

MANIPULADOR A VÁCUO

Pindamonhangaba - SP
dezembro - 2025

**BRAYAN WILLIAN DA CONCEIÇÃO SILVA
LINCOLN VIERA SANT' ANA
MARIANE TEREZA EVARISTO PINTO
OTÁVIO ELEUTÉRIO MOREIRA
PATRICK DOS SANTOS CARVALHO
VÍTOR LUCAS DOMINGOS**

MANIPULADOR A VÁCUO

Desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso, da Etec João Gomes de Araújo, pertencente ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza para conclusão do Curso Técnico em Mecânica.

Orientador: Prof. Eng. João Alaor dos Santos

**Pindamonhangaba – SP
Dezembro - 2025**

Dedicamos este Trabalho de conclusão de curso às nossas famílias, que sempre estiveram ao nosso lado, oferecendo apoio e força em todos os momentos. Aos nossos parceiros de vida, que compreenderam nossas ausências, dividiram nossos desafios e foram fundamentais para chegarmos até o presente momento. Aos amigos, colegas, professores e orientadores do curso, que nos guiaram nessa jornada de aprendizado, contribuindo para nossa formação acadêmica profissional e pessoal.

AGRADECIMENTO

Agradecemos a Deus por ter nos dado ânimo e forças para conseguir chegar até o momento presente. Aos professores, por compartilharem conhecimento, paciência e experiências que levaremos para toda vida profissional. Cada ensinamento foi uma ferramenta essencial na construção do nosso aprendizado. A instituição de ensino, pela oportunidade e pela estrutura que tornou possível nossa formação. Aos colegas de turma, pelos momentos de companheirismo, troca de ideias e também pelas risadas nos intervalos fundamentais para aliviar as tensões do percurso até aqui. Aos familiares, namorados, esposas e esposos, por compreenderem nossa ausência em muitos momentos, pelo incentivo constante e por acreditarem em nós mesmo quando o cansaço parecia vencer.

Esse trabalho de conclusão de curso é a união de diferentes histórias, personalidades e sonhos, mas com um único objetivo: crescer, aprender e seguir construindo a carreira profissional na parte de Manutenção Mecânica.

RESUMO

O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um manipulador a vácuo, voltado para o auxílio na carga e descarga de fardos dentro do galpão da empresa. A solução busca otimizar a ergonomia do trabalhador, reduzindo esforços repetitivos e movimentos bruscos, bem como minimizar os riscos de acidentes, como quedas de cargas durante o manuseio.

A ventosa será acoplada a uma base giratória que permite ao operador manusear os fardos com maior precisão e menor esforço físico, promovendo uma postura adequada e diminuindo a incidência de lesões musculoesqueléticas. Além disso, o sistema visa aumentar a produtividade e segurança operacional, tornando o ambiente de trabalho mais eficiente e menos suscetível a falhas humanas.

A adoção deste equipamento contribui diretamente para o cumprimento das normas de saúde e segurança do trabalho (NR-17 e NR-12), fortalecendo a cultura de prevenção e o bem-estar dos colaboradores.

SUMÁRIO

1 Introdução	6
1.1. Objetivo Geral.....	6
1.2. Objetivos específicos	6
1.3 Justificativa	7
1.4 Metodologia.....	8
1.4.1 Diagnóstico inicial.....	8
1.4.2 Planejamento	8
1.4.3 Criação e Inovação	8
2 Desenvolvimento	9
2.1 Fundamentação Teórica: O Projeto.....	9
2.2 Montagem	12
2.3 Plano de Manutenção	13
2.4 Memorial de Cálculos	16
2.5 Orçamentos e Componentes	26
3 Conclusão	27
Referências	
Anexos	
Apêndices	

1. INTRODUÇÃO

O projeto desenvolve um manipulador a vácuo, voltado para o auxílio na carga e descarga de fardos dentro do galpão da empresa escolhida. A solução busca otimizar a ergonomia do trabalhador, reduzindo esforços repetitivos e movimentos bruscos, bem como minimizar os riscos de acidentes, como quedas de cargas durante o manuseio. A ventosa será acoplada a uma base giratória que permite ao operador manusear os fardos com maior precisão e menor esforço físico, promovendo uma postura adequada e diminuindo a incidência de lesões musculoesqueléticas. Além disso, o sistema visa aumentar a produtividade e segurança operacional, tornando o ambiente de trabalho mais eficiente e menos suscetível a falhas humanas.

A relevância do tema está diretamente ligada à crescente preocupação com a saúde ocupacional, à busca por ambientes de trabalho mais seguros e à necessidade de inovação tecnológica no setor logístico. Além disso, ao propor uma solução que une ergonomia e automação, o projeto atende tanto às demandas legais quanto às expectativas das empresas por maior eficiência e menor incidência de afastamentos por lesões. O objeto de pesquisa delimita-se na concepção e desenvolvimento de uma ventosa acoplada a uma coluna giratória, voltada especificamente para o manuseio de fardos dentro de um galpão. A escolha do tema partiu da análise das principais dificuldades enfrentadas por um dos colaboradores, levando à definição de um dispositivo auxiliar que otimize o transporte de cargas com segurança, precisão e menor esforço físico.

1.1 - Objetivo Geral;

O projeto busca integrar soluções tecnológicas acessíveis que contribuam para a melhoria das condições laborais, especialmente em tarefas repetitivas ou que envolvam levantamento de peso, promovendo bem-estar, produtividade e prevenção de acidentes ocupacionais.

1.2 - Objetivos Específicos;

- Atender e aprimorar a demanda excessiva das movimentações repetitivas dos deslocamentos de fardos no galpão da empresa.
- Permitir opções na melhoria do layout, estrutura do galpão e das prateleiras presentes nele.
- Melhorar a ergonomia laboral dos colaboradores dentro da empresa, prevenindo e reduzindo sobrecarga física e chance de afastamento e acidente ocupacional.

