmos de *inteligência artificial* (IA) nos proporcionou maior realidade e interação com a animação. Estas inteligências treinadas, utilizando movimentos reais de humanos obtidos através de equipamentos de captura de movimentos, trazem resultados promissores (DAMIANO *et al.*, 2013). Na sequência discutiremos alguns algoritmos de inteligência artificial aplicadas na animação de personagens.

### 2.4.1 Agentes virtuais

Agentes virtuais vêm se popularizando na área da computação e, na área de produção de entretenimento, práticas inovadoras, baseadas em modularização e automação, foram desenvolvidas para unir agentes virtuais e animação (DAMIANO *et al.*, 2013).

Para criarmos uma animação, utilizando esta técnica, especificamos um conjunto de metas de alto nível e o sistema implementado, utilizando agentes virtuais, cria a animação através da geração de uma sequência de ações; a tradução das ações em animação se dá pelo motor gráfico 3D presente. A produção de uma animação usando agentes virtuais se dá em duas fases (DAMIANO *et al.*, 2013):

- Fase *offline*: nesta fase incluem-se a definição do comportamento e a criação do catálogo. Na primeira o diretor de animação, com a ajuda do engenheiro de IA, codifica um conjunto de comportamentos do personagem no formato exigido pelo planejador (uma parte do sistema), o qual depende de uma biblioteca de planos associados a metas e é responsável por calcular a sequência de ações. A definição do comportamento se dá pelas entradas fornecidas pelo escritor da cena (o qual determinará como e o quê irá acontecer na cena), e são codificadas em uma biblioteca pelo engenheiro de IA que também a testará em diferentes situações. Na criação do catálogo as primitivas de ação, contidas na biblioteca, são traduzidas para a linguagem de animação – criando animações manuais quando necessário - rotuladas e armazenadas no catálogo de ações. A criação do catálogo consiste em realizar as animações do personagem 3D utilizando o motor gráfico.
- Fase *online*: nesta fase o sistema gera o comportamento animado do personagem a partir de uma especificação de tarefas de alto nível do personagem. Estas especificações são uma descrição detalhada de suas posições, atividades e trajetórias, acompanhados de horários exatos.

Assim, o sistema utiliza as especificações dadas pelo escritor para gerar a animação dos personagens seguindo as regras definidas no catálogo de ações. Por exemplo, para fazer com que um personagem mova parte do corpo da posição atual até a posição X, o escritor irá descrever a ação utilizando a linguagem disponibilizada pelo sistema. A linguagem AnimaTricks, desenvolvida por DAMIANO *et al.* (2013), fornece diversos comandos para movimentar objetos e, com o encadeamento destes comandos, cria-se uma animação.

## **2.4.2 Rede neural**

As redes neurais são capazes de aprender a partir de conjuntos de dados muito grandes e de alta dimensão e, uma vez treinadas, têm um baixo consumo de memória e rápido tempo de execução, o que as tornam propícias a serem utilizadas na animação onde necessitamos de controle e interação em tempo real.

Utilizando animações prontas, como os movimentos capturados de um ator através da técnica de captura de movimentos, por exemplo, podemos aplicar modificadores ou alterações nesta animação, obtendo maior interatividade e realismo, visto que as redes tendem a serem treinadas utilizando movimentos humanos. Estes movimentos são inseridos na rede através de posições tridimensionais e informações sobre o cenário e personagem; por fim, a rede irá aplicar transformações e assim gerar uma nova animação.

Existem tipos diferentes de redes neurais, com particulares vantagens e desvantagens. Portanto, cada projeto de animação deverá ser avaliado para identificar o melhor tipo de rede a ser utilizado. Nosso foco aqui não é tratar como funcionam as redes neurais e sim como podem ser utilizadas combinado a animação de personagens humanoides.

### **2.4.2.1 Transferência de estilo de movimento utilizando redes neurais**

A transferência do estilo de movimento é uma técnica que aplica as características do movimento de um ator a um personagem. Como exemplo de estilo de movimento temos ser velho, cansado ou ferido. O movimento do ator é capturado utilizando a técnica de captura de movimento. Esta transferência é um problema antigo em animação por computador, especialmente útil em aplicações como jogos de computador, onde se necessita minimizar a quantidade de dados diminuindo o tamanho total do jogo.

Para que possamos aplicar o movimento capturado é necessário transformá-lo em dados, que serão processados pelas redes neurais. Para isso temos diferentes abordagens: Uma abordagem é lidar com os movimentos no domínio da frequência, onde aplica-se coeficientes de Fourier onde os movimentos são separados em diferentes frequências que representam as emoções (UNUMA *et al.*, 2000). Também é possível utilizar a transformada rápida de Fourier agilizando o processo. Outra abordagem é a utilização de modelos dinâmicos, onde um modelo de variante de tempo linear é utilizado para produzir um modelo de série temporal a qual o estilo é incorporado, basicamente é a utilização do tempo linear para a obtenção de informações sobre o estilo do movimento (HABIBIE *et al.*, 2017).

Em suma, as redes neurais utilizam-se do estilo visual de uma imagem e o aplica em outra, preservando seu conteúdo. Com isso podemos recriar esta mesma técnica na utilização de animações.

Habibie *et al.* (2017) desenvolveram uma rede neural que tem como entrada valores e características 3D da animação e, através da aplicação de uma função nestes valores, gera outra animação como resultado. A rede neural proposta combina dois núcleos neurais: uma rede de perda e uma rede convolucional *feed-forwarding* que executa a transformação de estilo (Figura 2.18).

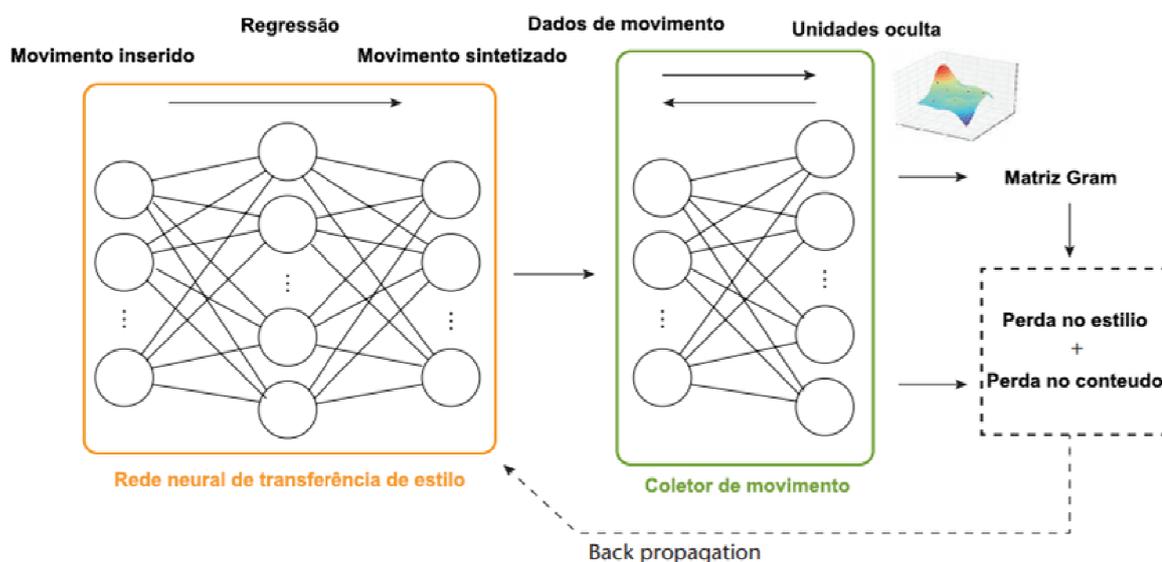


Figura 2.18-Funcionamento do sistema implementado por HABIBIE e outros.  
Fonte: Adaptado de HABIBIE *et al.* (2017)

A rede neural *convolucional feed-forwarding* (primeiro quadro da Figura 2.18) recebe como entrada o movimento realizado e como resultado emite um movimento estilizado

através da regressão. Feito isso uma outra rede neural é utilizada como uma rede de perda (segundo quadro da Figura 2.18); esta representa um distribuidor sobre o movimento humano e o estilo, assim calculando uma diferença entre os movimentos. Ela possui duas tarefas: calcular a diferença entre os movimentos e reprojeter o movimento no coletor de movimento, para corrigir quaisquer pequenos artefatos resultantes da transferência de estilo.

Para treinar a rede, eles utilizaram a rede de perda para codificar várias restrições com base no movimento requerido. As técnicas de treinamento e utilização das redes neurais podem variar bastante dependendo dos desejos do projetista da animação.

#### **2.4.2.2 Controle de personagem utilizando redes neurais**

Produzir controladores de animação baseado em dados em tempo real para personagens virtuais tem sido uma tarefa desafiadora, mesmo com os avanços na tecnologia de captura dessas animações. Isso ocorre pois os controladores de personagens têm requisitos difíceis de serem adquiridos, mas que devem ser satisfeitos para que se tornem úteis; como exemplos de requisitos temos a capacidade de aprender com grandes quantidades de dados, não exigir muito pré-processamento manual de dados e serem extremamente rápidos. O atendimento a estes requisitos torna possível a interação necessária em tempo real.

O cenário fica mais desafiador, quando a cena onde o personagem irá atuar necessita de um controle mais fino, tendo que superar obstáculos, terrenos irregulares, escaladas, pulos e movimentos de evasão, tudo isso seguindo as instruções do usuário. Desenvolvimentos recentes em *deep learning* e redes neurais têm se mostrado promessas propícias a resolver estes problemas. Estudos anteriores atingiram certo sucesso na área, através de modelos de redes neurais convolucionais (HOLDEN *et al.*, 2016), modelos de rede neural recorrente (GRAHAM e GEOFFREY, 2009) e modelos de rede autorregressivas (FRAGKIADAKI *et al.* 2015).

Uma nova abordagem foi proposta por Holden e seus colegas, utilizando uma rede neural chamada por eles de: *PhaseFunctioned Neural Network* (PFNN). O PFNN funciona gerando os pesos de uma rede de regressão para cada quadro da cena como uma função da fase, seria como uma variável que representa o tempo do ciclo do movimento atual do personagem. Após gerado estes pesos, os mesmos são utilizados para executar uma regressão, a fim de identificar a posição seguinte do personagem, prevendo onde o personagem deverá estar no próximo quadro. Este modelo evita misturar os dados de diversas fases, em vez disso ele

constrói uma função de regressão que vai evoluindo conforme o tempo. Ao contrário dos modelos de redes neurais convolucionais, esta estrutura é adequada para gerar movimentos em tempo real, sendo muito estável e capaz de gerar movimento de alta qualidade, mesmo em ambientes complexos utilizando a interação com o usuário. Depois de treinado, o modelo PFNN é rápido e compacto criando uma interação enorme com o usuário. Na Figura 2.19 podemos observar o funcionamento da rede PFNN.

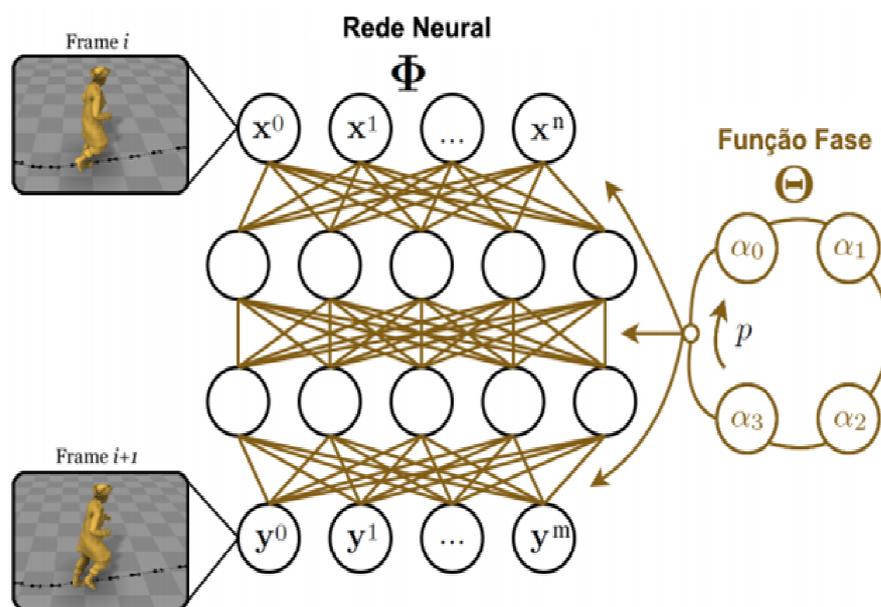


Figura 2.19 - Funcionamento da rede PFNN; Fonte: Adaptado de HOLDEN et al. 2017

À esquerda, na Figura 2.19, verificamos o movimento presente no frame atual, que será passado pela rede utilizando os pesos calculados em determinada fase, resultando no próximo frame. À direita, podemos observar o ciclo da função de fase, a qual calculará estes pesos referente a cada fase e irá aplicá-los na rede.

