

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE  
ARMAMENTO**

**PEDRO HENRIQUE PEREIRA DE PAULA MARQUES  
SAMUEL MORAIS BARROS**

**INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE TRAVAMENTO AUTOMÁTICO DO TUBO  
DAS VIATURAS M109**

**RIO DE JANEIRO  
2023**

PEDRO HENRIQUE PEREIRA DE PAULA MARQUES  
SAMUEL MORAIS BARROS

INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE TRAVAMENTO AUTOMÁTICO DO TUBO  
DAS VIATURAS M109

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientadores: Marcos José Ferreira Carvalho, D.Sc.  
Édio Pereira Lima, D.Sc.

Rio de Janeiro  
2023

©2023

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

Marques, Pedro Henrique Pereira de Paula; Barros, Samuel Morais.

Instalação de Sistema de Travamento automático do Tubo das viaturas M109 / Pedro Henrique Pereira de Paula Marques e Samuel Morais Barros. – Rio de Janeiro, 2023.

32 f.

Orientadores: Marcos José Ferreira Carvalho e Édio Pereira Lima.

Projeto de Fim de Curso (graduação) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Mecânica e de Armamento, 2023.

1. Obuseiro. 2. Autopropulsado. 3. Automatização. 4. Armamento. 5. M109.  
i. Ferreira Carvalho, Marcos José (orient.) ii. Pereira Lima, Édio (orient.) iii. D. Sc. do IME

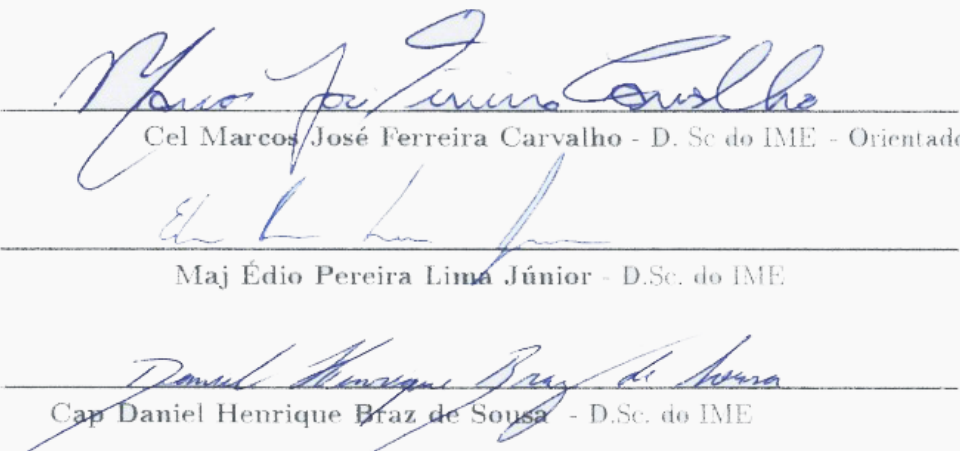
**PEDRO HENRIQUE PEREIRA DE PAULA MARQUES  
SAMUEL MORAIS BARROS**

**Instalação de Sistema de Travamento automático do Tubo  
das viaturas M109**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica e de Armamento do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e de Armamento.

Orientadores: Marcos José Ferreira Carvalho e Édio Pereira Lima.

Aprovada em Rio de Janeiro, 18 de outubro de 2023, pela seguinte banca examinadora:



Cel Marcos José Ferreira Carvalho - D. Sc do IME - Orientador

Maj Édio Pereira Lima Júnior - D.Sc. do IME

Cap Daniel Henrique Braz de Sousa - D.Sc. do IME

Rio de Janeiro  
2023

## RESUMO

Esse projeto tem como objetivo propor uma substituição viável ao já presente sistema de travamento automático do tubo do obuseiro autopropulsado M109A5+ por meio da análise de emprego da viatura e dos requisitos de seus operadores, além de propor uma alternativa menos custosa como reposição. Para este fim, será feito o estudo sobre os principais tipos de atuadores mecanizados, bem como um modelo tridimensional feito via software, para que se possa apresentar o projeto aos quartéis de destino.

**Palavras-chave:** Obuseiro. Autopropulsado. Automatização. Armamento. M109.

## ABSTRACT

This project aims to propose a viable replacement for the current automatic tube locking system of the self-propelled howitzer M109A5+ through the analysis of vehicle utilization and the claims of its operators, as well as to propose a less costly alternative as a replacement. To this end, a study will be conducted on the main types of mechanized actuators, as well as a three-dimensional model created using software, so that the project can be presented to the target barracks.

**Keywords:** Howitzer. Autopropulsated. Automatization. Ammunition. M109.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Obuseiro Autopropulsado da versão M109A7, também conhecido como Paladin, (ARMY/TECHNOLOGY, 2022). . . . .	10
Figura 2 – Obuseiro Autopropulsado da versão M109A5+. . . . .	11
Figura 3 – Sistema de travamento automático do tubo de uma viatura M109A5+. . . . .	12
Figura 4 – Simplificação gráfica do sistema de travamento manual do tubo. (BRASILEIRO, 2019) . . . . .	14
Figura 5 – Simplificação gráfica do sistema de travamento já utilizado. (BRASILEIRO, 2019) . . . . .	15
Figura 6 – Sistema de travamento disponível na Academia Militar das Agulhas Negras. . . . .	16
Figura 7 – Modelo feito em CAD da garra. . . . .	17
Figura 8 – Possível sistema de fixação para a polia. . . . .	18
Figura 9 – Polia fixada na base da garra. . . . .	18
Figura 10 – Rasgo no braço da garra. . . . .	19
Figura 11 – Vista lateral com um esboço do cabo de aço instalado. . . . .	19
Figura 12 – Vista lateral da garra com duas polias instaladas. . . . .	20
Figura 13 – Simulação do mecanismo proposto. . . . .	22
Figura 14 – Polias instaladas na base da garra para transmissão de tração. . . . .	22
Figura 15 – Exemplo de guincho. (AGROTAMA, 2023) . . . . .	23
Figura 16 – Características esperadas do guincho. (AGROTAMA, 2023) . . . . .	23
Figura 17 – Dados de tipos de cabos de aço (NISBETT, 2016) . . . . .	25
Figura 18 – Tabela de cabos de aço comerciais. (NEADE, 2020) . . . . .	26
Figura 19 – Vista lateral da polia superior com as forças de tração representadas por setas. . . . .	26
Figura 20 – Simulação do mecanismo proposto para o fechamento e abertura da garra. . . . .	27
Figura 21 – Exemplo de mola acoplada ao mecanismo da garra. . . . .	28
Figura 22 – Mecanismo completo acoplado ao braço da garra. . . . .	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Computer Aided Design
AMAN	Academia Militar das Agulhas Negras



