

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

BERNARDO CAMPOS SOARES NOVAES

BRUNO GUERCIO AUGUSTO

GUSTAVO SACARAMUCI LOURENÇO DA SILVA

HENRIQUE MIRABILE

JOÃO VICTOR ZAMBINI

JONATAN MANSO LOPES DE OLIVEIRA

LUÍSA NAGIB JORGE BARBIERI

RODRIGO ALVES CRICCI

E-CAB: mecanismo acionador da bomba de basculamento de cabines.

São Bernardo do Campo

2022

BERNARDO CAMPOS SOARES NOVAES
BRUNO GUERCIO AUGUSTO
GUSTAVO SACARAMUCI LOURENÇO DA SILVA
HENRIQUE MIRABILE
JOÃO VICTOR ZAMBINI
JONATAN MANSO LOPES DE OLIVEIRA
LUÍSA NAGIB JORGE BARBIERI
RODRIGO ALVES CRICCI

E-CAB: mecanismo acionador da bomba de basculamento de cabines.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Orientado pelo Prof. Mohammad Hossein
Shaterzadeh Yazdi.

São Bernardo do Campo

2022

BERNARDO CAMPOS SOARES NOVAES
BRUNO GUERCIO AUGUSTO
GUSTAVO SACARAMUCI LOURENÇO DA SILVA
HENRIQUE MIRABILE
JOÃO VICTOR ZAMBINI
JONATAN MANSO LOPES DE OLIVEIRA
LUÍSA NAGIB JORGE BARBIERI
RODRIGO ALVES CRICCI

E-CAB: mecanismo acionador da bomba de basculamento de cabines.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Comissão julgadora

Orientador e presidente

Examinador (1)

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

30 de Maio de 2022

Este trabalho é dedicado à todos os que apoiaram no desenvolvimento do mesmo e aos que acreditam no potencial de produção de ciência e tecnologia do Brasil, ajudando na construção de uma sociedade mais justa.

AGRADECIMENTOS

O grupo E-cab gostaria de agradecer primeiramente à Deus pelo dom da vida e saúde de cada integrante, aos nossos pais pelo apoio incondicional durante todos os anos da graduação, ao apoio dos professores do Centro Universitário FEI desde o ciclo básico e ao engenheiro Fernando Lee Jr. e laboratorista Rogério de Paula Silva da Mercedes-Benz do Brasil pelas orientações e auxílio na ideação e desenvolvimento do projeto.

RESUMO

A partir de 2006, o Contran (Conselho Nacional de Trânsito) definiu novas limitações de comprimento total que os veículos pesados devem seguir. Com isso, as montadoras apostaram nos caminhões do tipo “cara-chata” para obedecer à legislação, assim a estrutura passou a ficar localizada em cima do motor.

O processo de basculamento consiste em realizar o tombamento da cabina para acesso ao motor, onde acopla-se uma das extremidades da alavanca à bomba de basculamento do caminhão e realiza-se movimentos cíclicos de subida e descida na outra. Esse procedimento ainda é feito de forma manual na maioria das oficinas e montadoras e demanda um esforço físico considerável do operador. O sistema de basculamento automatizado já está presente no mercado em modelos mais recentes e topo de gama, onde apresenta um custo maior, além de ser fixo ao caminhão.

Assim surge a ideia do E-cab, que tem a proposta de desenvolver um equipamento externo ao caminhão que seja compacto, de fácil manuseio e que realize o basculamento automático da cabina de forma rápida e segura. O desenvolvimento consiste na realização de estudos teóricos e de um protótipo que virá a ser testado experimentalmente.

Palavras-chave: Basculamento. Cabina. Caminhão.

ABSTRACT

Since 2006, the CONTRAN (National Transit Council) defined new length limitation for trucks. So, automobile manufacture bet on the “cara-chata” design to fit in the new legislation, so the cabin is now located above the engine.