## 2.5 Considerações sobre as diferentes técnicas de animação digital de personagens humanoides

Nesta seção discutiremos e compararemos os benefícios e desvantagens de cada técnica utilizada na animação digital de personagens humanoides, provendo uma visão geral de qual a melhor técnica a ser utilizada de acordo com o cenário momentâneo, comparando custo financeiro, facilidade de implantação, compromisso com a realidade da animação e custo computacional.

- Quadros-chave:

A animação de personagens humanoides usando Quadros-chave pode ser considerada a mais fácil e simples de ser utilizada. Os mecanismos necessários para utilizá-la são de fácil acesso e de baixo custo, pois resumem-se à utilização de um software gráfico de animação, gratuito ou não. Os resultados proporcionados por esta técnica em relação à realidade dos movimentos são baixos, uma vez que os movimentos não são fluidos como outras técnicas presentes no mercado. O custo computacional também é baixo, visto que não são necessários cálculos complexos para que o software realize as animações. Contudo esta técnica torna-se a mais viável para aprendizagem e pequenas animações, que não tem como foco o realismo.

- Animação utilizando princípios da Física:

A técnica de animação utilizando princípios da Física pode ser considerada a mais fiel à realidade, mas não aos movimentos humanos. Sua implementação não é simples, pois diversos modelos físicos devem ser considerados, mas existem softwares (livres e comerciais) que incorporam a técnica facilitando a criação de animações. Um problema da técnica está no controle de todos os movimentos, o que torna a animação não fluida, robótica, prejudicando a animação como um todo. Outro problema é o custo computacional, pois é necessária uma elevada quantidade de cálculos matemáticos para retratar a física real; assim, a relação custo computacional/realismo deve ser harmonizado pelo animador.

- Captura de movimentos – Sistemas acústicos:

Os sistemas acústicos são os sistemas menos utilizados dentro da técnica de captura de movimento, uma vez que apresentam diversos problemas. Um deles é a susceptibilidade aos ruídos sonoros não controláveis em determinadas situações. Outro problema que afeta drasticamente este sistema são os cabos interligados no corpo do ator, dificultando seus movimentos. O custo deste sistema não é tão elevado, mas a produção de uma animação necessita, como em toda animação que se utiliza de captura de movimentos, de um ator, um diretor de animação e o sistema em si, o que pode elevar o custo. A realidade retratada por sistemas acústicos torna-se falha, uma vez que a captura dos sinais não é fluida, podendo criar ruídos e falhas na animação. O custo computacional não é elevado, uma vez que o software necessita apenas receber os sinais e transformá-lo em animação. Este sistema caiu em desuso, devido à alta dificuldade de uso e a baixa qualidade de captura.

- Captura de movimentos – Sistemas mecânicos:

A utilização deste sistema torna a animação imune aos ruídos externos, mas a fidelidade dos movimentos dos atores não é perfeita, uma vez que a taxa de amostragem é baixa. O uso de cabos de conexão limita alguns movimentos do ator. A implantação deste sistema é fácil, uma vez que depois de adquirido o traje, o software o acompanha, sendo apenas necessário interligar software e traje. O custo desta técnica afeta sua popularidade, uma vez que o valor do traje é elevado e ainda limita o ator; assim, a relação custo/benefício deixa de ser satisfatória. De acordo com a empresa METAMOTION (2019) seu traje tem um preço de \$7,995 - consultado em 19/07/2019. Outra empresa que disponibiliza estes trajes é a ROKOKO cujos trajes, com sensores inerciais, têm custo inicial de US\$2.495,00 elevando-se até US\$10.000,00. O custo computacional não é elevado, possibilitando a captura em tempo real e com diversos atores ao mesmo tempo.

- Captura de movimentos – Sistemas magnéticos:

Este sistema tem o custo mais baixo entre as técnicas de captura de movimento, em contrapartida este sistema sofre ruídos gerados por objetos metálicos, dificultando a calibração e uso do sistema. O custo computacional é consideravelmente baixo, uma vez que mais de um ator pode ser capturado, respeitando os ruídos, ao mesmo tempo e em tempo real. A realidade das animações é elevada, mas ainda possui problemas com cabos e limitações de movimento. Este sistema é recomendado para pequenas empresas de animação, pois os resultados obtidos não são perfeitos, mas compensam o baixo custo em comparação a outros sistemas de captura de movimento.

- Captura de movimentos – Sistemas ópticos:

Este sistema é o mais utilizado na produção de animação digital. Os sistemas ópticos se destacam pelo realismo e naturalidade dos movimentos capturados, uma vez que a taxa de captura e a precisão são elevadas; a precisão pode ser incrementada com a utilização de um número maior de marcadores. Esta técnica tem sua facilidade semelhante a outras técnicas de captura de movimento, uma vez que é necessário o posicionamento de marcadores e captadores. A principal vantagem desta técnica, o que a torna popular, é a não utilização de cabos pelos atores, facilitando a realização dos movimentos e criando animações muito mais fiéis à realidade. O custo computacional é maior que em outras técnicas que usam captura de movimentos, pois este sistema requer o pós-processamento dos dados, não sendo capturada

em tempo real. O que torna a técnica limitada a grandes empresas de animação é seu custo; câmeras de alta qualidade torna o sistema mais caro entre todos os citados até aqui. Segundo OPTITRACK (2019), as câmeras variam de US\$1.495,00, para uma câmera com 1080p de resolução e taxa de 250 frames por segundo, até câmeras de extrema qualidade, com preço de US\$5.999,00 com 4.1 MPixels e 180 frames por segundo – preços tomados em 19/07/2019. Este é o sistema a ser utilizado, desde que o usuário disponha de orçamento viável.

- Captura de movimentos – Sistemas sem marcadores:

Estes sistemas possuem baixo custo, pois não utilizam marcadores nem grandes equipamentos de captura, mas falham na hora de retratar os movimentos realizados pelos atores, não tendo a fluidez necessária para representar uma boa animação. A implementação deste sistema é complexa, uma vez que é necessário o tratamento de imagens para verificar qual movimento está sendo realizado e, com isso, o custo computacional torna-se elevado, mas ainda é possível a utilização deste sistema em tempo real. A utilização deste sistema não é recomendada para a criação de animações, uma vez que ele possui grandes falhas de fidelidade para com os movimentos dos atores.

- Animação e Inteligência Artificial:

Como esta técnica necessita estar associada a outras técnicas de animação para ser realizada, como a captura de movimentos, ela levará em conta os custos, dificuldades e a realismo da técnica utilizada em conjunto. Em geral, esta técnica contribui melhorando os resultados obtidos com as técnicas associadas. Em relação às dificuldades, a animação utilizando agentes virtuais permite ao usuário criar animações apenas dando comandos em alto nível. Já a utilização de controladores utilizando redes neurais dificultam a implementação, mas em contrapartida provém interações em tempo real, podendo ser utilizados em controladores de personagens dentro de games, o que não é possível utilizando apenas a captura de movimento. Já a transferência de estilo nos ajuda criando movimentos difíceis de serem executados pelos atores. Com isso, esta técnica nos permite aperfeiçoar as técnicas básicas de captura de movimento, criando movimentos mais realistas e interativos.

## **2.5.1 Quadro comparativo de técnicas**

O quadro abaixo foi construído para sistematizar e sintetizar a comparação qualitativa das diversas técnicas de animação, considerando diferentes características. As informações

empregadas na construção do quadro vieram do estudo realizado sobre as diferentes técnicas de animações, conforme exposto neste trabalho.

No quadro atribuímos um dos valores qualitativos (Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito alto) às características Custo monetário referente aos equipamentos, Custo computacional, Facilidade de implantação e Fidelidade/Realismo das diferentes técnicas de animação estudadas, a fim de qualificá-las adequadamente (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Mensuração de características em relação às técnicas de animação

	<b>Custo monetário</b>	<b>Custo computacional</b>	<b>Facilidade de implantação</b>	<b>Fidelidade/Realismo</b>
<b>Quadros chaves</b>	Muito baixo	Muito baixo	Alto	Baixo
<b>Princípios da Física</b>	Muito baixo	Alto	Baixo	Muito alto
<b>Sistemas acústicos</b>	Médio	Baixo	Médio	Médio
<b>Sistemas Mecânicos</b>	Alto	Baixo	Médio	Alto
<b>Sistemas magnéticos</b>	Médio	Baixo	Médio	Médio
<b>Sistemas ópticos</b>	Muito alto	Alto	Médio	Muito alto
<b>Sem Marcadores</b>	Baixo	Médio	Médio	Médio
<b>Animação e IA</b>	Depende da técnica utilizada em conjunto	Depende da técnica utilizada em conjunto	Depende da técnica utilizada em conjunto	Tende a aumentar em conjunto com a técnica utilizada

## Capítulo 3

# Softwares livres ou gratuitos para criação de animação

Neste capítulo serão apresentados alguns softwares de animação digital de personagens humanoides, livres ou gratuitos, com o intuito de mostrar suas características e aplicabilidades. Serão abordados três softwares: Blender, Daz3D e Mixamo.

### 3.1 Blender

Em 1988, Ton Roosendaal cofundou o estúdio de animação holandês NeoGeo. NeoGeo rapidamente se tornou o maior estúdio de animação 3D na Holanda e uma das principais casas de animação da Europa. Após alguns anos de existência da empresa, Ton decidiu que a ferramenta 3D da NeoGeo era muito antiga e complicada para ser mantida, e precisava ser reescrita do zero. Em 1995 o processo de reescrita se iniciou, dando origem ao Blender. Em 1998, Ton decidiu criar uma nova companhia chamada “*Not a Number*” (NaN) como uma subsidiária da Neo-Geo para futuramente desenvolver e vender o Blender. Em 2001 o primeiro produto de software comercial da NaN, o *Blender Publisher*, foi lançado. Este produto foi direcionado para o mercado emergente de mídia 3D interativa baseada na web. Devido às baixas vendas realizadas os investidores decidiram parar todas as operações da NaN, mas Ton não desistiu do Blender. Como não foi possível reiniciar uma empresa com uma equipe suficientemente grande de desenvolvedores, Ton Roosendaal fundou a organização sem fins lucrativos, *Blender Foundation*, em março de 2002. Com o código aberto e ajuda de diversos voluntários, liderados por Ton, o Blender continuou sendo aprimorado e tornou-se mundialmente conhecido (BLENDER, 2019).

Blender é um software de criação 3D livre, de código fonte aberto, o que nos traz diversas possibilidades. Rodando em multiplataformas como Linux, macOS e Windows com requisitos

mais modestos em relação a outras ferramentas, este software é adaptado para pessoas e pequenos estúdios os quais se beneficiam de seu processo de integração unificado e de desenvolvimento responsivo. Sua interface utiliza OpenGL para fornecer uma experiência consistente em todos os hardwares e plataformas suportadas (Figura 3.1).