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	CONTEXTO HISTÓRICO	9
1.2	CONTEXTO NO BRASIL	10
1.3	MOTIVAÇÃO	11
1.4	OBJETIVO	12
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>14</b>
2.1	SISTEMA MANUAL	14
2.2	SISTEMA ATUAL	14
2.3	MODELO GERADO POR CAD	15
2.3.1	MECANISMO E INSTALAÇÃO	17
2.3.2	VIABILIDADE DO MECANISMO DE IÇAMENTO	19
2.4	ATUADORES	21
2.4.1	ATUADOR ELÉTRICO	21
2.4.2	ESTUDO DA RESISTÊNCIA DOS COMPONENTES MECÂNICOS	23
2.4.2.1	CABO DE AÇO	23
2.4.2.2	TRAÇÃO DO MOTOR	25
2.4.2.3	POLIAS E ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	26
2.4.3	AUTOMATIZAÇÃO DA GARRA	27
2.4.3.1	VIABILIDADE DO MECANISMO DA GARRA	29
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto histórico

O obuseiro M109 é uma peça de artilharia autopropulsada desenvolvida nos Estados Unidos na década de 1950. O projeto do M109 foi baseado em uma plataforma de veículo blindado com o intuito de ser um obuseiro eficaz e que simultaneamente possuísse grande mobilidade, isto é, um obuseiro autopropulsado capaz de se locomover rapidamente no terreno e, da mesma maneira, assumir posição de tiro e retirar-se desta.

Seu armamento possui um calibre de 155 mm e pode disparar projéteis a uma distância máxima de cerca de 24 km, dependendo de sua versão. A sua cadência de tiro é de cerca de 2 a 3 disparos por minuto, dependendo das condições de uso. A sua tripulação é composta por seis membros, incluindo um comandante, um motorista, um artilheiro, um apontador, um municionador e um auxiliar de municionador.

O blindado foi utilizado extensivamente pelas Forças Armadas dos Estados Unidos durante a Guerra do Vietnã, onde demonstrou a sua eficácia em uma ampla gama de cenários de combate. Desde então, o M109 tem sido empregado em inúmeros conflitos ao redor do mundo, incluindo a Guerra do Golfo, a Guerra do Afeganistão e a Guerra do Iraque. Atualmente, mais de 30 países utilizam o obuseiro e suas atualizações, adquiridos através de um programa de vendas para forças militares amigas, no qual os Estados Unidos consolida acordos de venda de equipamentos militares para nações amigas de maneira ágil.

Ao longo dos anos, o M109 passou por diversas atualizações e melhorias, como as versões M109A1 até M109A7, Figura 1, incluindo a adição de sistemas de navegação e de mira mais avançados, bem como melhorias na sua proteção contra projéteis inimigos. Em 2020, foi anunciado que o Exército dos Estados Unidos iria substituir o M109 por um novo obuseiro autopropulsado, o M1299, que também terá um calibre de 155 mm e contará com uma série de novas tecnologias, incluindo um novo sistema de propulsão e uma torre totalmente automatizada.



Figura 1 – Obuseiro Autopropulsado da versão M109A7, também conhecido como Paladin, (ARMY/TECHNOLOGY, 2022).

## 1.2 Contexto no Brasil

O processo de aquisição do obuseiro M109 no Brasil começou na década de 1970, quando o país decidiu modernizar sua artilharia terrestre e substituir equipamentos mais antigos, como o obuseiro Schneider M1950, adquirido na década de 1950. Na época, o Brasil buscava um obuseiro moderno, capaz de disparar projéteis de grande alcance e com alta precisão.

Em 1980, o Brasil assinou um contrato com a empresa americana *United Defense*, que fabricava o obuseiro M109. O contrato previa a compra de 40 unidades do M109A3, que foram entregues entre 1983 e 1985. Em seguida, foram adquiridos mais 24 obuseiros M109A5, que foram entregues entre 1998 e 1999.

Ao longo dos anos, os obuseiros M109 brasileiros foram modernizados e atualizados, com a instalação de novos sistemas de navegação, mira e controle de tiro. Em 2019, o Exército Brasileiro começou a modernizar seus obuseiros M109 para a versão A5+, Figura 2.



Figura 2 – Obuseiro Autopropulsado da versão M109A5+.

Os obuseiros M109 adquiridos pelo Brasil foram utilizados em diversas operações militares, incluindo a Operação Cachimbo, que foi realizada em 1990 para testar a capacidade do país em detonar explosivos nucleares, e a Missão das Nações Unidas para a Estabilização do Haiti (MINUSTAH), realizada entre 2004 e 2017. Atualmente, os obuseiros derivados do M109 são uma das principais peças de artilharia em uso pelo Exército Brasileiro, sendo empregados em diversas missões de defesa e segurança no país e no exterior.

### 1.3 Motivação

Uma das melhorias provenientes da atualização do obuseiro autopropulsado para a versão M109A5+ consiste do travamento automático de seu tubo.

O travamento do tubo é necessário neste tipo de veículo pois ele não se trata de um carro de combate, mas sim de um obuseiro autopropulsado. Isto significa que existe um grau maior de fragilidade com relação à integridade do armamento, por isso existe a necessidade de travar o tubo do obuseiro antes que ele entre em movimento.

Modelos mais antigos deste veículo também possuem um mecanismo de travamento do tubo, porém ele não é de maneira automática, sendo necessária a interferência de um operador para acionar o sistema no exterior do veículo, expondo o mesmo aos perigos de

uma situação de combate.

Para contornar essa situação indesejada, a versão M109A5+ introduziu o conceito do travamento automático do tubo, Figura 3, acionado no interior do veículo. Esse melhoramento elimina completamente a necessidade de um operador externo, aumentando a segurança e mobilidade e diminuindo a ocorrência de acidentes.



Figura 3 – Sistema de travamento automático do tubo de uma viatura M109A5+.

A modernização do obuseiro é feita pela empresa americana *BAE Systems*, que também é a fabricante. Essa empresa de defesa tem fortes relações com o Exército Brasileiro há muitos anos, fornecendo vários de seus materiais e serviços para a força brasileira.

Apesar da boa relação com a empresa, o Comando da Artilharia Divisionária da 3ª Divisão (AD/3) verificou a necessidade de uma alternativa nacional para algumas das atualizações do M109. Essa possibilidade ajudaria a agilizar a modernização dos obuseiros e baratear os custos da mesma, eliminando a necessidade da contratação de uma empresa externa.

## 1.4 Objetivo

Como explicado na seção 1.3, existe a demanda por uma versão menos custosa e de instalação mais simples desta trava automática, pois o Exército ainda possui diversos veículos M109 sem a presença desse sistema.

Desse modo, a proposta deste projeto de fim de curso consiste em conceber um sistema alternativo de travamento automático do tubo, com relação ao já existente na versão M1095A+, com o objetivo de diminuir os custos e aumentar a agilidade da modernização dos materiais de emprego militar do Exército Brasileiro.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Sistema Manual

Presente nos modelos até a versão M109A5, o sistema de travamento manual do tubo, Figura 4, consiste de uma garra montada na parte dianteira da viatura, que gira em torno de um eixo na sua base. Esta rotação permite que ela assuma as posições de apoio do tubo e a posição rebatida sobre a viatura. Ao assumir a posição de apoio do tubo, os dois semicírculos que constituem a garra envolvem o tubo e são travados por meio de uma manivela de travamento.

