



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE  
FÍSICA - LICENCIATURA

DEYSE EMMANUELY ANDRADE LUCAS

**FÍSICA E ANIMAÇÃO: elementos históricos e conceitos físicos**

Caruaru

2023

DEYSE EMMANUELY ANDRADE LUCAS

**FÍSICA E ANIMAÇÃO: elementos históricos e conceitos físicos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação Física-Licenciatura do Campus do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

**Área de concentração:** Ensino (Física).

**Orientador:** Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lucas, Deyse Emmanuely Andrade.

Física e animação: elementos históricos e conceitos físicos / Deyse Emmanuely  
Andrade Lucas. - Caruaru, 2023.

93 p. : il., tab.

Orientador(a): Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2023.

1. animação para o ensino. 2. Blender. 3. história da Animação. I. Valdés  
Rodriguez, Ernesto Arcenio. (Orientação). II. Título.

530 CDD (22.ed.)

DEYSE EMMANUELY ANDRADE LUCAS

**FÍSICA E ANIMAÇÃO: elementos históricos e conceitos físicos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Física - Licenciatura do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Aprovado em: 26/09/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho ao Criador que me fez criatura, à minha mãe e aos meus irmãos que me acompanham nesta jornada, ao professor Dr. Ernesto Rodriguez por me presentear com o mundo do desenho animado, e aos professores e professoras que contribuíram e ainda contribuem para meu aprendizado.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é produto da convergência de fatores favoráveis à sua realização. Dentre estes fatores, agradeço a meus pais que incentivaram meus estudos e a minha mãe e aos meus irmãos que lutaram a meu lado para mantê-los. Agradeço à minha tia Profa. Socorro que incentivou e influenciou meu hábito pela leitura. E agradeço ao meu professor e orientador Dr. Ernesto Rodriguez pelos ensinamentos valiosos e pelas oportunidades de aprendizagem proporcionada.

Ainda agradeço ao Dr. Ernesto Rodriguez por este tema de discussão maravilhoso com o qual me presenteou, provocando as primeiras ideias sobre este tema ainda na disciplina *Instrumentação para o Ensino de Física*, ofertada pelo mesmo, na qual tive a oportunidade de trabalhar com o *Stop Motion* como instrumento de ensino, além de conhecer o Blender como Programa de Computador destinado à simulação, construção de jogos e edição de vídeos para o setor cinematográfico. A partir de então, mesmo antes de ser meu orientador, incentivou minha busca em trabalhar com desenhos animados, me encorajando a cada pequena conquista neste aprendizado.

Também devo agradecimentos especiais aos membros da Banca Examinadora, por enriquecerem o nosso trabalho com seus conselhos e sugestões. Ao Prof. Dr. João Ramos por seus ensinamentos que incentivam e valorizam a criatividade e ao Prof. Dr. Paulo Peixoto por seus ensinamentos que destacam a importância do detalhe no grande cenário. Obrigada.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco por ter me permitido vivências tão ricas para minha construção acadêmica, com a oportunidade de aprender com professores comprometidos e generosos com a formação do professor de educação básica, sem os quais não poderia me formar. Agradeço também a Biblioteca Agreste, na qual tive acesso ao referencial teórico deste trabalho através de seu acervo.

Também devo agradecimentos especiais à minha mãe Rosa e aos meus irmãos Hellen e Thiago, que contribuíram também com a análise da animação produzida, discutindo suas percepções e opiniões a cada renderização, além da observação sobre o movimento da bolinha, na qual Thiago contribuiu com suas interpretações.

Por fim, agradeço aos muitos que contribuíram indiretamente através de meu aprendizado e de minha construção, sem os quais não poderia ter êxito neste trabalho.

“Animação não é a arte do desenho que se move; ao invés disso, é a arte do movimento que é desenhado. O que acontece *entre* cada *frame* é mais importante do que acontece *em* cada *frame*”. Normam McLaren. (Solomon, 1987, p. 11 apud Lucena Júnior, 2005, p. 93).

## RESUMO

Na busca de instrumentos de ensino de física alternativos, surge a possibilidade de discutir, ensinar e aprender física através de desenhos animados. Este trabalho se propõe a investigar alguns dos conceitos físicos envolvidos na construção do cinema de animação. Tomando como base, três dos livros que se destacam no setor de animação, dos autores Lucena Júnior, Thomas e Johnston, e Richard Williams, analisando e discutindo inovações técnicas e estéticas, durante a história da animação, nas quais conceitos físicos se fizeram presentes. Nesse estudo, cinco dos doze princípios de animação discutidos no livro de Thomas e Johnston, são interpretados a partir de conceitos físicos que explicam os eventos a serem representados em animação. Ainda destacamos alguns dos comandos e ferramentas que utilizamos no Blender, a partir de um pequeno ensaio em que detalhamos algumas de suas etapas. Por fim, selecionamos um dos exemplos discutidos no livro de Richard Williams, a trajetória do lançamento de uma bolinha. A partir deste exemplo, produzimos uma animação no Blender, na qual discutimos os critérios observados e interpretados por um animador para representar esse evento. Destacamos ainda alguns modelos físicos e os comparamos com a animação que produzimos, pontuando as semelhanças e as discordâncias entre as abordagens. Entre esses modelos físicos pontuamos o movimento balístico com resistência do ar, colisão elástica e energia mecânica.

**Palavras-chave:** animação para o ensino; Blender; história da Animação.

## ABSTRACT

In the search for alternative physics teaching tools, the possibility arises of discussing, teaching and learning physics through cartoons. This paper sets out to investigate some of the physics concepts involved in the construction of animated films. It takes as its basis three of the books that stand out in the animation sector, by the authors Lucena Júnior, Thomas and Johnston, and Richard Williams, analyzing and discussing technical and aesthetic innovations during the history of animation, in which physical concepts have been present. In this study, five of the twelve principles of animation discussed in Thomas and Johnston's book are interpreted from physical concepts that explain the events to be represented in animation. We also highlight some of the commands and tools we use in Blender, starting with a short essay detailing some of its stages. Finally, we selected one of the examples discussed in Richard Williams' book, the trajectory of a ball being thrown. Based on this example, we produced an animation in Blender, in which we discussed the criteria observed and interpreted by an animator to represent this event. We also highlighted some physical models and compared them with the animation we produced, pointing out the similarities and disagreements between the approaches. These physical models include ballistic movement with air resistance, elastic collision and mechanical energy.

**Keywords:** animation for teaching; Blender; animation history.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração de Richard Williams.	20
Figura 2 –	Órbita descrita pela Relatividade Geral.	22
Figura 3 –	Os animadores Al Dempster, Dick Anthony, Ralph Helett e Eyving Earle, analisando uma folha de celuloide.	30
Figura 4 –	Câmera de Múltiplos Planos.	31
Figura 5 –	Animador, animando com os pinos na parte inferior da prancheta.	32
Figura 6 –	Representação de uma gota de chuva após uma tempestade, por Dan MacManus.	33
Figura 7 –	Representação para o movimento de lava, por Paul Kossoff.	33
Figura 8 –	Estudos do movimento da água no mar, sob a ação da cauda de uma baleia.	34
Figura 9 –	Animadora de efeitos, Jane Fowler Boyd, conferindo o desenho de chamas.	34
Figura 10 –	Cena em que está representado um personagem que vive entre as chamas.	35
Figura 11 –	Cena em que está representado o efeito de sombras.	36
Figura 12 –	Fotografia da colocação de um dos níveis no suporte multiplano.	37
Figura 13 –	Esquema de uma Câmera Múltiplos Planos.	38
Figura 14 –	Imagem do Vídeo <i>Walt Disney Introduces the Multiplane Camera</i> , que ilustra a esquematização do exemplo.	39
Figura 15 –	Imagem do Vídeo <i>Walt Disney Introduces the Multiplane Camera</i> , que ilustra a esquematização do exemplo.	40
Figura 16 –	Imagem do Vídeo <i>Walt Disney Introduces the Multiplane Camera</i> , que ilustra o resultado do esquema discutido.	41
Figura 17 –	Os três personagens demonstram determinação em seus movimentos.	43
Figura 18 –	Exemplo do princípio Continuidade e Sobreposição da Ação, por Bill Tytla.	45
Figura 19 –	Exemplo do princípio Aceleração e Desaceleração.	46

Figura 20 –	Exemplo do princípio Aceleração e Desaceleração.	47
Figura 21 –	Exemplo de Parte de uma Folha de Exposição.	48
Figura 22 –	Exemplo de Parte de uma Folha de Exposição.	49
Figura 23 –	Representação de um personagem bidimensional, e o mesmo representado em formato volumétrico.	50
Figura 24 –	Tubo de raios catódicos, utilizados por Thomson, nos experimentos publicados no artigo <i>Cathode Rays</i> .	51
Figura 25 –	Duas projeções em perspectiva, onde <i>a</i> é obtida pelo olho esquerdo e <i>b</i> pelo olho direito.	52
Figura 26 –	Estereoscópio de espelho, feito por Wheatstone.	53
Figura 27 –	Televisão estereoscópica, inventada por James Butterfield.	53
Figura 28 –	Sistema de Televisão em 3D.	54
Figura 29 –	Tela Inicial do Blender.	56
Figura 30 –	Imagem da Tela do documento, destacando a adição de uma Imagem de referência.	57
Figura 31 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “totoro linha”, <i>frame</i> 1.	58
Figura 32 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “totoro linha”, <i>frame</i> 3.	59
Figura 33 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “coloração”, <i>frame</i> 1.	60
Figura 34 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “separação”, <i>frame</i> 1.	60
Figura 35 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “sombreamento”, <i>frame</i> 1.	61
Figura 36 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “piso”, <i>frame</i> 1.	62
Figura 37 –	Imagem da Tela do documento, destacando o <i>layer</i> “chão de sombra”, <i>frame</i> 1.	62
Figura 38 –	Imagem da Tela do documento, destacando o resultado final sobre a imagem de referência.	63
Figura 39 –	Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao <i>Frame</i> 1.	63

Figura 40 –	Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao <i>frame 3</i> .	64
Figura 41 –	Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao <i>frame 5</i> .	64
Figura 42 –	Tela do Blender com as configurações utilizadas para renderizar a animação.	65
Figura 43 –	Ilustração de Richard Williams, na qual representa o movimento de uma bolinha quicando.	67
Figura 44 –	Fotografia estroboscópica de uma bolinha.	67
Figura 45 –	Movimento vertical de uma bolinha.	68
Figura 46 –	Ensaio para a animação, utilizando a Figura 32 como referência.	69
Figura 47 –	Representação final da trajetória, para o ensaio.	70
Figura 48 –	Representação para a trajetória da bolinha rígida, animada <i>em uns</i> .	71
Figura 49 –	Representação para o conceito de Comprimir e Esticar, em uma bolinha.	72
Figura 50 –	Representação para a trajetória da bolinha maleável, quase elástica, animada <i>em dois</i> .	72
Figura 51 –	Representação do zoom, em um intervalo de tempo, no qual a bolinha rígida toca o solo.	73
Figura 52 –	Representação do zoom, em um intervalo de tempo, no qual a bolinha maleável, quase elástica, toca o solo.	74
Figura 53 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe na iminência da colisão.	78
Figura 54 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante a colisão.	78
Figura 55 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante a colisão.	79
Figura 56 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante a colisão.	79
Figura 57 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia potencial elástica restante, em energia cinética.	80
Figura 58 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	80

Figura 59 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	80
Figura 60 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	81
Figura 61 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	81
Figura 62 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	81
Figura 63 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	82
Figura 64 –	<i>Frame</i> do vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação de energia.	82
Figura 65 –	Sequência de <i>Frames</i> de um vídeo, bola de golfe durante Uma colisão elástica.	83
Figura 66 –	Algoritmo desenvolvido em sala de aula, na disciplina de Computação Científica I, pelo Prof. Dr. Paulo Peixoto, no ano 2019. Com alterações. Programa de Computador Dev++.	85
Figura 67 –	Diferença entre uma trajetória que desconsidera a resistência do ar na cor azul, e a mesma trajetória que sofre a ação da força resistiva na cor vermelha.	86
Figura 68 –	Gráfico que simula o lançamento de uma bolinha que perde cerca de 30% da energia mecânica a cada contato com o solo.	87
Figura 69 –	Gráfico que simula o lançamento de uma bolinha que perde cerca de 50% da energia mecânica a cada contato com o solo.	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>VERDADES OU INVENÇÕES?</b>	<b>15</b>
1.1	VERDADES INVENTADAS	15
1.2	O VEROSSÍMIL NA ARTE	18
1.3	BREVÍSSIMA DISCUSSÃO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE FÍSICA E ANIMAÇÃO	19
<b>2</b>	<b>A CONSTRUÇÃO DO MOVIMENTO NO CINEMA DE ANIMAÇÃO ATRAVÉS DA HISTÓRIA</b>	<b>24</b>
2.1	DISNEY E ALGUNS DE SEUS ESTUDOS	32
<b>2.1.1</b>	<b>Disney e os Princípios de Animação</b>	<b>42</b>
2.1.1.1	Comprimir e Esticar	42
2.1.1.2	Continuidade e Sobreposição da Ação	44
2.1.1.3	Aceleração e Desaceleração	45
2.1.1.4	Temporização	47
2.1.1.5	Desenho Volumétrico	49
2.2	EXPERIMENTOS COM TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS	50
<b>3</b>	<b>EXPLICITANDO UM POUCO DA FÍSICA NA REPRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO DE UMA BOLINHA QUICANDO EM UMA ANIMAÇÃO 2D</b>	<b>56</b>
3.1	APRESENTAÇÃO BREVÍSSIMA DE ALGUMAS DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NO BLENDER PARA A PRODUÇÃO DA ANIMAÇÃO DISCUTIDA (SEM ÁUDIO)	56
3.2	LANÇAMENTO DE UMA BOLINHA	66
<b>3.2.1</b>	<b>Algumas Pontuações sobre o Desenvolvimento de Nossa Animação</b>	<b>68</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Discutindo Brevemente Alguns Conceitos Físicos Presentes na Análise do Movimento Animado</b>	<b>74</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Brevíssimas Conclusões</b>	<b>88</b>
<b>4</b>	<b>BREVES CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>90</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>91</b>

## 1 VERDADES OU INVENÇÕES?

### 1.1 VERDADES INVENTADAS

Era uma vez um Mundo Real, no qual viviam pequenas criaturas chamadas pessoas. Essas criaturinhas possuíam uma ferramenta muito poderosa, chamada pensamento, e com a ajuda dele modelaram o Mundo Real à sua própria imagem. Com o passar do tempo, muitas criaturinhas surgiram e com elas seus pensamentos distintos, intrigantes, envolventes e repulsivos. A confusão nesse mundo era iminente e as criaturinhas discutiam sobre as transformações que queriam em seu próprio mundo.

Em meio a essa confusão surge a Verdade, responsável pelo desvelamento do oculto e por discriminar as transformações de mundo que seriam vistas como boas. Ora, muitos pensamentos foram deslegitimados diante da Verdade, não por mentiras, mas por falta de representatividade, visto que esses pensamentos não se mostravam relevantes para o Mundo Real. Desse cenário resultou que cada criaturinha possuía ao menos um pensamento que não fora contemplado pelo seletivo grupo da Verdade, gerando um grande sussurro de frustração. Mas nem tudo estava perdido, a Verdade ainda tinha uma carta na manga para garantir sua aceitação pelas criaturinhas. Essa carta se chamava Esperança. Esperança de que aquele pensamento, outrora rejeitado, um dia alcançasse a Verdade.

Obviamente, a Esperança tinha várias de suas irmãs que trabalhavam a seu favor, uma delas era a Fantasia. A Fantasia agia diretamente no pensamento de cada criaturinha, e alimentava o desejo daquele pensamento em ser real, transformando-o em Sonho. Esse Sonho se diferenciava do sono, por permitir que a criaturinha imaginasse que tivesse domínio sobre a sua própria realidade. Assim surgiu o Mundo Inventado, que abrigava todos esses Sonhos, conectando-os pelo desejo de seus pensamentos em parecerem reais.

Nesse Mundo Inventado a Verdade não era mais almejada, os sonhos que ali estavam, estavam justamente por não serem reais. Nesse mundo, os moinhos de vento poderiam ser dragões e o soldadinho de chumbo poderia enfim viver com a sua bailarina de papel, os bonecos de madeira poderiam ser meninos e os lobos poderiam ser mansos, se assim desejassem. Porém, o desejo de ser real daquele pensamento que se transformou em sonho, ainda assombrava o tal Mundo Inventado. Talvez por

isso, de uma maneira quase que inocente, esses sonhos imitavam a realidade, mas apenas um pouco, somente o suficiente para aquietar a frustração daquele pensamento rejeitado.

Apesar de eficiente, era muito laborioso conseguir a aceitação das criaturinhas a partir da manutenção do Mundo Inventado, por isso que a Verdade chamou em segredo uma das assistentes da Fantasia. Uma assistente que tinha fama de ser rebelde, e às vezes, apenas às vezes, cometia algum ato insano, uma pequena loucura. Ela se chamava Imaginação.

A Verdade, então desvelou alguns de seus segredos para a Imaginação, e a partir dessa revelação surgiu um novo ser, chamado Verossimilhança. Ora, a Verossimilhança nascera sem rosto e inerte, apenas um corpo longo, delgado e nu. Então a Verdade modelou seu rosto para parecer-se com o seu, e a Imaginação por sua vez, rasgou parte de suas próprias vestes e a vestiu. A Verdade e a Imaginação tomaram cada uma, uma das mãos da Verossimilhança e com ela percorreram os quatro cantos do Mundo Real.

Esse mundo, amado pela Verdade era mostrado para a Verossimilhança em cada detalhe, desde o mais humilde dos seres, até a infinitude com a qual contemplava o céu. A Imaginação, por sua vez, lhe mostrava cada detalhe que desgostava daquele mundo, desde a mesquinhez dos grandes, até a finitude que seus pés eram obrigados a tocar. A Verossimilhança tomou nota de tudo que lhe fora mostrado, e aguardou o momento em que lhe fosse dada a fala.

Ao fim da jornada a Verdade soltou sua mão, e lhe disse que não poderiam mais seguir juntas a partir daquele ponto do caminho, e assim como a Verdade nunca pisou no Mundo Inventado, ela também não poderia, a partir daquele dia, estar no Mundo Real. Jamais poderiam ser vistas uma na companhia da outra, embora um pedacinho seu sempre estivesse com a Verossimilhança, visto que uma se assemelhava à outra. Em seguida ela foi puxada gentilmente pela Imaginação, que ainda a acompanhava, para dentro no Mundo Inventado, enquanto lançava um último olhar àquela irmã e àquele mundo que não mais veria.

Ao adentrar no Mundo Inventado tropeçou em uma pequena lata de tinta, que alguém largara por ali. Olhou a seu redor e percebeu que aquele mundo tinha algumas tiras rasgadas, que esvoaçavam na direção do que parecia ser o céu. Ora, tudo era muito bonito, tinha um certo charme em cada traço desenhado e nas cores que se confundiam, mas era difícil perceber algum tipo de padrão em toda aquela confusão.

Enquanto observava um pequeno campo ao longe, coberto de moinhos de vento que se assemelhavam a dragões, encontrou o olhar preocupado da Imaginação, que ainda lhe segurava a mão. Em sua outra mão, a Imaginação carregava um frasquinho com um líquido transparente, e aconselhou que a Verossimilhança o bebesse para que pudesse compreender o seu propósito naquele lugar. Acontece que naquele frasquinho havia alguns dos segredos da Verdade, que a mesma confiara nas mãos de sua irmã. A Verossimilhança pegou o frasquinho e o acalentou em seus dedos, sabia o que era, pois existia por conta dele. Levou-o aos lábios e o bebeu. Saboreou o seu amargor.

Então compreendeu que a Verdade não era para todos, apenas para alguns. Mas compreendeu também como permitir que os pensamentos sobrepujados e transformados em Sonhos encontrassem a paz na sua própria condição. Ora, eles não queriam mais ser reais, mas ainda amavam o mundo em que não poderiam mais estar. A Verossimilhança percebeu que poderia então utilizar o que aprendeu no Mundo Real para transformar o Mundo Inventado, na busca do contentamento das criaturinhas e de seus pensamentos.

Neste instante, perceberam que estavam sendo observadas por outro alguém do outro lado da estrada. Era a Fantasia que estava à procura da Imaginação, que desaparecera sem aviso algum. Seus olhos não saíam de sua mais nova irmã que lhe lembrava alguém. Ela se assemelhava muito à Verdade. Não fossem por suas vestes confusas, poderia ser confundida com a mesma. Se aproximou lentamente ainda desconfiada, mas queria ver de perto do que seria capaz aquela mais nova irmã. Tocou em sua mão e percebeu de quem se tratava, e compreendeu que sob sua orientação poderiam transformar o Mundo Inventado.

Ao som de sua voz, que ecoou repentinamente por todo o Mundo Inventado, todas as suas assistentes se reuniram naquele pequeno lugar, aguardando ordens para os novos pensamentos que estavam se transformando em sonhos. A Verossimilhança sentou-se em meio a elas e lhes contou sua história, ensinando como poderiam modelar estes novos sonhos, para que fossem capazes de transitar entre o Mundo Real e o Mundo Inventado sem grandes contratemplos. O método mais aceito pelas irmãs foi a caracterização desses Sonhos a partir do Mundo Real. Para tanto, fez-se necessário um estudo breve dos conhecimentos naturais produzidos no Mundo Real, somente o necessário para a caracterização.

Trajados desta maneira, os Sonhos causavam alguns sentimentos novos nas criaturinhas, tais como o anseio, a empatia, o riso e até mesmo a identificação. Ora, com este novo método as criaturinhas passaram a não somente se contentar com seus novos sonhos, como passaram a se identificar com as histórias que deles ouviam. Seus personagens pareciam com elas mesmas, e mesmo aqueles personagens pitorescos, animais ou mesmo caricatos, lhe despertavam emoções diversas pelo simples fato de possuírem características intrínsecas do Mundo Real, portanto, de suas criaturinhas.

Esta Nova Era do Mundo Inventado, foi marcada por muitas transformações, invenções e conquistas. Muitos dos pensamentos nem precisavam se transformar em sonho para transitar pelo Mundo Inventado, apesar de serem legitimados pela Verdade, muitos queriam apenas um lugar para se desfazer ou mesmo trocar algumas de suas ideias, para poderem idealizar mais do mundo que habitavam. Dessa maneira o Mundo Inventado passou a fazer parte do Mundo Real, e o Mundo Real passou a valorizar a amizade desse Mundo Inventado, que a seu modo, produzia suas próprias Verdades Inventadas.

## 1.2 O VEROSSÍMIL NA ARTE

O conto *Verdades Inventadas* se refere a um conto escrito por nós durante este estudo, na busca contar um pouco da influência da arte na sociedade, tomando como referência o primeiro capítulo, *Arte e filosofia* do livro *Pequeno Manual de Inestética*, escrito por Alain Badiou, presente nas referências, no qual discute o entrelaçamento entre a arte e a filosofia no século XX, época marcada pela profusão de inventos que contribuíram para a caracterização do Cinema como o conhecemos. Nessa obra, o autor propõe os esquemas *Didático*, *Romântico* e *Clássico* para descrever essa relação, os quais foram todos experimentados ao longo do último século. Badiou (2002) argumenta que, enquanto no esquema Didático a Arte é incapaz da verdade, no esquema Romântico a Arte é a única capaz da verdade, por outro lado o esquema Clássico propõe um meio termo, considerando a Arte ainda incapaz da verdade porque não pretende sê-la, mas busca uma maneira de agradar através da identificação com a verdade, ou seja, de uma semelhança com a verdade, portanto verossímil.

Atendo-se ao esquema Clássico, observa-se que o verossímil apresenta uma participação relevante na arte à medida em que se percebe que a verdade pode até ser irrelevante, mas ainda é necessária a busca por algo que ofereça os mesmos padrões de confiabilidade. Lucena Júnior (2005, p. 70) afirma que “arte é ilusão, mas, jamais poderia abdicar da referência do mundo físico, onde, afinal, existimos enquanto organismos biológicos”, resultando no argumento de Badiou (2002, p. 15), ao concluir que, quem procura a arte, deposita nela suas paixões, a partir do instante que nela se identifica.

Então, onde está a verdade da animação? Ao considerá-la uma arte, encontramos nela a necessidade em cativar. Para tanto, a animação incorpora o mundo físico à sua linguagem explorando suas características. Desse modo,

(...)para fazer os designs funcionarem, os *movimentos* têm que ser críveis – o que nos leva de volta ao realismo e às ações reais, os quais, por sua vez, nos levam de volta ao estudo da figura humana e animal para a compreensão de sua estrutura e dos movimentos. O que queremos alcançar não é realismo, é a *credibilidade*. (Williams, 2016, p. 34, grifo próprio).