O Blender possui uma ampla variedade de ferramentas, tornando-o adequado para praticamente qualquer tipo de produção de mídia. Pessoas e estúdios de todo o mundo o usam em projetos de hobby, comerciais e filmes de longa-metragem.

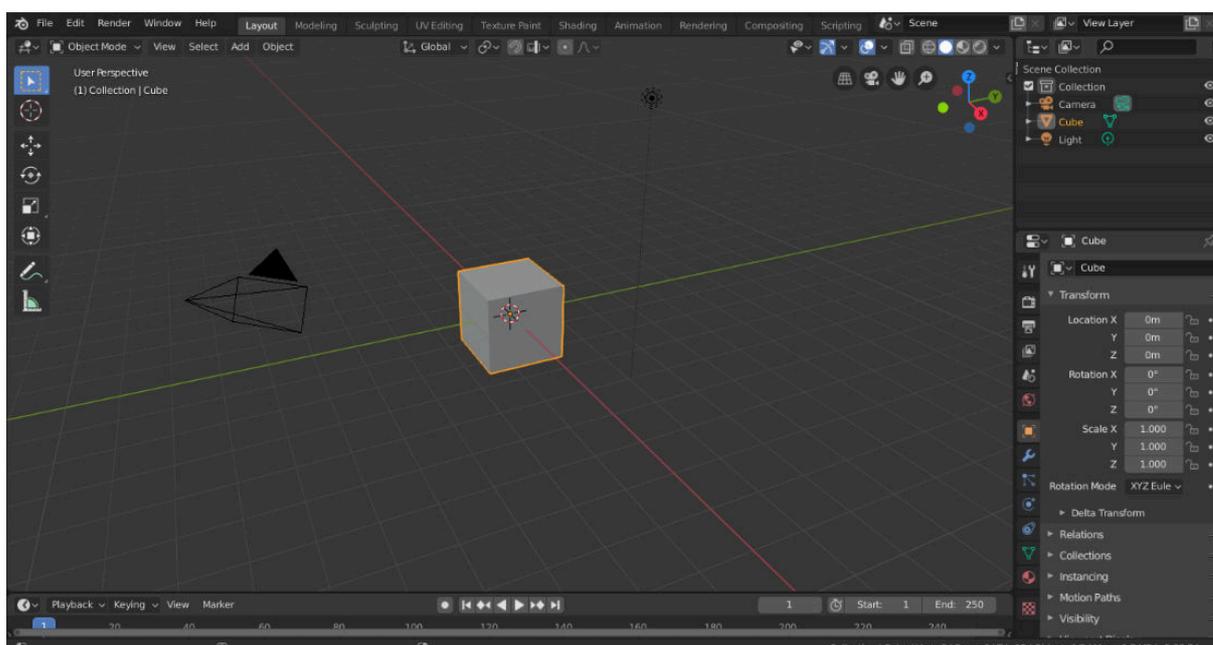


Figura 3.1 – Janela padrão ao iniciar o Blender.  
Fonte: Blender (2019)

As animações no Blender são tipicamente realizadas com a utilização de quadros-chaves (Figura 3.2), mas o software também possibilita a criação de simulações baseadas em princípios da Física e captura de movimento (BLENDER, 2019).

Um grande diferencial do Blender é a possibilidade de estender suas funcionalidades através de *scripts* e *add-ons* que podem ser desenvolvidos e depois inseridos na ferramenta, agilizando e facilitando o trabalho. Geralmente desenvolvidos em Python, estes *add-ons* são criados e disponibilizados pela comunidade, mas também é possível criá-los facilmente uma vez que conheça a linguagem e suas bibliotecas. Os *scripts* também escritos em Python facilitam a produção, uma vez que a maioria das áreas do Blender podem ser roteirizadas,

como animação, renderização, importação e exportação e execução de tarefas repetitivas (BLENDER, 2019).

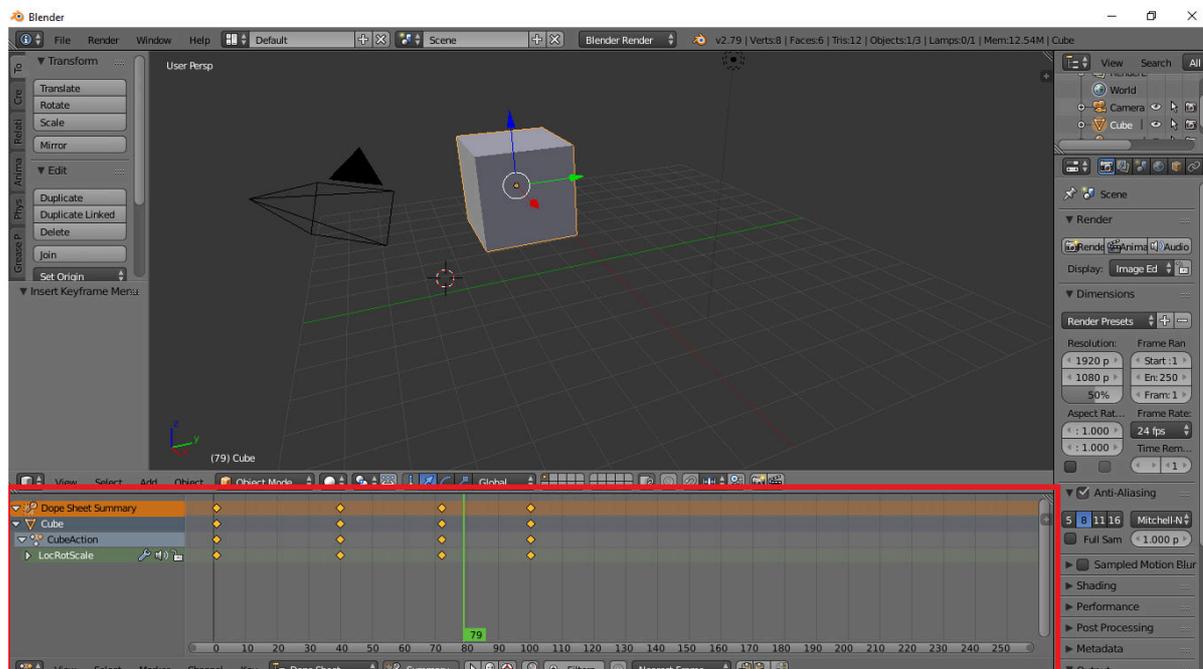


Figura 3.2 – Área de trabalho do Blender com a faixa de tempo e os quadros-chaves destacados em vermelho.

### 3.2 Daz Studio

Através de um programa de arte e animação chamado Poser, onde era possível criar cenas com personagens, adicionando diversas características como cor dos olhos, roupas e acessórios, Dan Farr reconheceu este mercado em crescimento, e assim decidiu criar conteúdo para o Poser. Com o crescimento desta área, Dan utilizou de seu conhecimento obtido com a ferramenta Poser e fundou no ano de 2000 a Daz3D e assim criou um gerador de cena própria gratuito, a Daz Studio. Com o tempo a Daz começou a expandir suas operações, disponibilizando bibliotecas de produtos exclusivos e também novos softwares como Bryce e Carrara. Logo o Daz Studio tomou o lugar do Poser e tornou-se popular entre os usuários (NAPTREVIEWS, 2019).

Daz Studio é uma ferramenta gratuita e poderosa que possui vários recursos e funcionalidades de fácil utilização. Por ser grátis, com uma interface amigável e de fácil utilização, Daz Studio (Figura 3.3) é utilizado desde artistas 3D profissionais até principiantes que utilizam a ferramenta como hobby (DAZSTUDIO, 2019a).

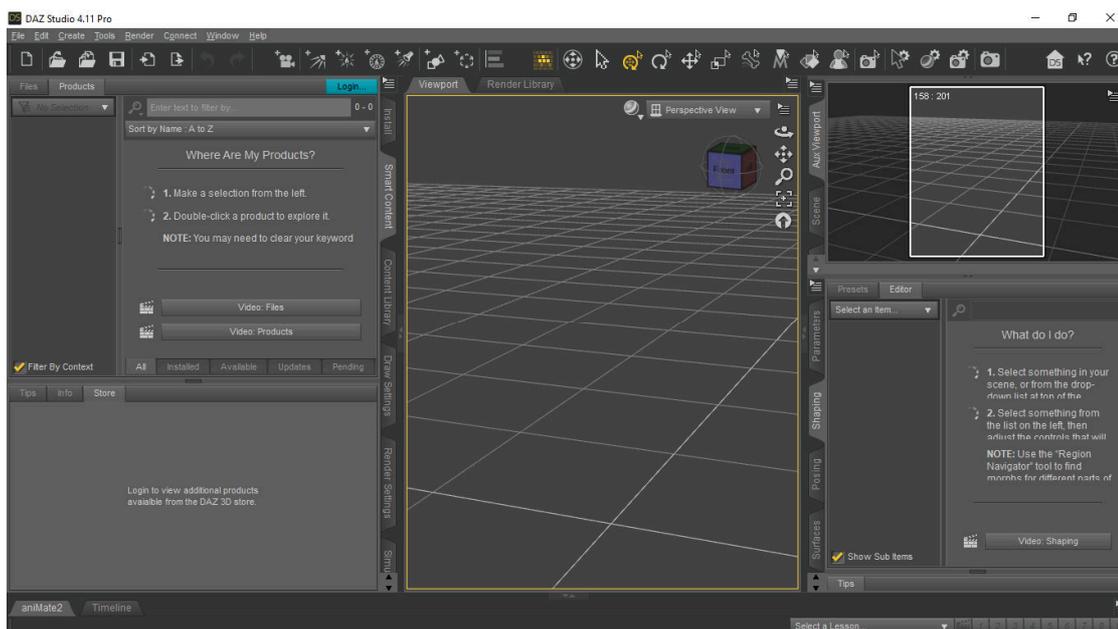


Figura 3.3 – Área de trabalho do software Daz Studio.

A animação no Daz Studio é limitada à utilização apenas de quadros-chaves. Modelos humanoides criados nesta ferramenta são transferidos para outros softwares de animação e que possibilitam animação mais realista. O grande diferencial do Daz Studio está na realidade e na quantidade de detalhes em seus modelos humanoides, uma vez que se utiliza da plataforma Genesis 8 (NAPTREVIEWS, 2019). A plataforma Genesis 8, utilizada pelo software Daz Studio, é um motor de personagens que permitem a modificação e aprimoração de cada detalhe, atendendo a necessidade do artista. Com a utilização de morphing em personagens, o artista pode combinar várias formas, tamanhos e musculosidade do corpo, possibilitando uma criação única (Figura 3.4).

O nível de detalhe proporcionado pela plataforma é elevado; as partes mais críticas do corpo como boca, dentes, mãos e pés são tratadas para que sejam os mais fiéis à realidade. Outra característica que ajuda na animação destes personagens com essa plataforma são as articulações dos personagens. A Genesis 8 possui mais curvas e articulações orgânicas, possibilitando movimentos ainda mais realistas (DAZSTUDIO, 2019b).

Embora haja custos adicionais associados a itens e bibliotecas que ajudam a criar artes, o Daz Studio é um poderoso software gratuito, que pode ajudar artistas aspirantes e é suportado por uma grande comunidade. Líder em figuras humanoides, o software oferece cenas e suportes superiores para uso na criação de arte digital, capas de livros, filmes, games, etc. (NAPTREVIEWS, 2019).

