

## PROTOTIPAGEM VIRTUAL DE MECANISMO DE DUPLO EFEITO PARA ARMA DE AIRSOFT<sup>1</sup>

Luan Merisio Vedovatto<sup>2</sup>  
Paulo Vicari<sup>3</sup>  
Bruno Turmina Guedes<sup>4</sup>  
Maria Regina Thomaz<sup>5</sup>

### RESUMO

O presente estudo busca a modelagem de um protótipo virtual de mecanismo de disparo de arma de *airsoft* que permita ao usuário efetuar disparos seguros contra alvos a curta distância, e também permita tiros precisos a alvos mais afastados, então o mecanismo deve possuir duas forças de disparo diferentes, com dois métodos de engatilhamento diferentes, variando o deslocamento de compressão da mola e com isso a energia transferida para o projétil. Serão aplicadas ferramentas de processos de desenvolvimento de produto, efetuados cálculos para se obter as velocidades de lançamento e para escolher a mola comercial que mais se adequa ao projeto, bem como quanto essa mola deve ser comprimida em ambas as configurações de força de disparo, será então modelado o mecanismo em *software* de *computer aided design* (CAD), e desenvolvidas animações que permitirão uma perfeita visualização do funcionamento do mecanismo. Ao fim analisando as animações e simulações executadas, notou-se alguns erros construtivos do protótipo que poderão ser reparados antes de dar continuidade ao projeto, as animações e visualizações renderizadas também se mostraram ferramentas importantes para melhorar a concepção de um eventual cliente.

**Palavras-chave:** *Airsoft*. Protótipo virtual. Modelagem 3D. Análise de movimentos.

### 1 INTRODUÇÃO

O *airsoft* é um esporte recreativo e também praticado para treinamento de equipes táticas, onde cada jogador possui uma ou mais armas que disparam projéteis esféricos de polímero de 6 mm, permite muitas opções de modalidades, como combate entre equipes, infiltrações, invasão a base inimiga, além de poder ser praticado em quase qualquer cenário, campos abertos ou fechados, prédios abandonados, entre outros, sempre tentando imitar situações da realidade de operações policiais e militares (MARCONDES, 2018).

Devido a busca de tornar o esporte cada vez mais realista, constantemente são criadas novas tecnologias, que permitem melhorar a cadência de tiro, a precisão, o alcance, resposta

---

<sup>1</sup> Pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

<sup>2</sup> UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail luanvedo@hotmail.com.

<sup>3</sup> Professor orientador Esp. Engenharia de Segurança do Trabalho. E-mail paulo.vicari@uceff.edu.br.

<sup>4</sup> Docente do curso de Eng. Mecânica. E-mail: brunoguedes@uceff.edu.br.

<sup>5</sup> Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF Faculdades. E-mail: mare\_mrt@yahoo.com.br.

tátil, recuo, autonomia da bateria, etc, tudo isso aliado a estratégias de combate e técnicas de campo permitem uma experiência realista em vários modos de combate.

Com isso, a prática do esporte normalmente demanda de duas armas, uma para tiro curto e rápido, e outra para tiro longo, ou a escolha de uma arma que possa atender parcialmente os dois quesitos abrindo mão de um pouco de força, ou escolhendo render o inimigo quando este estiver muito próximo para não provocar lesões, Multiplix (2019) menciona que é comumente utilizado de 1 a 2 joules de energia nas armas de *airsoft*, sabendo disso, buscamos saber: **como desenvolver um mecanismo que possibilite variações na força de disparo?**

Com a prática de competições de *airsoft* entre amigos percebeu-se uma lacuna entre as armas de tiro longo e tiro curto, notando a falta de um modelo comercial desse tipo, surgiu então o interesse por desenvolver um mecanismo capaz de atender todas as necessidades dos jogadores.

Além disso, a parte de modelagem estrutural e dimensionamento dos componentes, vai acabar determinando a força de cada modo de tiro, estes estudos garantirão também uma boa confiabilidade, durabilidade e principalmente a segurança do projeto, facilitando para uma venda potencial do projeto posterior ao estudo.

O objetivo deste estudo é desenvolver o protótipo virtual de um mecanismo capaz de oferecer duas opções de força de disparo para uma arma de *airsoft*, aliando força de disparo com segurança em tiros curtos, precisão, alta cadência de disparos e uma versatilidade que não é encontrada em nenhum modelo comercial atualmente, para isso será utilizada a ferramenta matriz morfológica, realizar o dimensionamento de elementos do sistema, modelar o protótipo virtual no *software* SolidWorks® e analisar o protótipo a fim de encontrar e reparar possíveis problemas. Segundo Guedes (2015), a prototipagem virtual consiste em uma maneira de aproximar um projeto em desenvolvimento de um produto final, de maneira a oferecer menor risco.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FERRAMENTAS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

O processo de desenvolvimento de produto (PDP), é formado por um grande leque de ferramentas que auxiliam as equipes de projeto a chegarem a resultados competitivos no

mercado (ROMANO, 2003), sendo pela aprovação do cliente, confiabilidade do produto, inovação ou qualquer outro quesito.

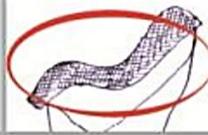
Também citado por Neves, *et al.* (2011), o PDP faz com que o produto final fique do agrado da maioria das pessoas, sendo assim, estes se tornam potenciais clientes.

Dentre as ferramentas abrangidas por este processo temos o *Quality Function Deployment* (QFD), ou desdobramento da função da qualidade, a matriz morfológica, o *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) ou modo de falhas e análise de efeitos, *Computer Aided Design* (CAD) ou Desenho Assistido por Computador, *Computer Aided Engineering* (CAE), ou Engenharia Assistida por Computador, *Computer Aided Manufacturing* (CAM) ou Fabricação Assistida por Computador, entre inúmeras outras, (FERREIRA E TOLEDO, 2001).

### 2.1.1 Matriz Morfológica

A matriz morfológica, visa combinar vários princípios de solução de problemas isolados em um ambiente organizado, a fim de facilitar a escolha da melhor opção de cada componente para cada segmento (NEVES *et al.* 2011). Essa ferramenta consiste em uma tabela como a Figura 1, onde as primeiras colunas apresentam as características gerais e atributos, e as linhas ao lado mostram alternativas para obter os resultados (ZAVADIL, *et al.* 2014).

**Figura 1 - Exemplo de matriz morfológica**

suporte para a criança	estofamento	TECIDO + ANTIALÉRGICO	REMOVÍVEL/ LAVÁVEL	FIXO DE LINHO GROSSO	ACOLCHOADO +
	trava				
	encosto				
	cápsula		CASULO	CADEIRA BICICLETA	BALANÇO 
	ancoragem	CINTO DE SEGURANÇA	GANCHOS+ TRAVA	CARRINHO SUPER 	

Fonte: Adaptado de Zavadil *et al.* (2014).

Tendo feito essa organização das opções, agora basta escolher junto com a equipe de projeto a opção que mais se adequa a escolha do cliente, ao fim desta etapa teremos uma lista de quais os sistemas que apresentam uma melhor tendência de aprovação do cliente, e com isso teremos um pré-formato de como será o produto.

## 2.2. FORÇA DE DISPARO

Em um lançamento horizontal, pode-se pressupor que a distância alcançada é uma variável dependente da velocidade de lançamento, e essa por sua vez está relacionada com a energia aplicada no lançamento, (CAVALCANTE E TAVOLARO, 1977). Por isso deve ser dimensionado a fim de contribuir com a segurança do produto.