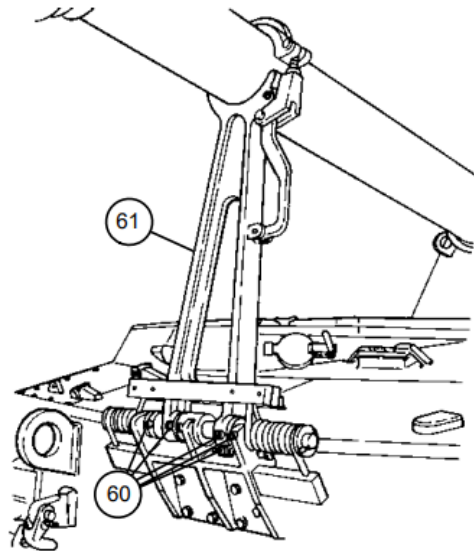


Figura 4 – Simplificação gráfica do sistema de travamento manual do tubo. (BRASILEIRO, 2019)

### 2.2 Sistema Atual

O sistema de travamento automático atual do tubo consiste em um atuador elétrico que atua em um único eixo de rotação, Figura 5, em 2 tempos para as seguintes operações:

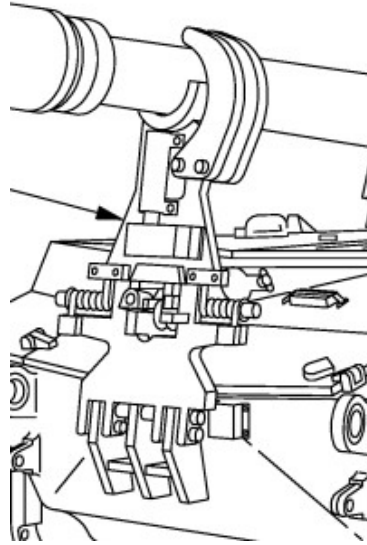


Figura 5 – Simplificação gráfica do sistema de travamento já utilizado. (BRASILEIRO, 2019)

- Liberar a garra do tubo, permitindo que o tubo seja elevado e;
- Abaixar o sistema de trava, liberando o movimento horizontal e vertical do tubo completamente.

Cada etapa é realizada separadamente para que não ocorra pane ou que o sistema se danifique por sobreposição de movimentos. Pesando aproximadamente 100 kg, o sistema utiliza uma grande quantidade de corrente elétrica, ocasionando panes elétricas ou panes mecânicas, como emperramento ou acidente com a tropa.

## 2.3 Modelo gerado por CAD

por meio de visita técnica à AMAN (Academia militar das agulhas negras) e apoio do curso de artilharia, foi possível obter as medidas necessárias para se realizar o desenho em CAD (Computer Aided Design) do sistema de travamento. Foram utilizados uma trena e um paquímetro para aferir tais medidas e apoiar as estimativas de dimensões curvas presentes no sistema.

As medições foram feitas nas condições ilustradas na Figura 6, com a viatura M109A5 oferecida pela AMAN.





Figura 6 – Sistema de travamento disponível na Academia Militar das Agulhas Negras.

Posteriormente, foi possível, utilizando o software *SolidWorks* realizar a modelagem tridimensional do sistema de travamento manual, realizando as devidas estimativas para superfícies curvas. O modelo tridimensional é observado na Figura 7. Alguns dos componentes, como elementos de fixação, não foram adicionados ao modelo tridimensional pois não interferem no estudo, bem como a manivela que realiza o travamento da garra ao tubo, visto que a mesma deve ser removida para que o sistema possa ser automatizado.



Figura 7 – Modelo feito em CAD da garra.

### 2.3.1 Mecanismo e instalação

A solução escolhida para a elevação da garra consiste na instalação de uma polia na base da garra, pela qual passará um cabo de aço que ficará preso no rasgo já existente na garra. O cabo de aço será então puxado por um atuador elétrico instalado no interior do veículo, içando a garra.

A estimativa inicial para o tamanho da polia é de 100 milímetros de diâmetro, e o cabo de aço possui diâmetro de 6,4mm (1/4 polegada). Ambos componentes são de fácil obtenção.

A instalação da polia poderá ser feita através de soldagem ou por elementos de fixação como parafusos. A Figura 8 mostra um exemplo de base para a polia e a Figura 9 representa o sistema acoplado à base da garra.

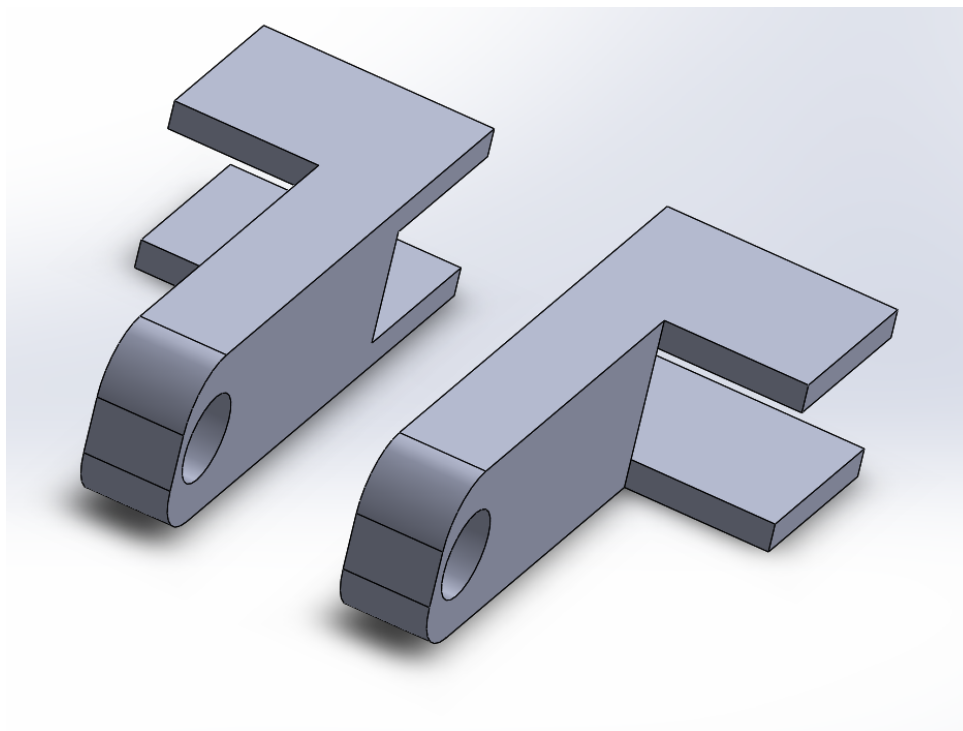


Figura 8 – Possível sistema de fixação para a polia.