1.3 - Justificativa;

A criação e a implementação de um manipulador a vácuo com uma coluna giratória no galpão da empresa, se justificam pela necessidade de melhorar as condições de trabalho dos colaboradores, reduzir o risco de acidentes, especialmente quedas, minimizar o esforço físico repetitivo associado à movimentação de cargas pesadas. O atual processo manual de manipulação de materiais expõe os funcionários a riscos ergonômicos e sobrecarga muscular, além de comprometer a eficiência operacional. A adoção desse sistema visa proporcionar maior segurança, precisão e agilidade nas tarefas, contribuindo também para a organização do espaço e a ampliação da área útil do galpão, refletindo diretamente na produtividade e na qualidade das operações. Essa solução tecnológica é estratégica para o crescimento sustentável da empresa e para o cumprimento das normas de saúde e segurança no trabalho.

1.4 – Metodologia.

A metodologia adotada para o desenvolvimento e implementação do manipulador a vácuo será dividida em etapas que visam garantir a eficácia do projeto e a melhoria real nas condições de trabalho no galpão da empresa.

- **1.4.1 Diagnóstico Inicial**

- Levantamento das condições atuais do galpão, incluindo o fluxo de trabalho, tipos de cargas manuseadas, frequência de movimentação e principais pontos de risco (quedas, esforços físicos excessivos, desorganização).

- **1.4.2 Planejamento**

- Análise de soluções para os pontos de riscos existentes no levantamento.
- Definição das especificações técnicas dos materiais escolhidos, assim como, a ventosa mais adequada ao contexto dos materiais que são transportados na empresa.
- Consulta às normas regulamentadoras, especialmente a NR-17 (Ergonomia) e NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos).

- **1.4.3 Criação e Inovação**

- Levantamento de ideias para o desenvolvimento necessário em relação ao problema escolhido.
- Inovar em um projeto com melhorias e minimização dos riscos apresentados

2. DESENVOLVIMENTO

A empresa deste estudo enfrentava um desafio recorrente na operação de movimentação de fardos dentro do galpão. Os colaboradores eram responsáveis por retirar fardos de prateleiras, ou até mesmo empilhados um em cima do outro, e realocá-los em outras posições, porém, esse processo era realizado de maneira inadequada, utilizando força excessiva, posições incorretas e até subindo sobre os próprios fardos, o que aumentava significativamente o risco de acidentes, quedas e lesões musculoesqueléticas.

Observou-se durante a discussão do problema avaliado que, além do risco à integridade física dos trabalhadores, as práticas adotadas comprometiam a eficiência operacional, geravam retrabalho, dificultavam a organização interna e não atendiam às diretrizes de segurança estabelecidas pela legislação brasileira, especialmente as normas de ergonomia e movimentação manual de cargas. Diante desse cenário, surgiu a necessidade de desenvolver uma solução mecânica que eliminasse o esforço físico indevido e proporcionasse movimentações seguras, eficientes e ergonômicas.

O desenvolvimento de um manipulador a vácuo foi motivado pela necessidade de atender às exigências ergonômicas previstas na NR-17, que orienta a adaptação das condições de trabalho às características fisiológicas e psicológicas dos trabalhadores. Reduzir riscos de acidentes como escorregões, quedas, torções e esforços repetitivos. Otimizar o layout e o fluxo operacional dentro do galpão. Garantir padronização e segurança no deslocamento de fardos. Diminuir o tempo de movimentação entre prateleiras, aumentando a eficiência do processo.

Como referência inicial, foi observado um equipamento popularmente conhecido como “girafa”, utilizado para içamento de cargas. Entretanto, para atender às necessidades específicas da atividade e garantir maior ergonomia e controle, optou-se pela adaptação do conceito estrutural da girafa para um manipulador a vácuo, capaz de elevar e deslocar fardos de forma precisa e segura.

A estrutura foi projetada com base nos princípios da girafa hidráulica e acrescentando algumas ideias, contando com:

- Base metálica reforçada;
- Braço articulado capaz de atingir diferentes alturas de prateleiras;
- Sistema de rodízios para permitir mobilidade suave dentro do galpão;
- Ponto de fixação para o conjunto de ventosas a vácuo que realizam a sucção dos fardos.

O dimensionamento considerou o peso máximo dos fardos, fatores de segurança, altura das prateleiras e o espaço disponível para circulação interna.

O sistema de manipulação utiliza ventosas industriais conectadas a uma bomba de vácuo adequada à porosidade do material dos fardos; válvulas de segurança; mangueiras de tefalona em espiral resistentes e de fácil manutenção; sistema de controle manual para sucção e liberação da carga elevada com cremalheira, em que esse mecanismo permite que os fardos sejam erguidos sem necessidade de contato físico direto, eliminando totalmente a manipulação manual e aderindo melhor ergonomia. Esse projeto prioriza princípios ergonômicos, promovendo redução de esforços físicos e posturas inadequadas, minimização do risco de lesões por esforço repetitivo (LER), quedas e acidentes ocasionados pela má postura e movimentação dos fardos. Ambiente de trabalho alinhado às orientações da NR-17 (ERGONOMIA) e NR-12 (SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS).

Além disso, o operador trabalha em postura neutra, sem necessidade de subir sobre fardos ou prateleiras, evitando práticas inseguras comuns antes da implantação do equipamento.

A implementação do manipulador a vácuo visa melhorias significativas ao fluxo interno do galpão, onde reduz corredores excessivos de fardos empilhados, melhora a organização do layout do galpão e possibilita a realocação dos fardos com maior segurança e melhor posicionamento dos materiais. Além disso, visa diminuir acidentes em ambiente de trabalho, prezando a saúde dos trabalhadores — NR-32 (Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde).

Durante o desenvolvimento, foram considerados a capacidade máxima de carga; resistência estrutural do equipamento; força excessiva na ponta do braço do manipulador e seleção das ventosas mais eficientes para o material dos fardos. Onde escolhemos os materiais para a composição do projeto.