### 2.2.1 Valores seguros para força de disparo

Apesar da legislação brasileira não definir valores seguros de potência de armas de uso recreativo, ela trata do *airsoft* como uma arma de pressão, cujo a definição é a seguinte:

Arma cujo princípio de funcionamento é o emprego de gases comprimidos para impulsão de projétil, os quais podem estar previamente armazenados em uma câmara ou ser produzidos por ação de um mecanismo, tal como um êmbolo solidário a uma mola (BRASIL, 2019).

Anterior à este decreto os modelos eram categorizados a partir dos mecanismos de ação, sistema *spring* (mola), *airsoft electric gun* (AEG) e *gas blow back* (GBB), entre outros, e também era considerado um calibre máximo permitido de seis milímetros (BRASIL, 2010), mas estes deixaram de ser vigentes em 2019.

Um estudo desenvolvido por Marshall, Dahlstrom e Powley (2011) aponta um valor de energia máximo por unidade de área que o projétil pode chegar ao alvo como sendo 4,8 J/cm<sup>2</sup>, acima dessa energia foi constatado através de testes realizados em olhos de porcos, que pode haver lesão grave em caso de um tiro acertar em um olho humano.

### 2.2.2 Força de disparo

Com visto, percebe-se que não há um limite tão rigoroso de energia estipulado por norma, então para definir valores de velocidade de lançamento do projétil podem ser aplicados cálculos, com valores de deslocamento máximo vertical e horizontal, velocidade horizontal

inicial e aplicando nas equações de lançamento horizontal que Cavalcante e Tavolaro (1977), utilizam em seu estudo como sendo:

$$R = \left(\frac{2}{g}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot h^{\frac{1}{2}} \cdot v_0 \quad (1)$$

Sendo:

R = Deslocamento horizontal [m];

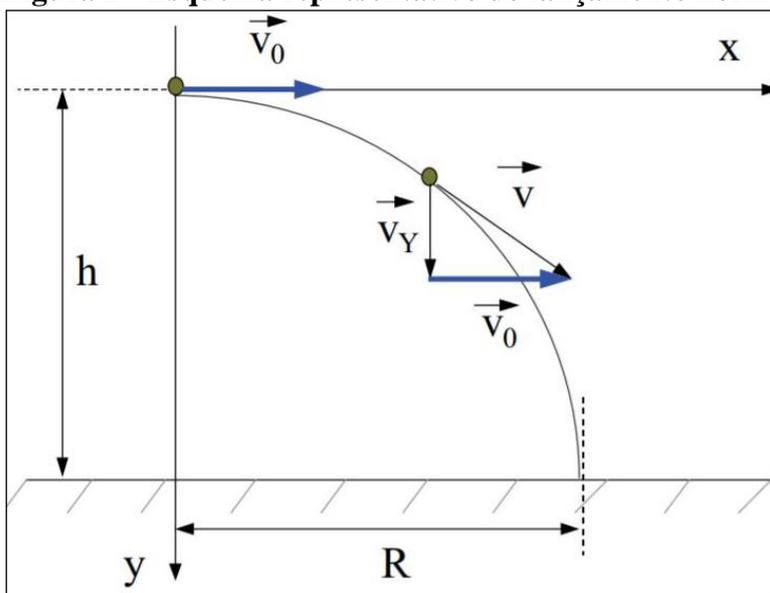
h = Deslocamento vertical [m];

g = Aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>];

v<sub>0</sub> = Velocidade inicial horizontal [m/s].

Para melhor explicar a situação podemos também expor a Figura 2, que demonstra o lançamento horizontal e as variáveis.

**Figura 2 - Esquema representativo do lançamento horizontal de um corpo**



Fonte: Cavalcante e Tavolaro (1977).

Quanto ao valor de energia do disparo, pode ser utilizado a equação de energia cinética, abordado por Vieira (2014) que é:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2)$$

Onde:

E<sub>c</sub> = Energia cinética [J];

m = massa [kg];

v = velocidade [m/s].

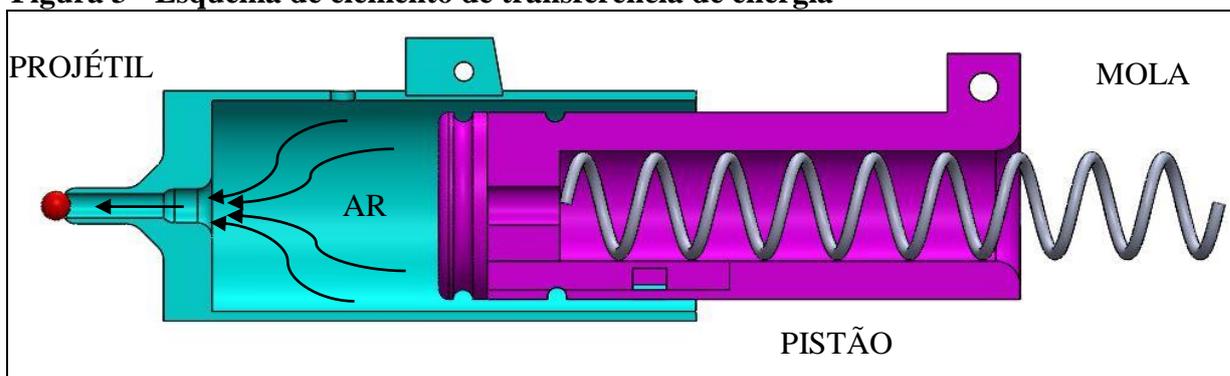
A partir dessas equações pode-se pressupor segundo a lei de conservação de energia que o valor de energia necessário para atingir tal velocidade de disparo é o mesmo que deve ser

utilizado como fonte de energia para o sistema, salvas algumas perdas de energias relacionadas a eficiência que poderão ser desprezadas.

### 2.2.3 Elementos de transferência de energia

Considerando que este mecanismo terá como fonte de energia uma mola, então precisaremos de um sistema capaz de converter essa energia potencial em energia cinética do projétil, o modelo mais adotado e inclusive citado por Brasil (2019), uma mola ligada a um conjunto pistão e câmara de ar, que quando acionado comprime um certo volume de ar e então empurra o projétil ao longo do cano, ganhando a velocidade necessária para o disparo, este sistema é apresentado na Figura 3.

**Figura 3 - Esquema de elemento de transferência de energia**



Fonte: Autor (2020).

### 2.2.4 Dimensionamento de mola

Em seu livro, Norton (2013), fala que toda peça construída de material com propriedades elásticas possui de certa forma uma mola dentro de si, isto é por que esses materiais apresentam capacidade de se deformar quando aplicado uma determinada força sobre eles, e retomam sua posição inicial quando a força é cessada, desse modo, uma mola pode ser definida como um corpo capaz de prover de um valor considerável de força, em um espaço significativo de deflexão, conseqüentemente armazenando energia potencial elástica.

Para molas de formato helicoidais de compressão com diâmetro, passo e constante elástica constantes, Norton (2013) defende que a equação que define a energia potencial elástica é a seguinte:

$$k = \frac{F}{y} \quad (3)$$

Onde:

$k$  = constante elástica da mola [N/m];

$F$  = Força ou Carga aplicada [N];

$y$  = Deflexão [m].

Existem comercialmente muitos modelos de molas padronizadas, para o projetista, muitas vezes é mais econômico e prático utilizar essas molas presentes em catálogos e apenas em casos mais necessários que será desenvolvida uma mola especial para determinado produto (NORTON, 2013). Também existem casos onde a mola do sistema tem que ser dimensionada a partir da energia que a mesma pode armazenar, a equação mencionada por Serway e Jewett (2019), estabelece uma relação entre energia potencial elástica da mola, constante elástica e deformação da mola, analisando a equação é possível notar que a energia é máxima para valores extremos de deslocamento, seja por tração ou compressão, e é zero quando o deslocamento da mola for nulo.