### 1.3 BREVÍSSIMA DISCUSSÃO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE FÍSICA E ANIMAÇÃO

Ao discutir sobre as diversas visões defendidas por alguns cineastas, o autor Jacques Aumont (2004) expressa que

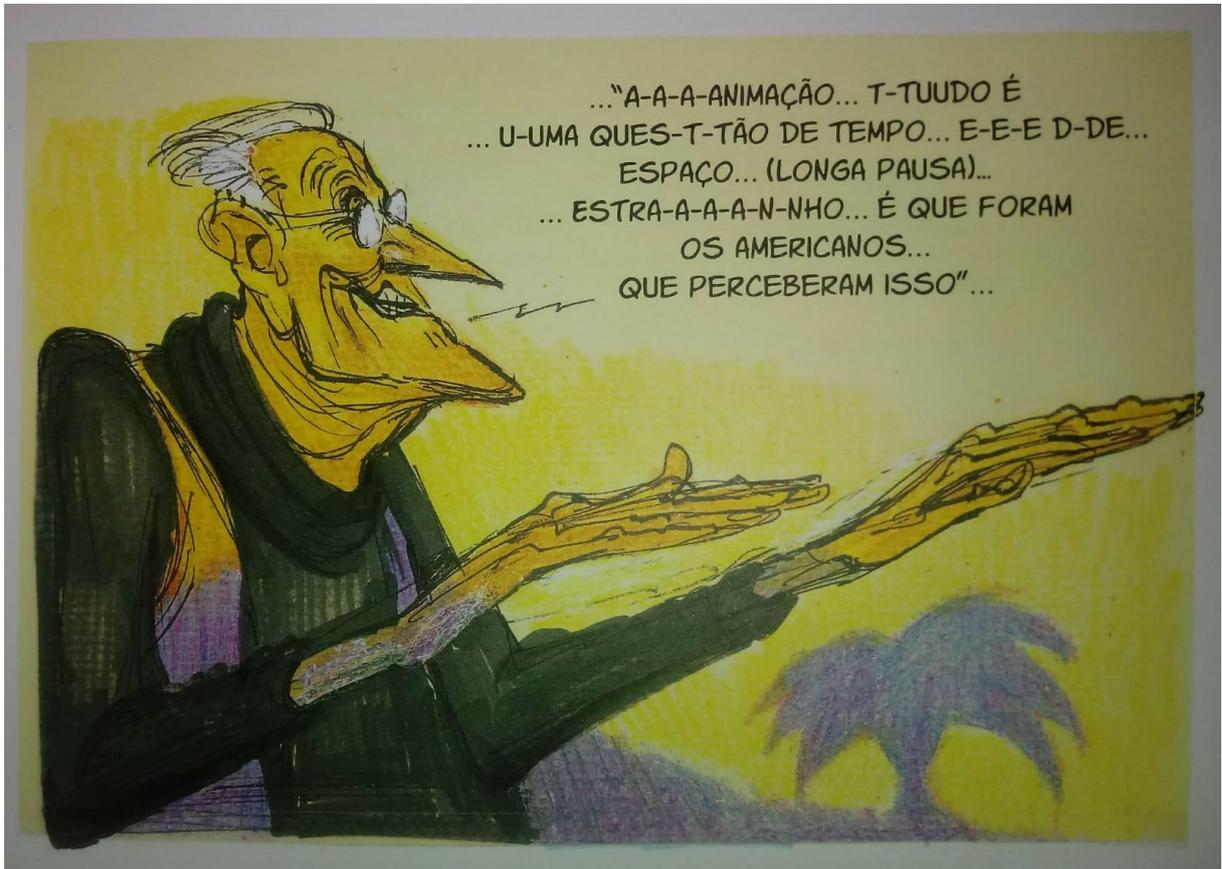
(...)o cinema é uma arte múltipla, plural, arte do espaço e arte do tempo, arte da narrativa e da descrição, arte do diálogo e da arte musical, arte da dança e da pose escultural, arte do desenho e da cor: absorve nele, sem nem mesmo ter de “resolvê-las”, as principais questões estéticas das artes tradicionais até ele. O cinema é uma arte total, que contém todas as outras, que as excede e transforma. (Aumont, 2004, p. 144).

Assumindo o risco em discutir temas que não destacam nitidamente a física, percebemos que o autor relaciona o cinema a dois conceitos essenciais para a cinemática do movimento na física clássica, o *espaço* e o *tempo*. Nos levando a afirmar que esta seria uma relação trivial entre a física e o cinema. O autor Lucena Júnior (2005, p. 126) especifica ainda mais ao argumentar que “Se o movimento é a essência da animação e esse é um fenômeno que ocorre no tempo, naturalmente a animação é a arte de lidar com o tempo”, estabelecendo assim um vínculo ainda mais estreito entre a física e a animação.

O animador Grim Natwick em uma de suas conversas com Richard Williams, enfatizou a importância que destinava ao tempo e ao espaço dentro da animação, esta situação está ilustrada na Figura 1. De acordo com Williams (2016, p. 35) Grim

Natwick fez o design de Betty Boop para os Fleischer, assim como animou 83 das cenas de Branca de Neve e os Sete Anões de 1937 para a *Walt Disney Studios*.

Figura 1: Ilustração de Richard Williams.



Fonte: Williams (2016, p. 35)

Nesse contexto, observamos que a manipulação desses dois conceitos na animação, caracteriza o movimento animado pelo cinema. Desse modo, percebemos que o movimento do cinema dificilmente será verdadeiro, mas sempre poderá ser verossímil. Ainda podemos afirmar que a verossimilhança no movimento do cinema de ação, poderá ser obtida muito mais naturalmente através da atuação de seres vivos, do que a verossimilhança no movimento do cinema de animação, que anima objetos inanimados.

De acordo com Lucena Júnior (2005, p. 29) existem evidências antigas da busca em dar movimento a figuras inanimadas por parte do homem, que podem ser encontradas em pinturas rupestres, no Homem Vitruviano de Leonardo Da Vinci

(1452-1519), ou ainda na pintura *Nu descendo uma escada*, de Marcel Duchamp (1887-1968).

Embora existisse esse desejo em expressar objetos inanimados em tempo e espaço mutáveis, a animação em si surge apenas no século XIX com as invenções dos instrumentos ópticos mecânicos, antes do Cinema propriamente dito, que surge apenas em 1895 com a invenção do Cinematógrafo pelos Irmãos Lumière. Nessa onda de invenções, o animador Walt Disney e sua Equipe se aventuram em um mundo ainda em construção, onde cada experiência poderia ser um triunfo ou um desastre. Porém a engenhosidade de sua equipe e sua visão de mundo não passariam despercebidas. Em seus estudos desenvolveram um método de animação que tornaria *Walt Disney Studios* um fenômeno cinematográfico em animação.

A proposta do presente estudo se ancora na possibilidade de discutir, ou mesmo ensinar, determinados conceitos físicos, principalmente na área da Mecânica Clássica, através dos Princípios Fundamentais de Animação. Diante desta possibilidade, uma animação em 2D será produzida durante o estudo, com movimentos de corpos que exijam o mínimo de traços, por simplicidade de produção.

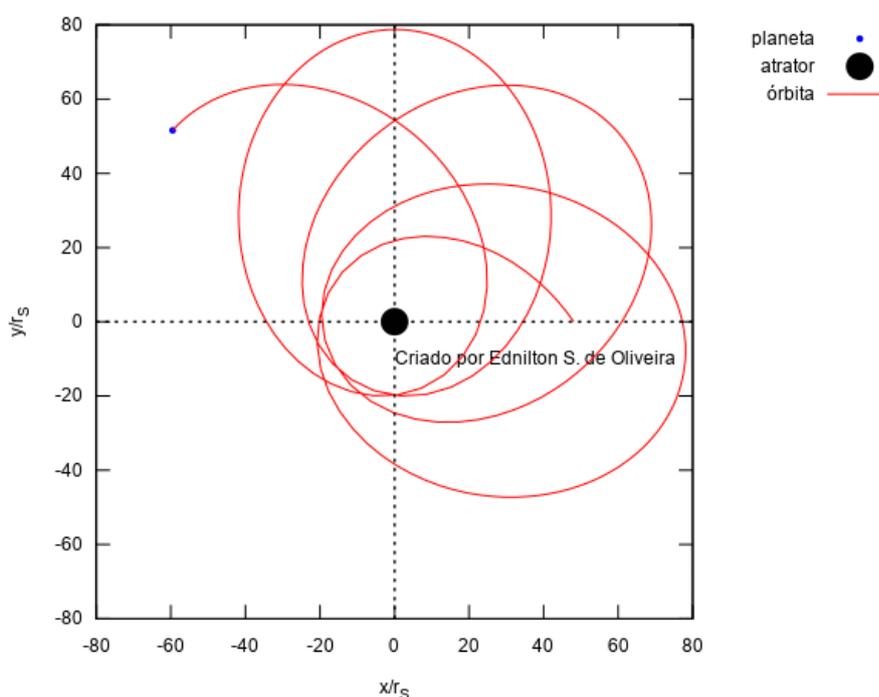
A animação será produzida no *Blender*, um programa de computador, pertencente à *Blender Foundation*, capaz de editar e renderizar vídeo, além de modelar e animar, entre outras finalidades, disponível no site [blender.org](http://blender.org). Este programa possui muitas ferramentas à disposição de qualquer usuário, visto que é um programa gratuito e de código aberto. Entre suas diversas atribuições, estão a modelagem em 3D ou ainda a simulação do comportamento de alguns corpos, como fluidos, cabelo e fumaça.

Neste trabalho, o *Blender* foi a ferramenta escolhida para alcançar o resultado desejado de maneira clara e objetiva, visto que outros métodos poderiam ser utilizados, como o *Stop Motion*, que se caracteriza pelas fotografias em sequência. Porém, por questões de praticidade e maior número de ferramentas técnicas à disposição, o *Blender* se revelou mais apropriado para a situação. Portanto, nesse estudo torna-se pertinente observar que existem algumas diferenças entre a **animação** discutida nesse trabalho, e **simulação**.

Em uma **simulação**, o **programador** desenvolve um algoritmo com o objetivo de simular algum evento em específico, cujos parâmetros físicos previamente estabelecidos são responsáveis por modelar o resultado obtido. Porém, quando este mesmo programador desenvolve um algoritmo para simular o movimento de um corpo

e apresenta este movimento na tela, também a entendemos como uma **animação**. Podemos exemplificar essa situação com o trabalho do Prof. Dr. Ednilton S. de Oliveira na UFPA, onde ensina Física Computacional e utiliza o Sistema Computacional *Maxima* como instrumento de ensino (E. S. DE OLIVEIRA, 2023). Ainda de acordo com o professor, ele obtém suas animações a partir da sintetização de uma sequência de imagens, que são convertidas em GIF pelo *software ImageMagick*. Essa sequência de imagens resultada dos métodos numéricos aplicados no *Maxima*. Na Figura 2, observamos um exemplo em que (E. S. DE OLIVEIRA, 2023) simula a órbita de um planeta descrita pela Relatividade Geral, que por limitação técnica de nossa parte apresenta apenas uma das imagens da animação, porém a animação completa pode ser acessada no endereço referenciado.

Figura 2: Órbita descrita pela Relatividade Geral



Fonte: E. S. de Oliveira (2023)

Entretanto, a **animação** discutida nesse trabalho se refere às produções clássicas que fazem parte do setor cinematográfico, onde o animador busca representar o movimento de algo, independente à primeira vista, de vínculos matemáticos que fujam da intuição corriqueira de qualquer observador. Ou seja, na

animação aqui discutida, os resultados obtidos serão baseados puramente na capacidade de observação, interpretação e representação do animador, que deve estar atento principalmente à massa, à distância e ao tempo que manipula, e principalmente, ao comportamento realístico do corpo que representa. Cabe destacar neste momento, que a Física por vezes recorre à observação de fenômenos para em seguida interpretá-los.

Apesar de uma abordagem a princípio intuitiva, parecer inicialmente simplória, esta maneira de representar fundamenta-se no quanto que o animador conhece daquele evento em específico e em sua capacidade de representar. Walt Disney encarava esse fato com bastante seriedade, tanto que investia nos estudos de seus animadores.

Os estudos incluíam desenho de modelo vivo, anatomia, psicologia da cor, análise do movimento e princípios de representação. Disney insistia na observação dos atores dos espetáculos de variedades, mímicos, os grandes mestres das comédias dos filmes mudos. Queria o domínio do movimento real, mas não a cópia natural – a ação desenhada tinha de basear-se na realidade, para daí partir para a caricatura, o exagero, a encenação. (Lucena Júnior, 2005, pp. 105-106).

Desse modo, suas animações alcançavam o que ele chamava de “ilusão da vida” (Thomas; Johnston, 1995, p. 25).

Compreendemos então que neste trabalho serão evidenciados alguns dos *conceitos físicos* que fundamentam a animação desde as suas primeiras formas de linguagem, sendo considerados ainda hoje referência para muitas das atuais produções cinematográficas em animação.

## 2 A CONSTRUÇÃO DO MOVIMENTO NO CINEMA DE ANIMAÇÃO ATRAVÉS DA HISTÓRIA

De acordo com Lucena Júnior (2005, p. 28), no anseio de “dar a vida” (Solomon, 1987, p. 10 apud Lucena Júnior, 2005, p. 28) aos seres inanimados, o homem em seu processo de expressão através da arte visual no cinema de animação, concentra-se no movimento, isto porque “o movimento é a atração visual mais intensa da atenção” (Arnheim, 2005, p. 378). Observa-se que a história da animação compartilha alguns de seus fatos com outras narrativas, iniciando com o desejo do homem de representar o movimento nas pinturas, chegando a desenvolver uma arte na qual movimentava bonecos de sombras como as Sombras Chinesas. Ou ainda inventando uma maneira de projetar imagens em superfícies, para em seguida descobrir como fixar estas imagens, as chamadas fotografias. Por fim, aprende a apresentar um número suficiente de fotogramas por segundo, baseando-se na persistência da visão, constituindo assim a infância do cinema.

Ainda se permite observar que, conforme discutido anteriormente, o movimento presente no cinema apresenta uma determinada verossimilhança em seu caráter, verossímil por não ser verdadeiro, mas semelhante. Observa-se que muito mais semelhante no cinema de ação que no cinema de animação, por se tratar do movimento não natural de seres inanimados, manipulados pela expressão do artista. De modo que o cinema de animação, apesar de ter o movimento como elemento intrínseco, não o concebe com um manual de instruções, pelo contrário, descobre sua engenhosidade juntamente com o seu próprio processo de construção.

O próprio animador Norman McLaren destinava uma maior importância ao movimento desenhado que para o próprio desenho, ao afirmar que: “Animação não é a arte do desenho que se move; ao invés disso, é a arte do movimento que é desenhado. O que acontece *entre* cada *frame* é mais importante do que acontece *em* cada *frame*” (Solomon, 1987, p. 11 apud Lucena Júnior, 2005, p. 93). De modo que na Tabela 1 estão reunidos alguns dos fatos dentro da história do cinema, que corroboraram para construir um conceito que padronizasse o desenho do movimento dentro da animação, convergindo para os princípios da animação, apresentados pelos animadores Frank Thomas e Ollie Johnston no livro *The Illusion of Life: Disney Animation*, presente nas referências.

Tabela 1 – Ordem Cronológica de alguns marcos relevantes na construção do movimento no cinema de animação, com os dados coletados em (LUCENA JÚNIOR, 2005).

<b>Data</b>	<b>Invenção ou Produto</b>	<b>Inventor ou Produtor</b>	<b>País ou Cidade</b>
1645	Lanterna Mágica	Athanasius Kircher	Roma
1736	Primeira exibição animada	P. v. Musschenbroek	Holanda
1760	Importação ocidental das Sombras Chinesas (Teatro de Sombras)		
1794	Espetáculo ( <i>Fanstasmagorie</i> )	Etiene G. Robert	Paris
1824	Artigo: <i>The Persistence of Vision with Regard to Moving Objects</i>	Peter Mark Roget	
1825	Taumatroscópio		
1826	Fotografia	Nicéphore Niepce e Louis Daguerre	França
1828	Fenacistoscópio	Joseph Plateau	Bélgica
1834	Zootroscópio	Willian Honer	Inglaterra
1850	Primeiro projetor de cinema	Franz von Uchatius	Áustria
1868	Flipbook		
1877	Praxinoscópio	Emile Reynaud	Paris
1878	Registro do movimento de um cavalo	Eadweard Muybridge	Reino Unido
1882	Teatro Praxinoscópio	Emile Reynaud	Paris
1891	Kinetoscópio	Thomas Edison e Willian Dickson	
1895	Cinematógrafo	Irmãos Lumière	Paris
1902	<i>Le Voyage dans La Lune</i>	George Méliès	Paris
1906	<i>Humorous Phases of Funny Faces</i>	James S. Blackton	EUA
1907	<i>The Haunted Hotel</i>	James S. Blackton	EUA
1908	Saturação do público devido à inundação de filmes similares		
1908	<i>Fantasmagorie</i>	Emile Cohl	França
1911	<i>Little Nemo</i>	Winsor McCay	EUA
1912	<i>The History of a Mosquito</i>	Winsor McCay	EUA
1914	<i>Gertie the Dinosaur</i>	Winsor McCay	EUA
1914	Desenho sobre a folha de celuloide transparente (acetato)	Earl Hurd	EUA
1915	Processor de Rotoscopia	Max e Dave Fleischer	EUA
1919	<i>Felix the Cat</i>	Otto Messmer	EUA
Dec 30	Uso industrial da animação colorida		
1932	<i>Flowers and Tress</i>	Walt Disney	EUA
1933	<i>Os três porquinhos</i>	Walt Disney	EUA
1937	<i>Branca de Neve e os Sete Anões</i>	Walt Disney	EUA
Dec 50	Filmes 3D e Tubos de Raios Catódicos	McLaren	

Fonte: elaborado pela autora, (2023).

A Tabela 1, inicia sua datação com a invenção da Lanterna Mágica que Lucena Júnior (2005, p. 30) afirma ter sido pelo jesuíta Athanasius Kircher, que a descreveu na publicação de seu texto *Ars Magna Lucis et Umbrae* (A Grande Arte da Luz e da Sombra), com a qual se destaca a capacidade do homem de projetar imagens. Esta mesma invenção foi adaptada pelo cientista Pieter van Musschenbroek, que adicionou um disco giratório, permitindo que sejam exibidas figuras em sequência resultando na primeira exibição animada (Lucena Júnior, 2005, pp. 30-31). O espetáculo *Fanstasmagorie*, de Etienne Gaspard Robert, também fazia uso da Lanterna Mágica, com a qual ele desenvolveu uma apresentação de terror, que somada às projeções eram manipulados espelhos, vidros e fumaça (Lucena Júnior, 2005, pp. 31-32).

Lucena Júnior (2005, pp. 33-34) ainda escreve que, quase dois séculos após a invenção da lanterna mágica, a publicação do artigo *The Persistence of Vision with Regard to Moving Objects* (A Persistência da Visão em Relação a Objetos em Movimento) pelo médico Peter Mark Roget, provocou o imaginativo das pessoas da época com relação ao movimento dos pequenos objetos desenhados, causando a invenção de diversos inventos que brincavam com a animação, dentre eles o taumatroscópio, o fenacístoscópio e o zootrópio. Neste mesmo artigo, Roget revela um princípio decisivo para o cinema, relacionando-o com o tempo e com o espaço ao afirmar nas palavras de “o olho humano combina imagens vistas em sequência num único movimento se forem exibidas rapidamente, com regularidade e iluminação adequada.” (Lucena Júnior, 2005, p. 34).

Até a primeira fotografia, nesta mesma década de invenções, o homem já conhecia a câmara escura, de maneira que conseguia projetar uma imagem, porém ainda não era capaz de fixar esta imagem em uma superfície. Este mérito pertence aos franceses Nicéphore Niepce e Louis Daguerre que inventaram a fotografia, a partir da aplicação de betume, que é um material fotossensível numa placa de estanho, expondo-a em seguida à luz (IOC, 2008).

Sua invenção, permitiu os estudos de Eadweard Muybridge, um fotógrafo inglês que se dedicou a investigar o movimento animal através da manipulação de múltiplas câmeras. Foi o primeiro a capturar o movimento de um cavalo e perceber que em algum momento nenhuma das patas do animal toca o chão (Lucena Júnior, 2005, pp. 38-39). Um de seus livros publicados, *Animals in Motion*, nomeava sua pesquisa como “An electro-photographic investigation of consecutive phases of animal progressive

movements” (Muybridge, 1907, p. capa), ou seja, em sua pesquisa capturava as fases consecutivas do movimento de animais.

A invenção de Kircher não fora esquecida, e o militar Franz von Uchatius realiza algumas adaptações na lanterna mágica, “ao combiná-la com dois discos giratórios (um ao qual se montavam dúzias de *slides* pintados em vidros, outro com frestas que atuavam como obturadores), para criar o primeiro projetor de cinema” (Morrison, 1994, p. 32 apud Lucena Júnior, 2005, pp. 35-36). Por outra perspectiva, apesar de não poder projetar, sendo utilizado por uma pessoa por vez, o kinetoscópio desenvolvido por Thomas Edison e William Dickson, entra para a história pela exibição de pequenos filmes, produzidos pelo próprio Edison através de fotogramas (Lucena Júnior, 2005, pp. 39-40). Não demorou muito para que os Irmãos Lumière percebessem o potencial de tal instrumento, e com muita engenhosidade construíram o cinematógrafo a partir do aperfeiçoamento do kinetoscópio, sendo capaz tanto de filmar quanto de projetar (Lucena Júnior, 2005, p. 40). Sua primeira exibição *L'arrivé d'un train en gare La Ciotat* (A chegada de um trem à estação) engatinha rumo às produções que mudariam o aspecto e o caráter da futura indústria cinematográfica. Outras produções também se destacam por sua engenhosidade, como as produções do ilusionista George Méliès, que podem ser classificadas como *trickfilm* (filme de efeitos) (Lucena Júnior, 2005, p. 41), no qual utilizava seu conhecimento em ilusões para capturar a atenção do público ou ainda o filme *The Haunted Hotel* do ilustrador James Stuart Blackton que também explorava “efeitos especiais como dissolução de cenas, duplas exposições e, evidentemente, a técnica de animação com parada de filmagem e substituição” (Lucena Júnior, 2005, p. 44).

Uma outra vertente, que surge do aperfeiçoamento da invenção de Kircher, se revela na inventividade de Emile Reynaud, que produzia seus filmes a partir da “animação de figuras (desenhadas em tecido transparente, em tiras com perfuração lateral para serem tracionadas por engrenagem) sobre a projeção de um cenário numa tela por meio de um complicado sistema de espelhos e lentes” (Lucena Júnior, 2005, p. 36). Infelizmente, suas produções estavam aprisionadas pela própria confecção manual e exaustiva, o levando à uma competição desleal pelo interesse do público que minguou quando surgiu o cinematógrafo dos Irmãos Lumière. O Teatro Óptico de Reynaud, de fato trazia animações de figuras, porém o título de primeiro desenho animado foi conquistado pelo filme *Humorous Phases of Funny Faces* do ilustrador

Blackton, onde foram utilizados basicamente um quadro negro, giz de cera, um apagador e as mãos habilidosas de Blackton (Lucena Júnior, 2005, p. 42).

Neste ponto da história, animadores como Cohl, McCay, Fleischer, Meissner, McLaren e Disney se aventuraram em um mundo de fantasia a partir do conhecimento, da inventividade, da engenhosidade e de sua percepção de mundo, construindo uma linguagem própria para que a animação dialogasse com a realidade em que se encontrava. Até então, os muitos inventos que faziam uso da animação de figuras tinham basicamente esse objetivo: animar figuras. Estas figuras animadas, basicamente representavam pequenas ações isoladas, prendendo o interesse do público apenas pela figura que se movia. Ainda não havia o emprego de personagens marcantes ou histórias robustas; mesmo os filmes de Reynaud “chamados por ele de *pantomimes lumineuses*, tinham a duração de quinze minutos” (Lucena Júnior, 2005, p. 36) ou mesmo as exposições de Mussechenbroek que “assombrou um visitante com imagens de um moinho de vento com suas pás em rotação, um homem tirando um chapéu, uma mulher curvando-se em cumprimento” (Lucena Júnior, 2005, p. 31), não havia o interesse de como esse movimento era desenhado, o mesmo ainda não era importante, a pura representação simplória da ação, mostrava-se eficiente em atrair o público para seus “brinquedos tecnológicos” (Lucena Júnior, 2005, p. 31). Contudo, estas figuras animadas oferecem, em si mesmas, a fundação para a construção da animação dentro do cinema, ao permitir o desenvolvimento de uma linguagem a partir da “observação do movimento que resultaram em conceitos capazes de proporcionar encenação convincente às figuras criadas no papel” (Lucena Júnior, 2005, p. 19).

De acordo com (Lucena Júnior, 2005, p. 49), quando Emile Cohl descobriu o cinema, passava dos cinquenta anos de idade, carregando em sua bagagem uma experiência brilhante como artista plástico, sendo mais conhecido que o cineasta George Méliès. Ainda de acordo com o autor, Cohl em sua perspicácia artística, percebe na animação uma certa urgência em explorar a estética do movimento nos seus seres de papel, de modo que foi capaz de produzir “animações em movimento de incrível fluidez, com figuras que não se limitavam às duas dimensões do suporte, mas se permitiam explorar a profundidade virtual do espaço tridimensional através do tratamento ilusório do escorço e do jogo perspectivo” (Lucena Júnior, 2005, p. 51). O escritor ainda afirma que Cohl traz contribuições significativas para o controle gráfico da animação ao fazer uso da caixa de luz, o que permitia a sobreposição das folhas de papel permitindo “racionalização da distribuição destes na linha do espaço/tempo

da ação”, levando-o “à descoberta de que poderia *fotografar cada desenho duas vezes*” (Lucena Júnior, 2005, p. 50, grifo próprio).

Sua experiência como artista plástico se evidencia na manipulação das formas, na qual os traços da geometria trazem um elemento novo a ser explorado pela animação, a tridimensionalidade, com a qual acabam por serem inclusas noções de espaço, perspectiva e proporção. A perspicácia de Cohl, para com a caixa de luz no processo de animar, permitiu a manipulação de formas tridimensionais em espaço e tempo de maneira eficiente e produtiva. Com esta ferramenta, Cohl poderia melhor utilizar o controle gráfico, no qual se destacam o espaço e o tempo do movimento, ou seja, ele começava a esmiuçar as primeiras noções de aceleração e desaceleração da forma. Este fato se torna evidente na sua descoberta em fotografar duplamente o mesmo desenho.

O artista Winsor McCay se destaca pela sua construção em personagens carismáticos com os quais o público se identificava (Lucena Júnior, 2005, p. 59), além de ser um bom observador do movimento humano e animal (Lucena Júnior, 2005, p. 56), resultando “na exibição de ações fluidas de personagens humanos, bichos reais ou não, veículos, no tempo certo e com as figuras dando a impressão de ter peso e respirar” (Lucena Júnior, 2005, p. 56). Certamente, escrever sobre personagens de maior ou menor peso pode ser uma tarefa mais simples que representar este mesmo peso na animação. O animador Richard Williams defende que para representar este peso na animação, torna-se pertinente conhecer o comportamento da massa do corpo no mundo real: “Não confunda um desenho com um mapa! Estamos animando *massas*, não linhas. Portanto, temos de entender como a massa funciona na realidade. Para que possamos sair da realidade, nosso trabalho precisa ser baseado na *própria* realidade.” (Williams, 2016, p. 34, grifo próprio).

Nesse furor de invenções, a animação começa a demonstrar parte de sua linguagem, na qual, como estudantes de física, podemos destacar as noções de aceleração e desaceleração por Cohl, advindos de seu domínio sobre o controle gráfico da animação, e a capacidade de animar massas por McCay. Mas, além desses elementos, ambos os animadores tinham um certo domínio sobre o tempo que está implícito nos conceitos destacados, porém com a introdução da folha de celuloide transparente pelo animador Earl Hurd (Richard, 1982, p. 21 apud Lucena Júnior, 2005, p. 66), grupos de figuras distintas poderiam realizar movimentos em tempo e espaço diferentes umas das outras (Lucena Júnior, 2005, pp. 66-67).