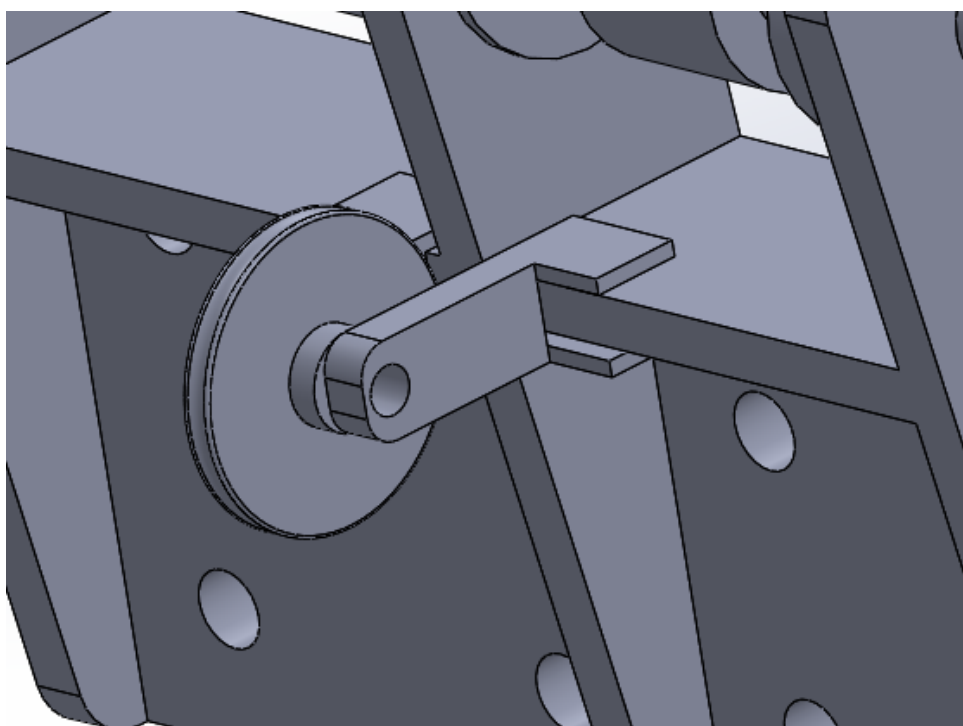


Figura 9 – Polia fixada na base da garra.

O cabo de aço pode ser facilmente fixado no rasgo existente no braço da garra, como representado na Figura 10. Em seguida o cabo passa pela polia e depois através de um furo feito na carcaça do veículo, de modo que ele chegue até o atuador elétrico que irá tracioná-lo. A Figura 11 representa uma vista lateral do cabo de aço acoplado à garra.



Figura 10 – Rasgo no braço da garra.

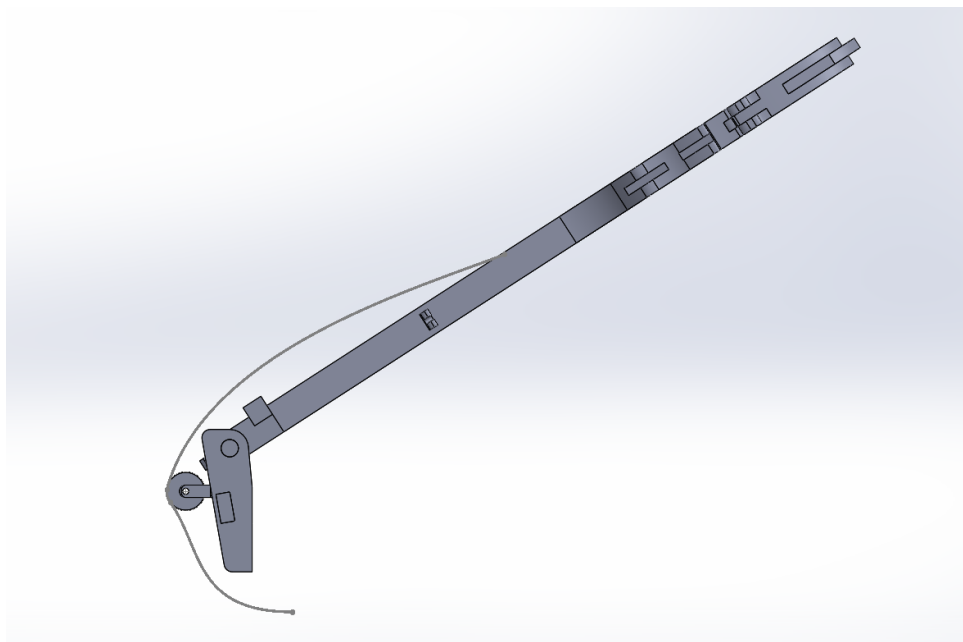


Figura 11 – Vista lateral com um esboço do cabo de aço instalado.

### 2.3.2 Viabilidade do mecanismo de içamento

Devido à inclinação da garra na sua posição de repouso sobre o veículo, que é de aproximadamente  $30^\circ$  com relação à horizontal, a tração no cabo de aço pode se tornar

extremamente elevada.

De acordo com as projeções do desenho computacional e estimativas reais, foi considerada uma massa de  $100Kg$  para a garra, e que a mesma pode ser tratada como uma barra simples. A distância do eixo de rotação até o ponto de aplicação da tração na garra é de  $80cm$ , e a distância do eixo de rotação até o centro de massa é de  $60cm$  (Valor obtido a partir do desenho computacional).

Desse modo, para que a garra seja içada, o torque causado pela tração do cabo de aço deve superar o torque causado pelo peso da garra. Para determinar estes valores, foi necessário decompor as forças em componentes paralelas e perpendiculares à garra. No entanto, devido à posição da polia ser bem abaixo do eixo de rotação, o cabo de aço entra em contato com o ressalto presente na garra, isto faz com que o ângulo entre o cabo de aço e a garra seja de aproximadamente  $2^\circ$ . Assim, utilizando o valor da gravidade como  $9,8m/s^2$  obtemos a Equação 2.1 e Equação 2.2

$$T * \text{sen}(2^\circ) * 80cm > 100Kg * 9,8m/s^2 * 60cm * \text{cos}(30^\circ) \quad (2.1)$$

$$T > 18239,9N \quad (2.2)$$

Ou seja, seria necessário um motor capaz de levantar  $1861,2Kg$ , valor bastante elevado para motores comuns. Desse modo, optou-se pela adição de mais uma polia, representada na Figura 12, para que o ângulo entre o cabo de aço e a garra fosse aumentado para aproximadamente  $10^\circ$ , reduzindo consideravelmente a tração necessária para o içamento, como mostram a Equação 2.3 e Equação 2.4.