2.1 Fundamentação Teórica: O Projeto

- Tubo quadrado de $\varnothing 10\text{cm}$ e 3 mm espessura (Aço 1020)
- Tubo quadrado de $\varnothing 8\text{cm}$ e 3 mm espessura (Aço 1020)
- Tubo metálico 6 cm por 3 cm de 3 mm espessura (Aço 1020)
- Tubo 1" (Aço 1020)
- Tubo quadrado $\varnothing 20\text{ mm}$ (Aço 1020)
- Barra quadrada $\varnothing 14\text{ mm}$ (Aço 1020)
- Barra chata 25mm/4mm (Aço 1020)
- Rodas simples (70x80) (Nylon)
- Roda para paleteira de (160x50) (Nylon)

- Bomba de vácuo elétrica ou manual
- Mangueiras de tecalon em espiral
- Ventosas de $\varnothing = 8$ cm
- Perfil U de 10 cm largura 4 cm de altura e 4 mm de espessura (Aço 1020)
- Chapa de aço 1020 de $\frac{1}{4}$ " de espessura (Aço 1020)
- Cremalheira 2.20 m de comprimento

O (Aço 1020) foi escolhido para maioria dos materiais deste projeto devido sua ótima forjabilidade e soldabilidade. O aço 1020 é um aço carbono de baixa dureza e baixa liga, composto tipicamente por carbono (C): $\sim 0,18-0,23\%$, manganês (Mn): $\sim 0,30-0,60\%$ e pequenas quantidades de enxofre, fósforo e silício. Ele faz parte da família dos chamados aços de médio e baixo carbono, amplamente utilizados na engenharia mecânica. Como é um aço de baixo carbono, não tende a formar microestruturas frágeis durante a soldagem e isso permite, processos MIG/MAG, TIG ou eletrodo revestido, baixo risco de trincas e não requer pré-aquecimento na maioria dos casos. É um dos aços mais acessíveis do mercado, tornando-o vantajoso para produção em massa, protótipos, como no nosso caso e até mesmo em peças que não exigem propriedades mecânicas extremas. Embora não seja um aço de alta resistência, atende muito bem aplicações como eixos leves, pinos, suportes, flanges, parafusos de baixa resistência e componentes estruturais não críticos.

Esses fatores em relação ao aço 1020, asseguram que o equipamento cumpra sua função com eficiência e segurança, atendendo às necessidades práticas da empresa e ao projeto escolhido.

E assim como o Aço 1020, também escolhemos os materiais Nylon e Tecalon em espiral, por ambos serem materiais que possui excelente resistência à tração e ao impacto, sendo adequado para peças estruturais leves.

O Nylon em específico é ideal para partes móveis e não exige lubrificação constante. Tornando-se ótimo para protótipos que têm contato constante ou movimento repetitivo e absorve ruídos e vibrações, melhorando conforto e durabilidade da máquina.

O Tecalon com a forma espiralada permite flexão sem colapsar a estrutura, perfeito para mangueiras em movimento e projetos de braços articulados. Em protótipos, os cabos geralmente ficam expostos. O tecalon em espiral evita emaranhamento, melhora a estética e a ergonomia, reduz risco de acidentes e quebras e, por final permite proteção e funcionalidade sem encarecer um protótipo.

Ao desenvolver a ideia em relação ao problema da empresa, buscamos uma solução prática, eficiente e totalmente alinhada aos princípios da mecânica aplicada, ergonomia e segurança do trabalho, com a função de criar um manipulador a vácuo para aderir à superfície do fardo e permitir seu levantamento e transporte, com o sistema de elevação mecânico.

2.2 Montagem

Ao realizar a medição do Metalon para base, foram utilizadas duas peças de 350x50x20 para as laterais e duas peças de 170x50x20 para base central, que unem as laterais e apoiam a base da coluna na parte superior e a roda direcional na parte inferior. Para a coluna foi usada a base reciclada da sucata da Etec, que foi uma base retangular de 55x90x06 mm, um rolamento, uma arruela 5/8, uma peça de 5cm de barra de ferro, duas peças de metalon de 530x20x20 e 300x25x25, uma peça de metalon 800x15x15, uma peça de ferro 3/16 de 30mm e dois parafusos.

Para movimentação do protótipo, usou duas rodas de silicone, uma roda direcional e 07 arrebites tipo pop. Foram também utilizadas as ferramentas furadeira, esmerilhadeira com disco de corte, broca 04mm, martelo, serra para metal, lima para acabamento e lixa 200, inversora de solda e eletrodos revestidos de 2.5mm, arrebiteadeira, esquadro, trena e extensão para ferramentas.

No processo de fabricação: foram efetuados os cortes das peças sobre as marcações das medidas, logo em seguida a dobra em 90° 800x15x15 para formar um apoio para o braço lateral e feito um entalhe em uma das extremidades da peça de 300x25x25 para encaixar no 90° da outra peça, foram feitos os furos no metalon para os parafusos de travamento e o rebite para dobra do braço usando o ferro de 3/16 batido a frio, logo em seguida foi realizada a união das peças da base por meio da solda com eletrodo revestido, certificando com o esquadro o alinhamento das peças da base. Feita a marcação dos furos para a colocação das rodas, furos feitos com uma broca de aço rápido de 04mm, depois dos furos prontos, foi realizada a colocação da base para o giro da coluna com pontos de solda. Com a serra de ferro, a lima, esmerilhadeira e a lixa 200, encerramos os ajustes e a limpeza das peças.

Na montagem do protótipo com a base virada de cabeça para baixo foram posicionadas as bases das rodas nos furos e rebitadas com a rebitadeira. Logo em seguida, desvirada a base o rolamento foi colocado na base que já estava no lugar com um rebaixo para encaixá-lo. A barra de ferro foi soldada na coluna principal e a arruela de 5/8 foi usada como espaçador e apoio para a montagem do metalon para o efeito telescópio. Depois de tudo ajustado e finalizado foi feita a desmontagem dos componentes e a pintura do protótipo.

2.3 Plano de Manutenção

Nosso plano de manutenção será dividido em três etapas, sendo elas:

- **Manutenção Preventiva:** ações realizadas periodicamente para evitar falhas.
- **Manutenção Corretiva:** ações realizadas após a identificação de defeitos.