Certamente esse tipo de representação já era possível anteriormente, então qual a relevância do uso deste material? Por ser uma folha transparente, corpos em uma mesma cena poderiam ser representados em folhas diferentes, portanto durante as fotografias, poderiam ser pensados controles de gráfico diferentes para ambos, de modo que se uma figura está mais lenta, ou seja, com uma velocidade instantânea menor, sua folha será repetida na fotografia seguinte, na qual a segunda figura prossegue em sua folha. Antes da transparência, ambas as figuras deveriam estar na mesma folha, ou seja, a figura mais lenta teria sua pose repetida, enquanto a mais rápida seguiria adiante, demandando um grande esforço mecânico por parte do animador.

Na Figura 3, podemos observar na fotografia, um grupo de animadores analisando uma folha de celuloide, onde a figura de uma pequena fada se destaca em meio à transparência. Já na Figura 4, observamos uma fotografia obtida em uma câmera de múltiplos planos, onde observamos a transparência de suas folhas, cuja paisagem tem seus elementos classificados de acordo com a distância ao observador, evidenciando uma certa noção em referenciais, resultando em uma fotografia com efeito de profundidade.

Figura 3: Os animadores Al Dempster, Dick Anthony, Ralph Helett e Eyving Earle, analisando uma folha de celuloide.



Figura 4: Câmera de Múltiplos Planos



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 302)

Os irmãos Fleischer, alguns anos depois, inventam o processo de rotoscopia, no qual “uma sequência de imagens reais pré-filmadas era projetada *frame a frame* (como um projetor de *slides*) numa chapa de vidro, permitindo que se decalcasse para o papel ou acetato a parte da imagem que se desejasse” (Lucena Júnior, 2005, p. 69, grifo próprio). Com este processo, poderia ser representado uma figura, a partir do resgate de elementos reais necessários para a atuação planejada, como o movimento dos cabelos de uma atriz, ou mesmo o esvoaçar de seu vestido durante um rodopio.

## 2.1 DISNEY E ALGUNS DE SEUS ESTUDOS

Conforme mencionado no item 1.3 deste trabalho, Walt Disney buscava agraciar suas animações com a “ilusão da vida” (Thomas; Johnston, 1995, p. 25), portanto, investia nos estudos de seus animadores, além de sempre buscar otimizar o modo de fazer animação. A mais simples e possivelmente a mais influente intervenção de sua parte, se trata da mudança de posição dos pinos da prancheta que permitia que passassem mais folhas entre os dedos de uma vez (Thomas; Johnston, 1995, p. 31), na Figura 5 podemos observar esse fato em ação.

Figura 5: Animador, animando com os pinos na parte inferior da prancheta.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 31)

Porém, fatos como este não costumam chegar às telas de exibição, onde o produto final se torna mais valorizado que o próprio processo. Então, para compreender os motivos que levaram as animações do Disney a um nível de reconhecimento tão elevado, seria interessante conhecer um pouco do contexto histórico em seus bastidores.

Um primeiro diferencial entre seu estúdio, para com os demais, está na socialização de seus trabalhos, ou seja, seus trabalhos eram discutidos coletivamente. De acordo com Thomas e Johnston (1995, p. 31), animadores iniciantes aprendiam

sozinhos, pois os animadores mais experientes costumavam guardar seus segredos, não revelavam sequer seus dispositivos particulares, enquanto que Walt cultivava um ambiente de partilha entre os seus animadores, costumava juntá-los a um canto para apontar um desenho de que gostasse. Por outro lado, se percebesse que um de seus aprendizes demonstrasse muita dificuldade em uma ação, logo era dirigido a um animador mais experiente, com quem pudesse se desenvolver profissionalmente.

Outro diferencial está na dedicação com relação aos estudos, na busca de conhecer o real, Walt buscava sempre algo que pudesse enriquecer suas animações. Construiu um departamento somente para efeitos, onde estudavam os fenômenos que lhe interessavam para determinada representação entre tantas, o comportamento de substâncias em diferentes estados da matéria, como a fluidez da água, a vivacidade do fogo ou ainda a suavidade da fumaça, conforme podem ser observadas nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10.

Figura 6: Representação de uma gota de chuva, após uma tempestade, por Dan MacManus.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 256)

Figura 7: Representação, para o movimento de lava, por Paul Kossoff.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 256)

Figura 8: Estudos do movimento da água no mar, sob a ação da cauda de uma baleia.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 242)

Figura 9: Animadora de efeitos, Jane Fowler Boyd, conferindo o desenho de chamas.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 262)

Figura 10: Cena em que está representado um personagem que vive entre as chamas.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 260)

Não somente de fluidos, ou de calor, são feitas as animações; também é preciso luz! Esta onda eletromagnética está entranhada em artes visuais. E como não poderia? Sua simples presença nos permite interagir com estas obras através de nossa visão, então tanto a fotografia quanto o cinema de ação aprenderam maneiras de melhor utilizar este fenômeno. Desde o tempo de da Vinci, vários pintores dominaram os efeitos de luzes e perspectivas nas suas obras. Por que na animação seria diferente? Nos estudos desenvolvidos pelos animadores de Walt, os efeitos de sombra e de luz eram assuntos sérios para contos infantis. Na Figura 11, podemos observar uma cena de *Branca de Neve e os Sete Anões*, de 1937, onde os anões estão em sua pequena sala à noite. Perceba que estava noite, mas como não se trata de um local isolado, há uma certa luminosidade, ou seja, uma penumbra, ao mesmo tempo em que o personagem Mestre segura uma pequena lamparina, uma fonte de luz mais intensa, gerando um efeito de sobreposição das sombras no ambiente.

Figura 11: Cena em que está representada o efeito das sombras.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 252)

De acordo com Lucena Júnior (2005, p. 108), Disney pesquisava também sobre a coloração das animações, instruindo seus técnicos a utilizarem algumas soluções, além de nitrato. Ainda de acordo com o autor, enquanto Disney lançou sua primeira animação colorida em 1932, apenas em 1935 os filmes de ação alcançaram tal façanha.

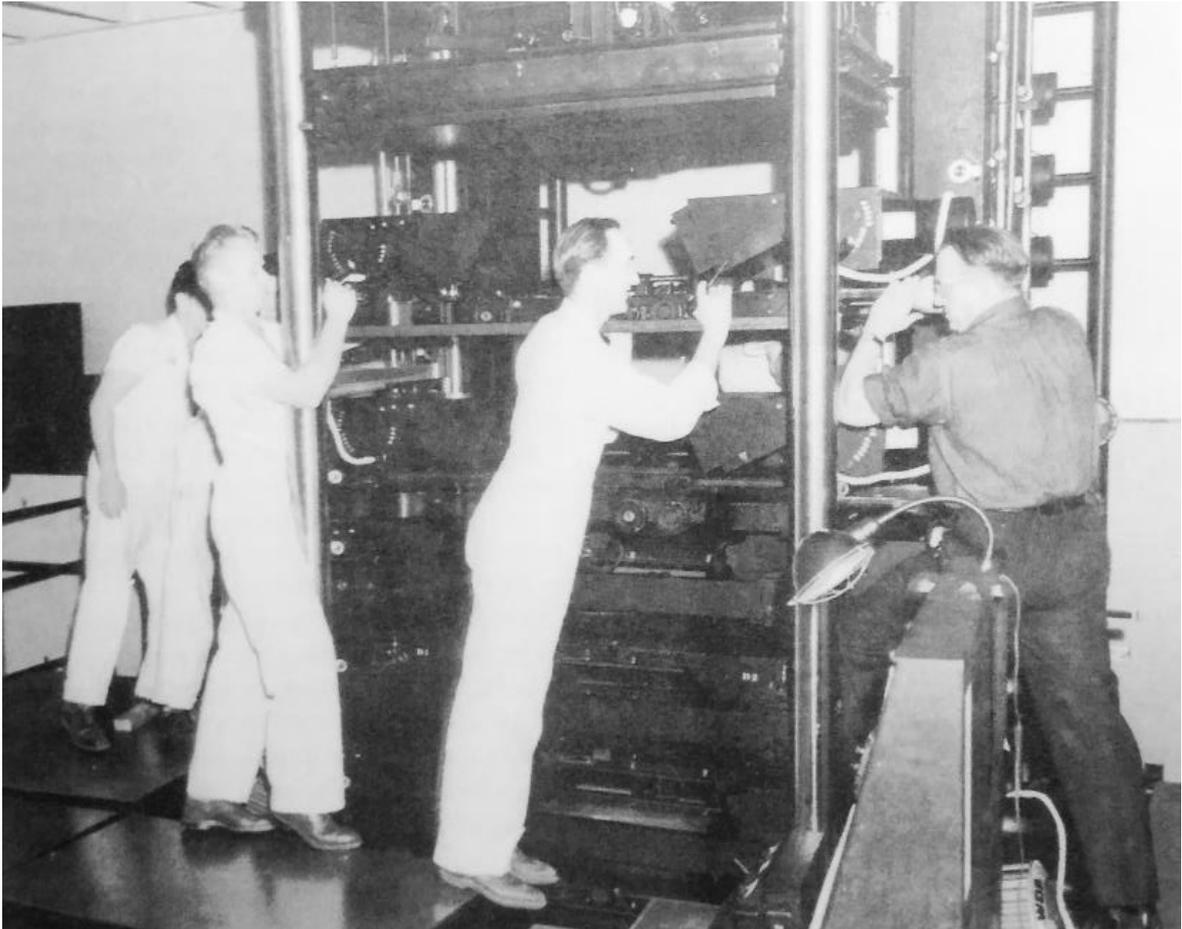
A ambição de Walt ainda foi além, e seu estúdio construiu uma câmera de múltiplos planos, na Figura 4, onde podemos perceber o efeito de profundidade, causado pela posição das folhas com relação à distância ao observador. Ainda na Figura 12, de acordo com Thomas e Johnston (1995, p. 309), foram necessários quatro homens para manusear a câmera, enquanto na Figura 13, temos o esquema da mesma.

Em resumo, o equipamento funcionava da seguinte maneira: cada plano da animação ficava situado numa distância diferente da câmera e iluminado independentemente. Para conseguir um *zoom* realista, cada plano era movido em direção à câmera, numa velocidade inversamente proporcional à sua distância do observador imaginário. Os coeficientes diferenciais dessas

razões determinam a posição aparente de cada camada no desenho. (Lucena Júnior, 2005, p. 112).

Ainda de acordo com os autores, o uso desse maquinário era muito laborioso, e citam o relato de um cinegrafista que trabalhou cerca de 12 horas por dia durante um ano no filme *Fantasia* de 1940.

Figura 12: Fotografia da colocação de um dos níveis no suporte multiplano.

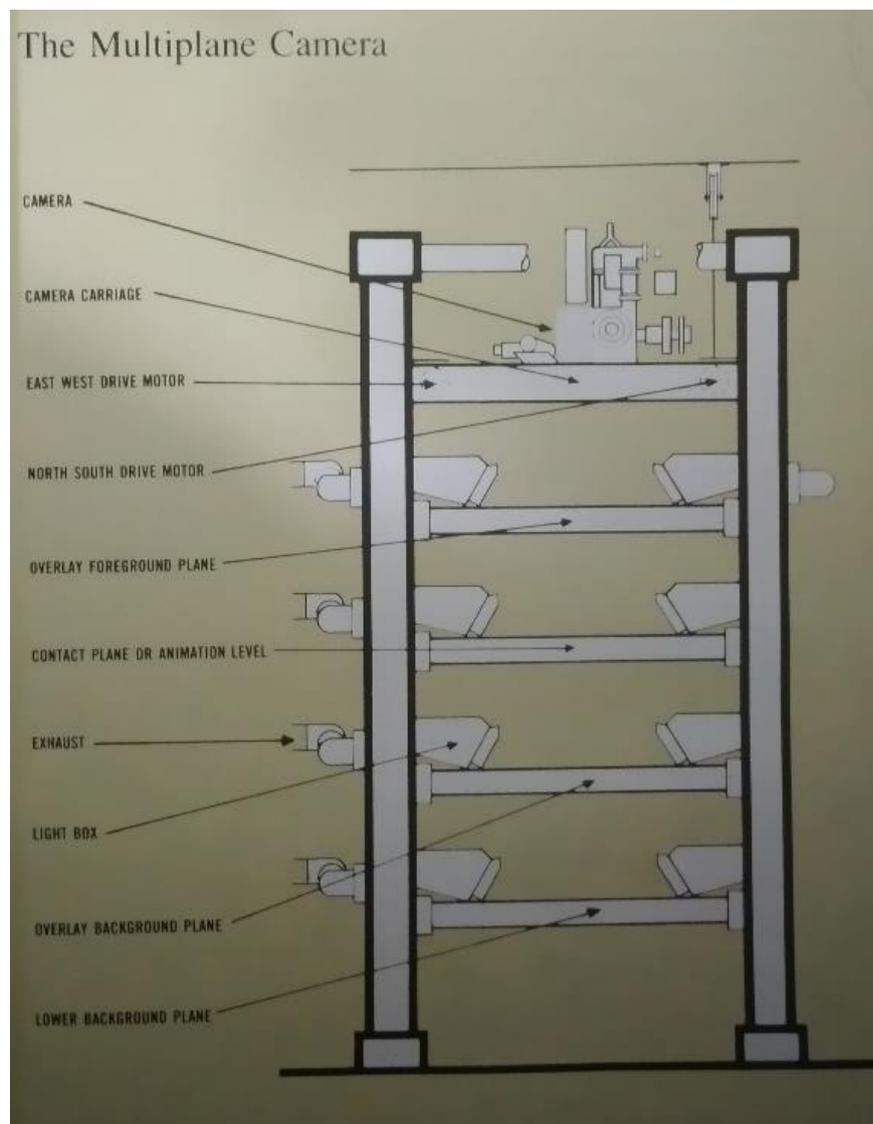


Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 309)

Thomas e Johnston (1995, p. 307) descrevem o uso de câmera de múltiplos planos, esquematizada na Figura 13, para uma tomada média, na qual posicionava o plano de fundo a uma distância de 2,50 metros, enquanto que o primeiro nível se posicionava a 1,80 metros, o segundo a 1,50 metros, o terceiro a 1,20 metros e o quarto níveis a 60 centímetros. No esquema podemos observar que dois dos planos eram utilizados como plano de fundo, enquanto que os planos restantes eram destinados aos outros elementos da animação. Cada plano possuía caixas de luz

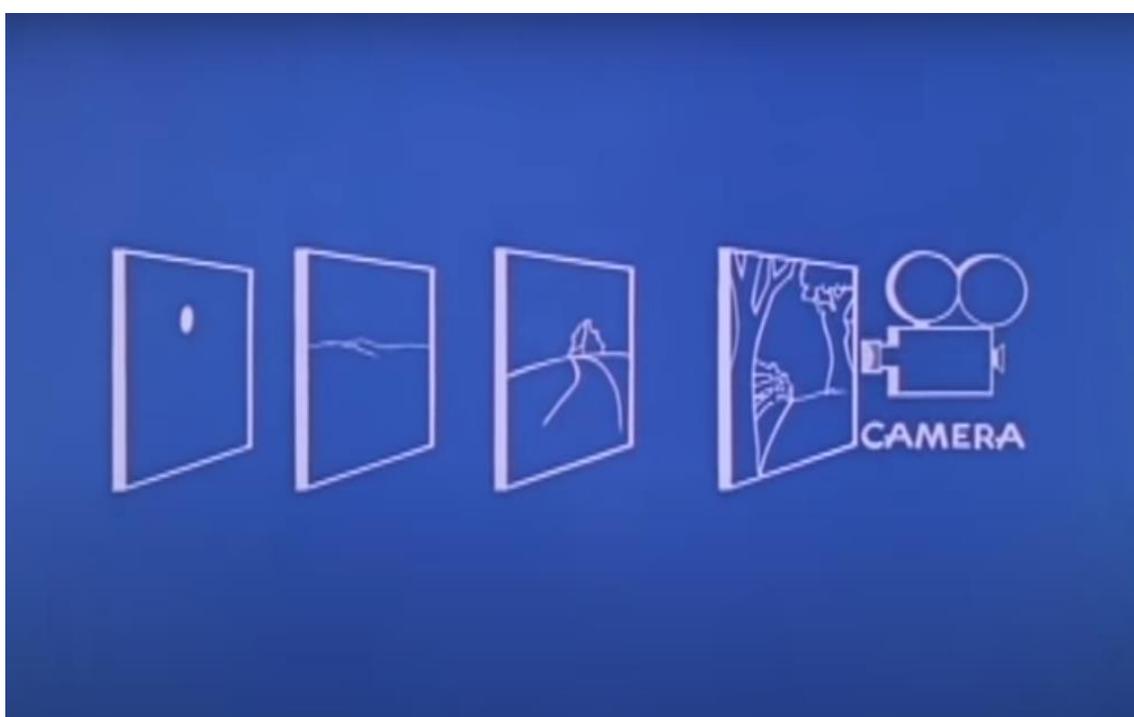
independentes, de modo que enquanto o cinegrafista observava pela lente da câmera, o técnico de cada um dos níveis controlava separadamente a intensidade da luz. Evidentemente, surgiam alguns problemas devidos a determinados fenômenos ópticos: o reflexo das folhas brilhantes na lente da câmera e a iluminação do nível abaixo que por vezes atravessava a tinta do nível superior. Os autores relatam que contornavam o primeiro problema com a adição de uma lente de densidade neutra posicionada em um ângulo de quarenta em cinco graus com relação à lente da câmera, enquanto discutiam se poderiam utilizar pedaços de papel preto para resolver os vazamentos de luz do segundo problema.

Figura 13: Esquema de uma Câmera de Múltiplos Planos.



O canal *Disney Family*, publicou o vídeo *Walt Disney Introduces the Multiplane Camera* em 2011, endereçado nas referências, no qual Walt Disney apresenta a câmera de múltiplos planos, trazendo um exemplo claro de seu uso. No exemplo, ilustrado na Figura 14 e 15, os planos são classificados de acordo com a distância entre seus elementos e o observador imaginário. A Lua é corpo mais distante do observador, em seguida os montes, a casa e as árvores.

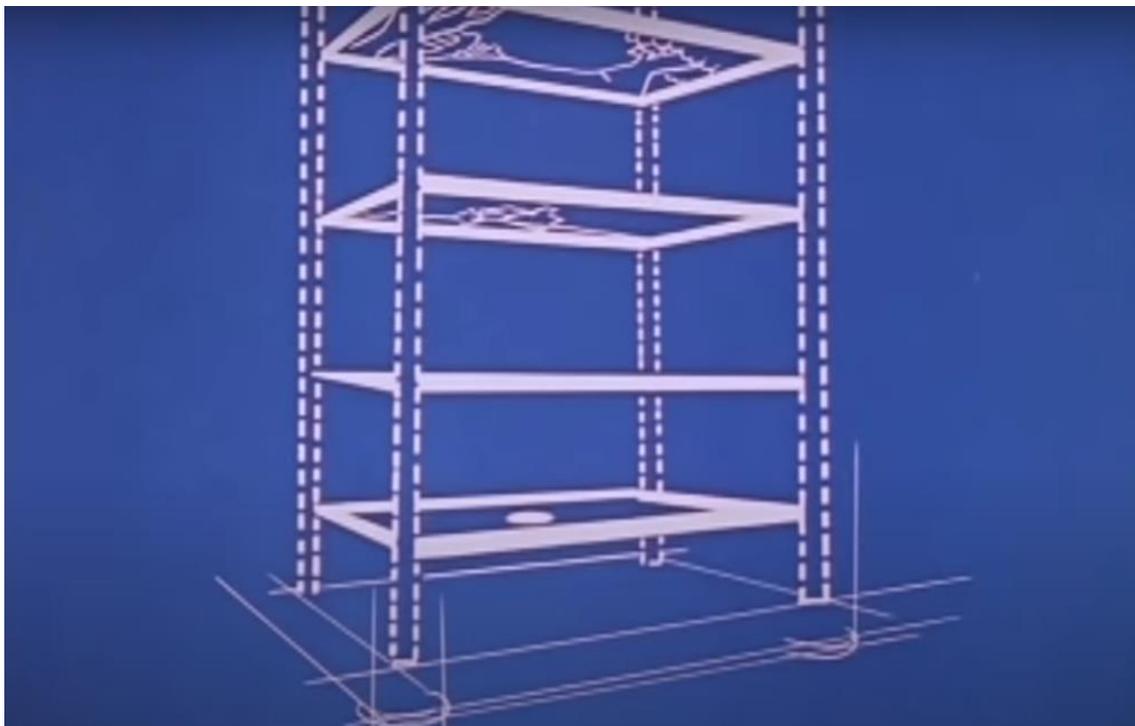
Figura 14: Imagem do Vídeo *Walt Disney Introduces the Multiplane Camera*, que ilustra a esquematização do exemplo.



Fonte: Disney Family (2011)

Comparando a distância entre os corpos representados nos planos e o observador imaginário, observamos que a Lua está muito mais distante à quase 400km de distância, enquanto que os montes poderiam estar talvez a cerca de menos de 5km, a casa a pouco menos de 50m, e as árvores a uns dois ou três metros de distância. Imaginemos, se o observador se aproxima na direção da casa, a imagem da casa também se aproxima do observador. Sob este efeito, o observador também se aproxima da Lua, e a imagem da Lua se aproxima do observador. Será?

Figura 15: Imagem do Vídeo *Walt Disney Introduces the Multiplane Camera*, que ilustra a esquematização do exemplo.



Fonte: Disney Family (2011)

Conforme mencionado anteriormente, as distâncias entre os corpos representados nos planos e o observador imaginário são muito distintas, na ordem de centenas de quilômetros. Então de fato, o observador se aproxima da Lua, porém o observador percorre uma fração muito maior para a distância entre ele e a casa, que a fração para a distância entre ele e a Lua. O valor da última fração é tão pequeno, se comparado ao valor da primeira, que podemos desconsiderá-lo. Desse modo, enquanto a imagem da casa se aproxima do observador imaginário, a imagem da Lua não se move, faz parte do plano de fundo da animação, conforme pode ser observado na cena do vídeo, ilustrada na Figura 16. Estas percepções eram testadas e analisadas durante o processo das fotografias, a intensidade da luz em cada um dos níveis também era levada em consideração. O efeito de profundidade, causado pelo uso das três coordenadas, seria no mínimo difícil de alcançar com os limites técnicos da época, que até então representavam em um único plano, ou seja, bidimensional.

Figura 16: Imagem do Vídeo *Walt Disney Introduces the Multiplane Camera*, que ilustra o resultado do esquema discutido.



Fonte: Disney Family (2011)

Estas inovações técnicas e artísticas por parte de Walt foram recebidas cada uma, com muita apreciação, chegando a lhe render vários prêmios. Seu legado é inegável, seu feito admirável, e sem dúvidas, conceitos físicos fizeram parte desta empreitada. Apesar de algumas de suas inovações técnicas não estarem em uso pela indústria cinematográfica, como a câmera de múltiplos planos, por exemplo, suas realizações permitiram aos animadores sucessores uma linguagem sólida com a qual pudessem se expressar por meio da animação, além de uma base para desenvolverem novas técnicas e dispositivos. Mas torna-se pertinente observar que, antes das animações do estúdio de Walt, a animação já estava em construção no ventre do cinema, e o próprio

Walt Disney, apesar de ter estudado em escola de arte, se instruiu em animação tendo como consulta alguns dos livros mais conceituados sobre o assunto: *A Condensed Course in Motion Picture Photography*, de Carl Gregory, *Animated Cartoons: How They Are Made, Their Origin and Development*, de Edwin G. Lutz. (Crafton, 1993, p. 201 apud Lucena Júnior, 2005, p. 73).

Vale destacar ainda que, apesar de não possuir uma linguagem definida, alguns dos conceitos que a caracterizam já eram padronizados.

O livro de Lutz, específico de animação, incluía descrição de conceitos artísticos da animação que, no começo da década de 1920, já se encontravam padronizados, a exemplo do *crossover*, ciclo, ação repetida, animação elástica, equalização de volume, etc. (Lucena Júnior, 2005, p. 73).

Concluimos então, que Walt transformou o cinema de animação, porém, não o criou; sua visão de mundo se expressou a partir das inovações tecnológicas e artísticas de outros artistas que já vinham desbravando este mundo em construção.

### 2.1.1 Disney e os Princípios de Animação

De acordo com Thomas e Johnston (1995, p. 47), a atmosfera de experimentação e aprendizado no estúdio instigava os animadores a procurar maneiras de obter os resultados desejados em suas animações, e neste furor de descobertas, conceitos foram sendo construídos a partir dos seus erros e acertos, os quais se tornaram os princípios fundamentais de animação, sendo doze em seu total. De acordo com Lucena Júnior (2005, p. 115), estes princípios são comprimir e esticar, antecipação, encenação, animação direta e posição-chave, continuidade e sobreposição da ação, aceleração e desaceleração, movimento em arco, ação secundária, temporização, exageração, desenho volumétrico, apelo. Dentre os quais, destacaremos os princípios nos quais a física se percebe mais nitidamente, discutindo a partir do capítulo *The Principles of Animation*, do livro *The Illusion of Life: Disney Animation*, dos animadores Frank Thomas e Ollie Johnston, presente nas referências.

#### 2.1.1.1 Comprimir e Esticar

O princípio comprimir e esticar, busca representar a flexibilidade do mundo real. Surge a partir da observação dos animadores de que apenas parte dos corpos representados possuem de fato uma certa rigidez intrínseca em seu movimento como uma rocha, uma bola de sinuca, uma panela de ferro, ou as vertebras de uma criatura, diante da aplicação de pequenas forças, inofensivas à sua estrutura, diferindo de outras situações nos quais o corpo representado está sob a ação de forças que o deformam em diversas direções, como o movimento dos músculos.

Para melhor compreensão do conceito, podemos observar a Figura 17, em que são representadas diferentes fases da construção e interpretação deste conceito. Os três personagens se esforçam em demonstrar determinação: na primeira linha, o

coelho Oswald de 1928; na segunda linha, o Bafo do animador Norm Ferguson em 1934; e na terceira linha, o Bafo do animador Jack Campbell em 1940. Nitidamente, o domínio sobre este conceito, em um intervalo de tempo de pouco mais de dez anos, apresenta algumas diferenças relevantes, para uma discussão sobre a força atuante nos corpos destes personagens.