A equação descrita acima é a seguinte:

$$U_s = \frac{1}{2} kx^2 \quad (4)$$

Sendo:

$U_s$  = Energia potencial elástica da mola [J];

$k$  = Constante elástica da mola. [N/m];

$x$  = Deformação da mola [m].

## 2.3 MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM

Segundo Ahrens *et. al.* (2006), a prototipagem de um produto é parte fundamental do desenvolvimento, pois permite que antes da produção seja analisada a sua forma e funcionalidade.

### 2.3.1 Prototipagem virtual

O protótipo virtual é uma opção não tangível, de baixo custo e que não demanda tempo de confecção, além disso, permite uma grande gama de testes, simulações e análises, que visam eliminar vários inconvenientes de projeto antes mesmo de elaborar um protótipo físico. Nessa etapa, com custo praticamente zero, podem ser analisados itens como: análise de montagem (verificação de interferência), análise numérica por meio de CAE (Análise de tensão,

deformação, etc.), além de permitir uma pré-visualização do produto final, (AHRENS *et al.* 2006).

Neste cenário o SolidWorks® é uma ferramenta que torna possível a elaboração de esboços, visualização de peças e montagens, análise de interferência, simulação de tensões presentes nos sistemas, entre outras ferramentas que resultam em projetos confiáveis e precisos (DASSAULT SYSTÉMES, 2011).

## 2.4 VALIDAÇÃO DE PROTÓTIPO VIRTUAL

Terreo e Carvalho (2007), dizem que protótipos, virtuais ou físicos, são muitas vezes utilizados para melhorar o conhecimento da equipe ao longo do desenvolvimento do projeto, eliminando dúvidas como: Este sistema vai se comportar como previsto? Ou, é isso que o cliente pediu? De qualquer modo, acertos ou erros devem ficar visíveis nessa etapa, contribuindo como uma forma de aprendizagem prática para toda a equipe de projeto.

O *software* SolidWorks® possui um campo de aprendizagem, que segundo Dassault Systèmes (2011), pode ser encontrada na guia “biblioteca de projetos”, presente no “painel de ferramentas” do *software*, porém em versões mais recentes do programa, está localizado na aba “ajuda” na opção “INTRODUÇÃO ao SolidWorks (pdf)”. Esse guia demonstra o passo a passo para executar cada etapa de um projeto, bem como o funcionamento de todas as ferramentas do *software*.

Dassault Systèmes (2011), define interferência citando o exemplo de um eixo em um furo de uma peça, se o eixo tiver diâmetro maior que o furo, neste local existe uma interferência entre esses dois corpos, isso também pode ocorrer entre peças com geometria que podem se encostar, se uma superfície ultrapassar a outra em uma montagem então também há uma interferência neste local. A importância dessa análise de interferência se dá pelo fato de que interferências em um modelo 3D podem se sobrepor, fazendo com que a montagem fique aparentemente correta, mas no protótipo físico a saliência não vai permitir o encaixe correto.

No SolidWorks® existem duas ferramentas para isso, uma delas é a “Detecção de interferência” na aba “avaliar”, e outra é a “Detecção de colisão” que é ativada ao selecionar a opção “Parar na colisão”, (DASSAULT SYSTÉMES, 2017).

Outra análise disponível no SolidWorks® é a análise de movimentos, a partir de uma animação, com isso é possível analisar como os mecanismos se comportam, isso melhora muito a visualização do funcionamento do sistema, principalmente para casos de apresentar o produto

a um cliente. Para desenvolver essas análises existem as ferramentas PhotoView 360®, SolidWorks MotionManager® e podem ser exibidos com o eDrawings®, nesta etapa também é possível adicionar cenas, aparência das peças e gráficos RealView®, o que tornam a animação mais fotográfica, (DASSAULT SYSTÉMES, 2017).

Além disso, as animações podem ser de vistas explodidas, translação entre as diversas vistas do modelo, ou sobre a dinâmica de funcionamento de um mecanismo, exibindo como as partes moveis de fato vão se comportar, seja por rotação, deslocamento linear ou ambos, como no caso de um sistema engrenagem cremalheira, (DASSAULT SYSTÉMES, 2011).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro passo do estudo foi a elaboração da matriz morfológica, conforme citada por Neves (2011), essa ferramenta foi responsável por expor as mais variadas opções para todos os sistemas, para então tomar algumas decisões sobre quais conjuntos de opções trariam a melhor aprovação do cliente, a matriz morfológica contou com esboços e ilustrações das principais funções que o mecanismo deve apresentar conforme o Quadro 1, isso serviu para deixar mais claras as ideias do projeto.

**Quadro 1: Funções da matriz morfológica**

FUNÇÕES PARCIAIS	FUNÇÕES ELEMENTARES	DESCRIÇÃO
Modelo de mola	Matriz de energia do sistema	Acumular energia e empurrar o êmbolo
Quantidade de molas	Matriz de energia do sistema	Acumular energia e empurrar o êmbolo
Distância do disparo no modo mais fraco	Garantir segurança	Não gerar muita força no modo fraco
Distância do disparo no modo mais forte	Alcançar distância maior	Alcançar distância maior
Massa do projétil	influência nos cálculos de distância	Precisão nos cálculos
Materiais empregados	Durabilidade ao desgaste	Durabilidade
Disposição das partes principais do projeto	Organizar o projeto	Sistema robusto e fácil acesso para manutenção
Deslocamento vertical máximo do projétil ao fim do trajeto	Caimento máximo da bb	Acertar no alvo
Comprimento máximo do mecanismo	Pré alocar espaço para o mecanismo	Facilitar o projeto

Fonte: Autor (2020).

Com a matriz organizada, foram escolhidas as melhores opções e dado continuidade ao projeto. Como não se tem um valor de energia, ou forças de disparo preestabelecidas, o processo de obtenção dessas variáveis será a partir da distância que o projétil deve percorrer, uma vez que essas distâncias serão escolhidas na matriz morfológica, podemos aplicar a equação de lançamento horizontal citada por Cavalcante e Tavolaro (1977), e encontrar a velocidade em que a esfera/projétil tem que deixar o cano da arma.

A equação de lançamento horizontal menciona uma altura além da velocidade e distância, essa altura nesse caso foi o quanto o projétil pode se deslocar verticalmente até chegar à distância desejada, ou seja, na distância efetiva do tiro, o atirador deve mirar essa distância acima para que acerte o alvo.

Deste modo partindo da Equação 1, foi possível obter a velocidade em que o projétil deve sair do cano para atingir o alvo, depois disso bastou aplicar a equação da energia cinética, considerando que a massa do projétil foi definida pela matriz morfológica, o resultado foi a energia que a mola deve entregar para que o projétil chegue à distância escolhida.

O próximo passo foi aplicar os valores na equação mencionada por Serway e Jewett (2019), que relaciona a energia potencial elástica da mola com a constante elástica e a deformação da mesma, resultando em diversas combinações de constante elástica e deformações.

Nessa etapa vamos considerar as distâncias máximas e mínimas da matriz morfológica como sendo limites de tolerância, não necessariamente deverão ser seguidas com exatidão, os cálculos servirão para a escolha da mola comercial que melhor se adequa a situação, e partindo dessa mola será calculada quanto ela deve ser comprimida para gerar a energia necessária para cada modo de disparo.

Posteriormente foi elaborado um esboço rápido do mecanismo, que favoreceu a modelagem da estrutura, afinal isso deu uma noção do espaço necessário para alocar os outros componentes, como, cilindro, pistão, um guia para evitar a flambagem da mola, entre outros.