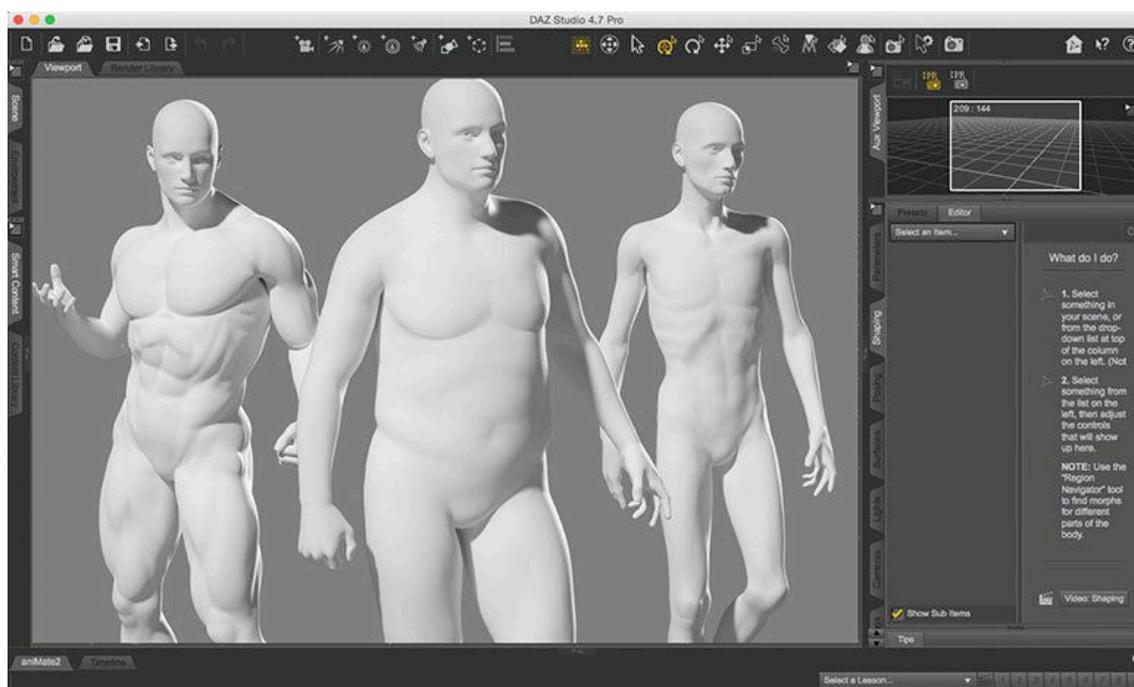


Figura 3.4 – Morphing dentro do Daz Studio proporcionado pela plataforma Genesis 8.  
 Fonte: DAZSTUDIO (2019b)

### 3.3 Mixamo

Em 2008, a Mixamo foi fundada pelos especialistas 3D Stefano Corazza e Nazim Kareemi após terem trabalhado em tecnologias de animação na universidade de Stanford. Corazza tinha o desejo de democratizar a criação da arte 3D (TAKAHASHI, 2013). Adquirida pela Adobe em 2015, hoje a Mixamo é um serviço baseado na Web que ajuda os desenvolvedores a manipular e animar personagens em 3D, facilitando o aparelhamento e a animação. O usuário desenvolvedor pode fazer o *upload* da malha de um personagem, colocar localizadores e conjuntos de juntas para fazer com que o personagem se mova, e então rodar o software de *auto-rigging* da Mixamo, que faz os cálculos baseado em aprendizado de máquina e aplica o movimento no personagem. Rigging é o processo de alinhar uma estrutura de esqueleto em um modelo 3D e atribuir os pesos da pele e dobras adequados para cada vértice. Como é um processo demorado e trabalhoso, mesmo por um animador experiente, alguns softwares implementaram o *Auto-Rigging* (FENG, 2015). Para os títulos de consoles, a empresa Mixamo afirma que pode reduzir o custo de produção de animações em 70 a 80 por cento em comparação com técnicas padrão, como quadros-chave e captura de movimento (CUTLER, 2013).

Com uma interface simples e muito intuitiva, o software Mixamo facilita o trabalho de diversos entusiastas e profissionais 3D (Figura 3.5), uma vez que é fácil inserir um personagem 3D criado anteriormente por outro software. Possuindo um banco de animações amplo e gratuito, onde são armazenados diversos movimentos capturados, o software provê a aplicação destas animações a um personagem, assim quando um movimento é escolhido este é aplicado ao personagem requerido.

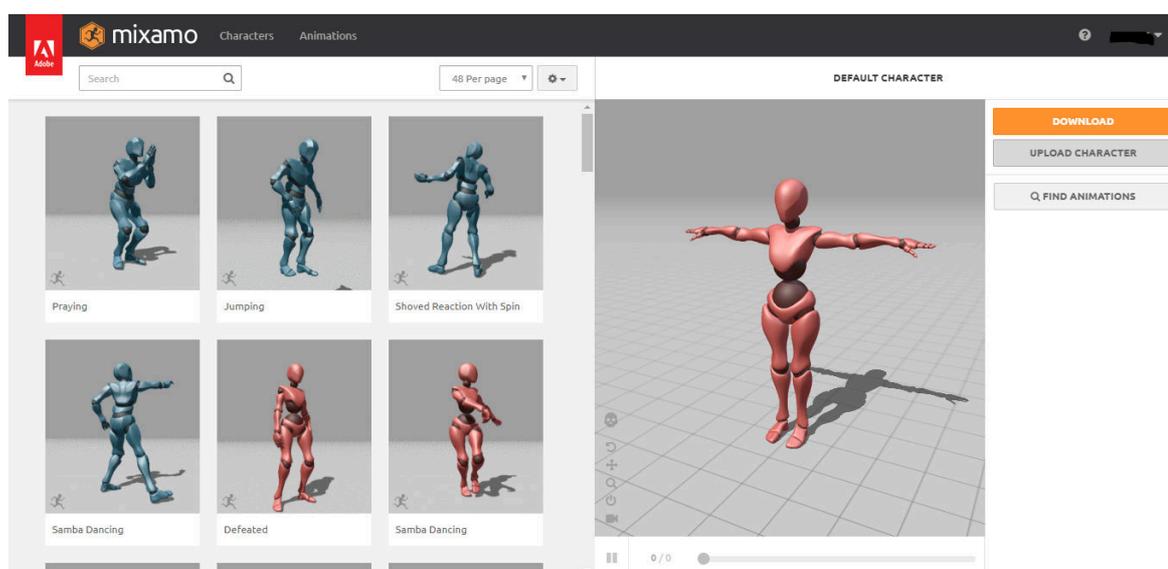


Figura 3.5 – Tela inicial do software Mixamo.

O grande diferencial deste software é sua facilidade em criação e compatibilidade com modelos de personagens 3D, basta escolher a posição dos marcadores do corpo do personagem através do software (Figura 3.6) para que ele faça o *auto-rigger*. Outro ponto positivo é a parametrização das características do movimento, cada movimento tem suas características manipuláveis, podendo ser alteradas, o que abre ainda mais possibilidades para o produtor da animação (Figura 3.7).

Um ponto negativo deste software é que o mesmo não permite a criação de novos movimentos ou movimentos únicos, capturado através de um sistema próprio de captura de movimento, o que o torna limitado à base de movimentos do Mixamo. Em contrapartida este software possui uma ampla base online de movimentos capturados com ótima qualidade que, quando mesclados com personagens de alta realidade, geram uma animação muito realista.

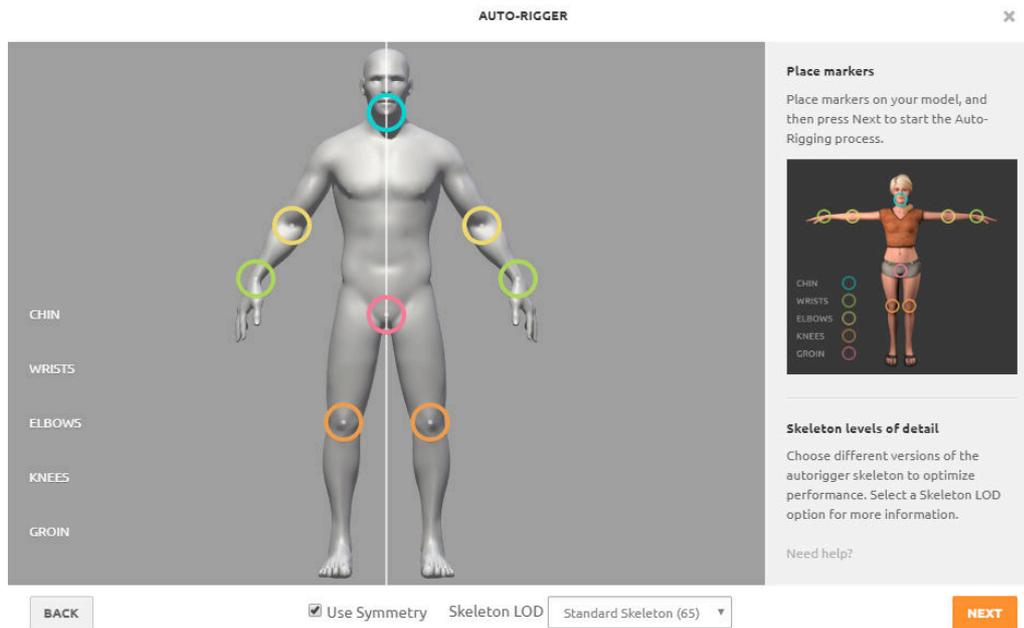


Figura 3.6 –Tela de posicionamento dos marcadores do personagem.

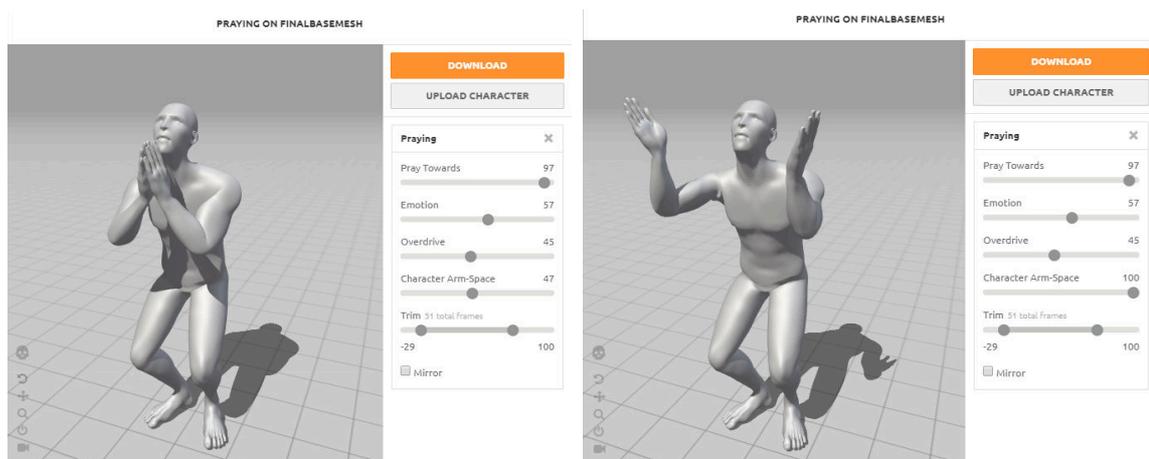


Figura 3.7 – Tela de ajustes da animação: Espaço entre braços 47 na primeira imagem e 100 na segunda imagem.

# Capítulo 4

## Metodologia

Para cumprir com os objetivos deste trabalho selecionaram-se as técnicas de animação Quadros-Chave e Captura de Movimentos, empregando-as na animação de um personagem humanoide tridimensional. Para modelagem do personagem 3D escolheu-se o software Blender 2.79, um software gratuito para modelagem e animação digital, e obtiveram-se os dados de captura de movimentos em bases gratuitas na internet, mais especificamente do software Mixamo. Este software foi utilizado para associar os movimentos capturados ao personagem 3D modelado no Blender. Estas escolhas metodológicas serão descritas e justificadas nos itens a seguir.

### 4.1 A Animação Selecionada

Escolheu-se a animação de um personagem humano masculino realizando o movimento simples de andar de um lugar a outro e retornando a posição inicial, criando um movimento cíclico, com foco no realismo limitado às técnicas e softwares selecionados. Esta animação foi selecionada devido ao fato da base de capturas de movimentos, Mixamo, ser gratuita e possuir uma ampla variedade de movimentos humanoides, incluindo o movimento de andar, o que permitiu compará-la com a animação criada com a técnica de quadros-chaves. A utilização dos esqueletos se deu pela facilidade e compatibilidade que os mesmos possuem com a animação utilizando captura de movimentos e quadros-chave. A Figura 4.1 mostra o modelo do personagem que foi utilizado para a animação.