The tipping process consists in toppling the cabin to access the engine, where one of the ends of the lever attaches to the truck’s tipping pump and on the other end, a cyclical up and down movement is performed. This procedure is still done manually in most of the workshops and automakers, and it demands a considerable amount of effort from the operator. The automated tipping system is already on the market present on the latest and top-of-the-range models, where it has a higher cost, in addition to being fixed to the truck.

That’s how the idea of the E-Cab arises, which has the proposal to develop an equipment external to the truck that is compact, easy to handle and that performs the automatic tilting of the cabin quickly and safely. The development consists of carrying out theoretical studies and a prototype that will be tested experimentally.

Keywords: Tipping. Cabin. Truck.

LISTA DE SIMBOLOS

A	[mm ²] Área da seção
A_c	[mm ²] Área do cilindro
A_p	[mm ²] Área de avanço do cilindro pneumático
A_h	[mm ²] Área de retorno do cilindro pneumático
\overline{AB}	[mm] Comprimento da barra de basculamento na condição de extensão mínima da haste
\overline{AC}	[mm] Comprimento da barra de basculamento na condição de extensão máxima da haste
\overline{AD}	[mm] Comprimento mínimo da barra de basculamento
\overline{BC}	[mm] Comprimento da haste do atuador pneumático
CS	[-] Coeficiente de segurança
D_h	[mm] Diâmetro da haste
D_p	[mm] Diâmetro do pistão
F	[N] Força genérica
$F_{Atuador}$	[N] Força atuador
F_{Basc}	[N] Força de basculamento
I	[mm ⁴] Momento de inércia da seção
l_b	[m] Comprimento barra de basculamento padrão
l_i	[mm] Comprimento instantâneo do corpo
l_0	[mm] Comprimento inicial do corpo
L_h	[m] Comprimento da haste
N	[-] Fator de correção em função das condições de trabalho
n	[-] Quantidade de amostras
N'	[-] Fator de correção
N_M	[N] Força resultante da morsa
$N1$	[N] Reação vertical de apoio na roda dianteira
$N1_x$	[N] Reação horizontal de apoio na roda dianteira
$N2$	[N] Reação vertical de apoio nas rodas traseiras
$N2_x$	[N] Reação horizontal de apoio nas rodas traseiras
M_{Exp}	[Nm] Momento experimental

M_M	[Nm]	Momento resultante da morsa
P_t	[MPa]	Pressão de trabalho do cilindro
P_1	[MPa]	Pressão em um ponto genérico
P_2	[MPa]	Pressão em um ponto genérico
Q	[mm ³]	Momento estático da área da seção transversal em relação ao ponto estudado
$Q_{Avanço}$	[m ³ /s]	Vazão de avanço
$Q_{Retorno}$	[m ³ /s]	Vazão de retorno
S	[-]	Desvio padrão da amostra
$t_{Avanço}$	[s]	Tempo de avanço
$t_{Retorno}$	[s]	Tempo de retorno
t	[mm]	Largura da seção transversal
U_r	[J/m ³]	Módulo de resiliência
F_V	[N]	Força cortante
$V_{Avanço}$	[m ³]	Volume de avanço
$V_{Retorno}$	[m ³]	Volume de retorno
V_1	[m ³]	Volume em um ponto genérico
V_2	[m ³]	Volume em um ponto genérico
$\sum F_X$	[N]	Somatória das forças horizontais
$\sum F_Y$	[N]	Somatória das forças verticais
$\sum M_{N1}$	[Nm]	Somatória dos momentos em relação a roda dianteira
\bar{x}	[-]	Valor médio
ϵ	[%]	Deformação
σ	[MPa]	Tensão
σ_c	[MPa]	Tensão calculada
σ_e	[MPa]	Tensão de escoamento
σ_p	[MPa]	Tensão de projeto
τ	[MPa]	Tensão de cisalhamento
φ	[-]	Fator de correção para diferentes carregamentos
θ_{AB}	[°]	Ângulo máximo de subida da operação da bomba hidráulica de basculamento