A etapa de modelamento e simulações foi efetuada através do *software* SolidWorks Student Edition® versão 2014, sobre licença da UCEFF Faculdades®. O modelamento se iniciou com a estrutura capaz de abrigar o mecanismo, essa é uma etapa considerável, pois a rigidez da estrutura é importante para o correto funcionamento de um mecanismo com tantas peças móveis, trilhos e vedações, uma vez que uma estrutura flexível pode gerar deformações que farão com que as peças se desencaixem, ou se choquem de maneira inesperada.

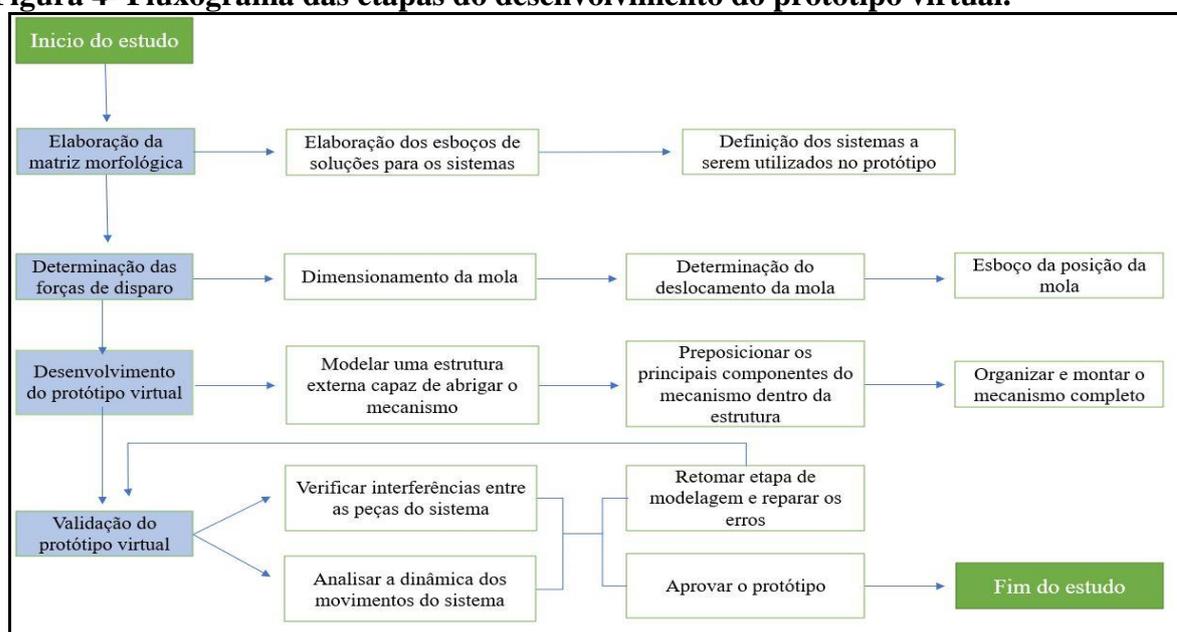
A montagem do protótipo foi o próximo passo, nessa etapa será posicionada peça por peça no mecanismo, tomando cuidado sobre a sequência de montagem, a lógica de montagem, ou seja, se fisicamente será possível montar aquele componente, bem como as folgas e as interferências do sistema.

Por fim, para aumentar a credibilidade e a qualidade do sistema, foram executadas algumas análises que irão apontar quais devem ser as mudanças necessárias antes do protótipo partir para a fabricação, a ferramenta de detecção de interferências no SolidWorks® foi utilizada neste processo.

Para fazer uma animação do movimento do sistema foi selecionado a aba “Estudo de movimento” no menu inferior, definidos os motores que irão gerar a rotação, as molas, os contatos entre as faces, algumas propriedades físicas entre as áreas de atrito do sistema e por fim clicando nas funções “calcular” e “reproduzir” para então avaliar o resultado.

De modo a deixar mais claro o passo a passo desse estudo, foi criado um fluxograma com todas as etapas da elaboração do protótipo (Figura 4).

**Figura 4- Fluxograma das etapas do desenvolvimento do protótipo virtual.**



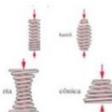
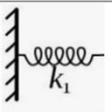
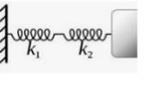
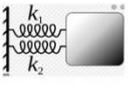
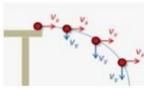
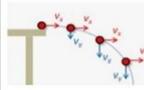
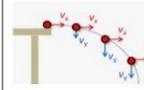
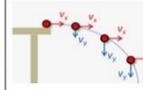
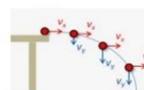
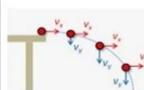
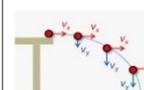
Fonte: Autor (2020).

## 4 RESULTADO E DISCUSSÕES

A matriz morfológica simplificou a solução de alguns problemas, bem como centralizou o momento de tomada de decisões no início do projeto, os resultados serão apresentados no Quadro 2, através da coluna destacada em verde, nela consta a letra de cada opção, variando de

“A” a “C” da primeira a última opção. Por exemplo, a melhor opção de mola a se utilizar é a espiral linear de compressão, seguida pela espiral não linear de compressão, seguida da espiral de tração, e por fim a mola de torção.

**Quadro 2: Matriz morfológica (continua)**

ITEM	FUNÇÕES ELEMENTARES	DESCRIÇÃO	SOLUÇÃO				CLASSIFICAÇÃO			
			Espiral linear de compressão	Espiral não linear de compressão	Espiral de tração	Torção	I	II	III	IV
Modelo de mola	Matriz de energia do sistema	Acumular energia e empurrar o êmbolo					A	B	C	D
Quantidade de molas	Matriz de energia do sistema	Acumular energia e empurrar o êmbolo	1	2 em serie	2 em paralelo					
							A	B	C	
Distância do disparo no modo mais fraco	Garantir segurança	Não gerar muita força no modo fraco	15 m	20 m	25 m	30 m				
							A	B	C	D
Distância do disparo no modo mais forte	Alcançar distância maior	Alcançar distância maior	50 m	60 m	70 m	80 m				
							A	B	C	D
Massa do projétil	influencia nos cálculos de distância	Precisão nos cálculos	0,12g	0,20g	0,25g	0,30g				
							A	B	C	D
Materiais empregados	Durabilidade ao desgaste	Durabilidade	PLA	ABS	Antimônio	Aluminio				
							A	B	C	D
Disposição das partes principais do projeto	Organizar o projeto	Sistema robusto e facil acesso para manutenção	Motor no cabo	Motor paralelo ao cilindro	motor vertical					
							A	B		
Deslocamento vertical máximo do projétil ao fim do trajeto	Caimento máximo da bb	Acertar no alvo	5 cm	7,5 cm	10 cm	15 cm				
							C	B	A	D

**Quadro 3: Matriz morfológica (continuação)**

ITEM	FUNÇÕES ELEMENTARES	DESCRIÇÃO	SOLUÇÃO				CLASSIFICAÇÃO			
			150mm	200mm	250mm	300mm				
Comprimento máximo do mecanismo	Pré alocar espaço para o mecanismo	Facilitar o projeto								
							C	D	B	A

Fonte: Autor (2020).

Na questão de dimensionamento do mecanismo, pôde-se obter todos os valores procurados, partindo da equação citada por Cavalcante e Tavolaro (1977), (Equação 1), obtendo as velocidades de lançamento necessárias para atingir os alvos nas distâncias estabelecidas na matriz morfológica, depois foi calculada a energia cinética do projétil no momento do lançamento, e por fim, tendo um parâmetro de uma mola comercial, foi obtido o valor de deslocamento necessário para compressão da mola para se obter energia suficiente para o disparo.

A mola comercial escolhida possui módulo de elasticidade de 800N/m, e os valores obtidos nos cálculos estão descritos na Tabela 1.