Preventiva

Inspeção Estrutural com periodicidade mensal.
Ações:

- Verificar trincas nas soldas da base e da coluna.
- Verificar empenamento dos metalons.
- Checar folgas ou desalinhamentos na estrutura telescópica.
- Conferir fixação dos rebites e parafusos.

Lubrificação

Periodicidade da lubrificação a cada 30 dias.

Componentes e ações:

- Aplicar graxa no rolamento da coluna.
- Lubrificar articulação do braço lateral.

Sistema de Rodas

Periodicidade de verificação do sistema de rodas deve ser quinzenal.

Ações:

- Verificar desgaste das rodas de nylon.
- Testar livre rotação da roda direcional.
- Checar aperto dos parafuso.

Sistema telescópico

Periodicidade do sistema telescópico deve ser mensal.

Ações:

- Inspecionar folgas excessivas.
- Verificar alinhamento durante o movimento.
- Limpar o interior dos tubos para evitar travamentos.
- Aplicar leve camada de lubrificante seco ou óleo fino.

•

Sistema de Vácuo / Ventosas

Periodicidade do sistema de vácuo deve ser mensal.

Ações:

- Verificar rachaduras nas ventosas.
- Conferir estanqueidade das mangueiras.
- Testar funcionamento da bomba de vácuo.

Pintura e Proteção Anticorrosiva

Periodicidade da pintura e da proteção anticorrosiva deve ser realizada a cada 6 meses

Ações:

- Inspecionar riscos e pontos de corrosão.
- Realizar retoques com tinta anticorrosiva quando necessário.

Plano de Manutenção Corretiva Acionada quando forem encontrados:

- Trincas em soldas.
- Folga excessiva no rolamento da coluna.
- Ruptura de rebites ou parafusos frouxos.
- Travamento do telescópio.
- Desgaste excessivo das rodas.
- Deformações por impacto.

Ações corretivas possíveis:

- Soldagem dos pontos afetados.
- Substituição do rolamento.
- Troca de rebites danificados.
- Reposicionamento ou troca de metalon empenado.
- Substituição de rodas desgastadas.
- Reaperto e troca de parafusos.

Componente	Periodicidade	Tipo	Atividade
Estrutura metálica	Mensal	Preventiva	Inspeção de soldas e alinhamento
Rodas	Quinzenal	Preventiva	Verificar desgaste e fixação
Rolamento da coluna	Mensal	Preventiva	Lubrificação e teste
Sistema telescópico	Mensal	Preventiva	Limpeza, ajuste e lubrificação
Ventosas/mangueiras	Mensal	Preventiva	Verificar rachaduras e vedação
Pintura	Semestral	Preventiva	Retoque anticorrosivo
Geral do protótipo	Toda ocorrência	Corretiva	Reparos e substituições

2.4 Memorial de Cálculos

Definição da carga de projeto:

O objetivo desta conta é transformar a massa real do fardo em força (peso) e aplicar um fator de segurança, definindo qual valor será usado no dimensionamento da estrutura.

Dados adotados:

- Massa máxima do fardo: $m = 10 \text{ kg}$
- Aceleração da gravidade: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Cálculo da força do peso:

$$F = m \times g$$

$$F = 10 \times 9,81$$

$$F \approx 98 \text{ N}$$

Para aumentar a segurança, adotou-se fator de segurança estrutural $FS = 2$.

Cálculo da força de projeto F_d (Força de projeto):

$$F_d = FS \times F$$

$$F_d = 2 \times 98$$

$$F_d \approx 196 \text{ N}$$

Essa força $F_d \approx 196 \text{ N}$ é a que será utilizada para dimensionar o braço, a coluna e os demais componentes estruturais.

Cálculo do momento fletor no braço $M_{\max}$ (Momento fletor máximo) e L (comprimento do braço):

Esta conta serve para descobrir o momento fletor (torque) que atua na base do braço quando a carga está na ponta, pois é esse momento que gera a flexão do perfil.

Dados adotados:

- comprimento do braço até o centro da carga: $L = 1,30 \text{ m}$
- força de projeto na ponta: $F_d \approx 196 \text{ N}$

Fórmula do momento fletor máximo ($M_{\max}$) em viga em balanço com carga na ponta:

$$M_{\max} = F_d \times L$$

$$\text{Substituindo: } M_{\max} = 196 \times 1,30 \quad M_{\max} \approx 254,8 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Arredondando:

$$M_{\text{máx}} \approx 255 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Para usar em milímetros:

$$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$M_{\text{máx}} = 255 \text{ N}\cdot\text{m} = 255\,000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Este é o momento fletor que será usado nas contas de tensão de flexão.

Propriedades geométricas do metalon do braço

Aqui o objetivo é calcular área, momento de inércia e módulo resistente do tubo retangular (metalon) escolhido para o braço, pois esses valores indicam sua capacidade de resistir à flexão.

Dados do metalon:

- altura externa: $h = 60 \text{ mm}$
- largura externa: $b = 30 \text{ mm}$
- espessura: $t = 3 \text{ mm}$

Cálculo das dimensões internas:

$$h_i = h - 2 \times t$$

$$h_i = 60 - 2 \times 3$$

$$h_i = 60 - 6$$

$$h_i = 54 \text{ mm}$$

$$b_i = b - 2 \times t$$

$$b_i = 30 - 2 \times 3$$

$$b_i = 30 - 6$$

$$b_i = 24 \text{ mm}$$

Área externa da seção:

$$A_{\text{ext}} = b \times h$$

$$A_{\text{ext}} = 30 \times 60$$

$$A_{\text{ext}} = 1800 \text{ mm}^2$$

Área interna (vazado):

$$A_{\text{int}} = b_i \times h_i$$

$$A_{int} = 24 \times 54$$

$$A_{int} = 1296 \text{ mm}^2$$

Área efetiva de aço do tubo:

$$A = A_{ext} - A_{int}$$

$$A = 1800 - 1296$$

$$A = 504 \text{ mm}^2$$

Para a flexão vertical, é preciso o momento de inércia em relação ao eixo horizontal que passa pelo centro da seção. Usa-se a expressão para retângulo maciço e depois faz a diferença externo menos interno.