θ_{AC}	[°]	Ângulo máximo de descida de operação da bomba hidráulica de basculamento
θ_{OP}	[°]	Ângulo de operação da bomba hidráulica de basculamento
θ_{AD}	[°]	Ângulo de referência da bomba hidráulica de basculamento
$\theta_{OP\ FAB}$	[°]	Ângulo máximo de operação da bomba hidráulica de basculamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da velocidade...	20
Figura 2: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da confiabilidade.	21
Figura 3: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da mobilidade..	21
Figura 4: Rodovia simples.....	26
Figura 5: Rodovia dupla.....	26
Figura 6: Rodovia múltipla.....	27
Figura 7: Estrada asfaltada.....	27
Figura 8: Mapa da malha rodoviária brasileira.....	28
Figura 9: Avaliação da condição da malha rodoviária brasileiras por estado.....	30
Figura 10: Como as dimensões são coletadas.....	30
Figura 11: Caminhão não-articulado.....	31
Figura 12: Exemplo de caminhão-trator e semi-reboque.....	31
Figura 13: Exemplo de caminhão e reboque articulado.....	31
Figura 14: Exemplo de caminhão com mais de duas unidades articuladas.....	32
Figura 15: Diferença entre os modelos “cara-chata” (esquerda) e “bicudo” (direita)....	32
Figura 16: Caminhão com capô levantado.....	33
Figura 17: Caminhão “Accelo” sendo basculamento por barra de torção.....	34
Figura 18: Caminhão com sua cabina basculada, com o motor destacado.....	34
Figura 19: Sistema de basculamento elétrico do caminhão Scania S450.....	35
Figura 20: Seletor da direção de basculamento.....	35
Figura 21: Direção do processo de basculamento.....	36
Figura 22: Tipo de bomba de basculamento.....	36
Figura 23: Bomba de basculamento com engate de pino sextavado.....	37
Figura 24: Componentes do sistema de basculamento de caminhões.....	37
Figura 25: Trava hidráulica.....	38
Figura 26: Esquema de um atuador pneumático linear de simples efeito com retorno por mola.....	43
Figura 27: Representação simbólica segundo a norma DIN/ISO 1929.....	43
Figura 28: Esquema de um atuador pneumático linear de duplo efeito.....	43
Figura 29: Representação simbólica segundo a norma DIN/ISO 1929.....	44

Figura 30: Modelo de atuador pneumático sem haste.	44
Figura 31: Modelo de atuador pneumático com haste.	45
Figura 32: Vista em corte de um atuador pneumático com haste.	46
Figura 33: Critério de seleção pela força do atuador.	46
Figura 34: Modelo simplificado da bomba de basculamento e haste do atuador.	47
Figura 35: Lei dos senos	48
Figura 36: Modelo de viga engastada.	49
Figura 37: tamanho do diâmetro interno.	50
Figura 38: Comprimentos de haste padronizados.	51
Figura 39: Informações de catálogo do compressor selecionado.	52
Figura 40: Especificações do atuador selecionado.	52
Figura 41: Filtro, regulador e lubrificador pneumático.	54
Figura 42: Filtro de ar.	54
Figura 43 - Lubrificador pneumático.	55
Figura 44 - Regulador de pressão	55
Figura 45 - Representação simplificada de uma Válvula Direcional 3/2 vias liberando diferentes possibilidades de fluxo.	56
Figura 46 - Ilustração de um acionamento por rolete.	56
Figura 47: Válvula acionada por piloto.	57
Figura 48 - Válvula reguladora de fluxo bidirecional	57
Figura 49 - Válvula de retenção com mola (fluxo livre)	57
Figura 50 - Válvula de retenção com mola (fluxo bloqueado).	58
Figura 51 - Funcionamento da Válvula de alívio	58
Figura 52: Decomposição de Sistema	61
Figura 53: Sistema Pneumático E-Cab.	62
Figura 54: Componentes do diagrama pneumático.	62
Figura 55: Gráfico de tensão-deformação genérico.	64
Figura 56: Determinação do limite de escoamento.	65
Figura 57: Representação do limite de resistência a tração.	66
Figura 58: Representação das tensões axiais.	68
Figura 59: Tensão axial média.	68
Figura 60: Deformação mecânica através da flexão.	69
Figura 61: Modelo 3D.	70