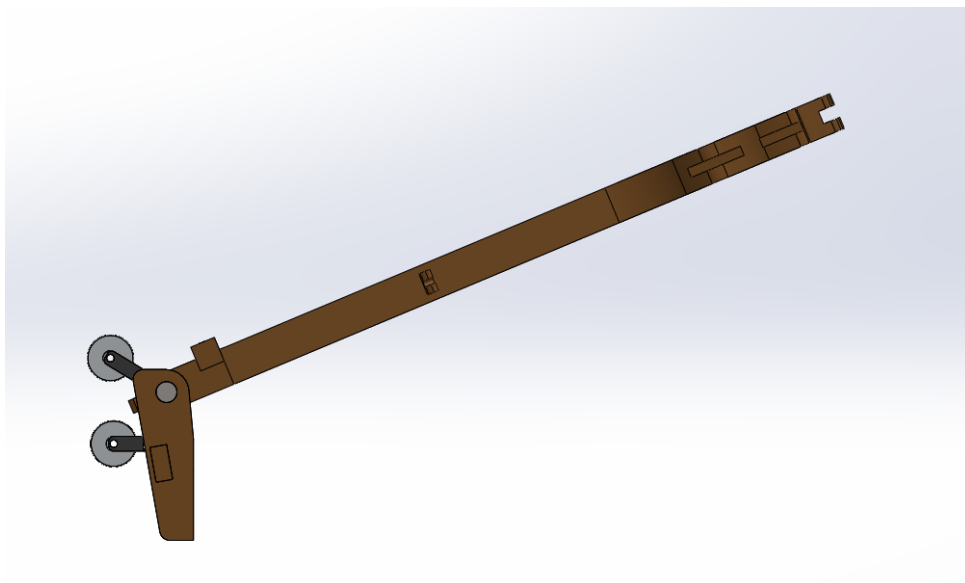


Figura 12 – Vista lateral da garra com duas polias instaladas.

$$T * \text{sen}(10^\circ) * 80\text{cm} > 100\text{Kg} * 9,8\text{m/s}^2 * 60\text{cm} * \text{cos}(30^\circ) \quad (2.3)$$

$$T > 3665,6\text{N} \quad (2.4)$$

Ou seja, seria necessário um motor capaz de levantar  $374,04\text{Kg}$ , valor consideravelmente menor que o obtido para o caso com apenas uma polia.

À medida que a garra é içada, a tração mínima necessária diminui, pois o ângulo entre o cabo de aço e a garra aumenta, e o ângulo de inclinação da garra em relação ao veículo também aumenta. Por isso, faz-se necessário apenas a análise estática da força inicial, que é quando seu valor é máximo.

## 2.4 Atuadores

Atuadores são componentes essenciais na indústria mecânica. São dispositivos que convertem algum tipo de energia em energia mecânica, sendo os mais conhecidos na indústria os atuadores elétrico, hidráulico e pneumático (NEPIN, 2022). A solução proposta consiste em implementar um atuador elétrico, por seu menor custo de manutenção e simplicidade ao sistema de fechamento.

### 2.4.1 Atuador elétrico

Os atuadores elétricos são aqueles nos quais a energia em questão é a energia elétrica e é responsável por receber sinais elétricos de controle para realizar trabalho mecânico.

Os atuadores elétricos se destacam em relação aos outros tipos de atuadores devido a sua precisão devido ao controle através de circuitos eletrônicos. São simples de instalar e manter, devido à ausência de sistemas complexos, além de silenciosos e energeticamente eficientes. No entanto, esse tipo de atuador possui um custo inicial mais elevado que os outros atuadores e são exclusivamente dependentes de corrente elétrica para o seu funcionamento, podendo ter precisão reduzida em caso de variações do sistema elétrico.

O atuador utilizado em questão é uma talha elétrica comercial utilizada em veículos *off road* com capacidade aproximada de  $1300\text{ kg}$ . Será instalado um guincho no compartimento frontal da viatura além da polia na base da garra para que se possa fazer a transmissão de força para ergue-la, como mostrado na Figura 14.

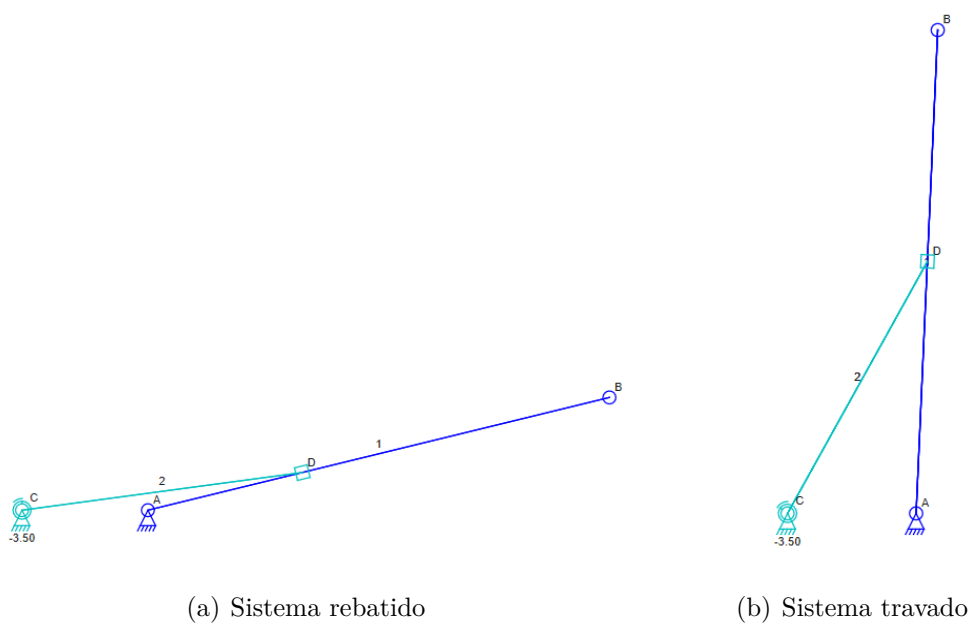


Figura 13 – Simulação do mecanismo proposto.

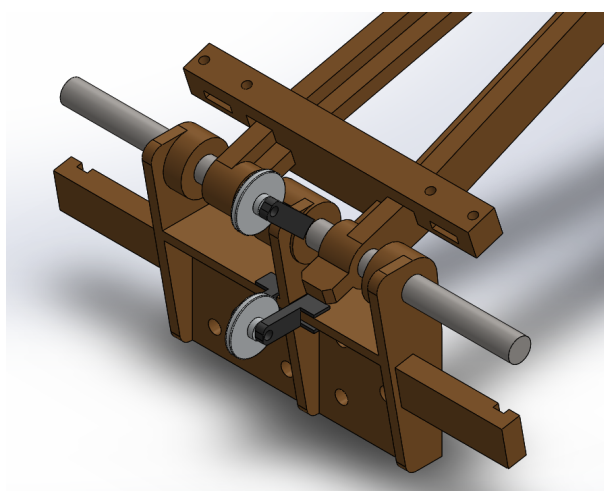


Figura 14 – Polias instaladas na base da garra para transmissão de tração.