Figura 17: Os três personagens demonstram determinação em seus movimentos.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 50)

A animação de 1928 provoca a sensação de um corpo pequeno, de pouca gordura e leve. Quando Oswald puxa a barriga para mostrar que está à altura do desafio, revela que tem pouca gordura, demonstrado pelo nível de rigidez de seus movimentos, com pouquíssima elasticidade.

Em outra abordagem, a animação de 1934 provoca a sensação de um corpo grande, com um nível de gordura considerável, e principalmente pesado. Então quando Bafo puxa a barriga, esta vem com uma certa dificuldade, demandando esforço por parte dele, e desce pesadamente com uma certa rigidez. Possivelmente,

demonstrando que em meio à gordura, há uma quantidade considerável de músculos, contra os quais exerce força suficiente para deformá-la.

Apesar de ser o mesmo personagem de 1934, a animação de 1940 provoca sensações ainda diferentes, com relação à segunda. Seus traços mais finos delegam uma certa leveza ao personagem, com relação ao segundo, mas ainda assim, representa um corpo de grande estrutura, e com um nível de gordura maior. Então quando Bafo puxa a barriga, esta vem mais facilmente e em maior volume, precipitando-se ao solo de maneira visivelmente elástica, demonstrando um maior nível de gordura, que de músculos, parecido com uma sacola de água.

### 2.1.1.2 Continuidade e Sobreposição da Ação

Imagine este princípio como uma representação da Primeira Lei de Newton, a qual estabelece uma relação entre um corpo e seu movimento, ao afirmar que um corpo mantém seu estado de movimento retilíneo uniforme, a menos que uma força não nula seja exercida sobre ele. Deste modo, os animadores de Walt se preocupavam com o fato de seus seres animados interromperem suas ações subitamente, deixando uma sensação inverossímil. Então, no ambiente de experimentação que a animação se encontrava, construiu-se este conceito, que reconhecia que muitos dos corpos representados não se moviam de uma única vez.

Por exemplo, o personagem Mestre na Figura 18, ao se mover, percebemos que a carne de sua face está mais flácida do que realmente seria na realidade, de modo que, ao mover seu rosto para a esquerda, sua bochecha direita ainda permanece em repouso, até ser exercida uma força de tração pela pele, forçando-a a seguir o movimento para a esquerda. Antes que sua bochecha direita termine seu movimento, o personagem vira seu rosto para a direita, porém, sua bochecha ainda está em movimento na direção esquerda, até que a força exercida pelo seu rosto a força a interromper o movimento, e continuá-lo na direção contrária.

Figura 18: Exemplo do princípio Continuidade e Sobreposição da Ação, por Bill Tytla.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 60)

Perceba ainda que elementos como a ponta do gorro e as pontas de seu casaco logo abaixo do cinto, também executam movimentos causados pelo seu sacudir de cabeça. Isto porque, tanto a ponta do gorro quanto as pontas do casaco oferecem uma certa resistência ao movimento, estando eles imóveis com relação ao mesmo plano de referência do corpo. Assim, quando sacode sua cabeça, a ponta do gorro segue o movimento da base do gorro acomodada em sua cabeça, enquanto que as pontas de seu casaco que se movimentam levemente a partir dos quadris ligado ao tronco.

De maneira similar seriam tratados elementos como os braços em uma caminhada, os cabelos em um menear de cabeça, ou ainda um par de orelhas compridas. De fato, pode parecer exagero nos desenhos estáticos, porém, na animação, percebemos apenas seu efeito.

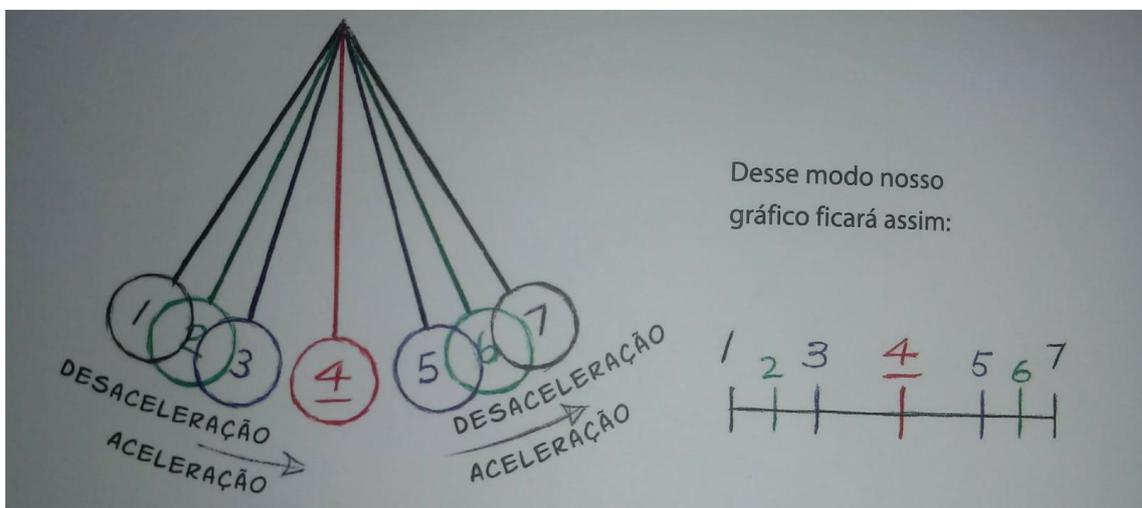
### 2.1.1.3 Aceleração e Desaceleração

O conceito de Aceleração e Desaceleração, dentro da animação, surge com a ideia de que um corpo em repouso atinge uma determinada velocidade a partir de

uma leve aceleração, assim como também interrompe seu movimento desacelerando aos poucos. Por exemplo, imagine um carro em repouso na beira de uma estrada, que ao entrar em movimento, precisa atingir os 50 km/h recomendados para aquele trecho. O motorista o acelera durante um período de tempo até alcançar a velocidade desejada. Pouco mais de 5 km à frente, encontra sua velha cabana, e faltando poucos metros para sua parada, desacelera o carro, diminuindo sua velocidade até o repouso.

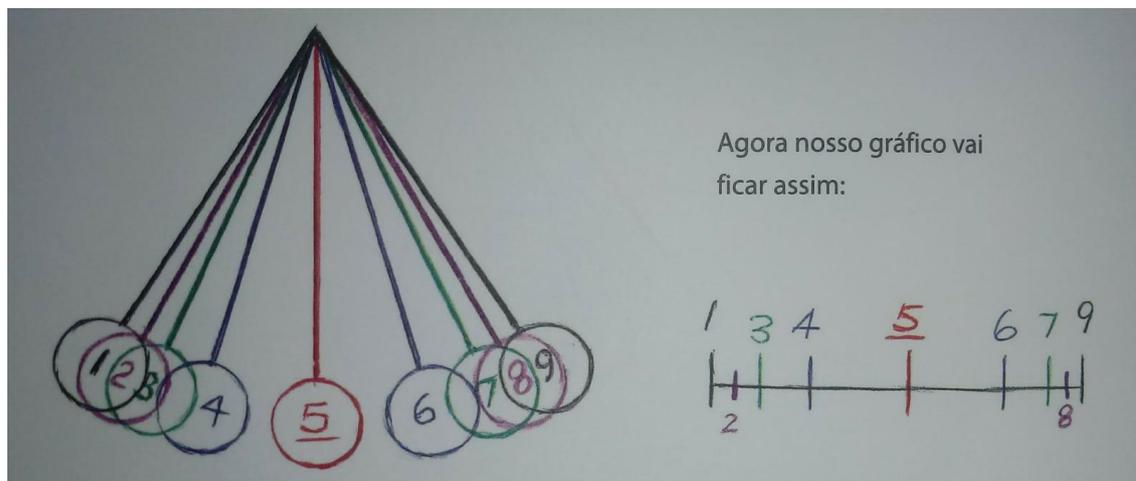
Do mesmo modo os corpos se movimentam na animação, eles aceleram levemente ao entrarem em movimento e desaceleram suavemente para repousar, como no exemplo da Figura 19 e 20, onde o animador acrescenta mais dois frames nas extremidades da trajetória do pêndulo, para evidenciar ainda mais, uma menor velocidade naquela região, que ao centro do arco de movimento. Faz sentido, não? Se trabalhamos com cerca de 24 frames por segundo, e colocamos mais frames em um trecho da trajetória, que em outro, teremos uma menor velocidade no primeiro. Podemos observar mais nitidamente a mudança de velocidade no gráfico de intervalação ao lado das trajetórias dos pêndulos, nas Figuras 19 e 20.

Figura 19: Exemplo do princípio Aceleração e Desaceleração.



Fonte: Williams (2016, p. 50)

Figura 20: Exemplo do princípio Aceleração e Desaceleração.



Fonte: Williams (2016, p. 50)

#### 2.1.1.4 Temporização

Com este princípio, o animador busca trabalhar mais explicitamente com o tempo. Na época em que estava em construção, se utilizava 24 frames por segundo; portanto, havia uma preocupação sobre quantos desenhos seriam necessários para realizar uma ação em sua completude, e conseqüentemente em quantos segundos resultariam.

Lembrando que neste período, a animação, que hoje conhecemos como clássica, era produzida manualmente, então 24 desenhos por segundo exigia um esforço mecânico considerável por parte do animador. Williams (2016, p. 75) relata uma experiência muito interessante em seu livro, que envolvia este conceito. De acordo com o autor, o mesmo teve a oportunidade de trabalhar com Ken Harris, antigo animador da Warner Bros, que estava habituado a orçamentos limitados, e meta estabelecida em 20 segundos por semana. Então, Williams se surpreendeu ao perceber como Harris preenchia a Folha de Exposição *em dois*.

Mas o que seria preencher *em dois*? Ainda de acordo com o autor, Harris trouxe consigo o hábito de planejar suas ações em 12 desenhos por segundo, desta maneira, preencher *em dois* significava expor duas vezes o mesmo desenho para a fotografia. Quando fossem representadas ações que exigissem maior velocidade por parte das

figuras, animava-se *em uns*, ou seja uma exposição para cada desenho, e 24 desenhos por segundo.

Na Figura 21, observamos um exemplo, os desenhos 15 e 16 estão animados *em dois*, em seguida os desenhos 17 até 33 estão animados *em uns*, para em seguida os desenhos 34 em diante serem animados *em dois*. Ainda na Figura 22, de acordo com o autor seria a solução de Harris para o caso de desenvolver a ação *em dois*, mais precisar dar mais fluidez à ação, adicionando mais desenhos, transformando-os *em uns*.

Figura 21: Exemplo de Parte de uma Folha de Exposição.

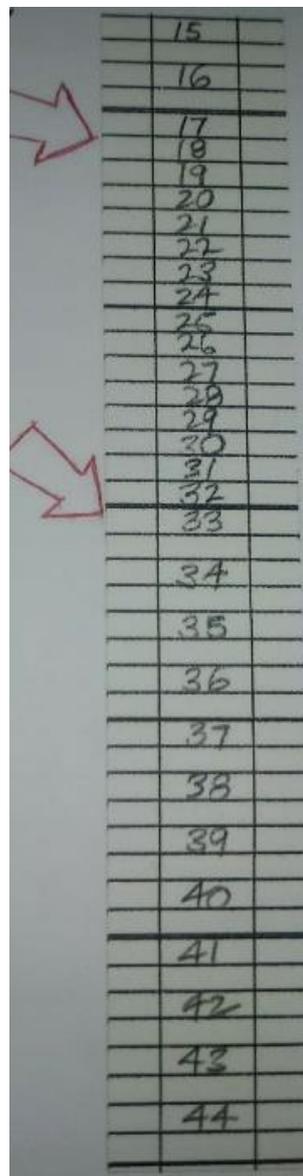
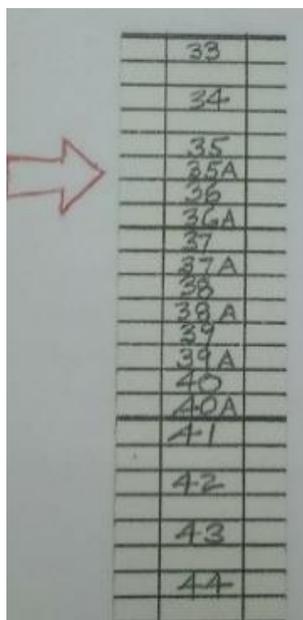


Figura 22: Exemplo de Parte de uma Folha de Exposição.



Fonte: Williams (2016, p. 75)

#### 2.1.1.5 Desenho Volumétrico

Para animar somente, sabendo pouco em desenho, pode ser difícil utilizar este conceito, que exige o conhecimento tridimensional da figura representada. Os animadores defendem que o desenho deve ter peso e profundidade, ou ainda mais, de acordo com Williams (2016, p. 34), a massa do personagem que é animada, e não suas linhas, de modo que deve ser compreendida em sua realidade, para que possa ser representada. Na Figura 23, temos um exemplo em que o personagem é representado a partir da aplicação das três coordenadas, em que o animador desenha a pose do personagem explorando o efeito de profundidade, explorando a exposição de elementos que poderiam ser ocultos em uma figura bidimensional.

Neste ponto fica uma breve reflexão sobre o conjunto de técnicas utilizadas por estes artistas, para representar o peso de um corpo e como este interage com o mundo à sua volta. Imagine os princípios *Aceleração e Desaceleração* e *Desenho Volumétrico* combinados, a Figura 17 mostra um breve exemplo desta combinação, porém, como sabemos, inovações vão surgindo também dentro da animação, e animações mais recentes trazem técnicas ainda mais convincentes com relação ao comportamento da matéria.

Figura 23: Representação de um personagem bidimensional, e o mesmo representado em formato volumétrico.



Fonte: Thomas e Johnston (1995, p. 67)

Dos doze princípios, destacamos cinco, nos quais a física se faz presente de maneira mais nítida. Porém, reconhecemos sua presença na diversidade dos ambientes animados, dependendo apenas da intencionalidade e da capacidade de interpretação de quem observa, além dos recursos técnicos e artísticos disponíveis.

Apesar de ser consolidado como princípios de animação pelos estúdios de Walt Disney, a história nos mostra que animadores mais antigos já esboçavam alguns destes conceitos, como o animador Cohl que trabalhava a tridimensionalidade de suas figuras, trazendo também contribuições para o controle de gráfico da animação, sendo o primeiro, de acordo as referências consultadas a descobrir que poderia expor um mesmo desenho duas vezes para fotografia, ou seja, animar *em dois*, além de ser capaz de trabalhar mais facilmente com o conceito de aceleração.

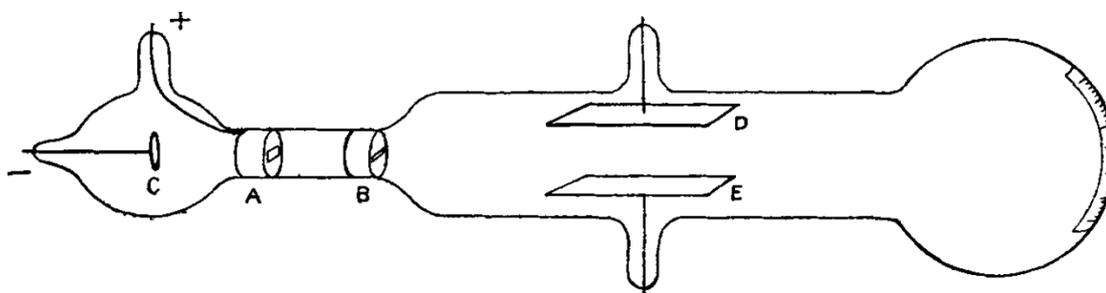
## 2.2 EXPERIMENTOS COM TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS

Até aqui, destacamos algumas das intervenções artísticas e tecnológicas que contribuíram para construção do movimento dentro do cinema de animação, porém neste ponto da história, seria interessante conhecer um pouco do papel desempenhado pelo tubo de raios catódicos na animação em 3D. Como estudantes

de física, estudamos algumas partes pontuais da história, as quais caracterizam a ciência como a conhecemos. Dentre tantas histórias, destacamos neste contexto, uma época em que pensávamos que a matéria seria constituída por partículas indivisíveis, as quais chamamos *átomos*.

O modelo proposto pelo inglês John Dalton, por volta de 1803, continuou em vigor por quase um século, quando o então Professor de Física Experimental da Universidade de *Cambridge* (Thomson, 1897, p. 293), Joseph John Thomson, em 1897, realizou alguns experimentos em um tubo de raios catódicos. De acordo com Brown *et al* (2005, p. 33), o tubo de raios catódicos já existia, antes do experimento de Thomson, e consistia em um tubo de vidro lacrado, contendo gás à baixíssima pressão, que ao ser ligado a uma fonte de alta tensão, emitia um feixe luminoso. Em seu artigo *Cathode Rays*, (Thomson, 1897, p. 293) escreve sobre a discussão que havia em torno da natureza dos raios catódicos, que se dividiam entre um processo que acontecia no éter, ou um processo totalmente material.

Figura 24: Tubo de Raios Catódicos, utilizados por Thomson, nos experimentos publicados no artigo *Cathode Rays*.



Fonte: Thomson (1897, p. 296)

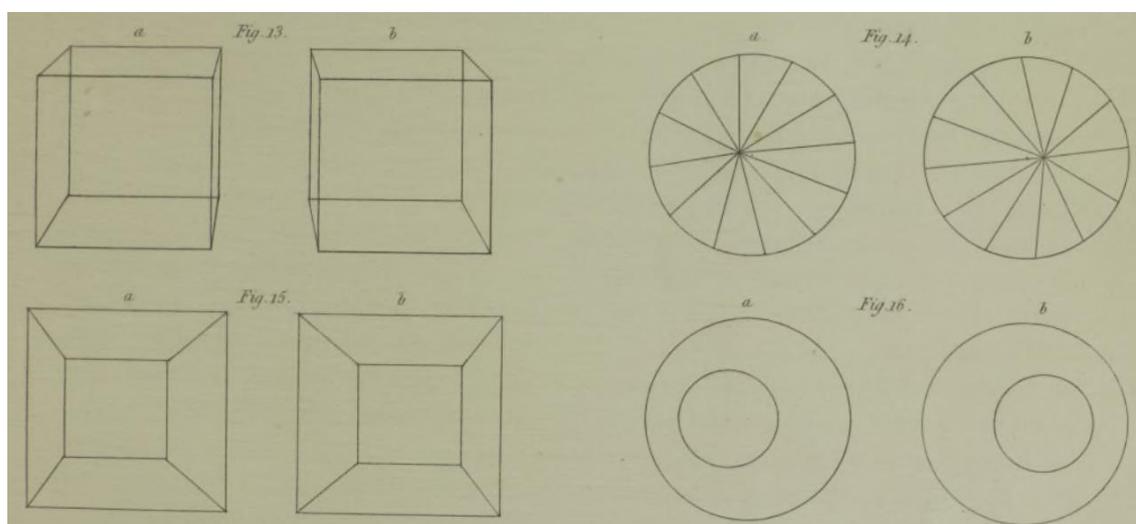
Assim: em seu experimento Thomson (1897, p. 294), supôs que esses raios seriam partículas carregadas negativamente, concordando com as conclusões de Perrin; portanto, seria um processo material. A Figura 24 publicada pela primeira vez no artigo de Thomson, surge novamente em Tipler e Llewellyn (2014, p. 76), que descrevem o esquema do experimento onde uma fonte de alta tensão provoca a emissão de partículas carregadas negativamente pelo cátodo C; estas são colimadas por A e B, produzindo um ponto luminoso na outra extremidade do vidro. O campo elétrico aplicado entre as placas D e E, deflete o feixe de partículas emitido.

Ainda de acordo com os autores Tipler e Llewellyn (2014, p. 76), no experimento em questão, Thomson utilizou gases e catodos diferentes, obtendo a mesma razão  $e/m$ , concluindo que todas as substâncias eram compostas pelas mesmas partículas carregadas negativamente. O experimento descrito neste artigo foi considerado como a descoberta do elétron (Brown *et al*, 2005, p. 33), apesar de sua carga elétrica ter sido calculada em 1909 por Millikan (Hewitt, 2015, p. 605), e apenas mais tarde ter sido denominada elétron por Lorentz (Tipler; Llewellyn, 2014, p. 76), findando, em parte, a história da descoberta do elétron.

Pouco mais de meio século depois da descoberta do Elétron por J. J. Thomson, o britânico Norman McLaren produzia animações, a partir de padrões gráficos gerados por tubos de raios catódicos. McLaren produziu dois filmes estereoscópicos, *Now is the time* e *Around is Around*, em 1951 para o National Film Board, no Canadá. Mas o que seria um filme estereoscópico?

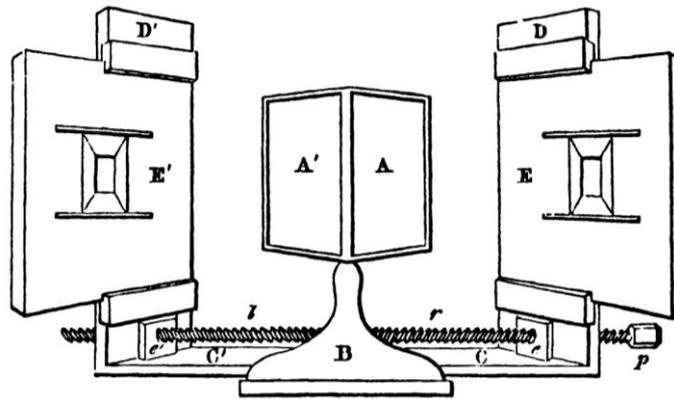
De acordo com o artigo *On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision*, do Professor de Filosofia Experimental Charles Wheatstone, quando observamos um objeto longe o suficiente, as imagens obtidas por cada olho são tão semelhantes que dispensa comparações, porém se aproximado o suficiente, estas imagens diferem a projeção de sua perspectiva para cada olho. Na Figura 25, podemos observar algumas das imagens comparativas, utilizadas pelo professor, em seu artigo, para ilustrar sua afirmação.

Figura 25: Duas projeções em perspectiva, onde *a* é obtida pelo olho esquerdo e *b* pelo olho direito.



Ainda de acordo com o autor, o cérebro seria responsável por combinar as imagens em uma única, causando-lhe um efeito de profundidade. De acordo com Lipton (1982, p. 23), Wheatstone teria inventado um estereoscópio de espelhos, um aparelho capaz de obter uma única imagem tridimensional, a partir da combinação de duas imagens sob perspectivas levemente distintas.

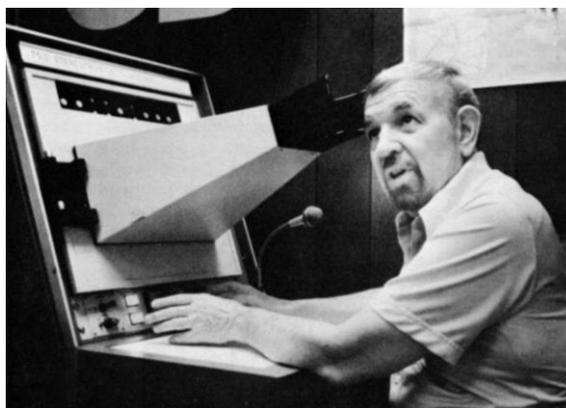
Figura 26: Estereoscópio de espelho, feito por Wheatstone.



Fonte: Lipton (1982, p. 23)

A televisão estereoscópica, ilustradas na Figura 27, de acordo com Lipton (1982, p. 287), projetava pares de imagens estereoscópicas, sobrepostas e polarizadas, fazendo uso, dentre tantos mecanismos, da visualização de raios catódicos.

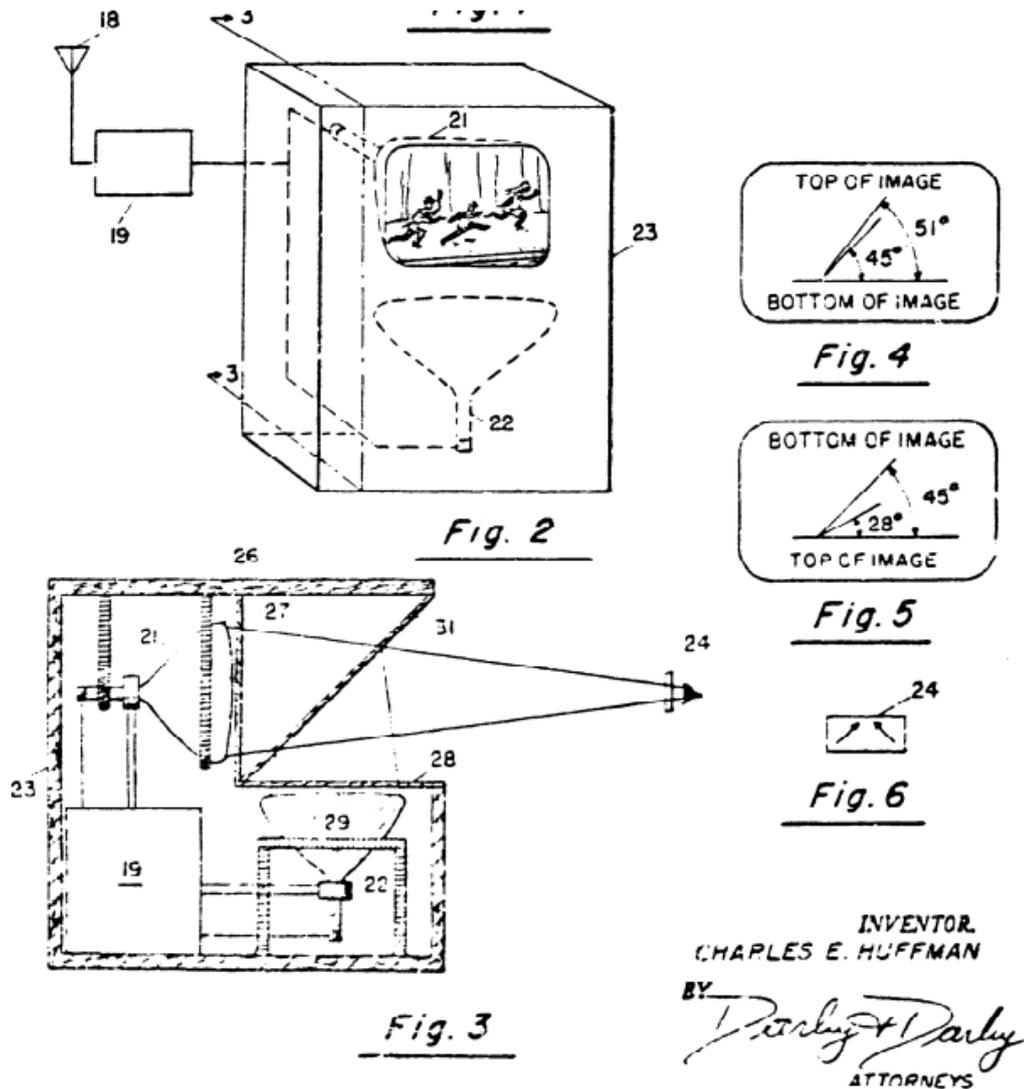
Figura 27: Televisão estereoscópica, inventada por James Butterfield



Fonte: Lipton (1982, p. 287)

Nos apêndices do livro *Foundations of the stereoscopic cinema, a study in depth* de Lipton, estão expostos alguns outros esquemas de outros aparelhos similares, que também utilizam raios catódicos, como ilustrado na figura 28.