Figura 62: Simplificação 2D do mecanismo.	70
Figura 63: Sistema e principais componentes.	72
Figura 64: E-Cab em posição de operação.	73
Figura 65: Dimensões básicas da estrutura.	74
Figura 66: Morsa de fixação.	75
Figura 67: Guias de posicionamento da morsa.	76
Figura 68: Atuador pneumático.	77
Figura 69: Acoplamento barra-atuador.	78
Figura 70: Barra de acionamento da bomba.	78
Figura 71: Conjunto atuador, barra e bomba.	79
Figura 72: Sistema pneumático de acionamento.	79
Figura 73: Rodízios.	80
Figura 74. Suporte do sistema pneumático.	81
Figura 75: Deformação total no subsistema.	82
Figura 76: Tensão normal no item (5).	82
Figura 77: Tensão de cisalhamento no item (6).	83
Figura 78: Tensão de cisalhamento do componente (1)	83
Figura 79: Subsistema da estrutura tubular com região furada.	84
Figura 80: Deformação máxima total do subsistema.	85
Figura 81: Deformação total da região 2.	85
Figura 82: Tensão normal na região 2.	85
Figura 83: Guias de movimentação da morsa.	86
Figura 84: Deformação total no subsistema.	87
Figura 85: Tensão de cisalhamento no item (4).	87
Figura 86: Tensão normal no item (3).	88
Figura 87: Tensão de cisalhamento no item (7).	88
Figura 88: Tensão de cisalhamento no item (8).	89
Figura 89: Rodízio dianteiro.	90
Figura 90: Deformação total.	90
Figura 91: Tensão de cisalhamento no item (4).	91
Figura 92: Tensão normal no item (4).	91
Figura 93: Sistema de basculamento	92
Figura 94: Deformação total.	93

Figura 95: Tensão normal no item (3).	93
Figura 96: Tensão equivalente de Von-Misses no item (2).	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tipo de veículos em circulação no Brasil.	22
Gráfico 2: Histórico de emplacamento de caminhões no Brasil.	23
Gráfico 3: Participação dos Emplacamentos por subsegmento.	24
Gráfico 4: Produção mensal de caminhões no Brasil.	25
Gráfico 5: Histórico de exportação de caminhões no primeiro semestre de 2020 e 2021.	25
Gráfico 6: Investimento do governo federal nas rodovias em R\$ bilhões.	29
Gráfico 7: Dados referentes ao E-Commerce brasileiro no ano de 2020.	39
Gráfico 8: Curva F_{Basc} vs curso do atuador.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Subsegmentos de caminhões.	22
Tabela 2: Divisão da extensão dos tipos de rodovias por regiões brasileiras.....	28
Tabela 3: Comprimentos e PTB máximos por tipo de veículo.....	31
Tabela 4: Tipo de acionamento a ser selecionado.	40
Tabela 5: Método de locomoção do equipamento a ser selecionado.	41
Tabela 6: Fator de correção de força para diferentes carregamentos.	47
Tabela 7: Limites operacionais da bomba de basculamento utilizada na Mercedes-Benz.	48
Tabela 8: Seleção das dimensões básicas do atuador.	51
Tabela 9: Simbologia dos componentes pneumáticos e hidráulicos com uma breve descrição.	59
Tabela 10: Lista de materiais utilizados no sistema pneumático E-Cab	63
Tabela 11: Descrição dos itens da figura (63).	72
Tabela 12: Componentes do sistema	81
Tabela 13: Componentes do subsistema.....	84
Tabela 14: Componentes do sistema.	86
Tabela 15: Descrição dos componentes do sistema.	90
Tabela 16: Descrição dos componentes do sistema.	92
Tabela 17: Lista de materiais e equipamentos cotados.....	95
Tabela 18: Lista de operações utilizadas.	95