### 4.2 As Técnicas de animação

Dentre as diversas técnicas citadas no capítulo 2 deste trabalho, a primeira selecionada foi a de quadros-chave e a segunda técnica a de animação utilizando captura de movimentos. Em ambas as técnicas um esqueleto foi vinculado ao personagem a ser animado. A escolha destas técnicas justifica-se pelo suporte oferecido pelo Blender.

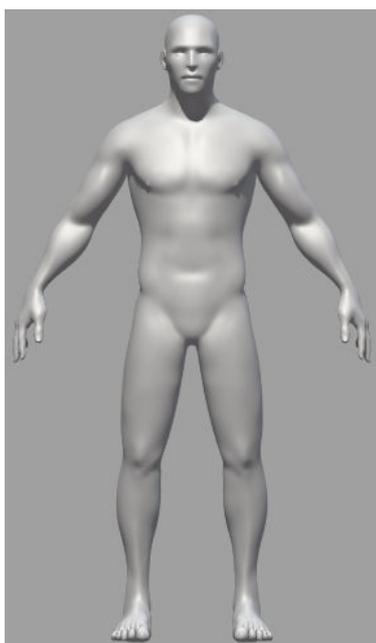


Figura 4.1 – Modelo 3D do personagem a ser animado.

A técnica de quadros-chave é a mais simples e de aprendizado fácil e rápido, porém o realismo obtido apresentará restrições, quando comparada com as outras técnicas. O máximo proveito dessa técnica fica dependente da habilidade e experiência do animador. Em contrapartida, o realismo da técnica utilizando captura de movimento é maior e diretamente relacionado com a qualidade dos dados capturados.

### **4.3 Softwares de Animação**

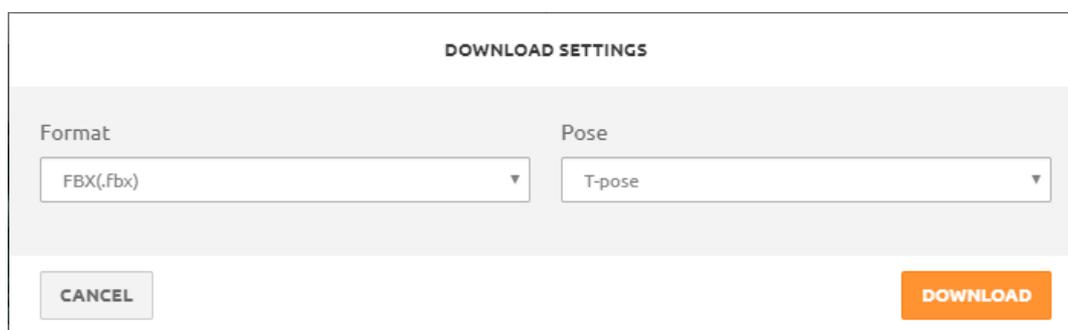
Os softwares selecionados para realizar este trabalho foram o Blender e o Mixamo. Estes softwares são de fácil acesso, gratuitos e possuem uma interface amigável e de fácil manipulação. A utilização de quadros-chave e esqueletos é viável e suportada pelo Blender. Além das características técnicas do Blender, alguma experiência no uso do software nos motivou esta escolha, o que possibilitou focar esforços no refinamento da técnica e da animação, não sendo necessário consumir tempo e esforço no estudo de outros softwares. Os dados de captura de movimentos foram obtidos da base online do software Mixamo, associando-os ao personagem a ser animado. Posteriormente o personagem e os dados dos movimentos foram importados no software Blender. Assim, as animações construídas com as duas técnicas selecionadas foram renderizadas no software Blender, possibilitando uma melhor visualização e comparação das mesmas.

## 4.4 Criando as animações com o Blender e o Mixamo

Nesta sessão apresentaremos como os softwares Blender e Mixamo foram utilizados para construir as animações usando as técnicas de quadros-chave e captura de movimentos, ambas associada com esqueletos.

### 4.4.1 Animação com quadros-chave utilizando Blender

Para o desenvolvimento da técnica de animação utilizando quadros-chave, importamos apenas o modelo do personagem 3D com o esqueleto do mesmo. Para criar o esqueleto utilizamos o Mixamo, que forneceu automaticamente o esqueleto do personagem. O esqueleto também pode ser criado dentro do software Blender, mas a complexidade e o tempo para a produção do mesmo aumentam significativamente. Para criarmos o esqueleto do personagem no Mixamo, importamos o modelo 3D do personagem e, automaticamente, o esqueleto é criado, como representado na Figura 3.6. Após importado, fazemos o download do modelo, sem selecionar alguma animação, apenas o personagem parado, e escolhemos alguns dos parâmetros, como apresentado na Figura 4.2:



The image shows a dialog box titled "DOWNLOAD SETTINGS". It contains two dropdown menus. The first is labeled "Format" and has "FBX(.fbx)" selected. The second is labeled "Pose" and has "T-pose" selected. At the bottom left is a "CANCEL" button, and at the bottom right is an orange "DOWNLOAD" button.

Figura 4.2 – Parâmetros de download do personagem com esqueleto.

O parâmetro *Format* corresponde ao formato de exportação do modelo e utilizamos o formato FBX, que é suportado pelo software Blender, por meio de um *software developer kit* (SDK) disponibilizado pela Autodesk, proprietária deste formato utilizado para interoperabilidade das animações baseadas em captura de movimento. Com o SDK o usuário não necessita interpretar os arquivos FBX, mas apenas dominar as funcionalidades do *kit*.

O parâmetro *Pose* representa a pose inicial do personagem; utilizamos a *pose T* em que o personagem está de braços abertos, por facilitar na animação. Importamos este modelo no Blender através do menu do topo: *file/import/fbx* como mostra a Figura 4.3.

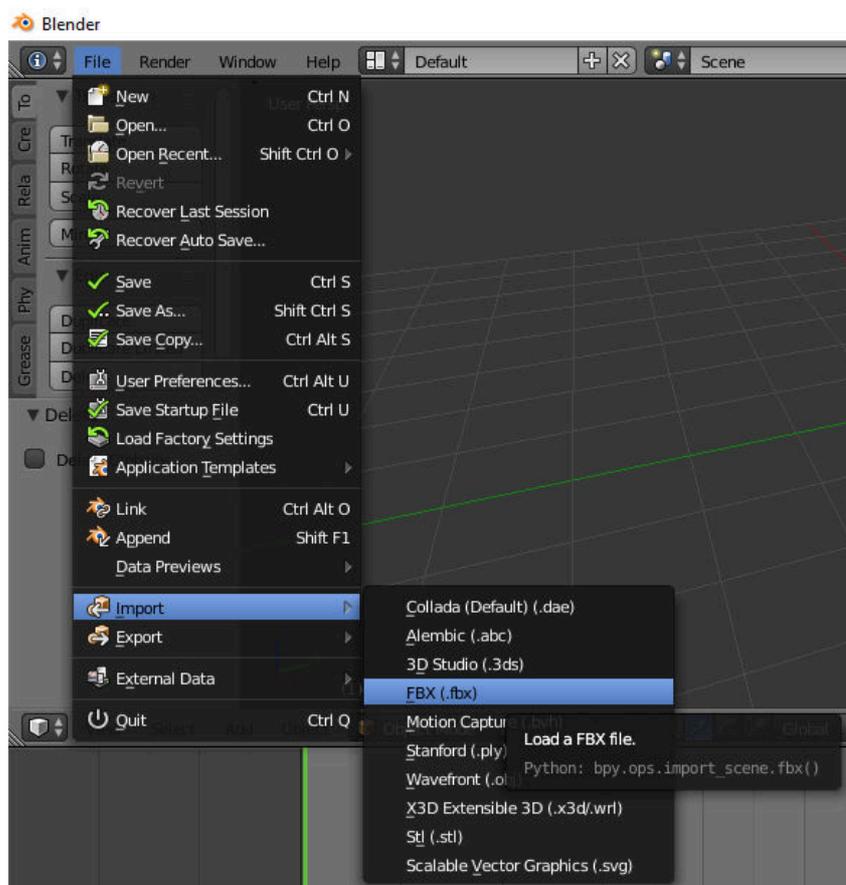


Figura 4.3 – Menu de importação de arquivos fbx.

Concluída a importação, iniciamos o processo de animação do personagem, associado a um esqueleto, usando a técnicas de quadros-chave.

Na animação do personagem, utilizando os quadros-chaves, criamos um quadro-chave em um determinado tempo com uma determinada pose e/ou posição e/ou rotação e/ou escala vinculada ao mesmo; para o próximo tempo criamos outro quadro-chave com outra pose desejada, e assim o personagem começa a ser animado. As Figuras 4.4 e 4.5 representam este processo.

As duas imagens representam momentos diferentes da animação, onde o personagem está em posições e poses diferentes. O movimento do personagem entre os dois quadros-chave da animação foi interpolado linearmente, criando a sensação de movimento. Para conferir o maior realismo possível, foram criados dois quadros-chave nesta animação, um inicial e outro intermediário.

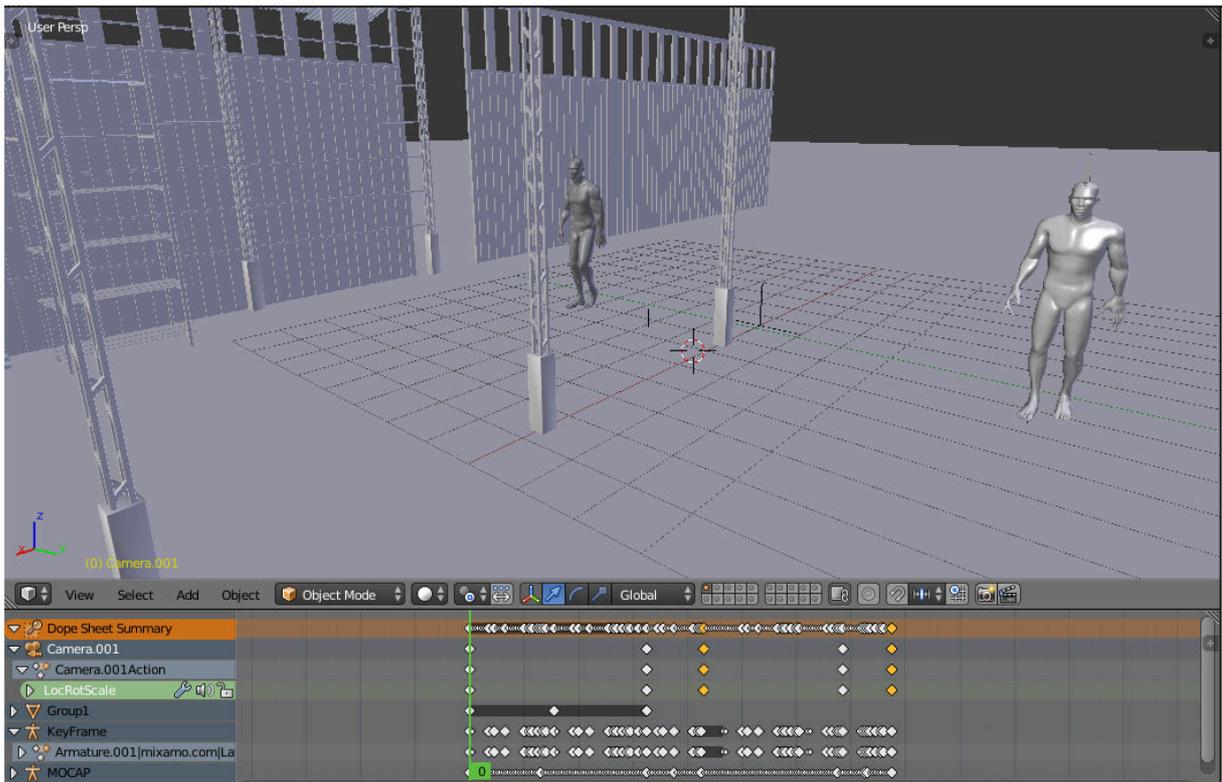


Figura 4.4 – Criação do quadro-chave inicial da animação.