Figura 28: Sistema de Televisão em 3D.



Fonte: Lipton (1982, p. 290)

Para alguns estudantes de física, pode não ser novidade que televisores de tubo antigos são formados por tubos de raios catódicos, porém ao comparar alguns pontos das histórias da física e do cinema de animação, estes fatos não poderiam ser desconsiderados. Deste modo, a partir da compreensão superficial, de parte da tecnologia envolvida em filmes estereoscópicos, percebemos que a busca pelo

cinema em 3D antecede em muito a atualidade. Os filmes estereoscópicos *Now is the time* e *Around is Around*, de McLaren em 1951, foram produzidos com essa técnica.

As imagens dos dois filmes nos quais se utilizou essa técnica foram produzidas pelo *método direto* e pelo *oscilógrafo de tubo de raios catódicos* (CRT), para gerar padrões gráficos baseados em impulsos elétricos. Os desenhos (bidimensionais) eram fotografados *frame a frame* e, para a obtenção do efeito 3D, utilizava-se uma *truca* na qual dois projetores exibiam *frames* alternados. Na acuidade da gravação dessas imagens duplamente expostas estava o êxito do processo. (Lucena Júnior, 2005, p. 95, grifo próprio).

As imagens duplamente expostas se referem a imagens com perspectivas levemente distintas, apresentadas alternadamente, obtendo uma imagem com efeito tridimensional.

### 3 EXPLICITANDO UM POUCO DA FÍSICA NA REPRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO DE UMA BOLINHA QUICANDO EM UMA ANIMAÇÃO 2D

#### 3.1 APRESENTAÇÃO BREVÍSSIMA DE ALGUMAS DAS FERRAMENTAS UTILIZADAS NO BLENDER PARA A PRODUÇÃO DA ANIMAÇÃO DISCUTIDA (SEM ÁUDIO)

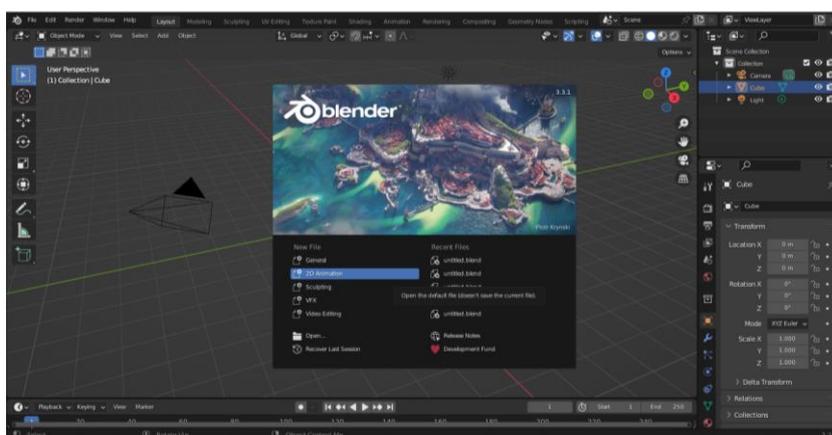
Conforme mencionado anteriormente, o *Programa de Computador Blender* não se destina exclusivamente à animação 2D, porém, para fins práticos, nos dedicaremos apenas a esta parte. Nesta parte do estudo, produzimos uma pequenina animação, e a utilizaremos para exemplificar o uso de alguns comandos no Blender, ela pode ser consultada no seguinte endereço:

<https://www.instagram.com/reel/CyQbfKBrBG2/?igshid=MzRIODBiNWFIZA%3D%3D>

Produzimos esta animação com o intuito de aprender algumas das ferramentas essenciais para o objetivo final desse trabalho, seguimos o tutorial do Canal *tuat555*, presente nas referências.

Para uma produção similar, alguns passos podem ser essenciais. Portanto, a partir da Figura 29, teremos uma sequência de imagens do vídeo que produzimos, onde se destacam algumas das funções e ferramentas utilizadas. Na tela inicial do Blender, versão 3.3.1, a opção *2D Animation* em seu menu deve ser selecionada, destacada na Figura 29.

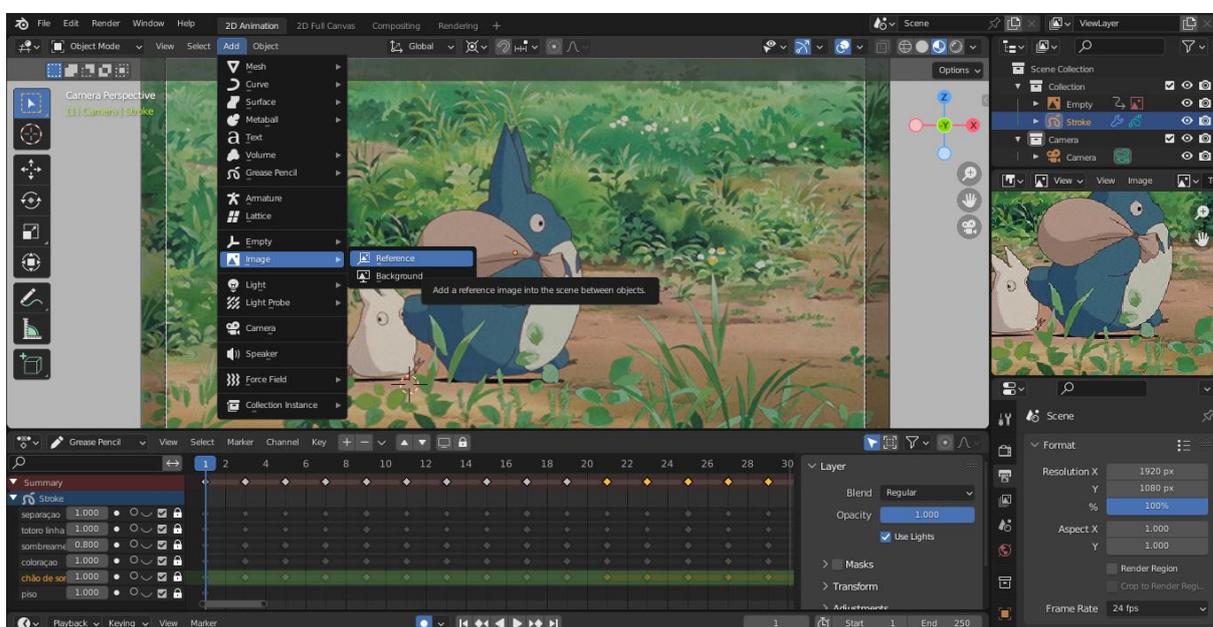
Figura 29: Imagem da Tela inicial do Blender.



Fonte: A autora (2022)

O tutorial do Canal *tuat555*, ensina a animar o caminhar do personagem Totoro. Com esse intuito, seguimos suas orientações. Para animar um personagem, o desenhamos no primeiro *frame* (quadro) do documento. Como não temos as habilidades necessárias para o desenho, também adicionamos uma imagem de referência. Para adicioná-la pressionamos a tecla TAB e selecionamos *Object Mode* (Modo de Objeto), para então adicionar uma imagem de referência, observada na Figura 30, que guiará o traço de sua animação.

Figura 30: Imagem da Tela do documento, destacando a adição de uma imagem de referência.



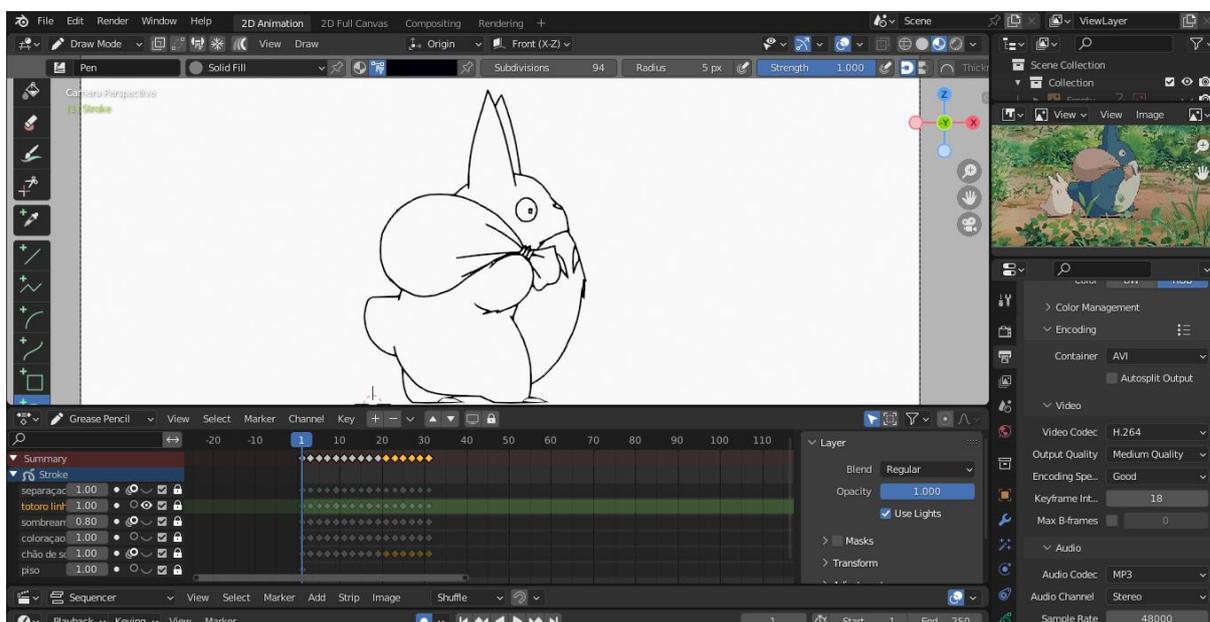
Fonte: A autora (2022)

No que se refere ao ato de desenhar no Blender, suas ferramentas podem lembrar outros programas de edição e criação como o Corel Draw, o Adobe Photoshop ou ainda o Paint. Os modos *Object Mode* (Modo de Objeto), *Edit Mode* (Modo de Edição), *Sculpt Mode* (Modo de Esculpir) e *Draw Mode* (Modo de Desenho) serão os mais utilizados para a criação de qualquer pequena animação similar a esta.

Na Figura 31 observamos o desenho que construímos a partir da imagem de referência. Também podemos destacar nesta figura, no canto inferior do lado esquerdo, a *timeline* (linha do tempo) onde estão os *layers* (camadas) que compõem a animação, nesta figura, apenas o *layer* “tororo linha” está visível, o restante está oculto, assim como a imagem de referência. Este desenho construímos a partir da

manipulação de formas básicas, na maioria circulares, esculpidas pelas ferramentas presentes em *Sculpt Mode*. Seu tronco e sua cabeça foram esculpidos a partir uma única elipse, assim como sua mochila que foi esculpida de outra elipse. Aproximamos elementos de formas básicas conhecidas, depois recorremos ao uso de curvas antes de utilizar o traço livre, utilizamos todos os recursos que podem facilitar nosso trabalho.

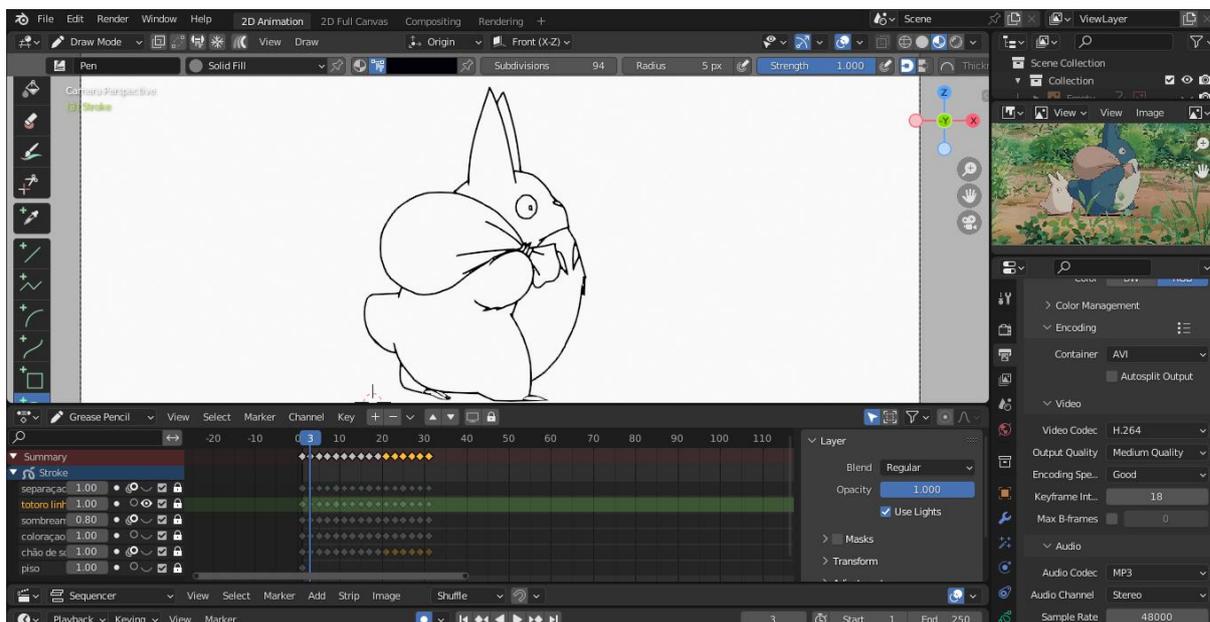
Figura 31: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “totoro linha”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

Similar a uma tabela, cada *frame* tem independência em seus *layers*, e cada vez fazemos uma alteração em determinado *layer* do *frame*, no qual está localizado o indicador de reprodução, um novo *keyframe* (quadro-chave) é criado, sendo caracterizado pelos pequenos losangos enfileirados na *timeline*. Nesse contexto, observamos a Figura 32, onde construímos o *frame* 3 a partir de modificações do desenho construído no *frame* 1. Não foi necessário que desenhássemos novamente do terceiro *frame*, ele foi criado automaticamente, quando realizamos modificamos no desenho do primeiro *frame*, quando o indicador de reprodução estava localizado no *frame* 3.

Figura 32: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “totoro linha”, *frame* 3.

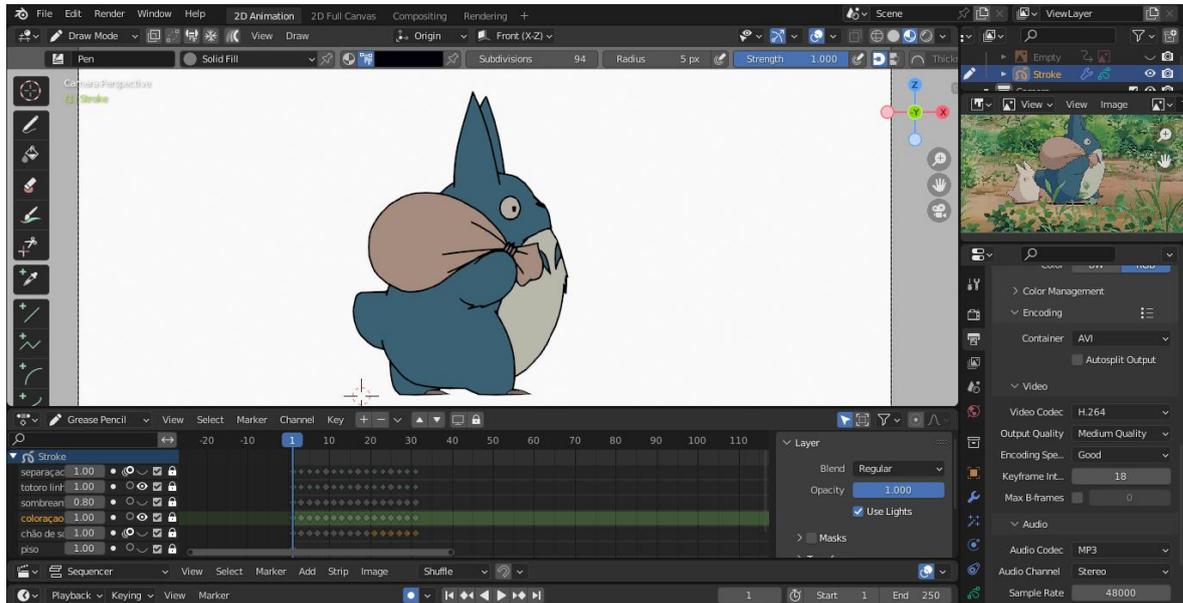


Fonte: A autora (2022)

Que tipo de modificações foram realizadas? Foram levadas em considerações alguns elementos que caracterizam o movimento de uma caminhada básica. Todo o corpo do Totoro, exceto as pernas, sobem e descem minimamente durante a ação, e distribuímos essas mudanças de altura entre os *frames*, por exemplo, do primeiro para o terceiro *frame* sobe minimamente. A mochila também sobe e desce minimamente durante a ação, assim como sua cauda, suas orelhas se inclinam para frente a para trás. Também distribuímos esses eventos durante a ação. Por exemplo, do primeiro para o terceiro *frame*, observamos que enquanto o corpo do Totoro sobe minimamente, a mochila e cauda tendem a permanecer em repouso, dando a sensação que descem. As pontas de suas orelhas também acompanham o movimento de sua caminhada.

Após finalizar as modificações necessárias no *layer* “totoro linha” acrescentamos o *layer* “coloração”, que pode ser observada na Figura 33. Lembrando que as modificações mencionadas anteriormente devem seguir para todos os *layers* seguintes.

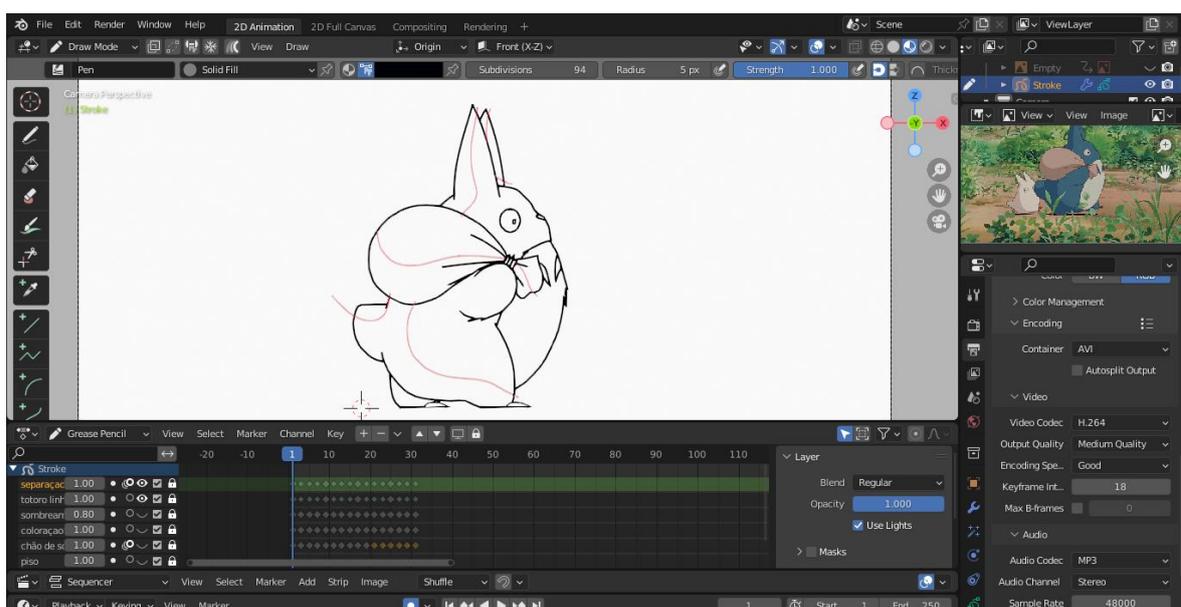
Figura 33: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “coloração”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

Ocultando o *layer* “coloração”, nos dedicamos ao efeito das sombras no corpo do Totoro. Desenhamos traços de controle no *layer* “separação”, que podem ser vistas na Figura 34.

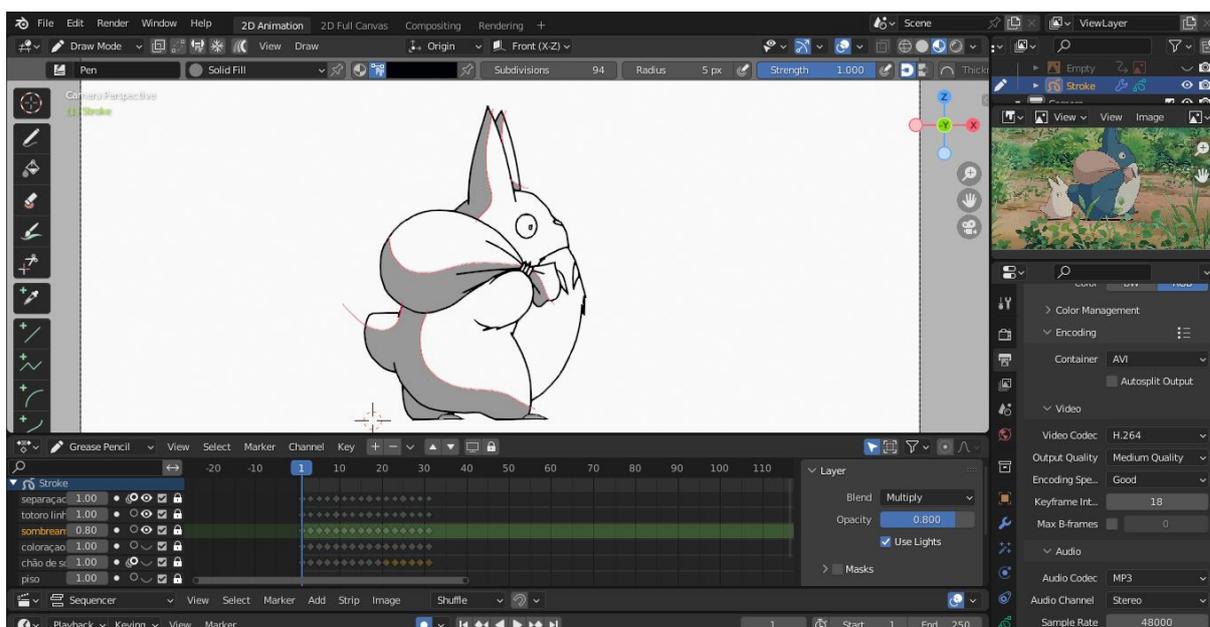
Figura 34: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “separação”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

Utilizamos o *layer* anterior apenas como referência para o próximo *layer*, “sombreamento”. Apenas esse, dos dois, ficará visível na animação final. Esse *layer* pode ser observada na Figura 35.

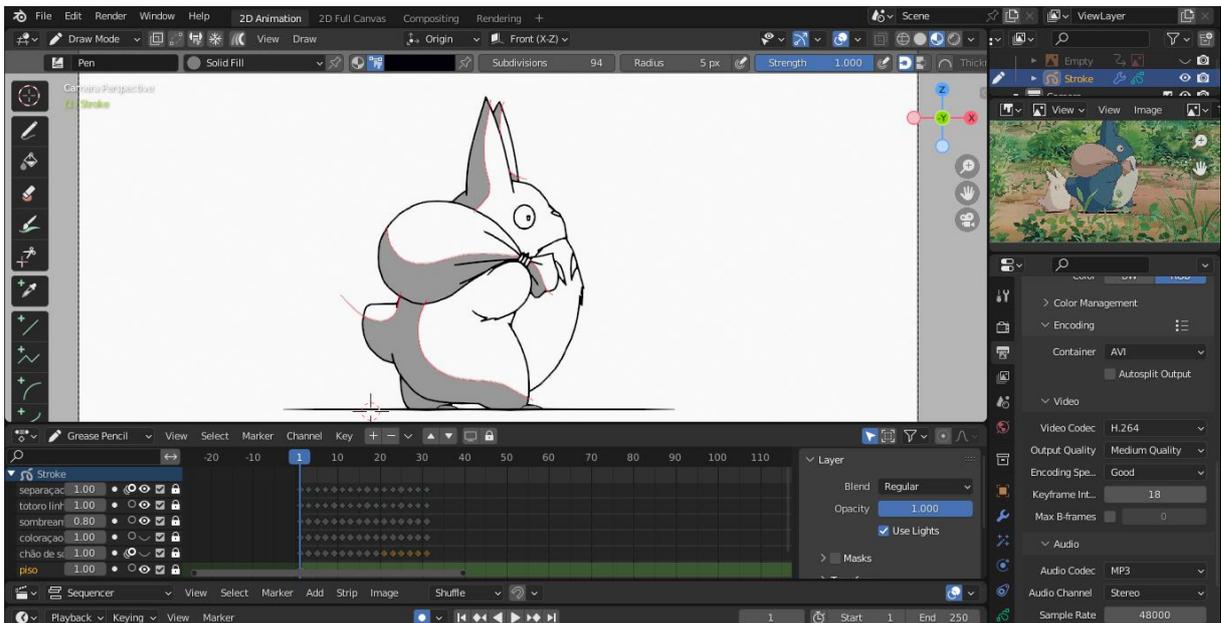
Figura 35: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “sombreamento”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

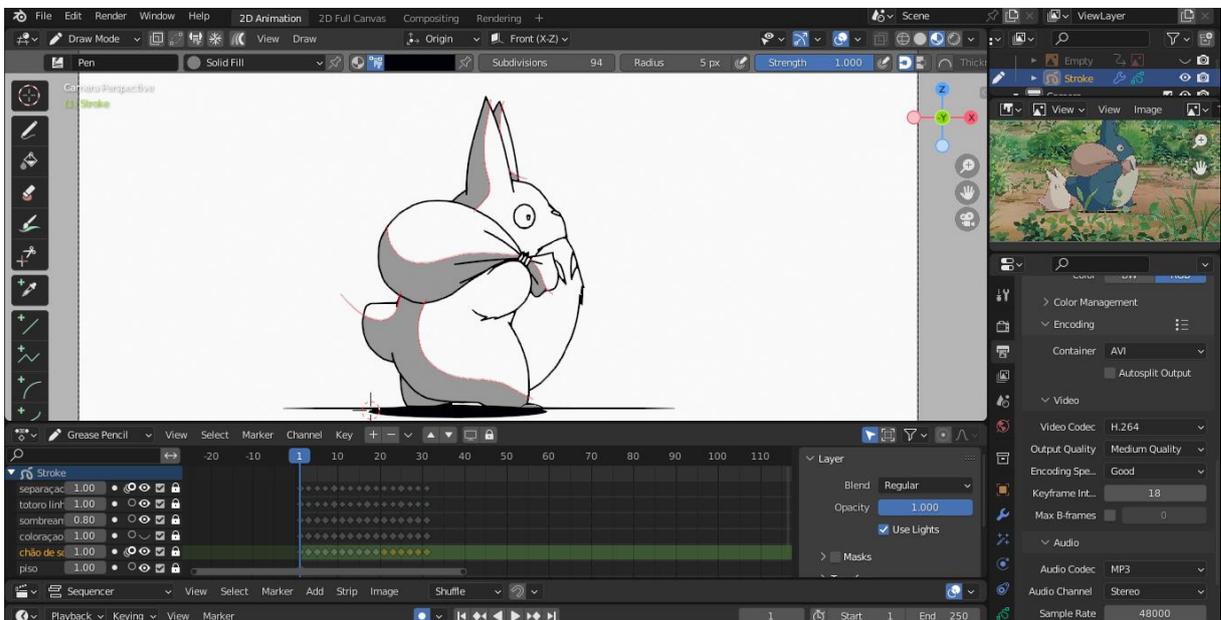
Nesta etapa criamos o *layer* “pisso”, observada na Figura 36, que servirá de referência para o próximo *layer* “chão de sombra”, visível na Figura 37. Cada *layer* em sua construção, deve levar em consideração as modificações a serem realizadas nos *frames* seguintes. Por exemplo, a sombra abaixo dos pés do Totoro acompanha sua caminhada. Então, a extremidade direita da sombra acompanha o movimento do pé posicionado na frente. Faz sentido? Bom, esta é a sombra dos pés. Então, se o pé recua na coordenada horizontal, a sombra deve acompanhar o recuo. Da mesma maneira se avança na mesma coordenada, a sombra avança.