Figura 15 – Exemplo de guincho. (AGROTAMA, 2023)

Requisitos Desejados	Valores
Tração	3000 lb/1361 kg
Potência do motor	1,0 kW
Tensão nominal	12V
Tamanho desejado	350mm x 110mm x 120mm
Cabo de aço	1/4" x 5 m
Diâmetro da polia	100 mm

Figura 16 – Características esperadas do guincho. (AGROTAMA, 2023)

## 2.4.2 Estudo da resistência dos componentes mecânicos

### 2.4.2.1 Cabo de aço

O cabo de aço deve ser dimensionado de forma que sua estrutura não se rompa durante o içamento e que possua vida em fadiga alta. Um fio de aço, ao ser entrelaçado com outros fios, formando um cabo de aço, têm suas características alteradas. O entrelaçamento dos fios produz um deslizamento entre eles, além da orientação da tensão não ser aplicada paralelamente a cada fio, mas sim paralelamente ao eixo do cabo.

A tensão presente em um dos fios do cabo de aço atuando em uma polia é calculada igualando as equações 2.5 e 2.6, referentes à flexão atuando nos fios, sendo a primeira em função do raio de curvatura da linha elástica e a segunda relativa ao centro do fio e a tensão normal. Sendo  $E$  o módulo de elasticidade dos fios,  $I$  o momento de inércia relativo



ao centro dos fios,  $\rho$  o raio de curvatura da linha elástica,  $\sigma$  a tensão normal em cada fio e  $c$  o diâmetro de cada fio.

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (2.5)$$

$$M = \frac{\sigma I}{c} \quad (2.6)$$

Igualando as duas equações, tem-se a tensão normal em cada fio externo, dado que serão os fios submetidos à maior tensão, como descrito na Equação 2.7.

$$\sigma = \frac{Ec}{\rho} \quad (2.7)$$

O raio de curvatura pode ser substituído pelo raio da polia  $\rho = \frac{D}{2}$  e  $c$  pode ser reescrito em função do raio do fio  $c = \frac{d_w}{2}$ , exprimindo a equação 2.8.

$$\sigma = E_r \frac{d_w}{D} \quad (2.8)$$

Sendo  $E_c$  o módulo de elasticidade do cabo. A substituição de  $E$  por  $E_c$  na equação se dá pela disposição dos fios no cabo, que se dá em forma espiralada, assim cada fio será mais elástico do que o próprio módulo de elasticidade permitiria, utilizando-se assim o módulo de elasticidade do cabo em detrimento do módulo de elasticidade de cada fio individualmente (NISBETT, 2016).

Com as equações apresentadas, é possível calcular a tensão submetida no cabo alocado na viatura com base nos valores apresentados. Utilizando-se um cabo de aço classe 6x19 - alma de fibra de 1/4" (Equação 2.9), com base na Figura 17, tem-se que:

$$\sigma = 83GPa \frac{6,4mm}{100mm} = 59MPa \quad (2.9)$$

Cabo	Peso por metro ( $10^{-3}$ ) N	Diâmetro mínimo deroldana, mm	Tamanhos padronizados $d$ , mm	Material	Tamanho dos fios externos	Módulo de elasticidade,* GPa	Resistência† MPa
Reboque 6 × 7	33,92 $d^2$	42 $d$	6 – 38	Aço (monitor)	$d/9$	96	690
				Aço de arado‡	$d/9$	96	908
				Aço de arado brando	$d/9$	96	524
Içamento padronizado 6 × 19	36,18 $d^2$	26 $d$ -34 $d$	6 – 70	Aço (monitor)	$d/13$ – $d/16$	83	730
				Aço de arado	$d/13$ – $d/16$	83	640
				Aço de arado brando	$d/13$ – $d/16$	83	550
Especial flexível 6 × 37	35,0 $d^2$	18 $d$	6 – 90	Aço (monitor)	$d/22$	76	690
				Aço de arado	$d/22$	76	608
Extraflexível 8 × 19	32,72 $d^2$	21 $d$ –26 $d$	6 – 38	Aço (monitor)	$d/15$ – $d/19$	69	634
				Aço de arado brando	$d/15$ – $d/19$	69	550
Aeronave 7 × 7	38,45 $d^2$	—	1,6 – 1,0	Resistente à corrosão	—	—	850
				Aço carbono	—	—	850
Aeronave 7 × 9	39,58 $d^2$	—	3 – 36	Resistente à corrosão	—	—	930
				Aço carbono	—	—	986
Aeronave com 19 fios	48,62 $d^2$	—	0,8 – 8	Resistente à corrosão	—	—	1137
				Aço carbono	—	—	1137

Figura 17 – Dados de tipos de cabos de aço (NISBETT, 2016)

Para obter a relação de área do cabo de aço, utiliza-se a Equação 2.10.

$$A = 0,38d^2 \quad (2.10)$$

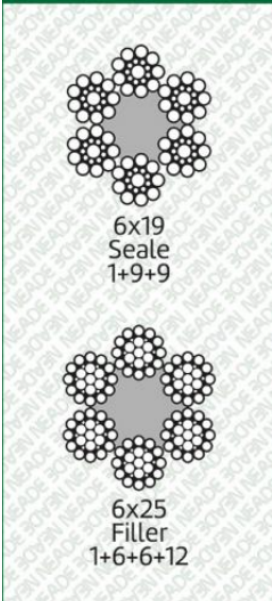
Assim, a carga aplicada ao cabo de aço aplicada à viatura será dada pela Equação 2.11.

$$F_b = \sigma A = \frac{E_r d_w A}{D} = 918,3232kgf \approx 0,9tf \quad (2.11)$$

Com base nos resultados obtidos e comparando-os ao catálogo comercial disposto na Figura 18, tem-se que o cabo de aço selecionado é apropriado para a operação desejada.

#### 2.4.2.2 Tração do motor

Como foi constatado na subseção 2.3.2, a tração mínima necessária para o içamento da garra é de 3665,6N, desse modo, o motor selecionado para realizar essa tarefa cumpre de maneira satisfatória, já que o mesmo é capaz de atuar com capacidade maior que 1300Kg, ou 12740N.



DIÂMETRO		MASSA APROXIMADA (kg/m)	CARGA DE RUPTURA MÍNIMA (tf)	
mm	pol		IPS	EIPS
3,2	1/8"	0,036	0,61	-
4,8	3/16"	0,082	1,37	-
6,4	1/4"	0,142	2,50	2,73
8,0	5/16"	0,230	3,90	4,30
9,5	3/8"	0,343	-	6,10
11,5	7/16"	0,479	-	8,30
13,0	1/2"	0,608	-	10,80
14,5	9/16"	0,775	-	13,60
16,0	5/8"	0,933	-	16,80
19,0	3/4"	1,298	-	24,00
22,0	7/8"	1,805	29,50	32,60
26,0	1"	2,442	38,50	42,60
29,0	1.1/8"	3,055	-	53,90
32,0	1.1/4"	3,733	60,10	66,50
35,0	1.3/8"	4,529	-	80,50
38,0	1.1/2"	5,328	86,50	95,80
45,0	1.3/4"	8,368	-	130,40
52,0	2"	9,740	-	170,30

Figura 18 – Tabela de cabos de aço comerciais. (NEADE, 2020)

### 2.4.2.3 Polias e elementos de fixação

Como as polias estarão sujeitas a duas componentes da tração proveniente do cabo de aço, a força resultante em seus eixos será a soma das componentes que não se anulam. As tensões na polia inferior permanecem com angulação constante, já as da polia superior variam de acordo com o içamento da garra. Deste modo, analisando a geometria, a polia estará submetida à maior tração em seu eixo quando a garra estiver no início do içamento, ou seja, na condição de tração máxima abordada na subseção 2.3.2.