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	A IMPORTÂNCIA DOS CAMINHÕES	20
1.2	O MERCADO DE CAMINHÕES	21
1.2.1.	Desempenho nos resultados	22
1.2.2.	A malha rodoviária e sua ligação com os caminhões	26
1.3.	REGULAMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS PESADOS	30
1.4.	BASCULAMENTO.....	33
1.4.1.	Mecanismo e processo de basculamento	33
1.4.2.	Sistema de basculamento	36
1.4.3.	Dificuldades encontradas.....	38
1.5.	OPORTUNIDADES DE MERCADO.....	38
1.6.	PROPOSTA DO E-CAB	40
1.6.1.	Proposta	40
1.6.2.	Matriz de decisão.....	40
1.6.3.	Perfil do consumidor	42
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	42
2.1.	PNEUMÁTICA	42
2.1.1.	Atuadores.....	42
2.1.2.	Tratamento do ar comprimido	53
2.1.3.	Válvulas de Controle Direcional	55
2.1.4.	Controladores de fluxo	57
2.1.5.	Válvulas reguladoras de pressão.....	58
2.1.6.	Tubulação	58
2.1.7.	Simbologia pneumática	59
2.1.8.	Diagrama do sistema pneumático.....	61

2.1.9.	Componentes utilizados.....	63
2.2.	MATERIAIS METÁLICOS.....	64
2.2.1.	Limite de resistência ao escoamento (LRE).....	65
2.2.2.	Limite de resistência a tração (LTR).....	65
2.2.3.	Resiliência	66
2.2.4.	Variação nas propriedades.....	67
2.2.5.	Fator de segurança em projetos	67
2.3.	RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS	68
2.3.1.	Tensão axial.....	68
2.3.2.	Tensão de cisalhamento.....	69
2.3.3.	Flexão	69
2.3.4.	Análise dos esforços internos	69
2.4.	PROTÓTIPO MODELADO.....	71
2.4.1.	Sistema completo.....	72
2.4.2.	Componentes	73
2.5.	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	80
2.5.1.	Introdução.....	80
2.1.1.	Simplificações adotadas	81
2.1.2.	Subconjuntos	81
2.1.2.	Conclusão	94
2.6.	FEI-40	94
2.6.1.	Recursos materiais.....	95
2.6.2.	Recursos Humanos e serviços internos	95
3.	CONCLUSÃO.....	95
4.	REFERÊNCIAS.....	97
5.	ANEXO A – FEI 40	101

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo que realize o basculamento de cabinas de caminhão de maneira automática dando ao operador do equipamento a responsabilidade de montar, ligar, desligar e desmontar o equipamento.

Para alcançar este objetivo, o grupo irá realizar um estudo teórico visando o desenvolvimento técnico do equipamento e irá elaborar um exemplar que terá sua funcionalidade testada.