Figura 36: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “piso”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

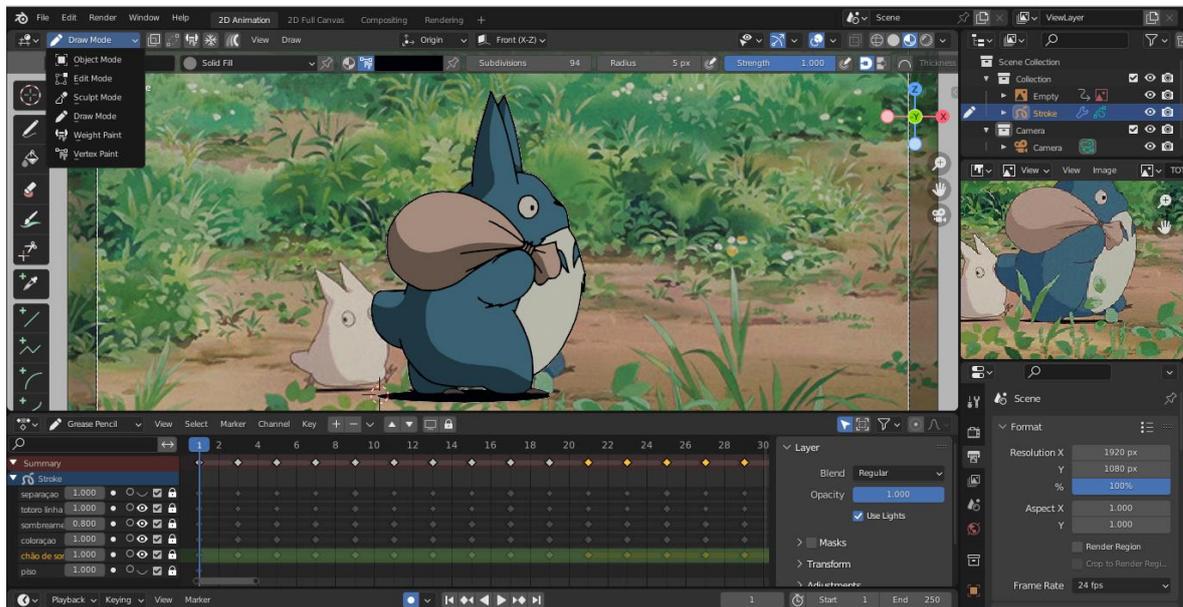
Figura 37: Imagem da Tela do documento, destacando o *layer* “chão de sombra”, *frame* 1.



Fonte: A autora (2022)

Na Figura 38, observamos o resultado da combinação de todos os *layers* relevantes visíveis, incluindo a imagem de referência.

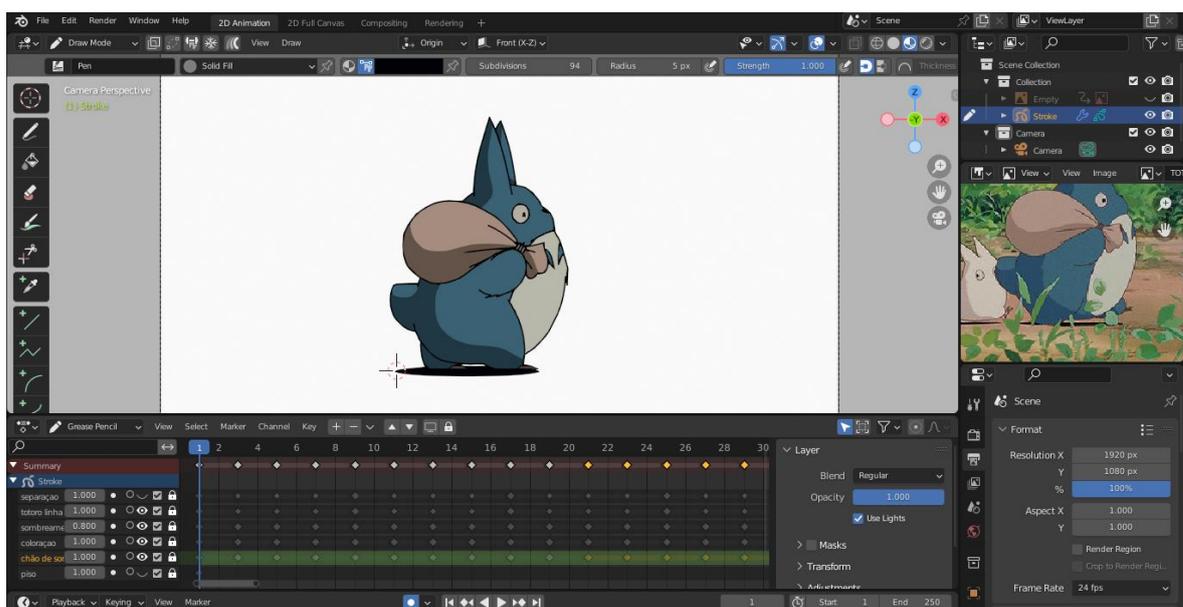
Figura 38: Imagem da Tela do documento, destacando o resultado final sobre a imagem de referência.



Fonte: A autora (2022)

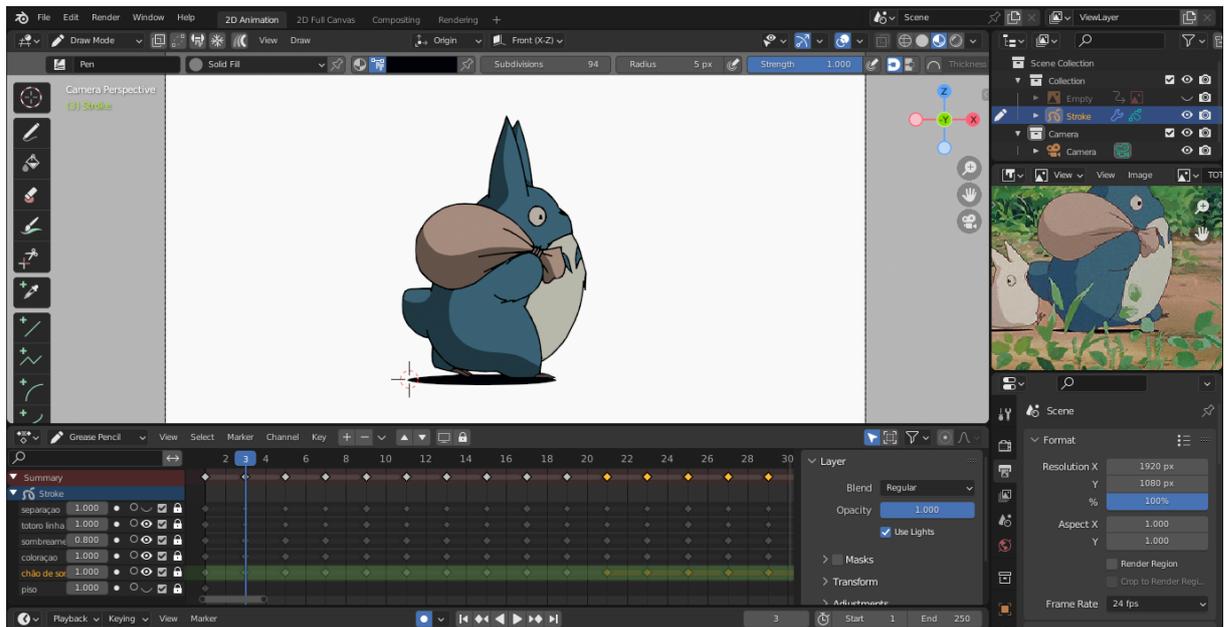
Nas Figuras 39, 40 e 41, ocultamos a imagem de referência, e observamos as mudanças de pose nos *keyframes* 1, 3 e 5.

Figura 39: Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao frame 1.



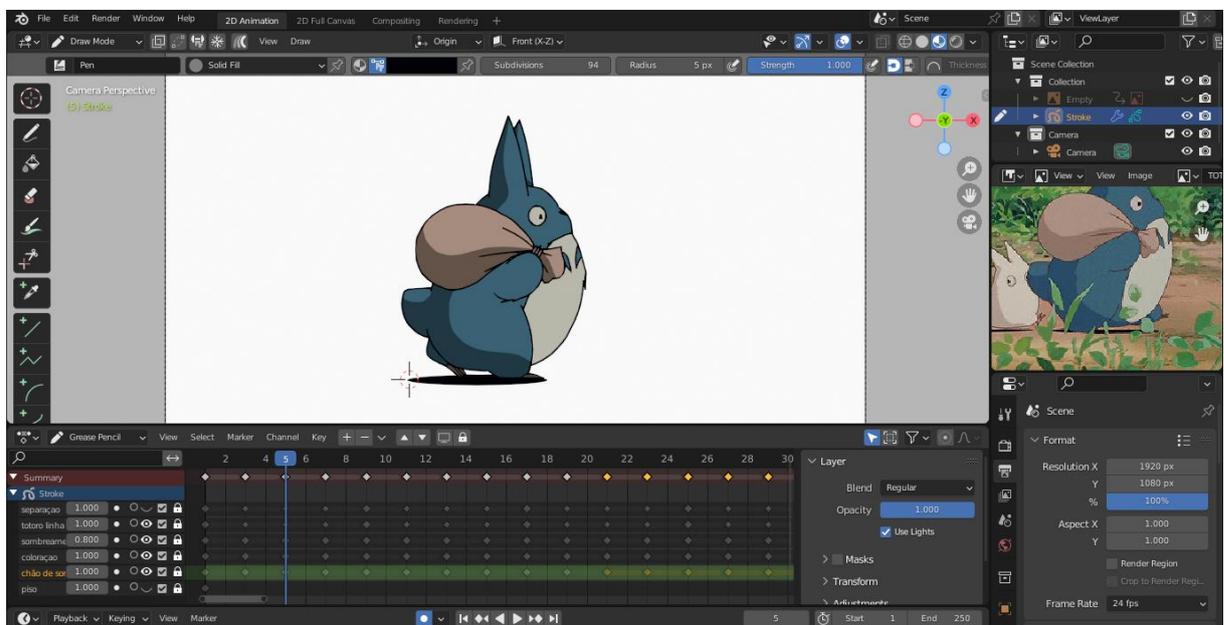
Fonte: A autora (2022)

Figura 40: Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao frame 3.



Fonte: A autora (2022)

Figura 41: Imagem da Tela do documento, com a pose referente ao frame 5.



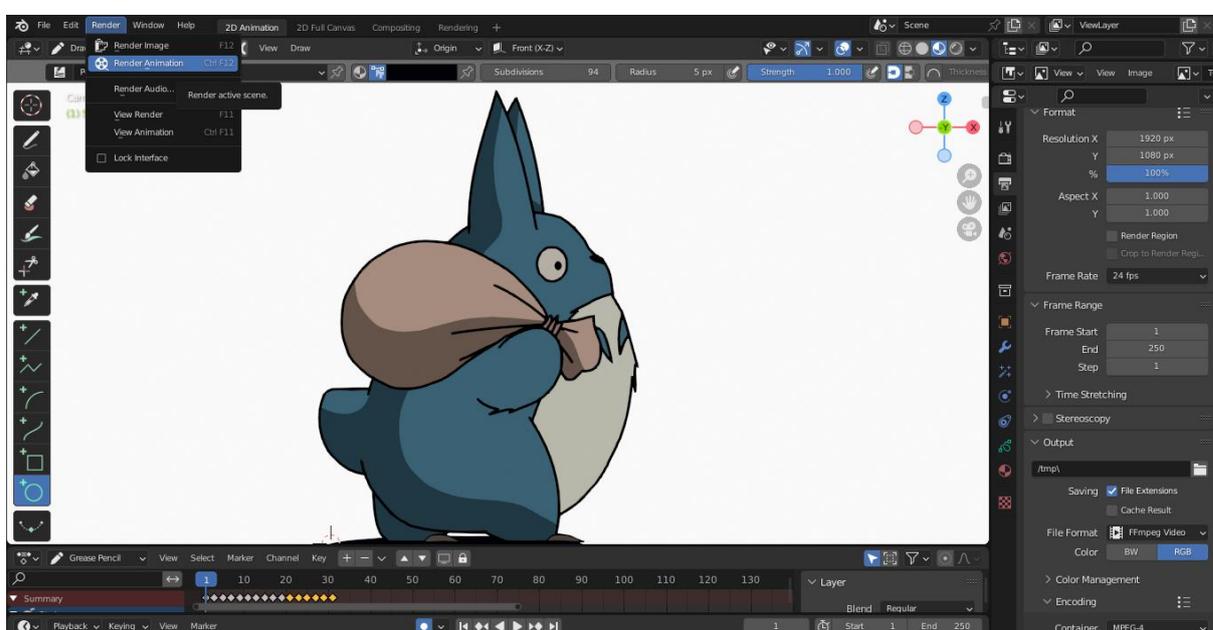
Fonte: A autora (2022)

Durante o desenvolvimento, sempre que pensar ser conveniente, pode-se ter uma visualização prévia da animação, no pequeno botão com o sinal de *play* no canto

inferior bem ao meio da *timeline*. Porém, para o uso do material produzido, pode ser mais viável se convertido em formatos de arquivos que sejam mais comuns entre os usuários e seus aparelhos de tecnologia visual. Neste caso, a animação, após desenvolvida, passa por uma renderização, da qual resulta um pequeno vídeo que pode ser compartilhado e visualizado em celulares e computadores.

Para renderizar, algumas configurações são importantes, na busca de um bom resultado de acordo com o objetivo. Na Figura 42, podemos localizar o painel de propriedades no lado direito da tela, onde está selecionada a aba *Output Properties* (Propriedades de Saída). Nela, na opção *Format* (Formatar), a resolução pode ser configurada em X, em Y, ou uma porcentagem da resolução padrão. Em *Frame Rate* (Taxa de Quadros), configuramos a velocidade do vídeo em *fps* (*frames per second*), onde temos algumas opções além dos 24 fps padrão. Logo abaixo em *Frame Range* (Faixa de Quadros), temos o intervalo de *frames* que desejamos renderizar, automaticamente. Esta opção está de acordo com intervalo selecionado para visualização prévia, mas também pode ser alterado.

Imagem 42: Tela do Blender com as configurações utilizadas para renderizar a animação.



Fonte: A autora (2022)

Em seguida, em *Output* (Saída), vamos configurar o arquivo gerado. No pequeno símbolo em forma de pasta, selecionamos o endereço do computador no

qual será gerado o arquivo. Na configuração *File Format* (Formato de Arquivo), selecionamos a opção *FFmpeg Vídeo* e em *Container* (Recipiente), selecionamos *MPEG-4*.

Lembrando que estas foram as configurações orientadas no tutorial e seguidas durante as animações prévias durante este trabalho. As mesmas podem mudar de acordo com o resultado desejado pelo usuário, por exemplo, as últimas animações que produzimos adicionamos música, então alteramos brevemente as configurações de vídeo presentes na Figura 42. Após estes ajustes, basta selecionar a opção *Render* (Renderizar) na parte superior do lado esquerdo da tela, e em seguida *Render Animation* (Renderizar Animação). Diante deste comando, Blender abre uma nova janela, na qual é possível acompanhar o andamento da renderização, e o ícone do Blender na barra de tarefas do sistema operacional do computador (no caso deste trabalho, Windows 8), indica enquanto o programa está processando. Quando acaba a renderização, a segunda janela pode ser fechada e o arquivo de vídeo pode ser encontrado na pasta selecionada anteriormente.

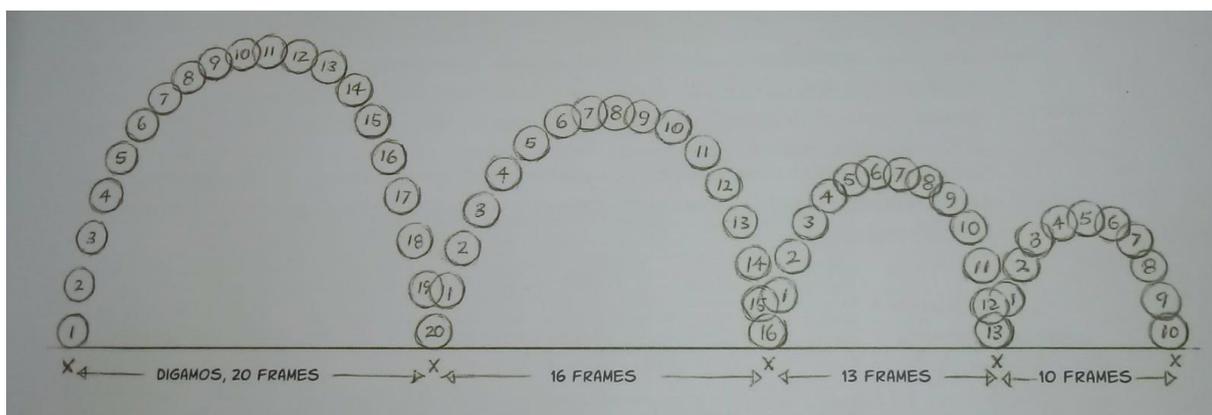
### 3.2 LANÇAMENTO DE UMA BOLINHA

Outra animação produzida durante este estudo, trata de um dos primeiros exemplos discutidos no capítulo *tudo é uma questão de tempo e de espaço*, no livro *Manual de animação: manual de métodos, princípios e fórmulas para animadores clássicos, de computador, de jogos, de stop motion e de internet*, do animador Richard Williams, presente nas referências. O autor discute, principalmente, a importância do tempo e do espaço, porém também alerta sobre as características da bolinha, seu material e sua massa, aconselhando ainda que fossem testados tempos e espaços diferentes.

Então, utilizando a Figura 43 como imagem de referência no Blender, foram feitas algumas ligeiras alterações em tempo e espaço, de acordo com a análise do movimento durante a produção. Em seu livro o autor discute que nestas regiões onde há um maior espaçamento entre as bolinhas, a mesma está com uma velocidade instantânea maior, que as regiões onde estão mais agrupadas. Ou seja, durante as posições 1, 2 ou 3, a bolinha está mais rápida que quando estiver na posição 10, 11 ou 12, por exemplo. De fato, se analisarmos que para cada posição temos um *frame*, compreendemos que o intervalo de tempo é uniforme, porém a distância percorrida

pela bolinha varia de acordo sua posição, de modo que no intervalo entre 1 e 5 a bolinha percorre um espaço maior, que quando está no intervalo entre 9 e 13, resultando que no primeiro intervalo está com uma velocidade maior que no segundo.

Figura 43: Ilustração de Richard Williams, na qual representa o movimento de uma bolinha quicando.



Fonte: Williams (2016, p. 37)

Analisando a Figura 43, podemos observar que, se comparada com um trecho da trajetória do lançamento de uma bolinha, como na Figura 44, elas são semelhantes.

Figura 44: Fotografia estroboscópica de uma bolinha.



Fonte: Rosa *et al.* (2004, p. 19)

De fato, a Figura 43 se assemelha a diversas figuras utilizadas pelos livros didáticos para ensinar o movimento em duas dimensões, como a figura 45, tão conhecida por nós, no livro *Fundamentos de Física, volume 1, mecânica*, dos autores Halliday, Resnick e Walker, presente nas referências. Acontece que a figura 43 se refere à observação, interpretação e representação do animador Williams, que conforme discutido durante o estudo, busca uma verossimilhança com o real. Deste modo, a figura 43 foi utilizada como referência para a produção da animação.

Figura 45: Movimento vertical de uma bolinha.



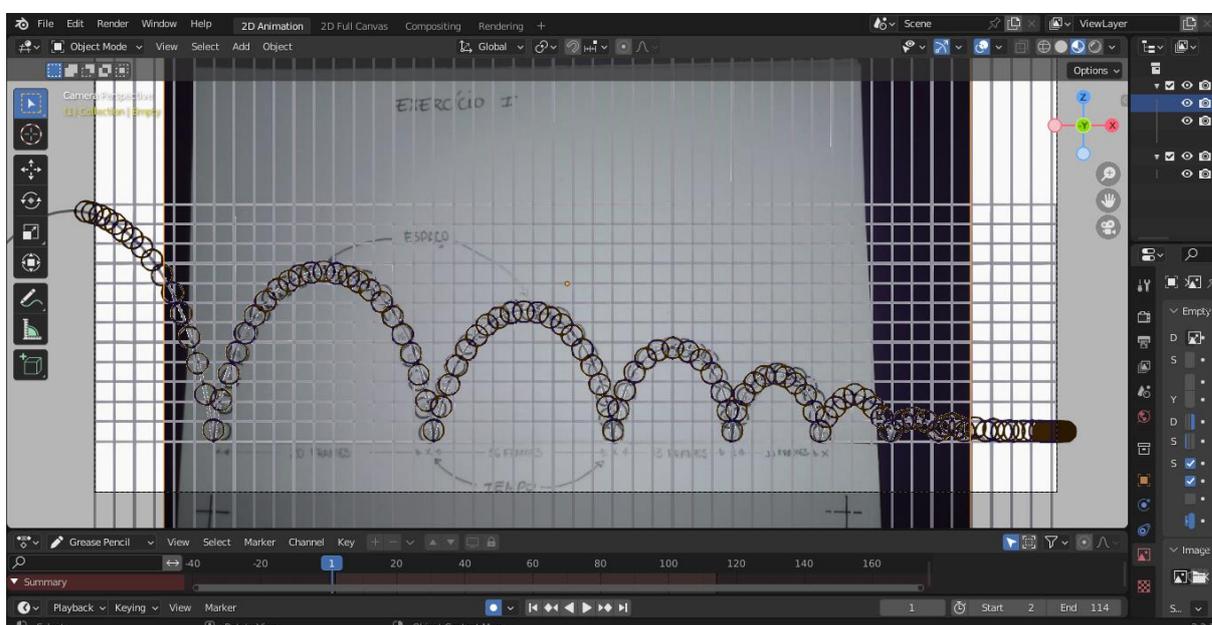
Fonte: Halliday *et al* (2008, p. 71)

### 3.2.1 Algumas Pontuações sobre o Desenvolvimento de Nossa Animação

Na Figura 46, podemos observar algumas mudanças realizadas para a animação, a qual passou por algumas versões para ensaio e observação. A primeira mudança se percebe na continuidade de movimento: a trajetória foi completada em ambos os

lados, dando a sensação que foi lançada a uma certa altura no lado esquerdo, e avançou para a direita, perdendo altura a cada contato com o solo. Foram traçadas linhas verticais e horizontais para auxiliar na visualização do movimento, além dos arcos, que representam a trajetória da bola. A partir destes traços, segue o posicionamento de cada bolinha, mudando ligeiramente em alguns pontos. Ao final da trajetória, está representada uma mudança considerável na velocidade, levando a uma pausa gradual, sem interromper o movimento abruptamente.

Figura 46: Ensaio para a animação, utilizando a Figura 32 como referência.



Fonte: A autora (2023)

Durante algumas das conversas, percebemos que mesmo esta pequena animação, envolve um conjunto de conceitos físicos que podem despertar discussões em aula: cinética, dinâmica, dissipação de energia, conservação de energia, força de atrito, entropia, processos reversíveis, processos irreversíveis, conceito de materiais elástico, plástico, rígido e maleável, situações ideal e real. Este tipo de animação, não implica conhecimentos físicos por parte do animador, que neste caso, depende de sua capacidade de observar, interpretar e representar a trajetória da bolinha.