Momento de inércia de um retângulo maciço:

$$I = (b \times h^3) / 12$$

Momento de inércia externo:

$$I_{ext} = (b \times h^3) / 12$$

$$I_{ext} = (30 \times 60^3) / 12$$

$$60^3 = 60 \times 60 \times 60 = 216\,000$$

$$I_{ext} = (30 \times 216\,000) / 12$$

$$I_{ext} = 6\,480\,000 / 12$$

$$I_{ext} = 540\,000 \text{ mm}^4$$

Momento de inércia interno:

$$I_{int} = (b_i \times h_i^3) / 12$$

$$h_i^3 = 54 \times 54 \times 54 = 157\,464$$

$$I_{int} = (24 \times 157\,464) / 12$$

$$24 \times 157\,464 = 3\,779\,136$$

$$I_{int} = 3\,779\,136 / 12$$

$$I_{int} \approx 314\,928 \text{ mm}^4$$

Momento de inércia do tubo I (Momento de inércia) e c (Fibra extrema):

$$I = I_{ext} - I_{int}$$

$$I \approx 540\,000 - 314\,928$$

$$I \approx 225\,072 \text{ mm}^4$$

Distância da fibra extrema até o centro (metade da altura):

$$c = h / 2$$

$$c = 60 / 2$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

Módulo resistente da seção W (Módulo resistente):

$$W = I / c$$

$$W \approx 225\,072 / 30$$

$$W \approx 7\,502 \text{ mm}^3$$

Verificação da tensão de flexão no braço

Agora a intenção é comparar a tensão que aparece no braço, devido ao momento calculado, com a capacidade do material (aço 1020).

Dados:

- momento fletor máximo: $M_{\text{máx}} = 255\,000 \text{ N}\cdot\text{mm}$
- módulo resistente da seção: $W \approx 7\,502 \text{ mm}^3$

Fórmula da tensão normal de flexão sigma (Tensão de flexão):

$$\sigma = M_{\text{máx}} / W$$

Cálculo:

$$\sigma \approx 255\,000 / 7\,502$$

$$\sigma \approx 34 \text{ MPa (aproximadamente)}$$

Para o aço 1020, o limite de escoamento típico é da ordem de 350 MPa, a tensão calculada de 34 MPa é muito menor que esse valor.

Conclusão: o metalon 60 x 30 x 3 mm é suficiente para resistir ao momento de 255 N·m com ampla margem de segurança.

Verificação da flecha (deformação) do braço

Neste cálculo foi realizado para saber o quanto o braço “entorta” (flecha) com a carga máxima, para avaliar conforto, visibilidade e segurança do operador. Modelo: viga em balanço com carga concentrada na ponta.

Dados:

- força de projeto: $F_d = 196 \text{ N}$

- comprimento do braço: $L = 1300 \text{ mm}$
- módulo de elasticidade do aço 1020: $E = 205\,000 \text{ N/mm}^2$
- momento de inércia do metalon: $I = 225\,072 \text{ mm}^4$

Fórmula da flecha máxima na ponta:

$$\Delta_{\text{Max}} = (F_d \times L^3) / (3 \times E \times I)$$

Cálculo de L^3 :

$$L^3 = 1300 \times 1300 \times 1300$$

$$L^3 \approx 2\,197\,000\,000 \text{ mm}^3 \text{ (} 2,197 \times 10^9 \text{ mm}^3 \text{)}$$

Cálculo do numerador:

$$F_d \times L^3 \approx 196 \times 2\,197\,000\,000$$

$$F_d \times L^3 \approx 430\,000\,000\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^3 \text{ (} 4,30 \times 10^{11} \text{)}$$

Cálculo do denominador:

$$3 \times E \times I = 3 \times 205\,000 \times 225\,072$$

$$\text{Primeiro } 205\,000 \times 225\,072 \approx 46\,138\,000\,000$$

$$\text{Depois } 3 \times 46\,138\,000\,000 \approx 138\,414\,000\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \text{ (} 1,38 \times 10^{11} \text{)}$$

Agora a flecha:

$$\Delta_{\text{max}} \approx 430\,000\,000\,000 / 138\,414\,000\,000$$

$$\Delta_{\text{max}} \approx 3,1 \text{ mm}$$

Uma flecha de aproximadamente 3,1 mm em um braço de 1300 mm corresponde a algo em torno de $L/420$, valor considerado pequeno em muitas aplicações práticas.

Conclusão: a deformação do braço sob carga máxima é pequena e não compromete a ergonomia nem a segurança.

Verificação simplificada da coluna

O objetivo aqui é justificar que a coluna, por ter seção maior que o braço, trabalha com tensões menores que as já verificadas.

A coluna é feita em tubo quadrado de aço 1020, com dimensões superiores às do metalon do braço. O mesmo momento fletor aproximado de $255 \text{ N} \cdot \text{m}$ chega à base da coluna.

Se fosse calculado o módulo resistente da coluna (W_c) e aplicada a fórmula:

$$\sigma_{\text{coluna}} = M_{\text{máx}} / W_c$$

como W_c é maior que o módulo resistente do braço, a tensão na coluna será menor que 34 MPa.

Conclusão: se o braço já foi aprovado com grande folga, a coluna, sendo mais robusta, também atende com segurança.

Estabilidade da base e capacidade das rodas

Neste cálculo o objetivo é verificar, de forma qualitativa, se o equipamento tende a tombar e se as rodas suportam o peso.

Estabilidade contra tombamento;

O mesmo momento de 255 N·m gerado pelo braço com carga na ponta atua tentando girar o conjunto. A base foi projetada com rodas afastadas entre si e braços de apoio que aumentam a distância entre o centro de gravidade e a linha de tombamento.

O momento resistente da base é dado, em termos gerais, por:

Momento resistente $\approx$ Peso total x metade da largura da base.

Considerando o peso do próprio equipamento (estrutura em aço) mais a carga de 10 kg e a largura útil da base (distância entre rodas), o momento resistente é maior que 255 N·m, garantindo que o manipulador não tombe nas condições normais de uso.