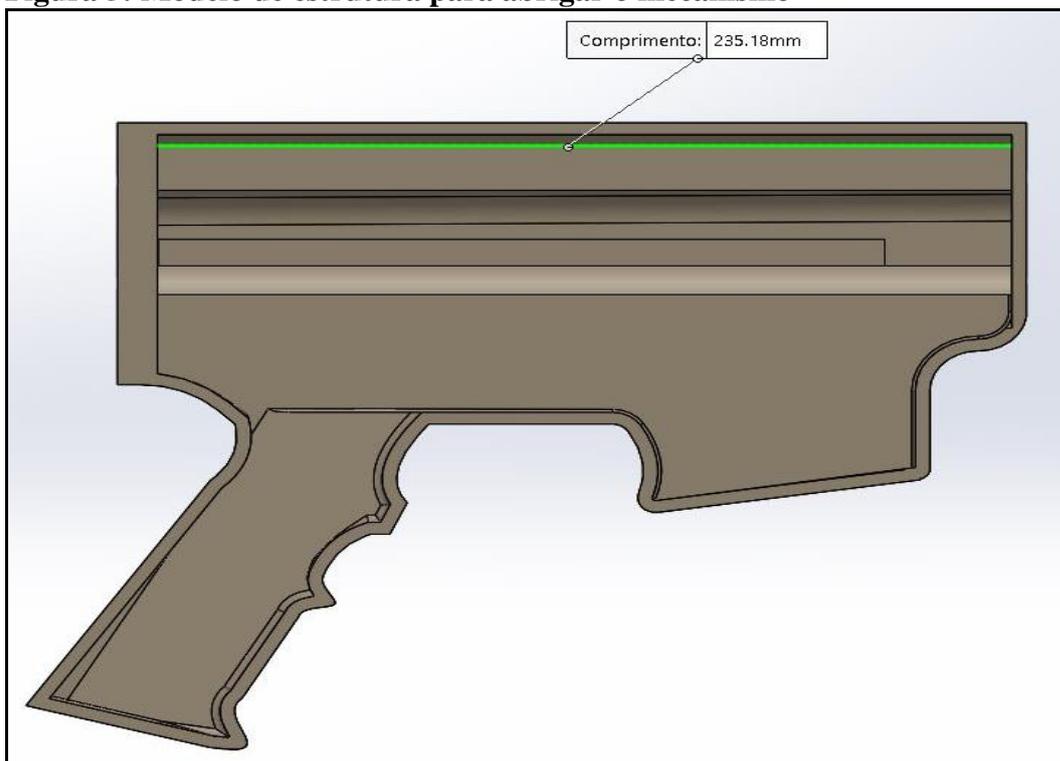
**Tabela 1: Resultados dos cálculos de dimensionamento do mecanismo.**

Modo de disparo	Velocidade de lançamento	Energia cinética do projétil	Deslocamento da mola necessário
Fraco	105 m/s	0,66 J	0,04 m
Forte	247 m/s	3,7 J	0,096 m

Fonte: Autor (2020).

Com esses dados em mãos foi possível partir para a etapa de modelagem, iniciando com alguns esboços manuais, e posteriormente iniciando o modelo 3D na plataforma SolidWorks®, A primeira etapa foi modelar uma estrutura, com espaço interno capaz de abrigar todo o mecanismo, resistência mecânica e rigidez para suportar os esforços aplicados na utilização do mecanismo, e construir algo com um acesso facilitado para manutenção, um esboço dessa estrutura pode ser visto na Figura 5.

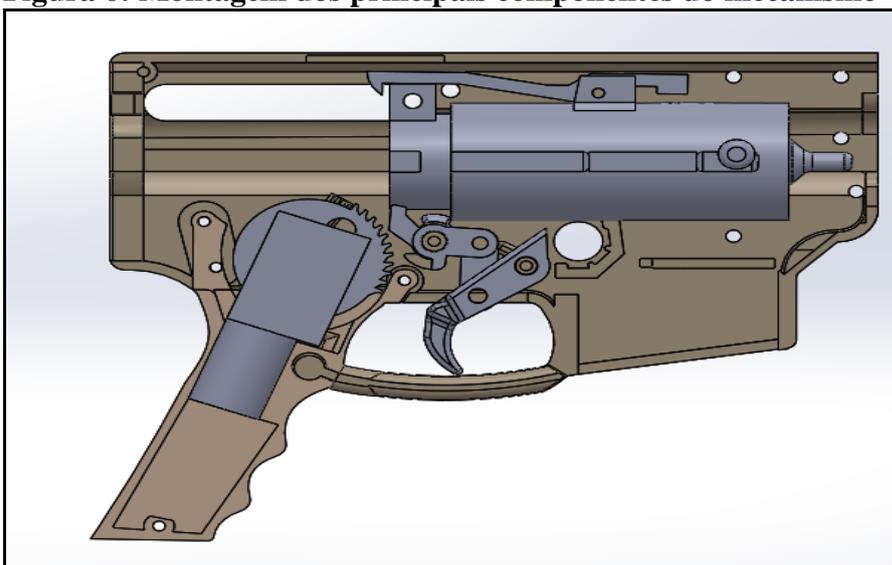
**Figura 5: Modelo de estrutura para abrigar o mecanismo**



Fonte: Autor (2020).

Numa segunda etapa de modelagem foram predispostos os principais componentes do mecanismo, assegurando a operação do sistema.

**Figura 6: Montagem dos principais componentes do mecanismo**

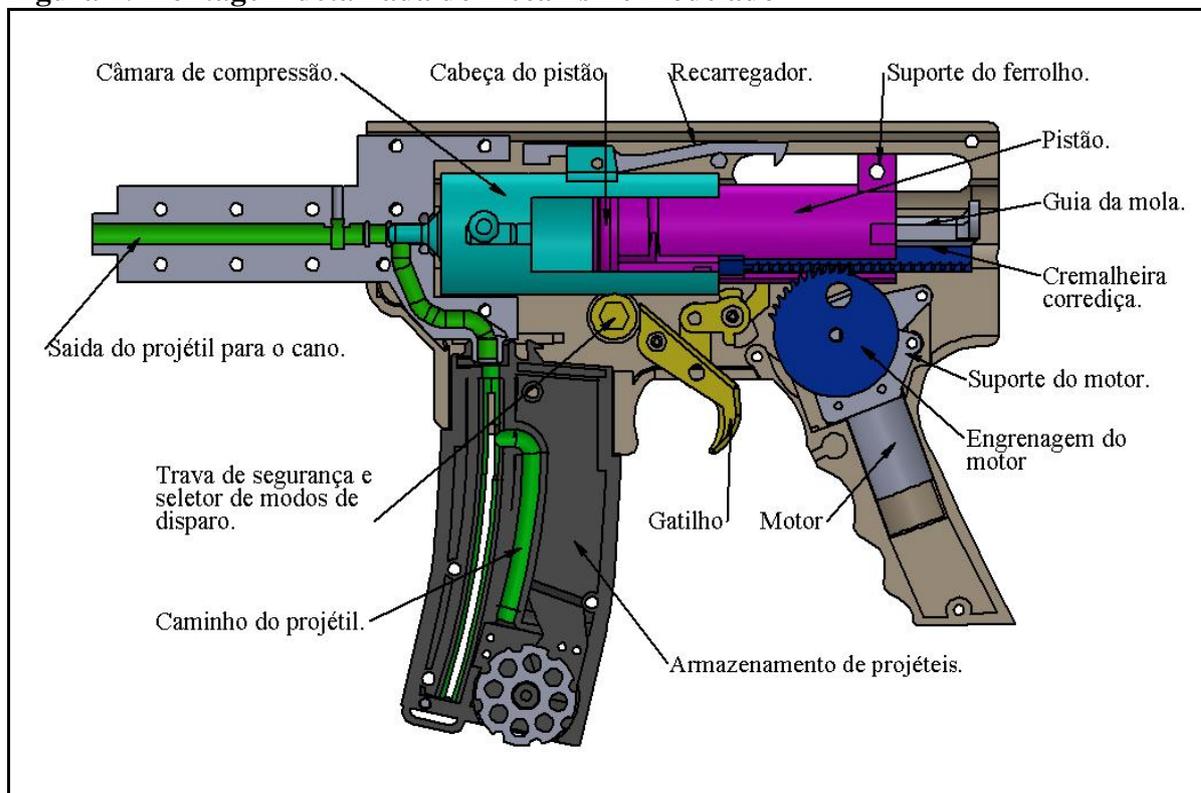


Fonte: Autor (2020).