Então questionamos. A Física explica o movimento nesta animação? Existe Física no movimento dessa animação? Podemos discutir Física a partir do movimento desta animação? Ainda vamos além. Até que ponto, o movimento desta animação

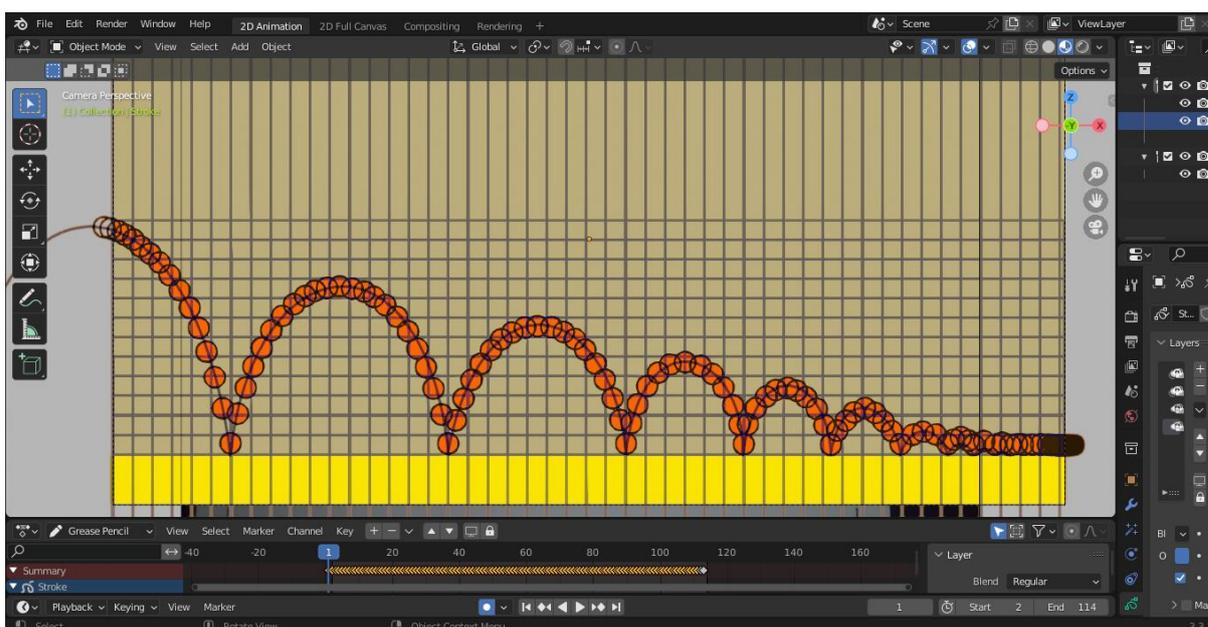
satisfaz as condições impostas pelos conceitos físicos em discussão? Podemos adiantar que, dependendo da intencionalidade e dos critérios de quem analisa essa animação, a maioria das respostas serão positivas. Nesse trabalho, vamos discutir o movimento dessa animação a partir de três modelos físicos que incluem movimento balístico em duas dimensões, colisão elástica de materiais, efeitos de uma força resistiva e dissipação de energia.

Então, observe na Figura 47, o modelo final para este ensaio, que pode ser consultado no endereço:

<https://www.instagram.com/reel/CyQcdyhrfTz/?igshid=MzRIODBiNWFIZA%3D%3D>.

Buscamos representar uma situação real, que pode ser melhor compreendida a partir de uma situação ideal e conforme mencionado anteriormente, esta animação se assemelha à Figura 45, que se refere ao lançamento de uma bola.

Figura 47: Representação final da trajetória, para o ensaio.



Fonte: A autora (2023)

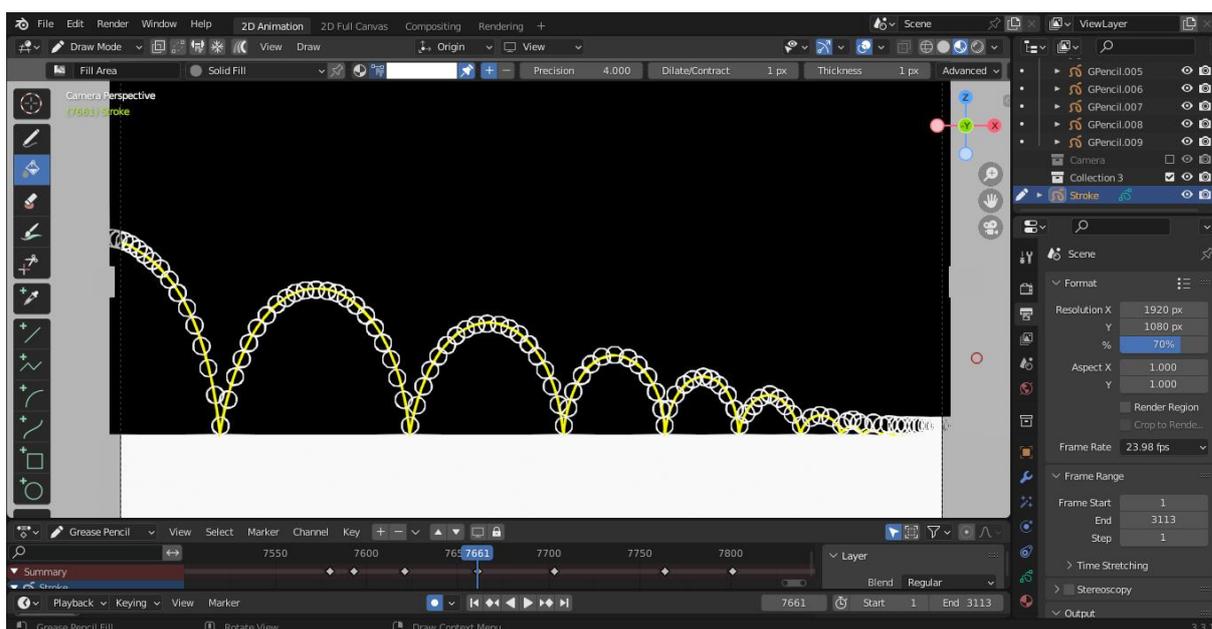
Após o ensaio, partimos para a produção de uma animação de caráter didático, em que fosse evidenciada a trajetória dos lançamentos de uma bolinha rígida e de uma bolinha maleável, que pode ser consultada no endereço:

<https://www.instagram.com/reel/CyQc77fLkrl/?igshid=MzRIODBiNWFIZA%3D%3D>. A animação será composta pelos créditos de abertura e finais, pelas trajetórias, e por

uma explicação breve e objetiva. Pretende-se representar: a trajetória de uma bolinha rígida, como na Figura 47; um zoom num intervalo de tempo que a bolinha rígida toque o chão; a trajetória de uma bolinha maleável, quase elástica; e um zoom num intervalo de tempo que esta bolinha toca o chão. As trajetórias inteiras, foram animadas *em uns*, enquanto que os zoons das trajetórias, foram animadas *em dois*, para dar um efeito de menor velocidade, sem perder os detalhes a serem observados.

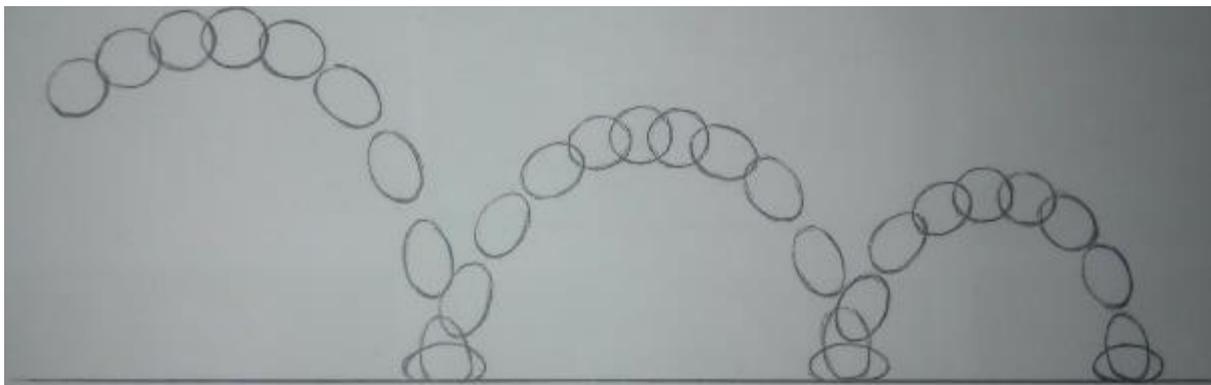
Na Figura 48, observamos o mesmo movimento planejado durante o ensaio, para a trajetória de uma bolinha rígida, enquanto que na Figura 50, observamos o movimento de uma bolinha maleável, quase elástica. O movimento da Figura 50 parte, à princípio, da representação na Figura 49. Utilizamos o conceito Comprimir e Esticar nele representado e aplicamos no modelo que já tínhamos na Figura 47, representando também a energia perdida durante a deformação do material.

Figura 48: Representação para a trajetória da bolinha rígida, animada *em uns*.



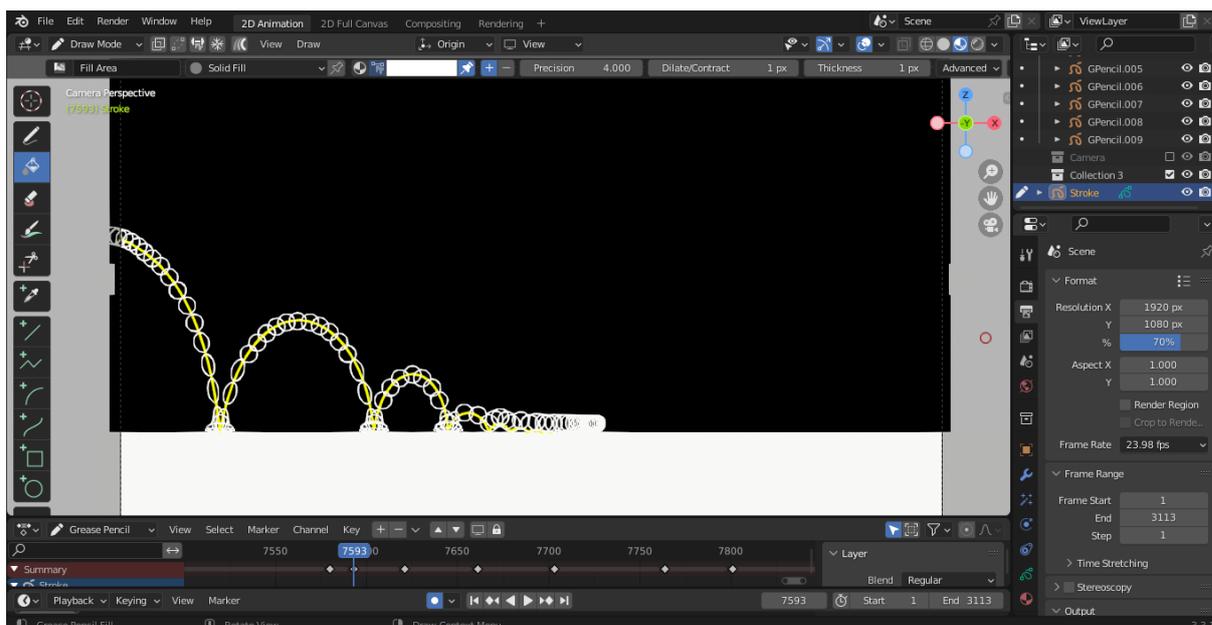
Fonte: A autora (2023)

Figura 49: Representação para o conceito de Comprimir e Esticar, em uma bolinha.



Fonte: Williams (2016, p. 39)

Figura 50: Representação para a trajetória da bolinha maleável, quase elástica, animada *em dois*.



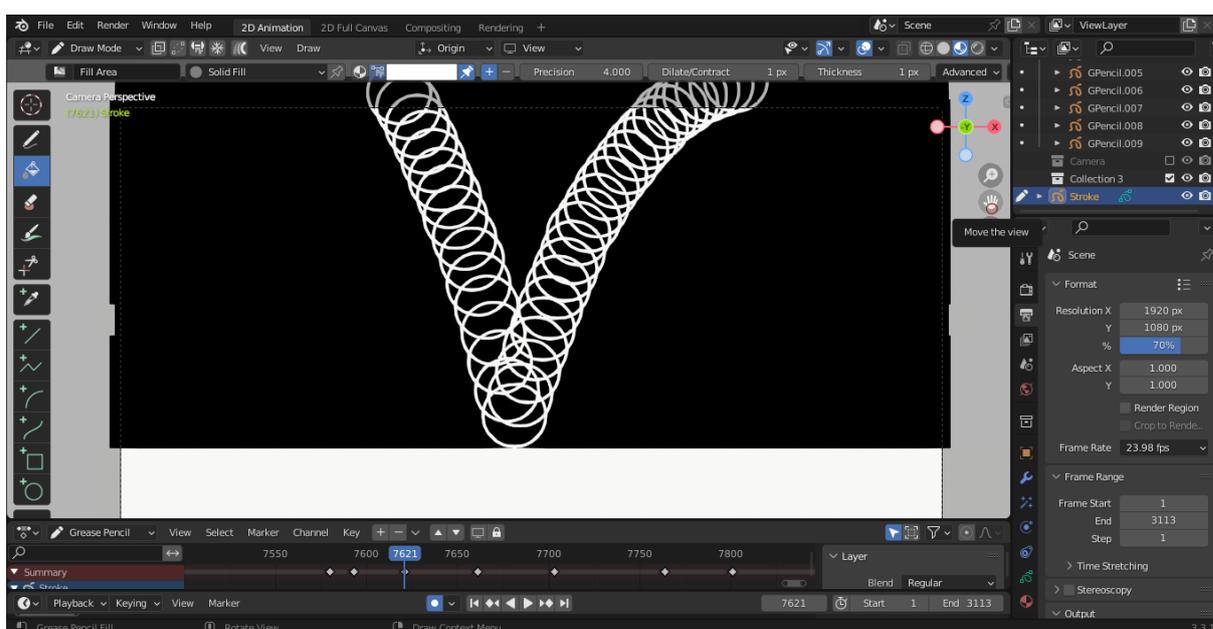
Fonte: A autora (2023)

O tipo de material para a bolinha na Figura 48, poderia ser qualquer material rígido, resistente, e não deformável a olho nu, poderia ser madeira por exemplo, ou borracha, com uma constante elástica alta o suficiente para evitar a deformação visível, mas não poderia ser gesso, ou vidro, que são frágeis para quedas, fugindo da representação, na animação planejada. Para a bolinha na Figura 50, planejamos um material bastante maleável, sendo capaz de deformar-se apenas com a força de atrito

com ar, lembrando de fato um elástico, portanto muito mais deformável visivelmente, ou seja, com uma constante elástica que permita uma deformação visivelmente considerável, por parte do material, sem que o impeça de retornar à sua forma original, poderia ser de borracha mesmo, mas diferindo da primeira, com uma constante elástica bem baixa.

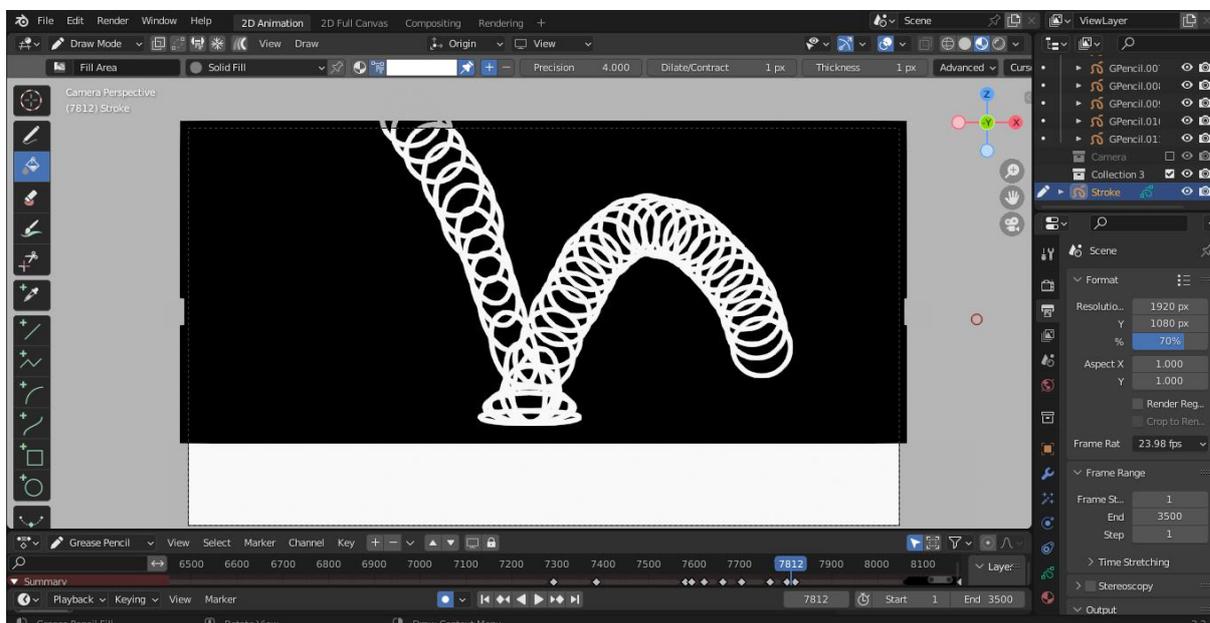
Dentro dos modelos que planejamos para a representação das trajetórias, selecionamos um intervalo de tempo para cada uma das bolinhas, e a evidenciamos em zooms. Para tanto, adicionamos mais alguns *frames* dentro desse intervalo e ainda o renderizamos em *dois*, para dar um efeito de câmera lenta nestas cenas. Ambos os moldes, podem ser observados nas Figuras 51 e 52.

Figura 51: Representação do zoom, em um intervalo de tempo, no qual a bolinha rígida toca o solo.



Fonte: A autora (2023)

Figura 52: Representação do zoom, em um intervalo de tempo, no qual a bolinha maleável, quase elástica, toca o solo.



Fonte: A autora (2023)

Cada *frame* da animação, foi obtido a partir da cópia de cada objeto presente no molde, ou seja, para a Figura 48 foi duplicada a primeira bolinha para o primeiro *frame*, a segunda bolinha para o segundo *frame*, e assim por diante, preservando a forma e a localização a que pertencem inicialmente.

### 3.2.2 Discutindo Brevemente Alguns Conceitos Físicos presentes na Análise do Movimento Animado

Conforme mencionado anteriormente, discutiremos ao menos três modelos físicos nesse trabalho. Iniciaremos a partir da discussão nos capítulos *Movimento em Duas e Três Dimensões* do livro *Fundamentos de Física: Mecânica*, dos autores Halliday, Resnick e Walker, e *Movimento Bidimensional* do livro *Curso de Física Básica: Mecânica*, do autor Moysés, ambos presentes nas referências. No movimento balístico, podemos decompor seu movimento em duas componentes, uma em  $x$  e outra em  $y$ , num plano cartesiano, independentes e sem prejuízo conceitual, visto que neste movimento há uma aceleração de queda livre apenas no eixo  $y$ , neste exemplo, equivalente à aceleração da gravidade, enquanto que no eixo  $x$ , a aceleração é nula.

Neste modelo de movimento balístico, as mesmas equações fundamentais encontradas para o movimento retilíneo são válidas, portanto para a posição na coordenada em x, temos

$$x - x_0 = v_{0x}t \quad (3-1)$$

e para a posição na coordenada em y

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2. \quad (3-2)$$

Decompondo a velocidade inicial, obtemos que

$$\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j}, \quad (3-3)$$

nos quais

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 \quad (3-4)$$

e

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta_0 \quad (3-5)$$

onde  $\theta_0$  é o ângulo de lançamento após cada contato com o solo, ou seja, o ângulo entre o vetor velocidade e sua coordenada em x. Substituindo a equação (3-4) na (3-1) e a equação (3-4) na (3-2), obtemos as equações de posição para o movimento balístico:

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t \quad (3-6)$$

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2. \quad (3-7)$$

Explicitando o tempo, na equação (3-6), e substituindo na (3-7), obtemos

$$\frac{x - x_0}{v_0 \cos \theta_0} = t \Rightarrow \quad (3-8)$$

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0) \frac{x - x_0}{v_0 \cos \theta_0} - \frac{1}{2} g \left( \frac{x - x_0}{v_0 \cos \theta_0} \right)^2 \Rightarrow$$

$$y - y_0 = (\operatorname{tg} \theta_0)(x - x_0) - \frac{g(x - x_0)^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}, \quad (3-9)$$

onde podemos considerar que a posição inicial em ambas as coordenadas é nula. Portanto, a equação da trajetória de um movimento balístico ideal é dada por

$$y = (\operatorname{tg} \theta_0)x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} x^2. \quad (3-10)$$

Observando que no primeiro termo da equação, o fator trigonométrico é constante, assim, como o primeiro fator no segundo termo da equação, podemos reescrevê-la como

$$y = ax + bx^2, \quad (3-11)$$

chegando à conclusão de que a trajetória será parabólica.

Para calcularmos o alcance máximo deste movimento, utilizamos as equações do movimento (3-6) e (3-7), onde estabelecemos uma posição máxima para a coordenada x, e uma posição nula para a coordenada y, obtendo:

$$x_{max} = (v_0 \cos \theta_0)t_{voo} \quad (3-12)$$

$$0 = (v_0 \sin \theta_0)t_{voo} - \frac{1}{2}gt_{voo}^2 \quad (3-13)$$

ao isolar o tempo,  $t_{voo}$ , na equação (3-13), e substituir este valor na equação (3-12), obtemos

$$\frac{2(v_0 \sen \theta_0)}{g} = t_{voo} \Rightarrow$$

$$x_{max} = (v_0 \cos \theta_0) \frac{2(v_0 \sen \theta_0)}{g},$$

ou, ainda,

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} (2 \sen \theta_0 \cos \theta_0),$$

ou seja, a equação do alcance máximo é dada por

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} \sen 2\theta_0. \quad (3-14)$$

Entretanto, perceba que o modelo para o movimento balístico discutido aqui, se refere uma situação ideal, que não sofre interferência resistiva de nenhuma natureza, enquanto que a animação do movimento da bolinha busca representar um movimento verossímil, portanto realístico. Deste modo, obtivemos um modelo próximo da representação que buscamos, porém, precisamos analisar alguns dos fatores que estão oferecendo resistência ao movimento da bolinha.

De acordo com discussões durante este estudo, analisamos o trecho da trajetória em que a bolinha se choca com o piso, podendo aproximar nosso modelo, com o experimento gravado pelo Canal *Mark Haycock*, que capturou a uma velocidade de 70000fps, a colisão elástica de uma bola de golfe, ao atingir uma placa de aço a 240km/h. Na Figura 53, observamos que a bola está a pouquíssimos instantes de uma iminente colisão. A superfície de aço está imóvel com relação ao observador, e a bola está em seu formato natural, sem deformidades a serem consideradas. Toda sua energia mecânica está em seu movimento.

Figura 53: *Frame* do vídeo, bola de golfe na iminência da colisão.



Fonte: Mark Haycock (2009)

No instante da colisão, pela Lei de Inércia, a bola tende a continuar sua trajetória, porém a rigidez da superfície de aço oferece resistência o suficiente contra o movimento da bola, causando uma deformação neste corpo, conforme podemos observar nas Figuras 54, 55 e 56. Visualmente somos capazes de observar apenas o evento da deformação da bola, mas mentalmente podemos interpretar que existe uma interação atômica entre estes corpos. Durante a colisão, os átomos do aço são agitados rapidamente, provocando um levíssimo aumento em sua temperatura, e a vibração gerada nesta colisão, será transmitida para o ar em uma onda sonora. O corpo da bola também sofre eventos equivalentes, porém com efeitos mais perceptíveis. Parte desta energia mecânica, que se transformou em energia térmica ou sonora, se perdeu de maneira irreversível, com o aumento da entropia do sistema, e é dissipada.

Figura 44: *Frame* do vídeo, bola de golfe durante a colisão.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 55: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante a colisão.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 56: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante a colisão.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Observe que a outra parte da energia mecânica se conservou na deformação do material, convertendo a energia cinética em energia potencial elástica. Então, quando o corpo da bola alcança o repouso, toda a energia mecânica restante está em sua deformação, que por ser elástica, tende a retornar a seu formato original. No instante em que sai do repouso, toda a energia mecânica presente, ou seja, a energia potencial elástica, é convertida em energia potencial cinética, neste instante, a energia cinética é máxima, e portanto, o corpo está na máxima velocidade. Nas Figuras 57 até a 64, observamos parte do processo de transformação da energia, além da dissipação originada pelo processo de agitação das moléculas, que continua enquanto existir a deformação.

Figura 57: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia potencial elástica restante, em energia cinética.



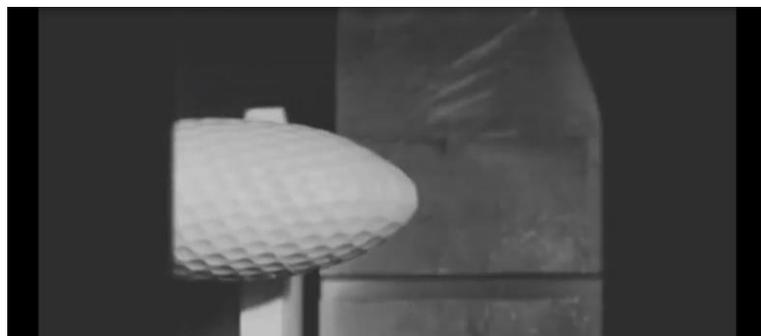
Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 58: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



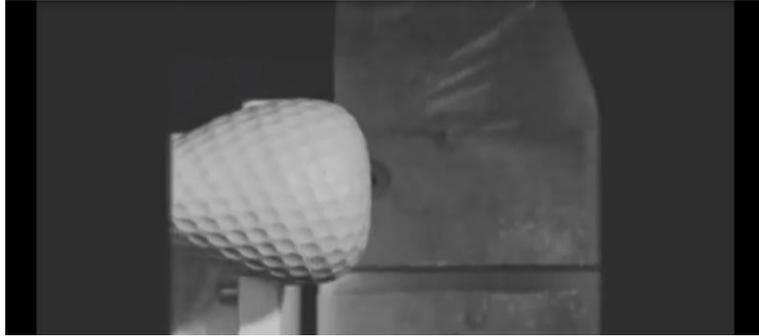
Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 59: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 60: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 61: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



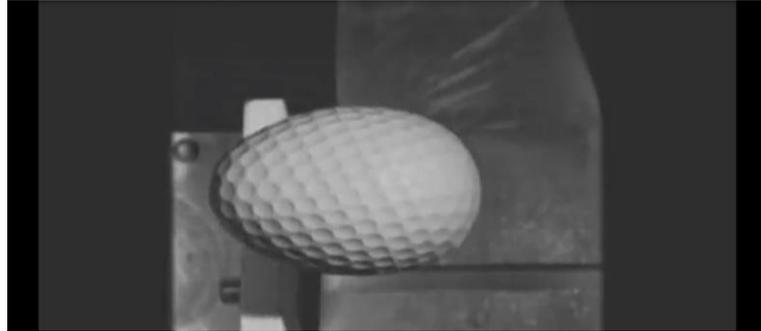
Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 62: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Figura 63: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



Fonte: Mark Haycock (2009)

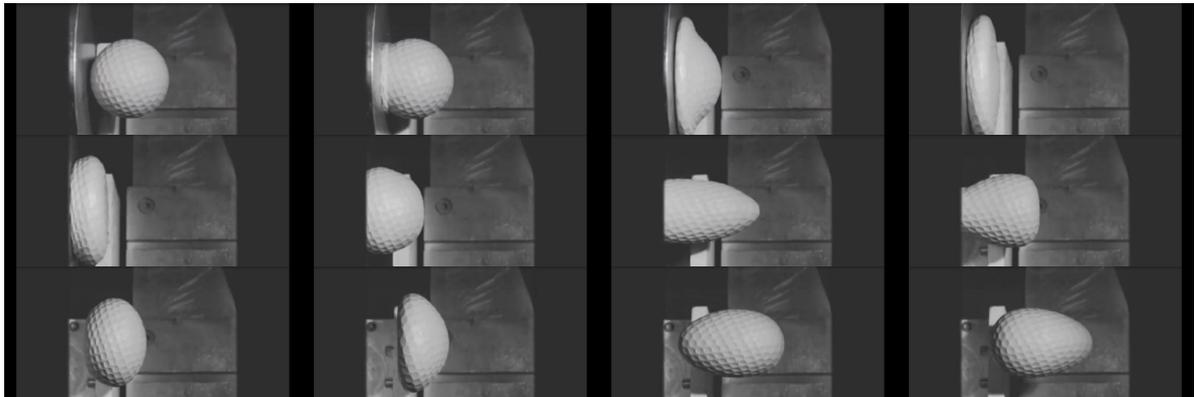
Figura 64: *Frame* de um vídeo, bola de golfe durante o processo de transformação da energia.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Observe na Figura 65 a colisão elástica e perceba que após o oitavo quadro, intuimos que a bolinha retornará a seu formato original, porém a mesma ainda sofre deformações internas após a colisão.