Verificação das rodas

As rodas usadas (70 x 80 mm e 160 x 50 mm em nylon) são componentes comerciais de paleteiras, normalmente projetadas para suportar cargas de centenas de quilos.

O peso total do manipulador mais a carga de 10 kg fica bem abaixo da capacidade típica desses rodízios. Assim, a tensão nas rodas e nos eixos é muito menor que a máxima permitida pelos fabricantes.

Dimensionamento simplificado das ventosas e do vácuo

Aqui a intenção é garantir que a força de sucção das ventosas seja suficiente para segurar o fardo de 10 kg com um bom fator de segurança.

Dados:

- massa do fardo: $m = 10 \text{ kg}$
- força do peso: $F \approx 98 \text{ N}$
- fator de segurança para o sistema de vácuo: $FS_v = 3$
- diâmetro da ventosa: $d = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$

Força de sucção de projeto

Fórmula:

$$F_v = F_{Sv} \times F$$

Cálculo:

$$F_v = 3 \times 98$$

$$F_v \approx 294 \text{ N}$$

Esta é a força mínima total de sucção que o sistema deve garantir.

Área de contato de uma ventosa

Diâmetro da ventosa: 0,08 m $\rightarrow$ raio = 0,04 m

Área do círculo:

$$A = 3,14 \times \text{raio}^2$$

$$A = 3,14 \times (0,04)^2$$

$$A \approx 3,1416 \times 0,0016$$

$$A \approx 0,0050 \text{ m}^2$$

Pressão mínima de sucção necessária (caso conservador com uma ventosa)

Fórmula:

$$P_{\min} = F_v / A$$

Cálculo:

$$P_{\min} = 294 / 0,0050$$

$$P_{\min} \approx 58\,800 \text{ Pa}$$

Convertendo para MPa:

$$1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$$

$$P_{\min} \approx 0,059 \text{ MPa}$$

Em termos de bar (aproximadamente):

$$0,059 \text{ MPa} \approx 0,59 \text{ bar de vácuo relativo}$$

Bombas de vácuo industriais simples conseguem valores de vácuo maiores que 0,59 bar de diferença em relação à atmosfera, ou seja, conseguem atender a essa exigência. Se forem usadas duas ventosas, cada uma precisa fornecer metade da força, o que reduz ainda mais a pressão mínima exigida em cada ventosa e aumenta a segurança contra queda da carga.

2.5 Orçamentos e componentes

Tubo quadrado de ø10cm e 3 mm espessura	R\$569,05	Açofer
Tubo quadrado de ø8cm e 3 mm espessura	R\$237,50	Açofer
Tubo metalon 6 cm por 3 cm de 3 mm espessura	R\$ 124,74	Açofer
Tubo 1"	R\$ 55,11	Açofer
Tubo quadrado ø20 mm	R\$ 44,49	Açofer
Barra quadrada ø14 mm	R\$49,90	Açofer
Barra chata 25mm/4mm	R\$53,08	Açofer
Rodas simples (70x80)	R\$149,90	Mercado livre
Roda para paleteira de (160x50)	R\$132,00	Mercado livre
Bomba de vácuo elétrica ou manual	R\$ 314,10	Mercado livre
Mangueiras de tecalon espiral	R\$64,90	Mercado livre
Ventosas de ø8 cm	R\$53,74	Mercado livre
Perfil U de 10 cm largura 4 cm de altura e 4 mm de espessura	R\$49,90	Açofer
Chapa de aço 1020 de 1/4 de espessura	R\$56,05	Loja do Mecânico
Cremalheira 2.20m de comprimento	R\$ 115,00	Tecmaf
Parafuso rosca parcial 20mm corpo liso 120mm ½	R\$19,04	Tecmaf
Parafuso rosca parcial de 20 mm corpo liso 90 mm	R\$21,21	Tecmaf
Engrenagem para cremalheira	R\$57	Mercado livre
Graxa comum	R\$72,90	Amazon
Rolamento	R\$11,88	Mercado Livre
	Total:	R\$ 2.251,49

TABELA DE ORÇAMENTOS

3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste estudo evidenciam que o desenvolvimento de um manipulador a vácuo acoplado a uma coluna giratória representa uma solução eficaz e coerente para os problemas identificados no galpão da empresa analisada. Os achados confirmam a hipótese inicial de que a implementação de um equipamento mecânico funcional, ergonômico e seguro é capaz de reduzir significativamente o esforço físico dos colaboradores, minimizar riscos de acidentes e otimizar o fluxo operacional.

A pesquisa mostrou que a operação manual tradicional apresentava falhas graves relacionadas à postura inadequada, sobrecarga muscular, riscos de queda e baixa eficiência na movimentação dos fardos. Com o projeto proposto, verificou-se que o manipulador a vácuo possibilita a eliminação da manipulação direta das cargas, garantindo maior precisão, menor desgaste físico e um ambiente de trabalho mais seguro, em conformidade com as exigências da NR-17 e NR-12.

O desenvolvimento estrutural do equipamento, utilizando predominantemente aço 1020, demonstrou-se tecnicamente adequado devido às suas características de resistência, soldabilidade, custo reduzido e compatibilidade com aplicações mecânicas leves e médias. A escolha de nylon e tecalon em espiral complementou a construção do protótipo, proporcionando leveza, resistência ao desgaste, facilidade de movimentação e maior durabilidade das partes móveis, reforçando a versatilidade do equipamento no uso contínuo. Além disso, o projeto contribuiu para a reorganização do layout interno do galpão, possibilitando melhor distribuição dos fardos e aprimoramento do fluxo operacional. Esse aspecto, aliado à redução de retrabalhos e à padronização dos movimentos, destaca o impacto positivo da solução na produtividade e na segurança ocupacional. Portanto, conclui-se que o manipulador a vácuo atende plenamente aos objetivos inicialmente estabelecidos, oferecendo uma alternativa viável, econômica e ergonomicamente eficiente para a movimentação de fardos. Sua aplicação não apenas melhora as condições de trabalho e a prevenção de acidentes, mas também contribui para a modernização das práticas internas da empresa, confirmando a relevância e a pertinência da proposta apresentada.