Nesta configuração, Figura 19, a polia encontra-se submetida a forças aproximadamente perpendiculares, de modo que sua resultante será uma força direcionada ao eixo de rotação da polia, dada pela Equação 2.12.

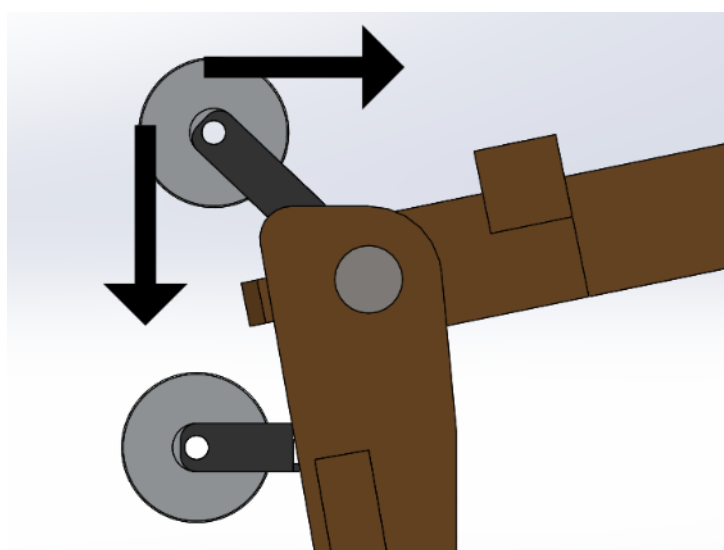


Figura 19 – Vista lateral da polia superior com as forças de tração representadas por setas.

$$F_r = 2 * 3665,6N * \text{sen}(45^\circ) = 5183,7N \quad (2.12)$$

Portanto, a polia e seus elementos de fixação devem ser capazes de resistir a uma tensão dada pela Equação 2.13, onde  $d$  é o diâmetro do eixo da polia, que vale  $0,02m$ .

$$\sigma = \frac{F_r}{\pi * d^2/4} = 16,5MPa \quad (2.13)$$

Logo, o limite de escoamento do material utilizado na polia e o dos elementos de fixação devem ser maiores que  $16,5MPa$ . O aço SAE 1020 é um exemplo de material que pode ser adotado para a polia que satisfaz estas condições.

### 2.4.3 Automatização da garra

O mecanismo de fechamento da garra será composto de um sistema de cremalheira e engrenagens, cujo acionamento ocorrerá devido ao peso do tubo. Para isso, a parte superior da garra atual deverá ser removida. Com isso, ao se realizar o tombamento do sistema, o tubo perderá contato com a cremalheira, realizando a abertura da garra e possibilitando que se destrave o tubo. Na Figura 20 é possível verificar o princípio de funcionamento da trava automática da garra.

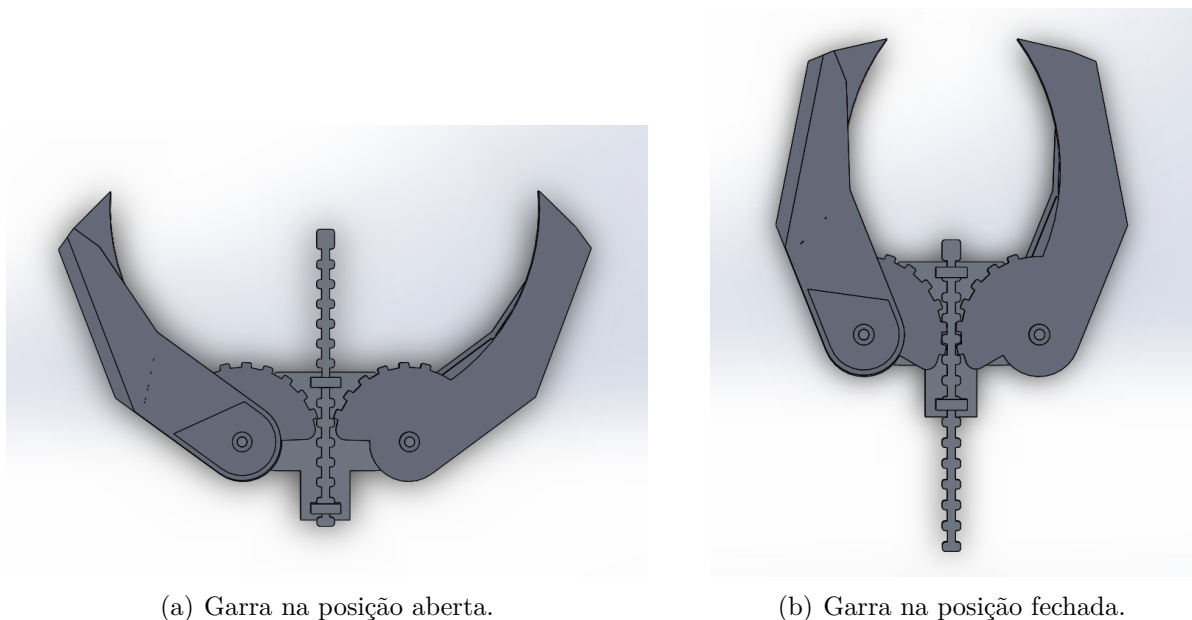


Figura 20 – Simulação do mecanismo proposto para o fechamento e abertura da garra.

Além disso, uma mola será acoplada à parte inferior da cremalheira para garantir a correta retração do mecanismo com o levantamento do tubo, como exemplificado na Figura 21.

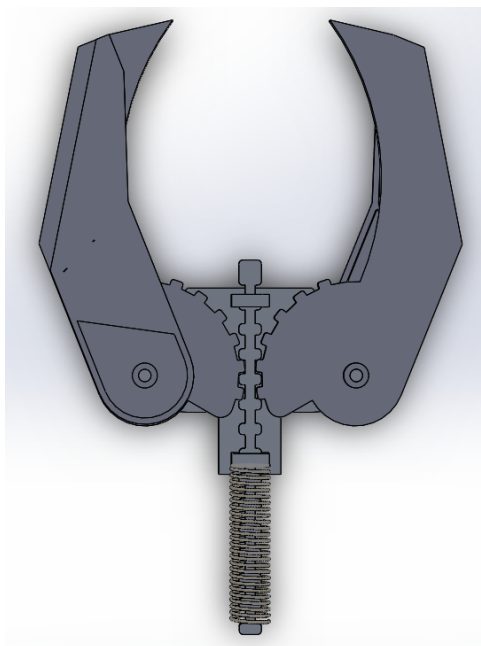


Figura 21 – Exemplo de mola acoplada ao mecanismo da garra.