Figura 65: Sequência de *Frames* de um vídeo, bola de golfe durante uma colisão elástica.



Fonte: Mark Haycock (2009)

Um outro fator que oferece resistência ao movimento da bolinha, está no ar. Apesar de pouco denso se comparado a outros fluidos, em seu movimento dentro do ar, a bolinha sofre ação de uma força resistiva e contrária a seu movimento. Para discutir os efeitos dessa força, vamos utilizar a modelagem matemática proposta no capítulo *Projectiles and Charged Particles* (Projéteis e Partículas Carregadas) do livro *Classical Mechanics* (Mecânica Clássica) escrito por Taylor, presente nas referências.

O autor defende que em situações de deslocamento dentro do ar, nas quais um corpo se move com velocidade menor que a velocidade do som, podemos afirmar que o módulo da força resistiva pode ser expresso pela equação

$$f(v) = bv + cv^2 = f_{lin} + f_{quad}. \quad (3-15)$$

Onde o termo linear da expressão inclui o arrasto viscoso do meio e o tamanho linear do projétil, enquanto que o termo quadrático inclui a massa do ar que acelera devido à colisão com o projétil, a densidade do meio e a área de secção transversal do projétil.

Para um projétil esférico os fatores  $b$  e  $c$  são dados por

$$b = \beta D \text{ e } c = \gamma D^2 \quad (3-16)$$

nas quais, as constantes correspondem a

$$\beta = 1,6 \times 10^{-4} N \cdot s/m^2 \text{ e } \gamma = 0,25 N \cdot s^2/m^4. \quad (3-17)$$

Nesse capítulo, ainda é discutido a possibilidade de desprezar um dos termos da equação (3-15). Para tanto, os comparamos conforme a equação seguinte

$$\frac{f_{quad}}{f_{lin}} = \frac{cv^2}{bv} = \frac{\gamma D^2 v^2}{\beta Dv} = \frac{\gamma}{\beta} Dv \Rightarrow$$

$$\frac{f_{quad}}{f_{lin}} = \left(1,6 \times 10^3 \frac{s}{m^2}\right) Dv. \quad (3-18)$$

Então supondo que em nosso movimento animado, a bolinha tenha 30 centímetros de diâmetro e 0,5 quilogramas, estando com velocidade de 5 m/s, nossa equação (3-18) equivale a

$$\frac{f_{quad}}{f_{lin}} = 2\,400. \quad (3-19)$$

Concluimos então que a razão é alta o suficiente para entendermos que o valor do termo quadrático é muito maior que o valor do termo linear, ou seja, podemos desconsiderar o termo linear da equação. Então o módulo da força resistiva para o nosso movimento é expresso por

$$f(v) = cv^2. \quad (3-20)$$

Qual o efeito dessa força resistiva nesta trajetória? Para melhor compreender a diferença entre as trajetórias, vamos simular algumas situações a partir de um algoritmo que calcula a trajetória de um projétil em duas dimensões, que pode ser observado na Figura 66. Esse programa foi construído pelo Prof. Dr. Paulo Peixoto, nas aulas de Computação Científica I no ano de 2019, presente nas referências.

Figura 66: Algoritmo desenvolvido em sala de aula, na disciplina de Computação Científica I, pelo Prof. Dr. Paulo Peixoto, no ano de 2019. Com alterações. Programa de Computador Dev++.

```

1  /* PROGRAMA LANÇAMENTO DE UMA BOLA com D = 30 cm
2  AUTOR: reescrito na estrutura dos programas escritos nas aulas de computação
3  científica I pelo o Professor Dr. Paulo Peixoto em 2019 e o ex. 2.1 do Livro
4  de Mecânica Clássica de Taylor. OBS.: Possui alterações.
5  DATA: 08/10/23 */
6  //BIBLIOTECA
7  #include <stdio.h>
8  #include <math.h>
9  //FUNCOES
10 //CONSTANTES
11 //VALORES NO SI
12 #define dt 0.0001
13 #define m 0.5
14 #define g 9.81
15 #define x_0 0
16 #define y_0 0
17 #define v_0 5
18 #define teta_0 M_PI/(2.4)
19 main()
20 {
21     FILE* ponteiro_de_arquivo;
22     //INICIO
23     ponteiro_de_arquivo = fopen ("tabela b6.dat", "a");
24     fprintf (ponteiro_de_arquivo, "x \t y \n");
25     double c;
26     c = 0.0225;
27     double x = x_0, y = y_0;
28     double teta = teta_0;
29     double vx = v_0 * cos(teta), vy = v_0 * sin(teta);
30     double ax, ay, F_res_x, F_res_y, t;
31     for (t = 0; y >= 0; t = t + dt){
32         fprintf (ponteiro_de_arquivo, "%f \t %f \n", x, y);
33         F_res_x = -1.0 * c * vx * vx;
34         F_res_y = -1.0 * c * vy * vy -1.0 * m * g;
35         ax = F_res_x/m;
36         ay = F_res_y/m;
37         x = x + vx * dt;
38         y = y + vy * dt;
39         vx = vx + ax * dt;
40         vy = vy + ay * dt;
41     }
42     fclose(ponteiro_de_arquivo);
43 }
44 //FIMALGORITMO

```

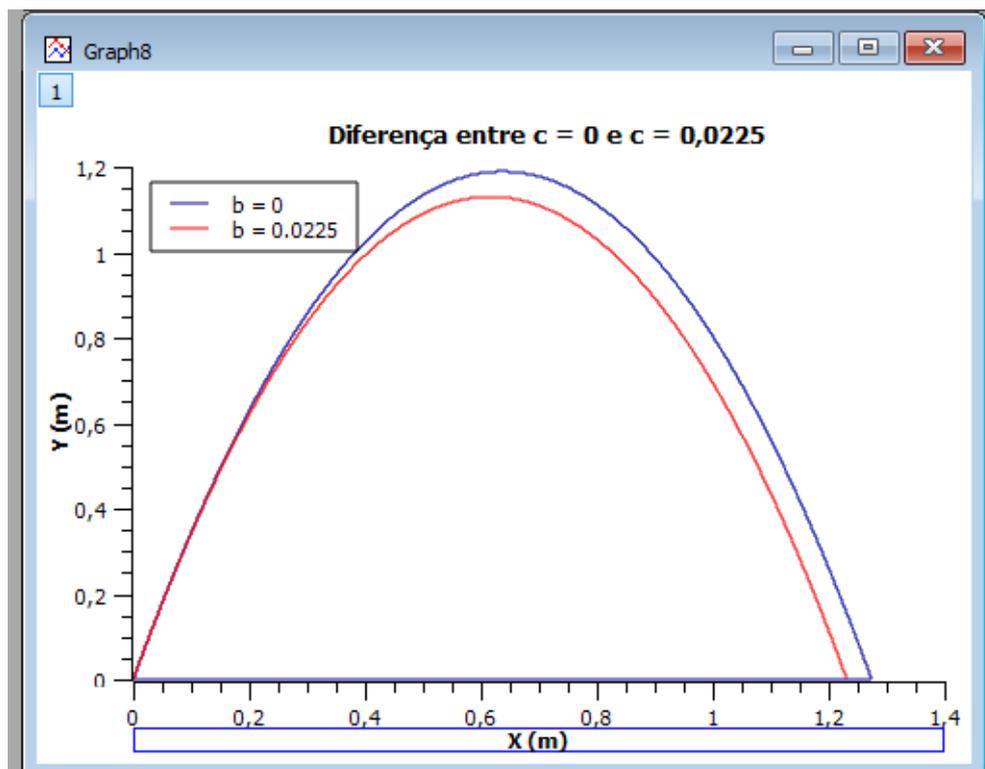
Fonte: Aulas de Computação Científica I, por Prof. Dr. Paulo Peixoto (2019).

Entre as linhas 12 e 18 definimos algumas constantes de acordo com o nosso problema. Ainda em aula definimos intervalos de tempo pequeníssimos, 0.0001 segundos na linha 12, a posição inicial nula em 15 e 16 e a gravidade 9.81 m/s<sup>2</sup> na linha 14. Mantivemos esses dados, porém alteramos outros de acordo com o nosso

problema. Imaginamos uma bolinha com 30 centímetros de diâmetro, com massa de 0,5 kg na linha 13, lançada com uma velocidade de 5 m/s na linha 17, e neste caso estamos interessados em uma altura máxima para o lançamento então o ângulo inicial é  $75^\circ$  na linha 18. Na linha 32, acumulamos os dados calculados em uma tabela que utilizamos para construir os gráficos no SciDAvis. E os comandos presentes no algoritmo respeitam as equações que definem matematicamente o movimento de projéteis.

A força resistiva, definida pela equação (3-20), conclui que  $c$  equivale a 0.0025 na linha 26, quando incluímos o diâmetro da bolinha e a segunda constante (3-17). Com esta condição, obtemos o gráfico na Figura 67.

Figura 67: Diferença entre uma trajetória que desconsidera a resistência do ar na cor azul, e a mesma trajetória que sofre a ação da força resistiva na cor vermelha.



Fonte: A autora (2023)

No algoritmo acima levamos em consideração a velocidade do corpo, então devemos pensar como a perda de energia influencia o valor da velocidade. Imaginando, por exemplo que a cada “quic” a bolinha perde 10% da energia mecânica,

então a energia cinética no próximo pulo apenas 90% do momento do contato com o chão. Isso significa uma variação na raiz quadrada da velocidade.

$$E_{c_2} = 0,9E_{c_1} \Rightarrow \quad (3-21)$$

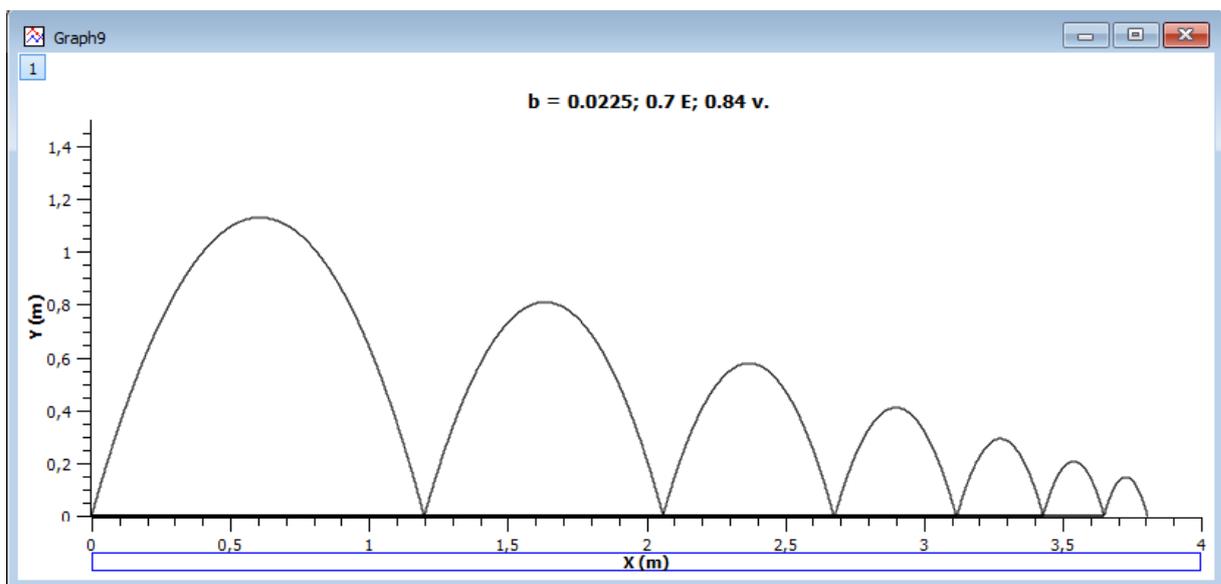
$$\frac{mv_2^2}{2} = 0,9 \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow \quad (3-22)$$

$$v_2^2 = 0,9v_1^2 \Rightarrow \quad (3-23)$$

$$v_2 = 0,95v_1. \quad (3-24)$$

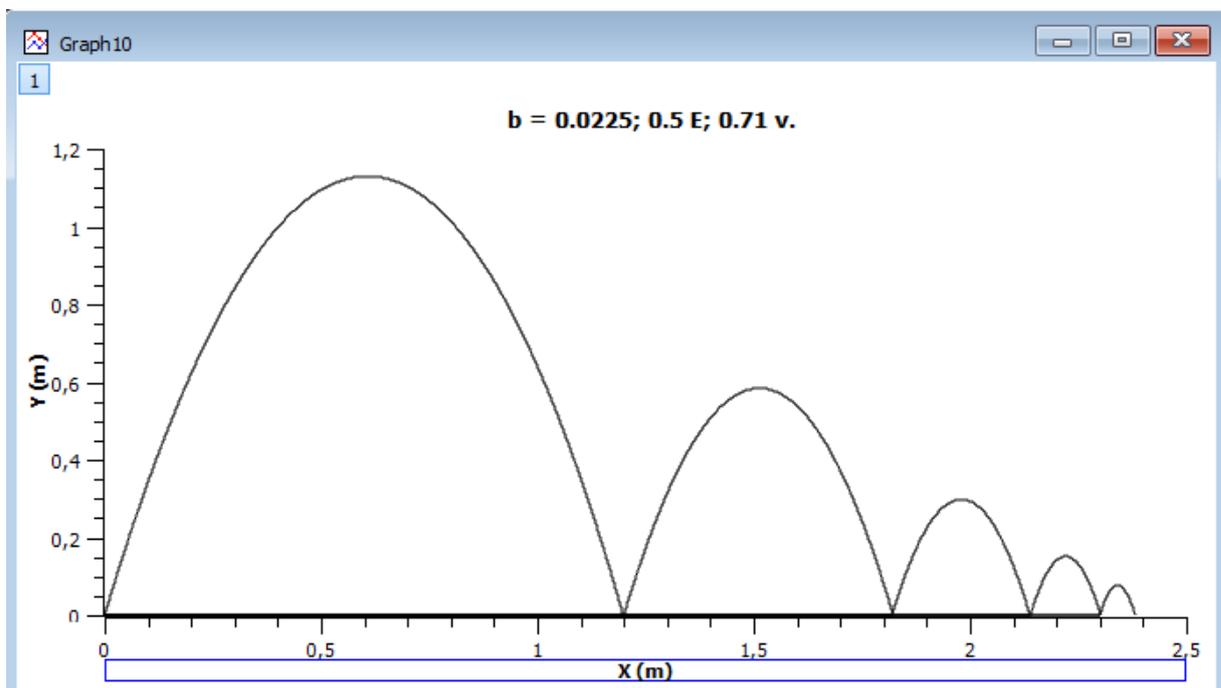
Com velocidade menor, a bolinha percorre menor distância no mesmo tempo, ou seja, no desenho a bolinha deve em cada *frame* estar numa distância de 0,95 vezes a distância do *frame* antes do contato com o chão. Então calculando cerca de sete valores para a velocidade após a perda de energia, os lançamos no algoritmo da Figura 66 e armazenamos em uma tabela, que aplicado no SciDAvis resulta na Figura 68.

Figura 68: Gráfico que simula o lançamento de uma bolinha que perde cerca de 30% da energia a cada contato com o solo.



Seguindo o mesmo raciocínio para a bolinha rígida, podemos supor que a bolinha maleável perde 50% da energia mecânica a cada contato com o solo. Aplicando no algoritmo da Figura 66. Aplicamos a tabela armazenada nos SciDAvis que resultou na Figura 69.

Figura 69: Gráfico que simula o lançamento de uma bolinha que perde cerca de 50% da energia a cada contato com o solo.



Fonte: A autora (2023)

### 3.2.3 Brevíssimas Conclusões

Baseado nas discussões recentes, retornamos a alguns questionamentos que deixamos pendentes. As animações que produzimos não resultaram de simulação ou de qualquer tipo de cálculo, apenas das orientações no modelo da Figura 43, ou seja, de observações. Seria pertinente destacar que durante a história da física, a observação foi instrumento de curiosidade e estudo por parte de cientistas.

Então, nesse contexto, concluímos que a Física explica o movimento nesta animação, e que existe Física no movimento dessa animação. Comparando os resultados da simulação e os moldes da animação, percebemos que temos

comportamentos semelhantes, o modelo matemático para movimento de projéteis com a análise para a dissipação de energia é coerente com o movimento que animamos a partir da observação.

Vamos ainda além, ao afirmar que podemos discutir Física a partir do movimento desta animação. Vamos fazer uma breve análise na Figura 49, por exemplo, o formato da trajetória da bolinha é coerente com o modelo matemático do movimento de projéteis e a dissipação de energia mecânica a cada contato com o solo. No ponto mais alto da trajetória, a bolinha está muito mais lenta que no ponto mais baixo ao solo. De fato, no topo da trajetória a energia gravitacional é máxima, portanto sua velocidade é mínima, enquanto que na base do solo, a energia cinética é máxima, portanto a velocidade é máxima também. Na iminência de tocar o solo, a velocidade é máxima, com a perda de energia mecânica devido à deformação volta ao movimento com a velocidade máxima restante, então observe que comparando as duas alturas das bolinhas, e considerando que sua posição também representa a velocidade, percebemos que a Figura 49 está coerente. Porém, perceba que no segundo contato com o solo há uma discordância com os conceitos físicos. No segundo contato a bolinha chega ao solo com uma velocidade maior, do que saiu no primeiro contato, o que deveria ser diferente já que perdeu energia durante o trajeto no ar. Mesmo que não tivesse perdido energia, não poderia ganhá-la nessas condições. Ainda no segundo contato, a bolinha sai do solo ainda mais veloz que quando chegou. Porém, durante a colisão elástica ela perdeu energia mecânica, portanto velocidade, deveria estar mais lenta.

#### 4 BREVES CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise do material estudado e dos resultados obtidos, observamos que a animação apresenta em sua natureza uma certa complexidade, em sua própria capacidade de representar um mundo de fantasia, a partir da observação e interpretação de um mundo real, sem que esta mesma se comprometa com a ciência investigativa dos conceitos, que explicam como e porque os eventos observados são, como são. Lembrando que, conforme discutido anteriormente, os autores defendem que a animação não tem o objetivo de ser igual à realidade, acreditam que a verdade pode ser até irrelevante neste processo, mas a sua semelhança é inevitável.

Porém, este fato não impede que a animação seja utilizada como instrumento de ensino de física. Os próprios autores citados concordam entre si, quando afirmam que a animação resgata elementos reais em sua produção, como o *movimento* defendido por McLaren, por exemplo. Não somente, o apanhado histórico desenvolvido neste estudo evidencia inúmeros conceitos físicos envolvidos nesta indústria, restando apenas à intencionalidade de cada trabalho destacar as relações relevantes aos objetivos previamente estabelecidos.

Uma animação que representa a trajetória da bolinha, como a que produzimos, pode ser utilizado como instrumento para o ensino de física, não apenas analisando a animação ou seus *frames*. Imagine o que faria um estudante que fosse instigado a produzir uma animação similar à esta, baseado em determinados conceitos físicos. Ele próprio ser responsabilizado por analisar velocidade, posição, efeitos da energia, e como a colisão afeta o formato do material. Seja por papel e caneta ou por instrumentos digitais, esse tipo de abordagem pode ser enriquecedor na aprendizagem de alguém.

## REFERÊNCIAS

A CORNY concert. Intérprete: Bugs Bunny; George Daugherty; Warner Bros Symphony. Compositor: Carl Stalling; Pyotr Ilyich Tchaikovsky; Strauss. Estados Unidos: Warner Records, 1991. 1 CD, faixa 9. Disponível em: <https://open.spotify.com/intl-pt/album/5Ec5HVLOaMI2ED1s7IFR5B>. Acesso: 11 set. 2023.

ARNHEIM, Rudolf. **Arte e percepção visual**: uma psicologia da visão criadora. Tradução: de Ivone Terezinha de Faria. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005. ISBN 85-221-0148-5.

AROUND is Around, 1951. 1 vídeo (7 min). Publicado pelo canal The National Film Board (NFB). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Y2ULu\\_sni-M&ab\\_channel=NFB](https://www.youtube.com/watch?v=Y2ULu_sni-M&ab_channel=NFB). Acesso em: 09 set. 2023.

AUMONT, Jacques. **As teorias dos cineastas**. Tradução: Marina Appenzeller. 3. ed. Campinas: Papirus, 2004. ISBN 85-308-0751-0.

BADIOU, Alain. **Pequeno Manual de Inestética**. Tradução: Marina Appenzeller. São Paulo: Estação Liberdade, 2002. ISBN 85-7448-069-X.

BLENDER FOUNDATION. **Blender**. Versão 3.3.1. Blender Foundation, 2002. Programa de Computador. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 25 out. 2022.

BROWN, Theodore; LEMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce. **Química, a ciência central**. Tradução: Robson Mendes Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. ISBN 85-87918-42-7.

E. S. DE OLIVEIRA. **Física Computacional e Software Livre**. Belém 2023. Disponível em: <https://ednilton.ufpa.br/index.php/fisica-computacional>. Acesso em: 03 out. 23.

GOLF Ball 70,000fps 150mph, 2009. 1 vídeo (30 s). Publicado pelo canal Mark Haycock. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=AkB81u5IM3I&ab\\_channel=MarkHaycock](https://www.youtube.com/watch?v=AkB81u5IM3I&ab_channel=MarkHaycock). Acesso em: 13 mar. 2023.

GREASE pencil beginner tutorial/Totoro/Blender3.2, 2022. 1 vídeo (29 min). Publicado pelo canal tuat555. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=SpFwrQOpQ0M&ab\\_channel=tuat555](https://www.youtube.com/watch?v=SpFwrQOpQ0M&ab_channel=tuat555). Acesso em: 17 nov. 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: mecânica**. Tradução e revisão técnica: Ronaldo Sérgio de Biasi. 8. ed. Rios de Janeiro: LTC, 2008. ISBN 978-85-216-1605-4.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-341-3.

INSTITUTO OSWALDO CRUZ (IOC). **Fotografia**: uma história de ciência e arte. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/ioc/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=476&sid=32>. Acesso em: 12 set. 2023.

LIPTON, Lenny. **Foundations of the stereoscopic cinema, a study in depth**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1982. ISBN 0-442-24724-9.

LUCENA JÚNIOR, Alberto. **Arte da animação**: técnica e estética através da história. 2. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005. ISBN 85-7359-219-2.

MUYBRIDGE, Eadweard. **Animals in motion**: An Electro-Photographic Investigation of Consecutive Phases of Muscular Actions. London: Chapman & Hall, 1907.

NOW is the time, 1951. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo canal The National Film Board (NFB). Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=RQW2nsOVTuU&ab\\_channel=NFB](https://www.youtube.com/watch?v=RQW2nsOVTuU&ab_channel=NFB). Acesso em: 09 set. 2023.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. ISBN 85-212-0298-9.

ROSA, Rafael Antônio da Silva; RAPOZO, Rodrigo Roversi; CARVALHO, Thiago Matias de; SABA, Marcelo Magalhães Fares. Fotografias Estroboscópicas. **Física na Escola**. v. 5, n. 1: 17-19, 2004. Disponível: <http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/27-volume-05-n-1-maio>. Acesso em: 11 set. 2023.

SANTOS, Thiago Eugenio dos. **Animação Estereoscópica**: relações entre a tecnologia audiovisual e a percepção da profundidade. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) –Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014. Disponível: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/5618>. Acesso em: 09 set. 2023.

TAYLOR, John. **Classical Mechanics**. University Science Books, 2005. ISBN 1-891389-22-X

THOMAS, Frank; JOHNSTON, Ollie. **The illusion of life**: Disney Animation. New York: Hyperion, 1995. ISBN 0-7868-6070-7.

THOMSON, Joseph John. Cathode Rays. **Philosophical Magazine**. Série 5, Volume 44: 269-316, Out 1897.

TIPLER, Paul; LLEWELLYN, Ralph. **Física Moderna**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. 6. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2017. ISBN 978-85-216-2688-6.

WALT Disney Introduces the Multiplane Camera, 2011. 1 vídeo (2 min). Publicado pelo canal Disney Family. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=kN-eCBAOW60&ab\\_channel=DisneyFamily](https://www.youtube.com/watch?v=kN-eCBAOW60&ab_channel=DisneyFamily). Acesso em: 6 out. 2023.

WHEATSTONE, Charles. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision (Part the first). **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, volume 128: 371-394, 1838. Disponível: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1838.0019>. Acesso em: 10 set. 2023.

WILLIAMS, Richard. **Manual de animação**: Manual de métodos, princípios e fórmulas para animadores clássicos, de computador, de jogos, de stop motion e de internet. Tradução: Leandro de Mello Guimarães Pinto. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2016. ISBN 978-85-396-1050-1.