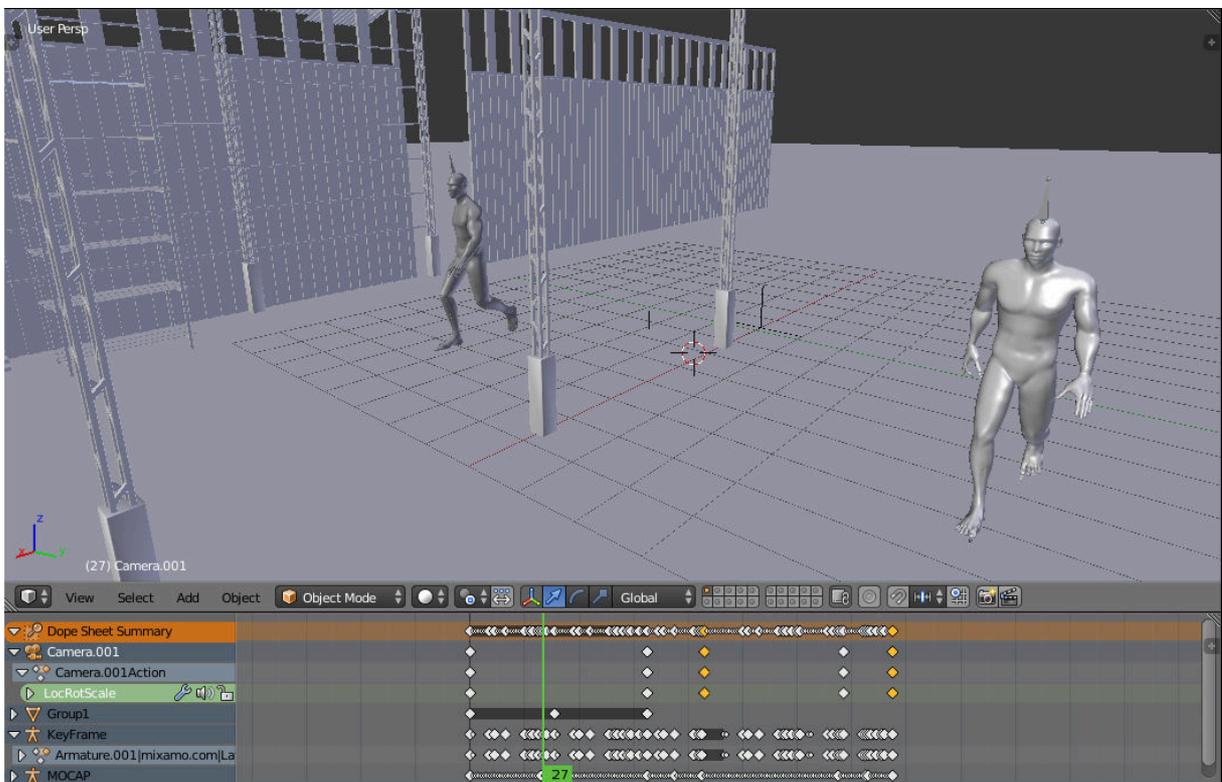


Figura 4.5 – Criação do quadro-chave intermediário da animação.

## 4.4.2 Animação de captura de movimento utilizando Mixamo

Para o desenvolvimento da técnica utilizando captura de movimentos utilizamos o Mixamo, um software web, disponível em (<https://free3d.com/3d-model/male-base-mesh-6682.html>). Na página inicial do software é possível visualizar as diversas animações que podem ser utilizadas. Para o desenvolvimento deste trabalho, escolhemos um modelo humanoide 3D obtido da Internet (<https://free3d.com/3d-model/male-base-mesh-6682.html>), que foi importado no Mixamo, como observado na Figura 4.6. Este personagem foi animado com o movimento equivalente ao andar de um ser humano, realizando um percurso cíclico pelo cenário da animação.

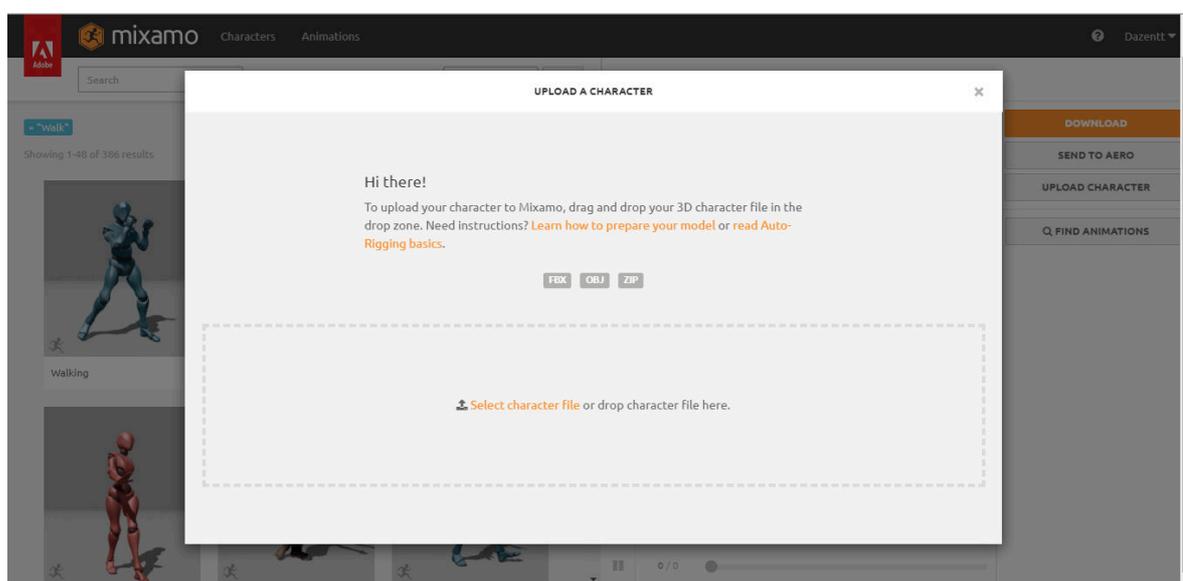


Figura 4.6 –Tela de upload de personagem do software Mixamo.

Após realizar o upload do personagem basta posicionar os marcadores como representado na Figura 3.6 do capítulo “Softwares livres ou gratuitos para criação de animação”. Na sequência podemos efetuar o download da nossa animação. Os parâmetros de download foram:

- **Format:** FBX(.fbx) – Suportado pelo software Blender;
- **Skin:** *With Skin* – O modelo 3D da animação será exportado juntamente com o modelo enviado (*upload*) para o Mixamo, e não o modelo padrão;
- **Frames per Second:** 30 – determina a quantidade de frames por segundo da animação;

- **Keyframe Reduction:** *none* – indicação de um modelo para reduzir o tamanho da animação. Utilizado para ocupar menos espaço em disco.

Após o download obtivemos um arquivo em formato FBX e o importamos para o Blender, com o mesmo procedimento citado na sessão 4.4.1. Com isso temos o personagem já animado dentro do software Blender como representado na Figura 4.7.

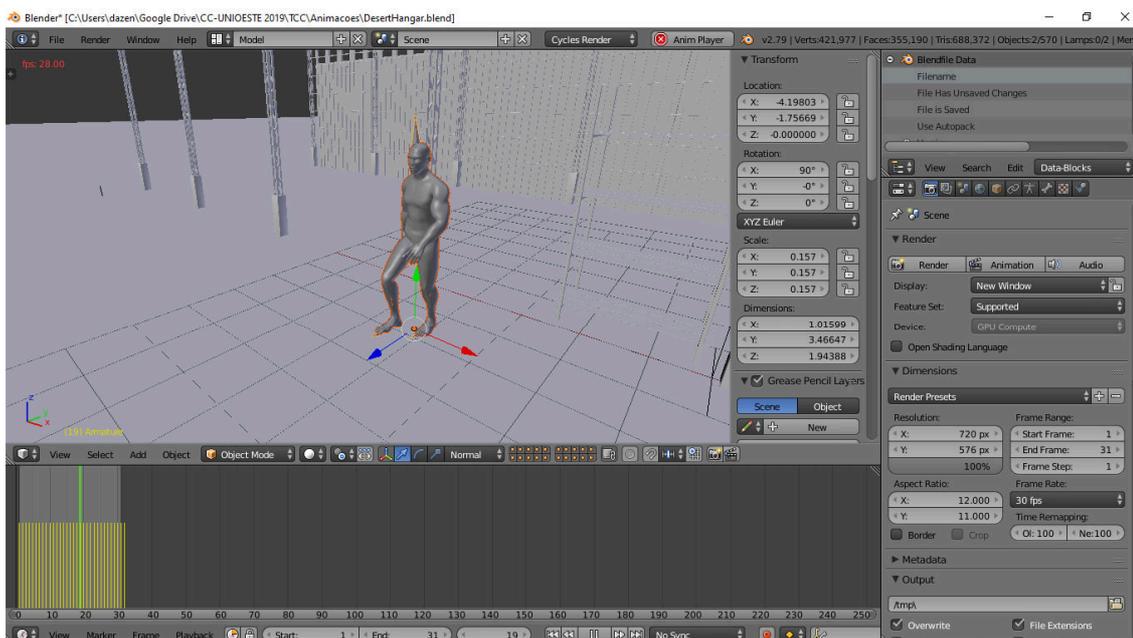


Figura 4.7 – Personagem animado utilizando o Mixamo e importado para o Blender.

# Capítulo 5

## Resultados e discussões

Neste capítulo apresentaremos e discutiremos os resultados obtidos durante o desenvolvimento e aplicação das duas técnicas de animações selecionadas.

### 5.1 Dificuldades

Esta sessão irá tratar das diversas dificuldades encontradas no processo de criação das animações considerando ambas as técnicas selecionadas: quadros-chave e captura de movimentos.

#### 5.1.1 Movimento humano

O movimento humano é muito complexo, pois o esqueleto possui várias juntas, possibilitando diversos movimentos. Retratar estes movimentos utilizando a computação passa a ser muito difícil quando utilizamos apenas a técnica de quadros-chave. A criação da animação usando esta técnica torna-se um desafio, uma vez que o produtor da animação deve conhecer todos os movimentos detalhados do corpo humano, dominar a ferramenta e possuir muita experiência; e, mesmo assim, o tempo de produção será alto. Por fim, para o movimento tornar-se perfeito, ele deverá inserir tantos quadros-chave quantas forem as alterações de trajetória dos membros do personagem, aumentando o tempo para construção da animação. A economia na definição dos quadros-chave pode fazer com que o movimento pareça robotizado.

Para pequenas produtoras a técnica de animação usando quadros-chave pode não ser perfeita, mas seu baixo custo torna-a interessante. Para contornar todos estes problemas, a utilização de captura de movimento apresenta-se como a técnica a ser considerada, pois pode retratar fielmente o movimento realizado pelo ator, economizando tempo.

### 5.1.2 Movimentos e suas colisões

O fator limitante do realismo observado neste trabalho foi a detecção da colisão entre partes do corpo do personagem com o cenário. Como as técnicas de quadros-chave e captura de movimento não utilizam caixas de colisão, nem tratamento para as mesmas, algumas partes, principalmente o pé do personagem e o chão, acabam ocupando o mesmo espaço; outras partes do personagem podem colidir com o cenário e gerar o mesmo problema. Uma solução seria a utilização de princípios da Física, aplicando caixas de colisão no corpo do personagem e também no cenário, juntamente com os princípios da Física que controlarão o ambiente.

Partes do corpo do personagem também podem se autoentrelaçar, mas estes movimentos podem ser evitados, aplicando limites nas juntas do esqueleto, possibilitando que o personagem realize apenas movimentos possíveis aos seres humanos.