Referências

WEBIOGRAFIA

<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-32-atualizada-2022-2.pdf> 10/07/2025

<https://sacchelli.com.br/aco-sae-1020/> 12/07/2025

<https://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020> 12/07/2025

<https://old.foundrygate.com/upload/artigos/ACOS%20E%20FERROS%20FUNDIDOS%20-%20Vicente%20Chiaverini.pdf> 16/07/2025

<https://pt.scribd.com/document/426914499/NBR-6215-2011-pdf> 20/07/2025

<https://abceram.org.br/revista-materiais-research/> 01/08/2025

<https://sacchelli.com.br/classificacao-sae-dos-acos-entenda-como-funciona/> 07/08/2025

<https://www.paraflex.com.br/produto/tubo-tecalon-poliamida-6/> 14/08/2025

<https://www.compostos.com.br/blog/nylon> 16/08/2025

<https://www.obramax.com.br/tubo-quadrado-aco-3mm-10x10cm-6m-lansa-89835403/p?srsId=AfmBOoq8Hcw-OD3fcrExVSsO0HzLMY3Y6JQZNcIW5hDf7H94C3SiUnR4> 20/08/2025

https://www.serralheria.com.br/produto/tubo-retangular-40-x-30mm-4cmx3cm-metalon-180859?utm_source={utm_source}&gad_source=4&gad_campaignid=23003919572&gbraid=0AAAAApz5ud1hVOg3mO1aqHAW76E1_s3Q6&gclid=EAiaIQobChMIjsykgs6TkQMVRVRIAB3ZHAYGEAQYAiABEgJZgPD_BwE 02/09/2025

<https://www.gravia.com/tubo-industrial-redondo-gravia-sae-bq-6000mm/p?idsku=320&srsId=AfmBOork4r6O-hADXEvm6A1uwtRhsDZCcDqGNYYYJ5yHcQ4sH9-VLpHOPqcs> 06/09/2025

https://www.mercadolivre.com.br/ferro-quadrado-em-barra-12-x-12-x-500-mm-aco-1020/up/MLBU2297558553?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id:MLB3619155015 07/09/2025

<https://www.protolabs.com/materials/nylon/> 11/09/2025

<https://www.mercadolivre.com.br/barra-ferro-chato-254mm-x-317mm--1x18-gerdau-50cm-8un/up/MLBU1452062452> 20/09/2025

https://www.pecasdepaleteiras.com.br/kit-roda-simples-70x80-paleteira-byg-compact-crolamentos/up/MLBU1410095803?pdp_filters=category%3AMLB1893%7Cseller_id%3A445047955%7Citem_id%3AMLB1798525468 23/09/2025

https://www.lojadomecanico.com.br/produto/240265/43/368/mangueira-espiral-em-poliamida-de-15-metros-14-pol-fortgpro-fg0001mang/153/?srsltid=AfmBOoqnfPWG_aPeQTnjqSULLxMMTZ0GMHJnSvk3EEzfY2OC47pQfI7xY1I 03/10/2025

https://www.mercadolivre.com.br/ventosa-ventosa-forte-80mm/p/MLB2036022840?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id%3AMLB4179485839&from=gshop 08/10/2025

https://loja.tecmaf.com.br/cremalheira-helicoidal-modulo-15-barra-2-metros?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&srsltid=AfmBOorEJRbBnQ04T7tBj_c-UsAzs0qVTTqv9Q9YvHKd0GCV2mWkPYeHTEw 08/10/2025

https://www.mercadolivre.com.br/barra-de-viga-u-simples-100-x-40mm---1-peca-de-1-metro/up/MLBU1157387216?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&pdp_filters=item_id:MLB3849836796 10/10/2025

https://www.magazineluiza.com.br/parafuso-sextavado-20x120mm-aco-8-8-parcial-grossa-ma-touro/p/ck1c0k4cc6/fs/prfs/?seller_id=atlasferramentaseparafusos&srsltid=AfmBOorMsGL5Da3JrSE7A23F5GNq3RnfNk8yU7M_g78F6DeeO1bbTkiwoq0 15/10/2025

https://www.mercadolivre.com.br/engrenagem-dente-reto-sem-cubo-modulo-25-z12-dentes/up/MLBU794517629?pdp_filters=item_id:MLB2714895966&matt_tool=92013967&matt_internal_campaign_id=&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=22603531565&matt_ad_group_id=184689824807&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=758138322203&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=5477313595&matt_product_id=MLB2714895966&matt_product_partition_id=2425720730334&matt_target_id=pla-2425720730334&ccq_src=google_ads&ccq_cmp=22603531565&ccq_net=g&ccq_plt=gp&ccq_med=pla&gad_source=4&gad_campaignid=22603531565&gbraid=0AAAAAD93qcD5t3fjX6voQhrUdE7w2OkQu&gclid=EAIaIQobChMIgceshNSTkQMVVVIAB0s9g_UEAQYASABEGLzd_D_BwE 18/11/2025

<https://produtos.solucoesindustriais.com.br/plasticos-borracha/nylon-plasticos/solucoes-industriais/tubo-de-nylon---tecalon> 18/11/2025

<https://compraco.com.br/blogs/especificacoes-do-aco/propriedades-do-aco-sae-aisi-1020-resistencia-ao-escoamento-do-aco-carbono-c1020-equivalente?srsltid=AfmBOopPH2r1IoN3SvYcjlYm9yKfLFli-jSINjQF3zUPbj8rMyf-nqe-24/11/202>