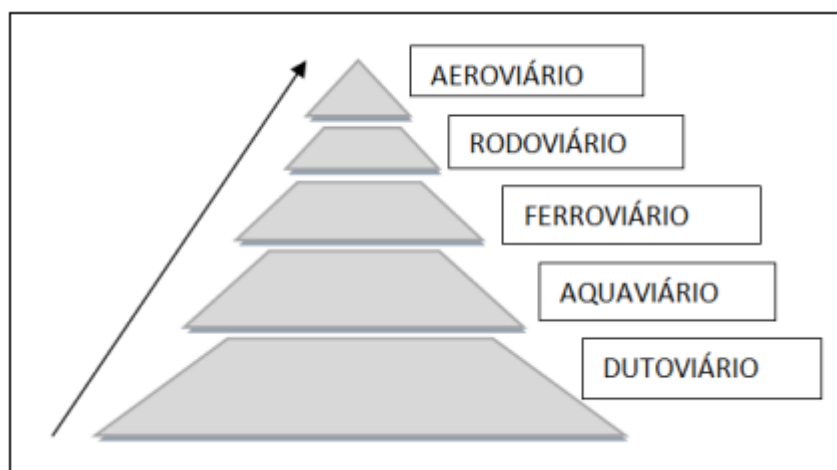
1.1 A IMPORTÂNCIA DOS CAMINHÕES

Em um país de dimensões continentais como o Brasil, torna-se indispensável o uso de veículos para transporte de cargas e passageiros, onde o modal rodoviário tem a maior participação na matriz de transportes. Estima-se que 61% das mercadorias são transportadas por meio rodoviário, além do modal corresponder a 95% do transporte de passageiros (CNT, 2019). O setor logístico é altamente dependente deste modal, no entanto, o Brasil apresenta 213.000 km de rodovias e estradas pavimentadas sendo que este valor representa apenas 12,4% da extensão total brasileira (CNT, 2019).

O interesse em utilizar este modal vem desde a década de 20, onde os governos da época deram os primeiros passos ao incentivo de construção de rodovias no país. Já na década de 50, no governo do então presidente, Juscelino Kubitschek, foi responsável pela ampliação da malha rodoviária com intuito de atratividade para empresas do segmento automotivo se instalarem no país.

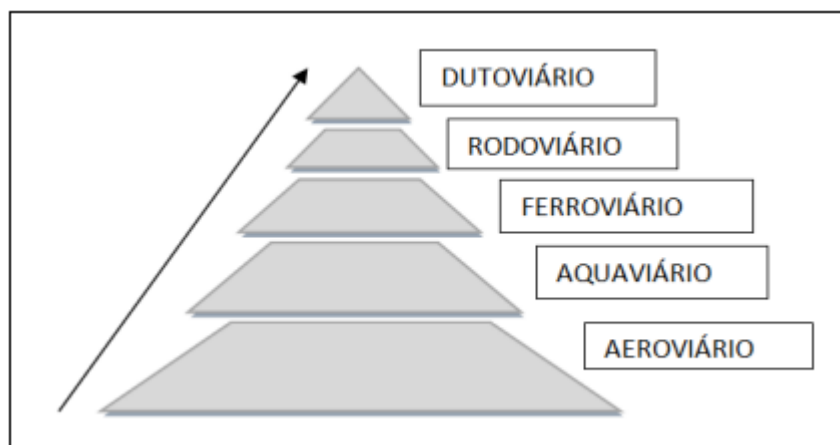
Essa situação fomentou a utilização dos caminhões como um modal de transporte de carga, devido a sua versatilidade e confiabilidade, apresentado nas figuras a seguir. Essa confiabilidade só foi possível pelo desenvolvimento das estradas e rodovias, visto que diversos locais remotos só podem ser acessados por meio delas.

Figura 1: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da velocidade.