## 5.2 Resultados

Como resultado obtivemos uma animação com cerca de 5 segundos a 30 frames por segundo, totalizando 155 frames em resolução de 720x486 pixels, sendo que destes 155 frames, foram criados e modificados cerca de 15 frames (depois replicados para recriar a movimentação em 155 frames) dentro da técnica utilizando quadros-chave, estes foram renderizados com a *Engine Blender Cycles*, em um computador com processador Intel core i5-6600 3.3GHz, 16 GB de memória RAM, HD de 1 TB e placa de vídeo NVidia GeForce GTX 1060, com 6 GB de memória. Toda a animação utilizando quadros-chave foi criada sem quadros previamente gerados, isto é, toda animação foi criada do zero. O cenário presente da animação é um hangar obtido na Internet e importado no Blender (AONAZAN, 2018), no qual foram inseridos os personagens. O resultado da animação pode ser visto através do link: <<http://bit.ly/2O2cabW>>. Alguns frames da animação podem ser observados nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

A criação desta animação, usando as duas técnicas previamente selecionadas, proporcionou incremento no conhecimento e experiência na área. Um dos pontos observados na revisão de literatura diz respeito ao alto custo dos equipamentos de captura de movimento, o que pode ser restritivo para pequenas produtoras. Para realizar os experimentos, encontramos o Mixamo, que fornece uma grande base de dados gratuita de movimentos capturados, tornando

possível às pequenas produtoras desenvolverem animações com esta técnica, apenas importando um personagem animado para dentro do cenário, sem custo algum para a produtora. Entretanto, se a produtora necessitar de movimentos únicos, não disponíveis na base do Mixamo, este não permite editar os movimentos capturados.

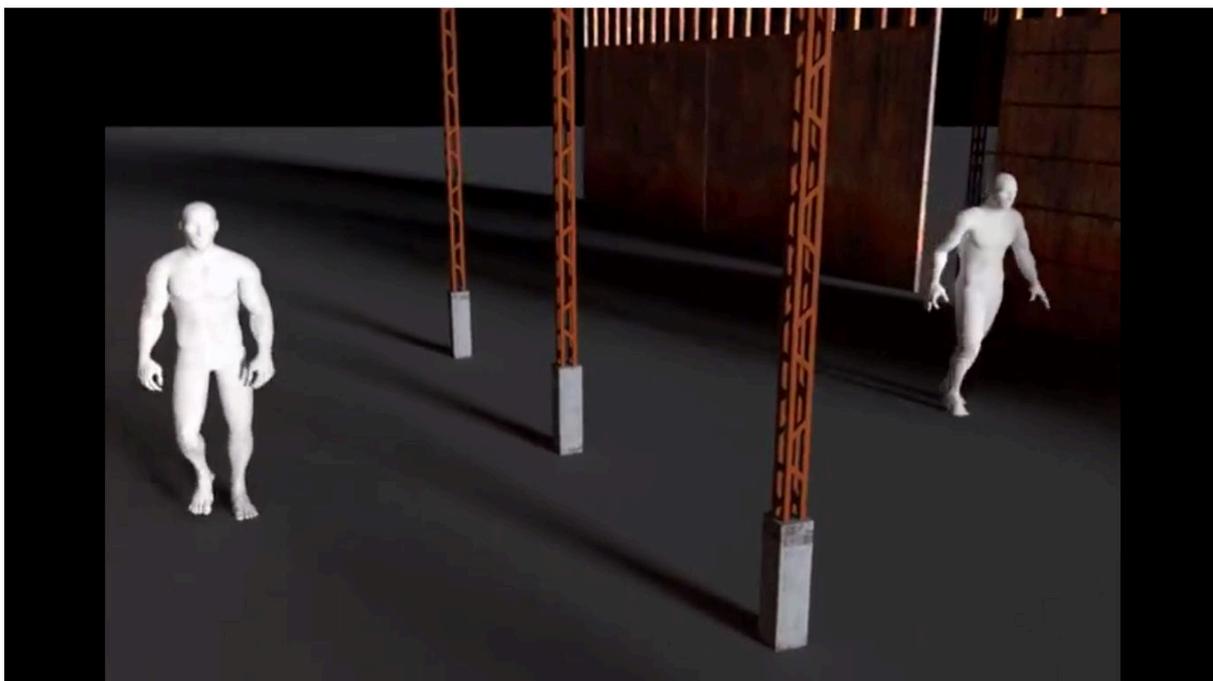


Figura 5.1 – Frame 51 da animação gerada.

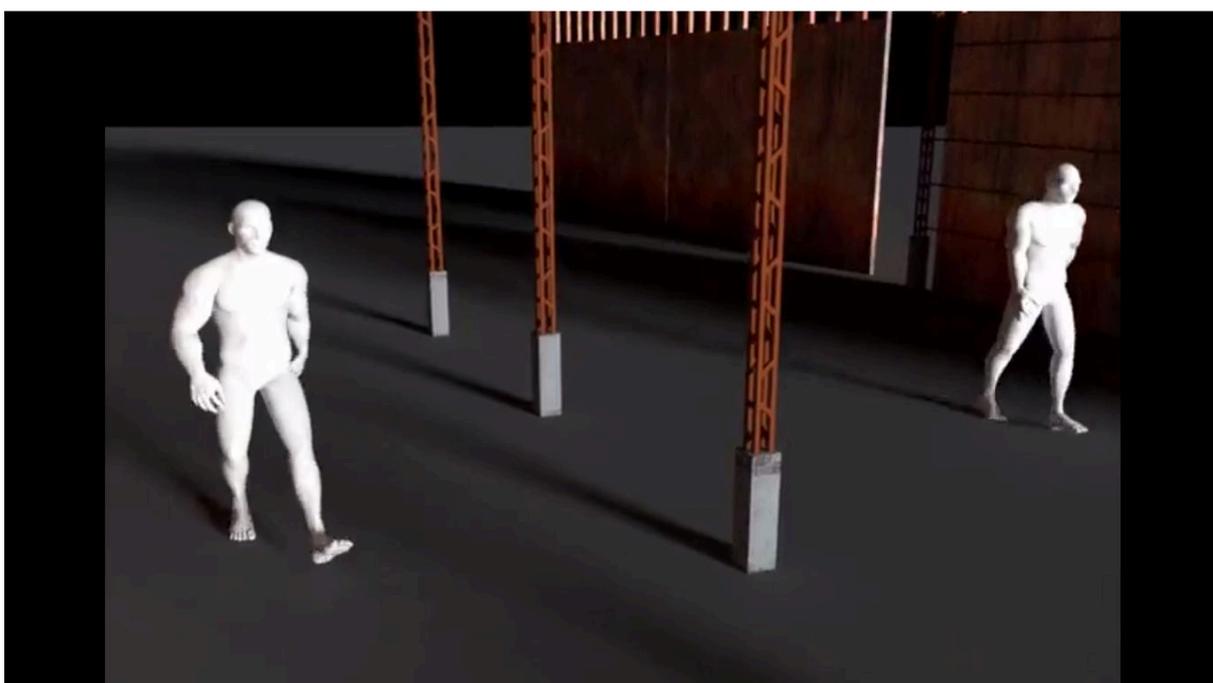


Figura 5.2 – Frame 60 da animação gerada.

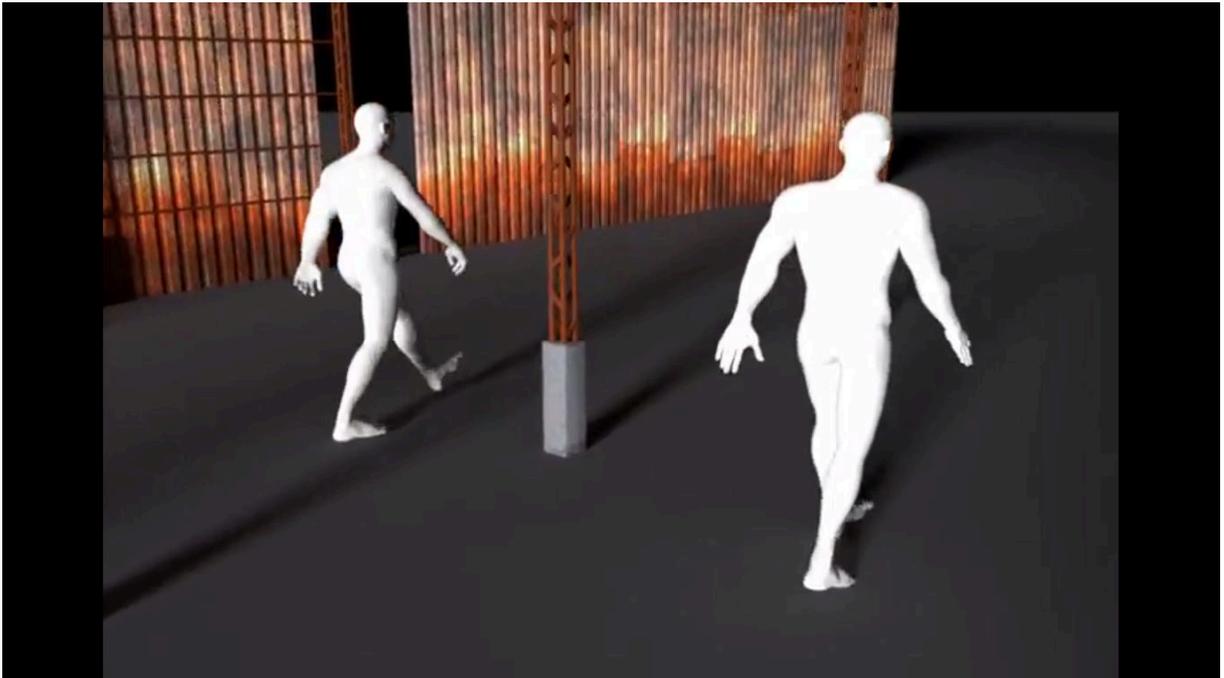


Figura 5.3 – Frame 83 da animação gerada.

Outro ponto a salientar na aplicação destas técnicas, durante a criação desta animação, foi a dificuldade encontrada em retratar os movimentos humanos utilizando os quadros-chave. Como o corpo humano possui diversos ossos e juntas, os quais são retratados como esqueleto no ambiente da animação, movimenta-los *frame a frame*, mesmo para um animador profissional, acaba se tornando uma tarefa bem complexa e, mesmo depois de conseguir realizar os movimentos, estes não terão a mesma fluidez de uma animação utilizando captura de movimentos; os movimentos serão robóticos, carentes de realismo.

Neste trabalho, em relação ao tempo empregado na animação dos personagens, foram necessárias cerca de 4 horas de trabalho usando a técnica de quadros-chave e cerca de 1 hora usando a técnica de captura de movimentos.

Tendo em vista os aspectos observados (Tabela 2.1) é notório que a técnica de captura de movimento é mais viável do que a técnica de quadros-chave. O que a torna inviável para pequenas produtoras é o investimento em ferramentas e mecanismos de captura de movimento; entretanto, isto pode ser contornado, pois a produtora não precisa adquirir equipamentos e nem realizar o processo de captura de movimentos, mas comprar ou encomendar movimentos de estúdios que já os possuem, reduzindo o custo monetário.

Considerando a técnica utilizando quadros-chave, podemos observar, na animação resultante, a diferença no realismo entre as duas técnicas. Para que uma animação utilizando apenas quadros-chave e esqueletos torne-se viável, devemos realizar movimentos pequenos e simples, além de ser produzida por alguém com experiência; mesmo assim levará um tempo muito maior do que a utilização da captura de movimentos.

# Capítulo 6

## Conclusões

Em virtude do trabalho exposto observamos que a área de animação computacional é complexa, mas as diversas técnicas existentes no mercado atendem às demandas do mercado até o momento. Estamos certos de que algumas técnicas de animação, como a captura de movimento utilizando os sistemas acústicos e magnéticos, caíram em desuso, visto que outros sistemas, como os ópticos e as técnicas utilizando princípios da Física e IA, superaram esses sistemas, principalmente por seus benefícios, o maior deles, a realidade e a fidelidade com que o movimento humano real é aplicado em personagens virtuais humanoides.