Assim como foi abordado na subseção 2.3.1, a instalação do mecanismo de fechamento na garra poderá ser realizada por soldagem ou elementos de fixação, a Figura 22 representa essa montagem.

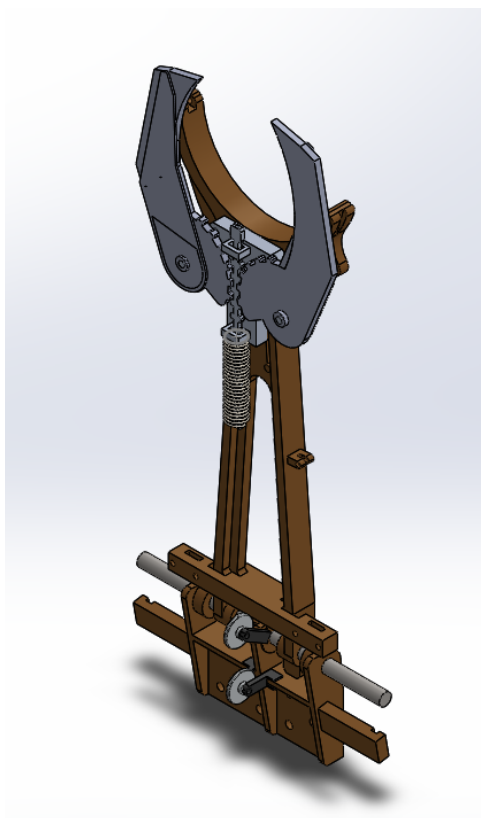


Figura 22 – Mecanismo completo acoplado ao braço da garra.

### 2.4.3.1 Viabilidade do mecanismo da garra

Quando a garra encontra-se na posição aberta, a mola encontra-se na sua posição neutra. No momento em que o tubo do obuseiro é apoiado na mesma, ele faz com que a cremalheira seja forçada para baixo e a mola se estenda, acionando o mecanismo de modo que a garra se feche ao redor do tubo.

Enquanto a garra permanece na posição fechada, a mola exerce uma força de modo a retornar todo o mecanismo para a posição inicial. Para que isso ocorra, o operador deve começar o movimento de subida do tubo, o que fará com que o mecanismo se retraia e a garra abra.

Em outros termos, é necessária uma ação conjunta para que ocorra a liberação do tubo, por isso, é requerido um equilíbrio entre o peso do tubo e a força exercida pela mola, para que o tubo permaneça apoiado de maneira firme.

No entanto, por tratar-se de um veículo, suas situações de uso são bastante adversas, o que implica em diversas oscilações, especialmente quando em movimento. Tal fator dificulta a implementação de um mecanismo como o proposto, já que ele pode ser acionado de maneira indesejada, comprometendo sua finalidade.

Desse modo, estudos futuros são necessários para viabilizar completamente o mecanismo proposto, como a adição de uma trava capaz de liberar a retração do sistema apenas quando submetido a uma força específica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise dos atuadores e da utilização da viatura, a proposta atual deste trabalho foi a de incluir à viatura um sistema elétrico, utilizando-se do espaço sobressalente na parte dianteira da viatura, ou seja, o objetivo foi estudar a viabilidade da transformação do sistema manual de travamento em um sistema automático similar ao existente no M109A5+, porém sem a necessidade de substituir por completo toda a estrutura da garra, sendo necessário o estudo póstumo das propostas de implementação do circuito do atuador elétrico proposto.

Como principais desafios, foram encontrados a falta de acesso e recursos para testes da solução proposta. A falta de contato ágil com as viaturas dificultou o estudo recorrente e possíveis concretizações de protótipos. Além disso, o escopo do projeto para que este fosse efetivado exigiria mais tempo e investimento nas pesquisas e implementações.

Deste modo, este projeto foi primordialmente voltado para a abordagem teórica e necessitará de maiores investimentos monetários e de pessoal para que se possa alcançar de maneira adequada as requisições do projeto.

## 4 CONCLUSÃO

Dada a problemática apresentada neste trabalho e as necessidades do Exército Brasileiro, foram apresentadas alternativas para o mecanismo de travamento automático do tubo do obuseiro autopropulsado M109A5+, feito pela empresa BAE *Systems*, e foi escolhida uma delas como possível substituição para o mecanismo atual.

Dentre as alternativas apresentadas, optou-se por um sistema de polias acionado por um atuador elétrico. Tal escolha levou em consideração aspectos como o custo de implementação, as necessidades de manutenção e a facilidade de instalação.

A visita à Academia Militar das Agulhas Negras proporcionou uma melhor perspectiva do método mais adequado para a implementação da automação do sistema de travamento.

O trabalho atual teve como objetivo central a proposição de uma solução de engenharia que enfrentasse desafios específicos e complexos. Este projeto teve como objetivo fim investigar problemas críticos e desenvolver um plano sólido para resolvê-los.

No entanto, é importante ressaltar que esta solução não marca o fim do processo, mas sim o início de uma nova fase. Para garantir que a abordagem seja eficaz e atenda plenamente às necessidades, serão necessários estudos posteriores de análise de projeto. Essa etapa envolverá uma avaliação minuciosa dos detalhes técnicos, considerando variáveis importantes e refinando ainda mais a proposta.

A análise de projeto é fundamental para otimizar essa solução, ajustando-a conforme as demandas e as circunstâncias evoluem. Essa abordagem iterativa permitirá que o projeto se adéque à estratégia conforme novas informações e desafios surgirem, garantindo que a solução proposta de engenharia seja sempre a mais eficiente e satisfatória possível.



## REFERÊNCIAS

AGROTAMA. *Guincho Elétrico 3000LB 1361 KG 12v para Quadriciclo Jipe Troller - Nagano*. 2023. Disponível em: <<https://www.agrotama.com.br/produtos/guincho-eletrico-3000lb-1361-kg-12v-para-quadriciclo-jipe-troller/nagano-102051408,54,247/?gad=1&gclid=CjwKCAjwyNSoBhA9EiwA5aYlbyHInZyXee7vdNrP2F4BXWGcFJXqR4Yc7SxRBwE/>>.

ARMY/TECHNOLOGY. *Paladin M109A7 155mm Artillery System*. 2022. Disponível em: <<https://www.army-technology.com/projects/paladin-m109a7-155mm-artillery-system/>>.

BRASILEIRO, E. *MANUAL DO OPERADOR DO OBUSEIRO AUTOPROPULSADO M109A3 / M109A5 / M109A5+ BR*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1vYS517DhRitpxSHTQ9SmT1a64ewbmrGE/view>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

NEADE. *Cabos de aço - Elevação e Movimentação de cargas - NEADE*. 2020. Disponível em: <<https://www.neade.com.br/cabos-de-aco.html>>.

NEPIN, E. *Atuadores – O que são e para o que servem*. 2022. Disponível em: <<https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/atuadores-o-que-sao-e-para-o-que-servem/>>.

NISBETT, R. G. B. e J. K. *Elementos de máquinas de Shigley*. 10. ed. Nova York: AMGH editora LTDA, 2016. 1096 p.