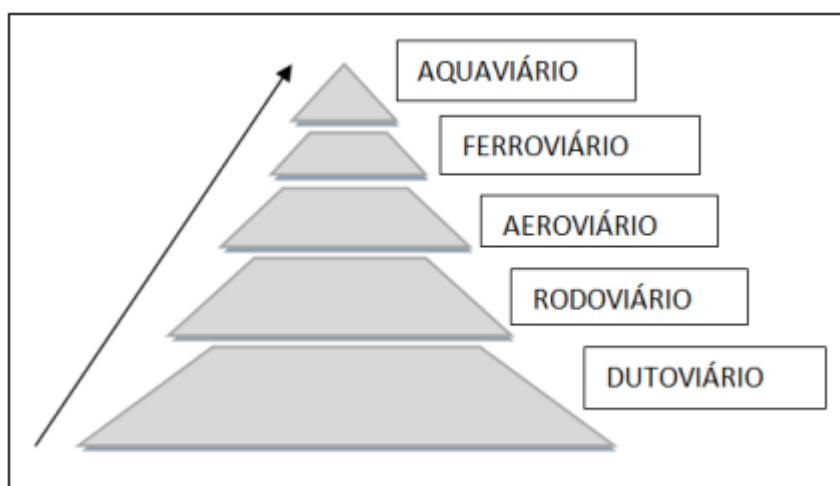
Fonte: Souza, (2013).

Figura 2: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da confiabilidade.



Fonte: Souza, (2013).

Figura 3: Comparação dos modais de transporte brasileiro em função da mobilidade.



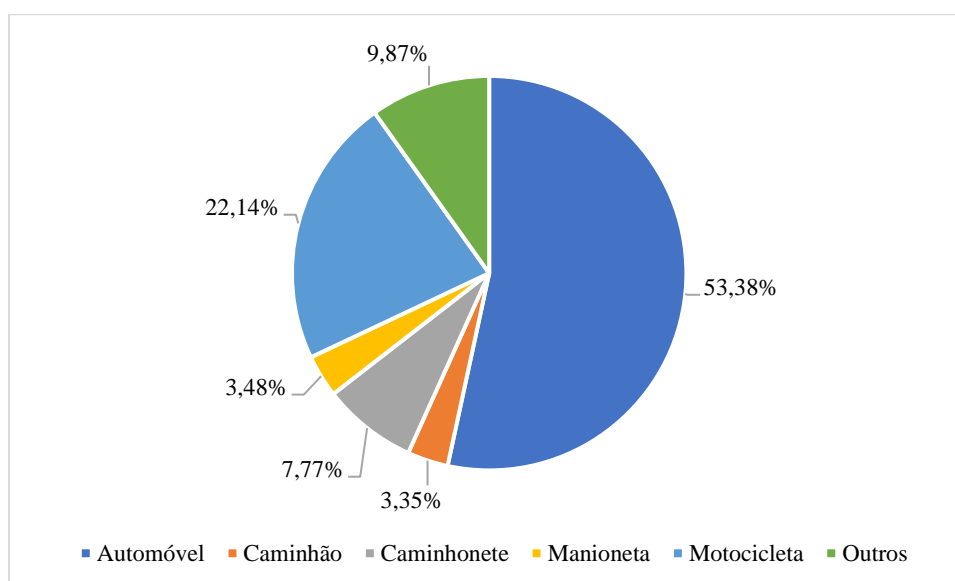
Fonte: Souza, (2013).

A venda de veículos, em especial os de carga, está diretamente relacionado com o momento que a economia do Brasil se encontra por estar ligado ao consumo, produção e exportação. Segundo os estudos de Gonçalves (2016), são elencadas algumas variáveis que influenciam a venda de caminhões, dentre elas: preço, confiança do comprador, PIB e concessão de crédito pelo BNDES. Como mais relevantes, o autor conclui que o PIB dos serviços, mesmo representando 75% do PIB brasileiro, têm menos influência nas vendas frente ao PIB da agropecuária, segmento esse que demanda fundamentalmente o uso de caminhões.

1.2 O MERCADO DE CAMINHÕES

Segundo dados do Ministério da Infraestrutura, o Brasil tem uma frota estimada de 110,2 milhões de veículos que se dividem em 21 categorias, onde as mais significativas em volume são apresentadas no gráfico a seguir.

Gráfico 1: Tipo de veículos em circulação no Brasil.



Fonte: Ministério das Cidades, DENATRAN (2021).