Em uma visão de mercado, voltada às empresas de animação, entende-se que a aplicação de certas técnicas de animação pode ser inadequada em determinadas empresas. Um exemplo concreto seria uma empresa de pequeno porte, que está entrando no mercado. A criação de animações utilizando a técnica de captura de movimentos, por exemplo, seria inviável, pois a aquisição destes equipamentos necessitaria de muito capital. Para contornar este problema podemos investir em animações prontas, ou realizar a compra de animações personalizadas de outros estúdios de animação já estabelecidos no mercado. Outra estratégia é a utilização de diferentes técnicas de animação, como a aplicação de IA e princípios da Física. O problema dessas animações é que o tempo de desenvolvimento acabará superando o investimento monetário na compra de animações de terceiros.

As técnicas experimentadas neste trabalho: quadros-chave e captura de Movimentos, ambas associadas com esqueletos, nos permitiu concluir que a técnica de captura de movimentos é muito mais vantajosa do que a técnica utilizando quadros-chaves, tanto no tempo de criação quanto na fidelidade e realismo da animação. Considerando o cenário de produção comercial de animações, a técnica de quadros-chave se sobressai parcialmente no custo monetário, pois não há necessidade de adquirir conjuntos de sensores ou câmeras. Já a

técnica de captura de movimento demandará investimentos, recompensados com agilidade de produção e realismo.

A realização deste trabalho nos permitiu entender como funcionam as diferentes técnicas de animação, quais seus benefícios e seus pontos negativos perante certos cenários. Desta maneira poderemos escolher dentre as técnicas, a mais adequada à animação a ser desenvolvida.

## Referências Bibliográficas

ALUMNI. **Lab 5: skeletal animation**. Disponível em: <[http://alumni.cs.ucr.edu/~sorianom/cs134\\_09win/lab5.htm](http://alumni.cs.ucr.edu/~sorianom/cs134_09win/lab5.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

ANNARUMMA, A. **Armature/Bone**. Disponível em: <<https://www.blender.it/armatre-bone/>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

AONOZAN. **Desert hangar free low-poly 3D model**. Disponível em: <<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/exterior/industrial/desert-hangar>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ARAUJO, P. **Analisando técnicas de captura de movimento (2015)**. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5701/1/Monografia%20Final.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

BABADI, A. **What is physically-based animation?** Disponível em: <<https://towardsdatascience.com/what-is-physically-based-animation-cd92a7f8d6a4>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

BARGTEIL, A. W.; SHINAR, T. **An introduction to Physics-based animation**. Disponível em: <[http://www.cs.ucr.edu/~shinar/papers/2018\\_introduction\\_to\\_pba.pdf](http://www.cs.ucr.edu/~shinar/papers/2018_introduction_to_pba.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2019.

BENDER, J.; ERLEBEN, K.; TRINKLE, J. **Interactive simulation of rigid body dynamics in Computer Graphics**. Disponível em: <<https://animation.rwth-aachen.de/media/papers/2014-CGF-RigidBodyDynamics.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

BLENDER. **Introduction**. Disponível em: <<https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/index.html>>. Acesso em: 07 abr 2019.

BLENDER; **Blender 2.80 manual (2019)**. Disponível em: <[https://docs.blender.org/manual/pt/dev/interface/window\\_system/introduction.html](https://docs.blender.org/manual/pt/dev/interface/window_system/introduction.html)>. Acesso em: 06 ago. 2019.

CGICOFFEE. **Perception neuron inertial motion capture vs optical Mocap systems and the first production motion capture session experience**. Disponível em: <<http://cgicoffee.com/blog/2017/04/first-production-motion-capture-session-report>>. Acesso em: 12 jul 2019

CUTLER, K.; **Mixamo is building a platform for game developers to create and animate 3D characters (2013)**. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2013/07/23/mixamo/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

DAMIANO, R.; LOMBARDO, V.; NUNNARI, F. Virtual agents for the production of linear animations. **Entertainment Computing**, v. 4, p. 187-194, Junho 2013.

DAZSTUDIO. **What is DAZ Studio? (2019a)**. Disponível em: <[https://www.daz3d.com/daz\\_studio](https://www.daz3d.com/daz_studio)>. Acesso em: 08 ago. 2019.

DAZSTUDIO. **Introducing GENESIS (2019b)**. Disponível em: <[https://www.daz3d.com/daz\\_studio](https://www.daz3d.com/daz_studio)>. Acesso em: 08 ago. 2019.

DEMOPAJA. **Interpolation methods**. Disponível em: <<http://moppi.inside.org/demopaja/manual/interpolation.html>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

DINCA. **The psychedelic films of John Whitney**. Disponível em: <<https://dinca.org/the-psychedelic-films-of-john-whitney/>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

EIKE, A. **Real-Time character animation for computer games**. Disponível em: <<http://apc.dcti.iscte.pt/praticas/Real-Time%20Character%20Animation%20for%20Computer%20Games.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

EMPIRE. **A history of CGI in the movies**. Disponível em: <<https://www.empireonline.com/movies/features/history-cgi/>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

Equipe BE. **O fenacistoscópio**. Disponível em: <<https://becastanheiradepera.blogs.sapo.pt/o-clube-cinanimar-o-fenacistoscopio-221605>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

FALOUTSOS, P. **Composable controllers for Physics-based character animation**. Disponível em: <<http://web.cs.ucla.edu/~dt/theses/faloutsos-thesis.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

FENG. **SmartBody: automatic rigging (2015)**. Disponível em: <[http://smartbody.ict.usc.edu/HTML/documentation/SB/Automatic-Rigging\\_22478894.html](http://smartbody.ict.usc.edu/HTML/documentation/SB/Automatic-Rigging_22478894.html)>. Acesso em: 13 ago. 2019.

FRAÇA, R. **Na prateleira: Tron – Uma odisseia eletrônica (1982)**. Disponível em: <<http://www.pilulapop.com.br/2010/12/na-prateleira-tron-%E2%80%93-uma-odisseia-eletronica-1982/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

FRAGKIADAKI, K.; LEVINE, S.; FELSEN, P.; MALIK, J.; **Recurrent network models for human dynamics (2015)**. Disponível em: <[https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_iccv\\_2015/papers/Fragkiadaki\\_Recurrent\\_Network\\_Models\\_ICCV\\_2015\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_iccv_2015/papers/Fragkiadaki_Recurrent_Network_Models_ICCV_2015_paper.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2019.

FRANCO, J.; VERGNE, R.; GARCIA, M.; CHABANAS, M. **MORPHEO: 3D graphics, bônus - skeletal animation**. Disponível em: <<http://morpheo.inrialpes.fr/~franco/3dgraphics/practical7.html>>. Acesso em: 10 jun 2019.

GEIJTENBEEK, T. **Animating characters using Physics-based simulation**. Disponível em: <<https://www.goatstream.com/research/thesis/index.html>>. Acesso em 01 jul 2019.

GEIJTENBEEK, T.; PRONOST, N.; EGGES, A.; OVERMARS, M. H. **Interactive character animation using simulated Physics (2011)**. Disponível em: <[http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/15-869/2012/papers/PhysicsAnimation\\_EG11.pdf](http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/15-869/2012/papers/PhysicsAnimation_EG11.pdf)>. Acesso em: 02 jul. 2019.

GOES, T. **TV paga exhibe 'Os Incríveis 2', segundo filme sobre família de super-heróis (2019)**. Disponível em: < <https://f5.folha.uol.com.br/multitela/2019/04/tv-paga-exibe-os-incriveis-2-segundo-filme-sobre-familia-de-super-herois.shtml>>. Acesso em 01 dez. 2019.

GRAHAM, T.; GEOFFREY, H. **Factored conditional restricted Boltzmann machines for modeling motion style (2009)**. Disponível em: <[https://www.cs.toronto.edu/~hinton/absps/fcrbm\\_icml.pdf](https://www.cs.toronto.edu/~hinton/absps/fcrbm_icml.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2019.

HABIBIE, I.; HOLDEN, D.; KUSAJIMA, I.; KOMURA, T. **Fast neural style transfer for motion data (2017)**. Disponível em: <<http://www.ipab.inf.ed.ac.uk/cgvu/cga2017.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

HEARN, D.; BAKER, M. P. **Computer graphics: C version**. 2. ed. New Jersey : Prentice Hall, 1997.

HOLDEN, D.; KOMURA, T.; SAITO, J. **A deep learning framework for character motion synthesis and editing (2016)**. Disponível em: <<http://www.ipab.inf.ed.ac.uk/cgvu/motionsynthesis.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

HOLDEN, D.; KOMURA, T.; SAITO, J. **Phase-functioned neural networks for character control (2017)**. Disponível em: <[http://theorangeduck.com/media/uploads/other\\_stuff/phasefunction.pdf](http://theorangeduck.com/media/uploads/other_stuff/phasefunction.pdf)>. Acesso em: 16 jul. 2019.

LEV-RAM, M. **14 iconic milestones of Disney innovation**. Disponível em: <<http://fortune.com/2014/12/29/disney-innovation-timeline/>>. Acesso em: 21 abr 2019.

MARK, E. **3D animation: keyframing**. Disponível em: <<http://web.arch.virginia.edu/arch545/handouts/keyframing.html>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

META-MOTION. **Gypsy motion capture system technology explained**. Disponível em: <<https://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

MIXAMO. **Homepage Mixamo (2019)**. Disponível em: <<https://www.mixamo.com/>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

NAPTREVIEWS. **Daz Studio Pro review (2019)**. Disponível em: <<https://www.nativetelecom.org/daz3d-review/>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

NAUGHTY DOG. **The last of us (2013)**. Disponível em: <<https://www.naughtydog.com/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

NOGUEIRA, P. **Motion capture Fundamentals (2011)**. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~prodei/dsie12/papers/paper\\_7.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~prodei/dsie12/papers/paper_7.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2019.

OPTITRACK. **Hardware (2019)**. Disponível em:<<https://optitrack.com/hardware/>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

PIXAR. **Toy Story (1995)**. Disponível em: < <https://www.pixar.com/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

ROKOKO. **SmartSuit Pro Shop (2019)**. Disponível em: <<https://www.rokoko.com/en/shop>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

SERRA, I. **15 segredos sobre os bastidores de O Senhor dos Anéis (2018)**. Disponível em: <<https://www.magazine-hd.com/apps/wp/15-segredos-senhor-dos-aneis/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

SHARMA, A.; ARGAWAL, M.; SHARMA, A.; DHURIA, P. **Motion capture process, techniques and applications (2013)**. Disponível em: <[http://www.ijritcc.org/download/IJRITCC\\_1350.pdf](http://www.ijritcc.org/download/IJRITCC_1350.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2019.

SIGGRAPH. **John Whitney biographical web site**. Disponível em: <<https://www.siggraph.org/artdesign/profile/whitney/whitney.html>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

TAKAHASHI, D. **Mixamo debuts fuse character creation tool on Steam using Valve's Team Fortress 2 characters (2013)**. Disponível em: <<https://venturebeat.com/2013/11/07/mixamo-debuts-fuse-character-creation-tool-on-steam-using-valves-team-fortress-2-characters/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

UNUMA, M.; ANJYO, K.; TAKEUCHI, R. **Fourier principles for emotion-based human figure animation (2000)**. Disponível em: <<http://www.cs.virginia.edu/~dbrogan/CS551.851.animation.sp.2000/Papers/unuma.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

WHAT-WHEN-HOW. **Skeletal animation (Advanced methods in computer graphics) part 2**. Disponível em: <<http://what-when-how.com/advanced-methods-in-computer-graphics/skeletal-animation-advanced-methods-in-computer-graphics-part-2/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

YOUTUBE. **Propaganda COCA COLA GTA IV (2013)**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=XYVEDfULAYs>>. Acesso em 12 dez. 2019.