ANEXOS

TABELA DE TORQUE E TENSÃO DE PARAFUSOS

Tabela de Torque e Tensão de Parafusos

	3,6		5,6		6,9	
	Tensao	Torque	Tensao	Torque	Tensao	Torque
Rosca Métrica	N	N.m	N	N.m	N	N.m
M2x0,4	204	0,122	378	0,163	731	0,314
M2,3x0,4	407	0,195	544	0,261	1049	0,504
M2,6x0,45	525	0,284	701	0,379	1353	0,731
M3x0,5	726	0,443	966	0,589	1863	1,136
M3,5x0,6	971	0,68	1294	0,906	2501	1,751
M4x0,7	1255	1,004	1677	1,342	3226	2,581
M5x0,8	2059	1,977	2736	2,627	5286	5,075
M6x1	2903	3,426	3864	4,56	7453	8,795
M7x1	4236	5,549	5649	7,4	10885	14,26
M8x1,25	5315	8,238	7090	10,99	13680	21,2
M10x1,25	8473	16,52	11278	21,99	21771	42,45
M12x1,75	12356	28,67	16475	38,22	31773	73,71
M14x2	16965	45,81	22653	61,16	43639	117,8
M16x2	23340	70,02	31078	93,23	60016	180
M18x2,5	28341	94,94	37853	126,8	72961	244,4
M20x2,5	36481	135	48641	180	93849	347,2
M22x2,5	45601	182,4	60801	243,2	117189	468,8
M24x3	52563	231,3	70019	308,1	135331	595,5
M27x3	69235	344,1	92280	458,6	177990	884,6
M30x3,5	84043	462,2	112286	617,6	215745	1187
M33x3,5	104931	634,8	139744	845,5	269682	1632
M36x4	123073	817,2	164261	1091	316753	2103
M39x4	148080	1059	197113	1409	380496	2721
M42x4,5	169164	1304	225552	1739	435413	3357
M45x4,5	198093	1656	264778	2214	509943	4263
M48x5	222610	1992	297140	2659	573686	5134
M52x5	267720	2573	356960	3430	688423	6616
M56x5,5	308908	3188	411877	4251	793354	8187
M60x5,5	360883	3962	481504	5287	927704	10186
M64x6	407955	4769	544266	6362	1049306	12266
M68x6	467836	5778	668338	8254	1203008	14857
M72x6	531574	6916	759392	9880	1366905	17783
M76x6	599377	6813	856253	9733	1541255	17519
M80x6	671244	9612	958921	13732	1726057	24717

	8,8		10,9		12,9	
	Tensao	Torque	Tensao	Torque	Tensao	Torque
Rosca Métrica	N	N.m	N	N.m	N	N.m
M2x0,4	863	0,371	1216	0,523	1461	0,628
M2,3x0,4	1245	0,598	1755	0,842	2099	1,008
M2,6x0,45	1598	0,863	2246	1,213	2697	1,456
M3x0,5	2206	1,346	3109	1,896	3727	2,273
M3,5x0,6	2962	2,073	4168	2,918	5001	3,501
M4x0,7	3825	3,06	5374	4,299	6453	5,162
M5x0,8	6257	6,007	8806	8,454	10591	10,17
M6x1	8836	10,43	12405	14,64	14906	17,59
M7x1	12945	16,96	18191	23,83	21771	28,52
M8x1,25	16230	25,16	22751	35,26	27360	42,41
M10x1,25	25791	50,29	36284	70,75	43541	84,9
M12x1,75	37657	87,36	52956	122,9	63547	147,4
M14x2	51681	139,5	72667	196,2	87279	235,7
M16x2	71196	213,6	100027	300,1	120131	360,4
M18x2,5	86494	289,8	121602	407,4	146118	489,5
M20x2,5	111305	411,8	156415	578,7	187796	694,8
M22x2,5	139245	557	195642	782,6	234378	937,5
M24x3	160338	705,5	225552	992,4	270662	1191
M27x3	210842	1048	296159	1472	355980	1769
M30x3,5	255952	1408	359902	1979	432471	2379
M33x3,5	319695	1934	449142	2717	539363	3263
M36x4	374612	2487	527595	3503	632526	4200
M39x4	451104	3225	633506	4530	760992	5441
M42x4,5	515827	3977	725688	5595	870826	6714
M45x4,5	604087	5050	850232	7108	1019886	8526
M48x5	679597	6082	956144	8557	1147372	10269
M52x5	815909	7841	1147372	11026	1377827	13241
M56x5,5	940453	9705	1323891	13663	1588669	16395
M60x5,5	1098339	12060	1544540	16959	1853447	20351
M64x6	1245438	14559	1750478	20463	2098612	24533
M68x6	1425787	17608	2005013	24762	2406016	29714
M72x6	1620036	21077	2278175	29639	2733810	35567
M76x6	1826672	20764	2568758	29199	3082510	35039
M80x6	2045697	29294	2876762	41195	3452115	49434

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO MATERIAL AÇO 1020

Composição química

Composição Química do Aço AISI SAE 1020 (%)				
AISI	C	Mn	P(≤)	S (≤)
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050

Propriedades físicas

Ponto de fusão: 1515 °C (2760 °F)

Densidade do aço 1020: 7,87 g/cm3 (0,0361 lbs/in3)

Condutividade térmica do material 1020	
Valor (W/m·K)	Temperatura, °C (°F)
51,9	0 (32)
51,0	100 (212)
48,9	200 (392)

RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO AÇO CARBONO 1020

Resistividade Elétrica do Aço Carbono 1020	
Valor ($\mu\Omega\cdot m$)	Temperatura, °C (°F)
0,159	0 (32)
0,219	100 (212)
0,292	200 (392)

TABELA PROPRIEDADE MECÂNICA

Propriedade Mecânica 	Valor/Faixa
Resistência à tração	420-470 MPa
Limite de escoamento	350-380 MPa
Alongamento na tração	Até 25%
Dureza (típica)	15,5 HRC (ou 50-55 HRC após tratamentos)

TABELA CORRENTE X TENSÃO SOLDA

Espessura da Chapa	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade do Arame (m/min)
1.0 mm	40 - 60	15 - 16	4 - 6
1.5 mm	60 - 80	16 - 17	6 - 8
2.0 mm	80 - 110	17 - 19	8 - 11
3.0 mm	110 - 150	19 - 21	11 - 15
4.0 mm	150 - 180	21 - 23	15 - 18
5.0 mm	180 - 220	23 - 25	18 - 22
6.0 mm	220 - 260	25 - 28	22 - 26