Por fim, utilizando várias ferramentas do *software* como “Ressalto/Base extrudado”, “Corte extrudado”, “Assistente de perfuração”, Ferramentas de montagem e posicionamento,

se obteve o modelo tridimensional que pôde ser analisado. Os componentes do sistema foram coloridos para melhor visualização e apresentados na Figura 7.

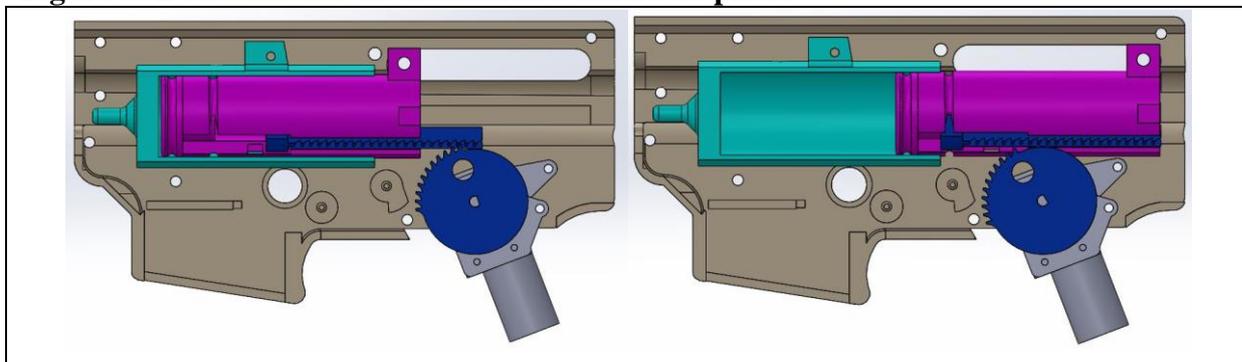
**Figura 7: montagem detalhada do mecanismo modelado**



Fonte: Autor (2020).

O diferencial desse mecanismo está na cremalheira corrediça, que quando for acionado o estagio mais forte de tiro através do ferrolho, se retrai para dentro do pistão permitindo que o sistema caiba dentro de um espaço reduzido, como na Figura 8.

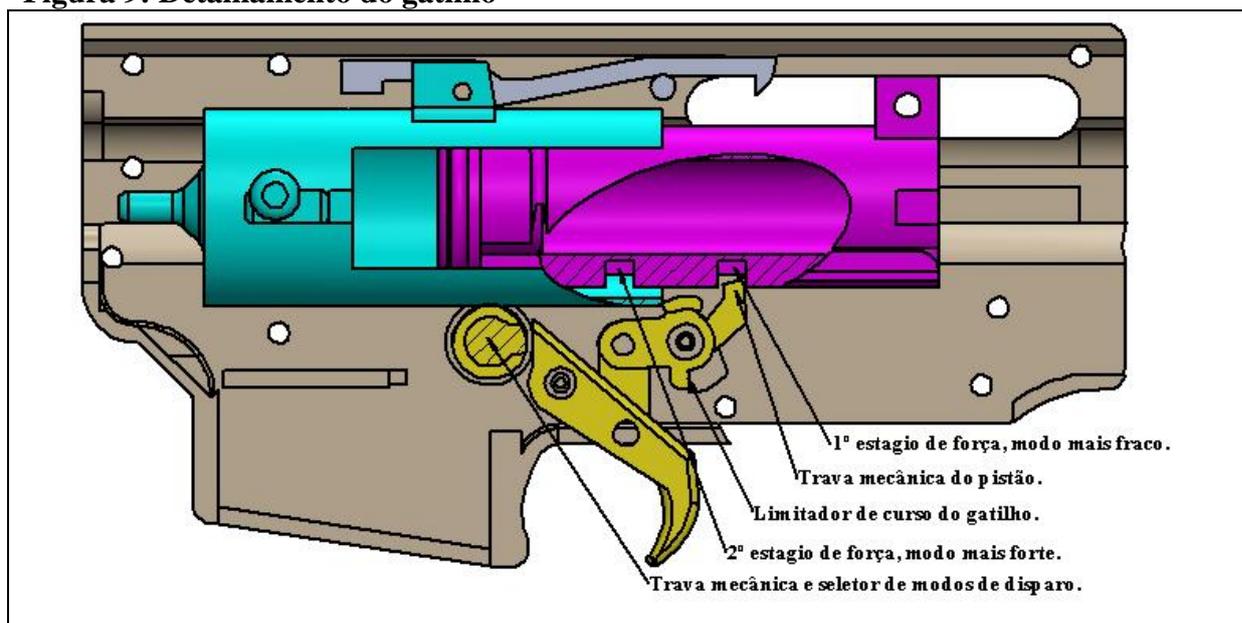
**Figura 8: Deslocamento da cremalheira dentro do pistão**



Fonte: Autor (2020).

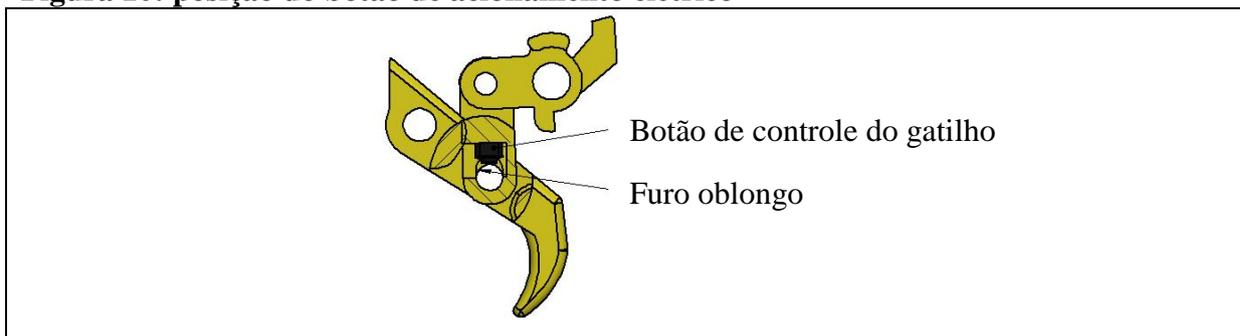
Outro ponto positivo do mecanismo no quesito segurança de disparo acidental, é a redundância do sistema de gatilho, que além do sistema elétrico, que só municiona e engatilha o mecanismo quando o gatilho é pressionado, também há um gatilho mecânico que mantém o pistão travado nas duas posições de engatilhamento, e além disso ainda há uma trava mecânica desse gatilho anexada ao interruptor do sistema elétrico.

**Figura 9: Detalhamento do gatilho**



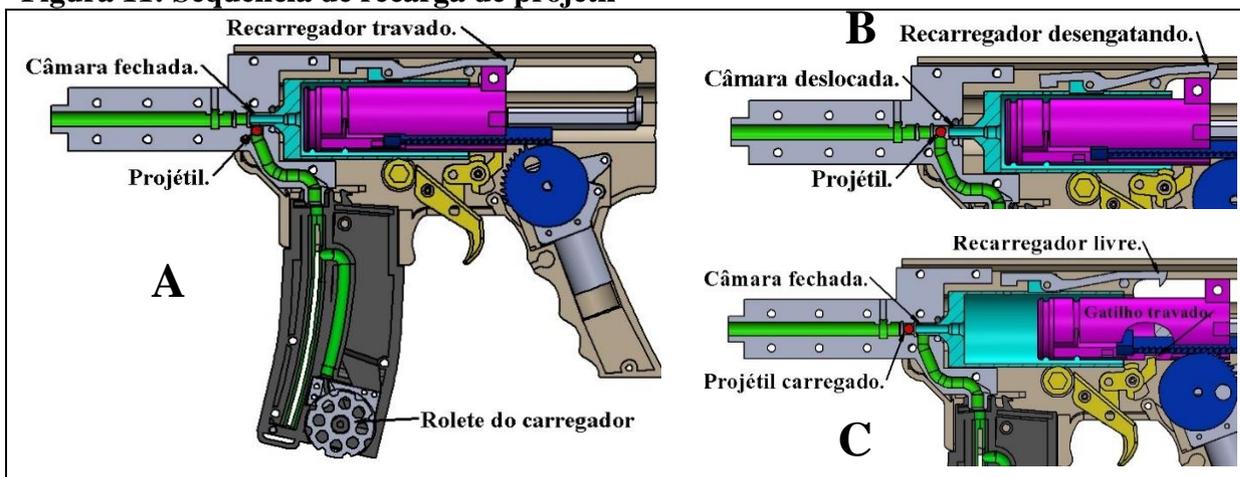
Fonte: Autor (2020).

Além disso, por uma questão de conforto e segurança, o botão que aciona o motor responsável pelo engatilhamento fica localizado dentro da alavanca que liga o gatilho a trava do pistão, e um pino é usado para fazer a ligação entre essas duas peças. Um furo oblongo nessa peça garante uma folga para que quando pressionado o gatilho, primeiro acione o sistema elétrico, fazendo com que o mecanismo se engatilhe, e apertando com mais força o gatilho libera o pistão para disparar o projétil.

**Figura 10: posição do botão de acionamento elétrico**

Fonte: Autor (2020).

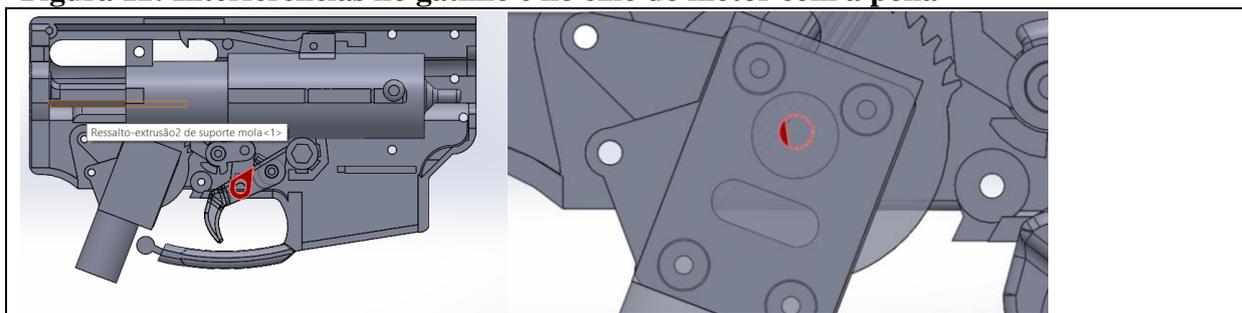
O municionamento fica por conta do mecanismo de recarga que trabalha em conjunto com o pente, as faces em verde das Figuras 7 e 11 indicam o caminho que o projétil esférico percorre, ao girar o rolete do carregador (Figura 11), as esferas são empurradas para o trilho principal, onde uma mola empurra os projéteis pra cima até a ponta da câmara de compressão que funciona como uma espécie de válvula, (Figura 11-A) onde a cada disparo, seja pela ação do motor ou do ferrolho, a câmara de compressão é ligeiramente deslocada para trás, permitindo que uma nova esfera se aloje dentro do cano, esse movimento é dado por um braço de alavanca que se conecta com o pistão, (Figura 11-B), e por fim a câmara de compressão retorna a posição inicial empurrando o projétil para a posição de disparo, (Figura 11-C).

**Figura 11: Sequência de recarga de projétil**

Fonte: Autor (2020).

Foi então aplicada a ferramenta de detecção de interferências do SolidWorks® e com ela pôde-se encontrar algumas falhas geométricas no projeto que puderam ser reparadas antes de dar continuidade aos estudos, como no caso da Figura 12, que duas peças estão se sobrepondo.

**Figura 12: Interferências no gatilho e no eixo do motor com a polia**

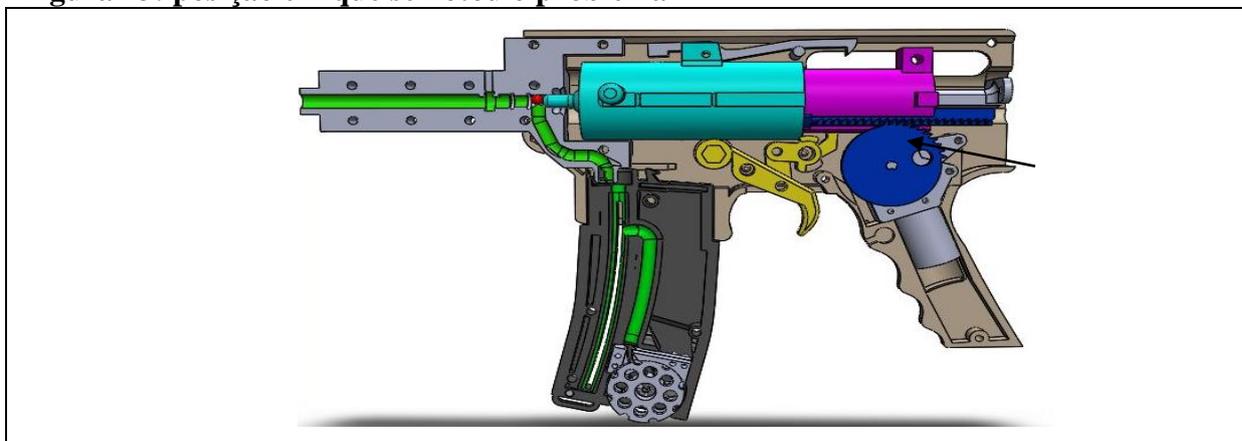


Fonte: Autor (2020).

Em sequência foi feita a análise de movimento do modelo, executada através do SolidWorks Motion®, essa simulação se mostrou de grande importância, pois considera propriedades físicas dos componentes analisando cada interação entre as peças quadro a quadro da animação, ou seja, são testadas folgas entre componentes, funcionamento das molas, deslocamento das peças, entre outros.

Nessa análise em específico foi notado um erro com o formato e a distância dos dentes da engrenagem do motor e a cremalheira, o formato inicial foi pensado para que não houvesse força deslocando a cremalheira para cima, e a distância foi estipulada visando uma folga para compensar as tolerâncias dimensionais de fabricação das peças. A simulação demonstrou um bom comportamento nos primeiros momentos, porém aproximando-se do fim de curso, com mais força na mola e a carga sendo aplicada em poucos dentes (Figura13), essa folga faz o conjunto engrenagem e cremalheira pular alguns dentes, em um cenário real isso representaria a quebra prematura desses últimos dentes, fazendo com que não engatilhasse de maneira correta.

**Figura 13: posição em que se notou o problema**



Fonte: Autor (2020).

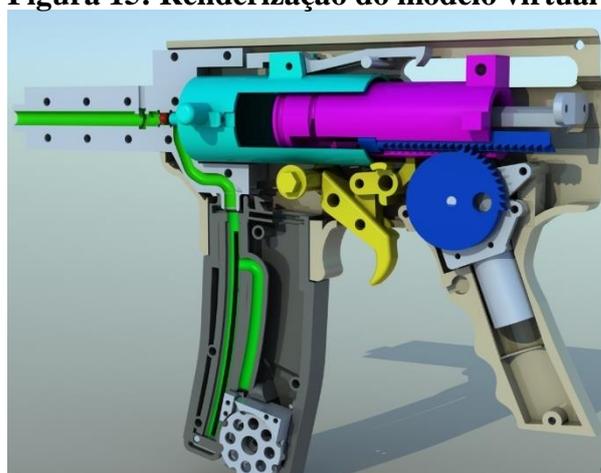
Por fim foram executadas algumas renderizações através da ferramenta PhotoView 360®, com algumas configurações de cenas, adicionando luz ambiente e adicionando uma câmera foi possível obter imagens fotográficas como as Figuras 14, 15 e 16, que tornam a apresentação de um projeto muito mais próximo do que será construído.

**Figura 14: Renderização do modelo virtual**



Fonte: Autor (2020).

**Figura 15: Renderização do modelo virtual**



Fonte: Autor (2020).

**Figura 16: Renderização do modelo virtual**



Fonte: Autor (2020).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, esse estudo se mostrou importante para a elaboração do protótipo virtual, pois através da aplicação dessas ferramentas a qualidade do produto final, e a aceitação do cliente a qual é apresentado passa a ser bastante superior, além de encontrar e corrigir falhas construtivas que acabaram passando despercebido em um primeiro momento, assegurando maior segurança e confiabilidade ao mecanismo.

Outra questão a ser salientada é a variedade de ferramentas que existem a disposição dos profissionais de hoje em dia, nesse caso o pacote SolidWorks® se mostrou altamente eficaz, e navegando pelos guias de uso e tutoriais presentes na plataforma, é possível aprender a modelar e simular os mais diversos tipos de sistemas.

Para um futuro estudo, pode ser citado a correção da geometria dos dentes do sistema de engrenagem do motor, junto com o estudo de viabilidade econômica e meios de produção, a construção de um protótipo físico, e a medição dos parâmetros calculados para ver se o projeto converge com um protótipo físico.

## REFERÊNCIAS

AHRENS, Carlos H.; FERREIRA, Cristiano V.; PETRUSCH, Günther; CARVALHO, Jonas; SANTOS, Jorge R. L.; SILVA, Jorge V. L.; VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida tecnologias e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Blusher, 2007.

BRASIL. **Decreto N° 10.030, de 30 de setembro de 2019**. Aprova o Regulamento de Produtos Controlados. Brasília, 2019.

BRASIL. **Portaria nº 02 COLOG, de 26 de fevereiro de 2010**. Regulamenta o art. 26 da lei nº 10.826/03 e o art.50, IV do Decreto nº 5.123/04 sobre réplicas e simulacros de armas de fogo e armas de pressão, e dá outras providencias. Brasília, 2010.

CAETANO, Paulo. Como funciona uma arma de airsoft? **QG airsoft**, 31 maio 2016. Disponível em: <<https://blog.qgairsoft.com.br/como-funcionam-as-armas-no-airsoft/>>. Acesso: 16 maio 2020.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane Rodrigues Caetano. Estudo do lançamento horizontal utilizando o computador para aquisição e análise de dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 276-287, 1997.

DASSAULT SYSTÈMES. **INTRODUÇÃO AO SOLIDWORKS**. Waltham Mass: Altium Limited, 2017.

DASSAULT SYSTÈMES. **Manual do Instrutor de Ensino do Software SolidWorks®**. Concord, Massachusetts: Baker Avenue, 2011.

FERREIRA, Heloisa Sousa Ribeiro; TOLEDO, José C. **Metodologias e ferramentas de suporte à gestão do processo de desenvolvimento de produto (PDP) na indústria de autopeças**. XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, p. 1-8, 2001.

FIGUEIREDO, Anelice M. B. *et al.* **Pesquisa Científica e TRABALHOS ACADÊNICOS**. 2. Ed. Chapecó: Uceff, 2014.

GUEDES, Bruno Turmina. **Prototipagem virtual: simulação dinâmica de conjunto para mobilidade de cadeirantes**. Pato Branco, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5742/1/PB\\_DAMEC\\_2015\\_2\\_11.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5742/1/PB_DAMEC_2015_2_11.pdf)>. Acesso: 18 mar.2020.

MARCONDES, Kaio Mastelo. **Sistema automatizado para detecção de alvos e disparo de projéteis de airsoft**. Brasília, jul. 2018. Disponível em: <[http://bdm.unb.br/bitstream/10483/21324/1/2018\\_KaioMasteloMarcondes\\_tcc.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/21324/1/2018_KaioMasteloMarcondes_tcc.pdf)>. Acesso: 18 mar. 2020.

MARSHALL, John W.; DAHLSTROM, Dean B.; POWLEY, Kramer D. **Velocidade mínima necessária para projéteis não convencionais penetrarem no olho: um estudo experimental usando olhos de porco**. Forensic medicine and pathology, 2020. Disponível em: <[https://journals.lww.com/amjforensicmedicine/Abstract/2011/06000/Minimum\\_Velocity\\_Necessary\\_for\\_Nonconventional.2.aspx](https://journals.lww.com/amjforensicmedicine/Abstract/2011/06000/Minimum_Velocity_Necessary_for_Nonconventional.2.aspx)>. Acesso em: 31 mar. 2020.

MULTIPLIX. **Airsoft: esporte tem legislação específica e lema anti-violência**. Nova Friburgo, 2019.

NEVES, Ederson B. *et al.* **Abordagem Metodológica do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) para o Projeto de um Dispositivo Filetador para Garrafas PET**. Porto Alegre: CBGDP, 2011. Disponível em: <<http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/5141/9138.pdf?sequence=1>>. Acesso: 02 abr. 2020.

NORTON L. Robert; **Projeto de máquinas uma abordagem integrada**. 4. Ed. Bookman, Porto alegre: 2013.

ROMANO, Leonardo N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.  
SERWAY, Raymond A; JEWETT, John W. Jr. **Physics for Scientists and Engineers With modern physics**. 10 ed. Boston, MA: Cengage, 2019.

TERREO. Maurício, CARVALHO. Marly Monteiro. **O uso de protótipos virtuais na validação de projetos mecânicos complexos: um estudo de caso no setor automobilístico**. 2007. Disponível em: <<http://www.mecanica-poliusp.org.br/05pesq/cont/pdf/806.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2020.

VIEIRA, Claytor da Silva. **Uma investigação sobre a elaboração e a utilização de um material instrucional baseado na teoria da aprendizagem significativa para o estudo de um tópico de mecânica no contexto rural**. 2014. Disponível em: <

[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_8101\\_Disserta%E7%E3o%20Final.%20Claytor%20Vieira%20%281%29.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_8101_Disserta%E7%E3o%20Final.%20Claytor%20Vieira%20%281%29.pdf) >. Acesso em: 09 jun. 2020.

ZAVADIL, Priscila; SCHERER, Fabiano V.; TEXEIRA, Fabio G. SILVA, Régio P.; KOLTERMANN, Tânia; CATTANI, Airton. **Possibilidade de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em dsign**. Gramado: Blusher, 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/11ped/00925.pdf>>. Acesso: 02 abr. 2020.