Segundo dados da entidade, cerca de 3,6 milhões de veículos da frota circulante se denominam “Caminhão” ou “Caminhão-Trator”. De acordo com a ABNT - NBR9762:2005 e o Código de Trânsito Brasileiro (2008), define-se Caminhão como “veículo automotor complementado com equipamento veicular que o torna apto a desempenhar os trabalhos de transporte a que se destina” e Caminhão-Trator como “veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outro veículo”. Ainda assim, o DENATRAN define os seguintes subsegmentos baseados no PBT (Peso Bruto Total), como ilustrado a seguir.

Tabela 1: Subsegmentos de caminhões.

Categoria	PBT (toneladas)
Semi-Leve	3,5t < PBT < 6t
Leve	6t ≤ PBT < 10t
Médio	10t ≤ PBT < 15t
Semi-Pesado	PBT ≥ 15t e PBTC < 40t
Pesado	PBT ≥ 15t e PBTC ≥ 40t

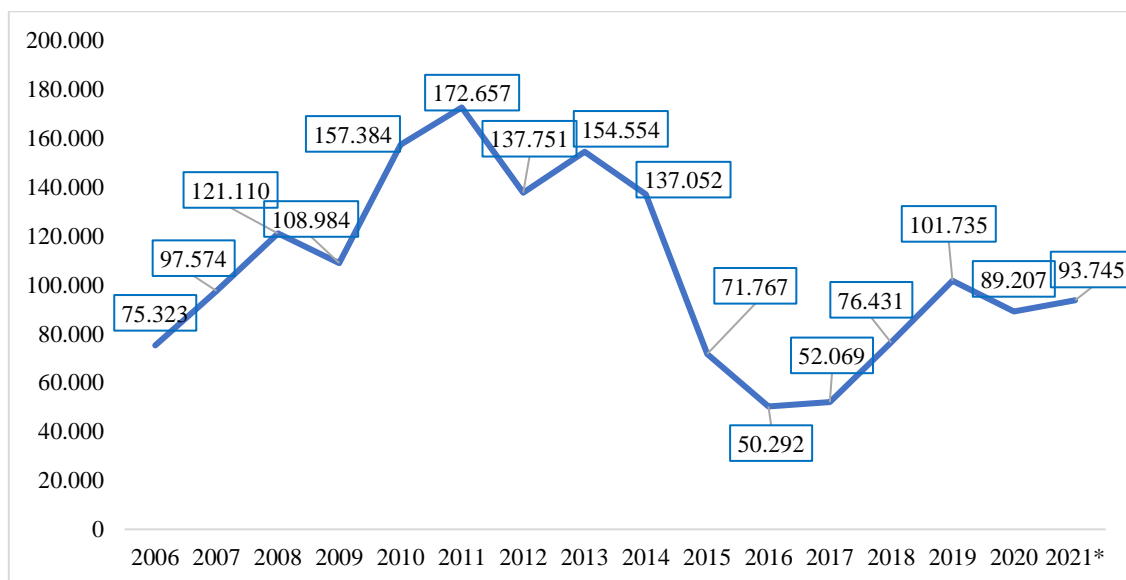
Fonte: Ministério do Meio Ambiente, (2013).

1.2.1. Desempenho nos resultados

Mesmo em um cenário desafiador, de crise econômica e sanitária em que o mundo se encontrou a partir de meados de 2020, o momento negativo refletiu inversamente no mercado de veículos de carga. Segundo dados da FENABRAVE, o mercado de

caminhões obteve em maio de 2021 um aumento na venda de caminhões de 140,43% comparado ao mesmo período de 2020, onde aconteceu o primeiro grande impacto da pandemia da Covid-19 no Brasil. Até setembro de 2021, o mercado já registra alta de 49,87% frente a 2020 fechado, o que representa um mercado ascendente e com expectativa de fechar o ano em 127,6 mil unidades vendidas (FENABRAVE, 2021).

Gráfico 2: Histórico de emplacamento de caminhões no Brasil.

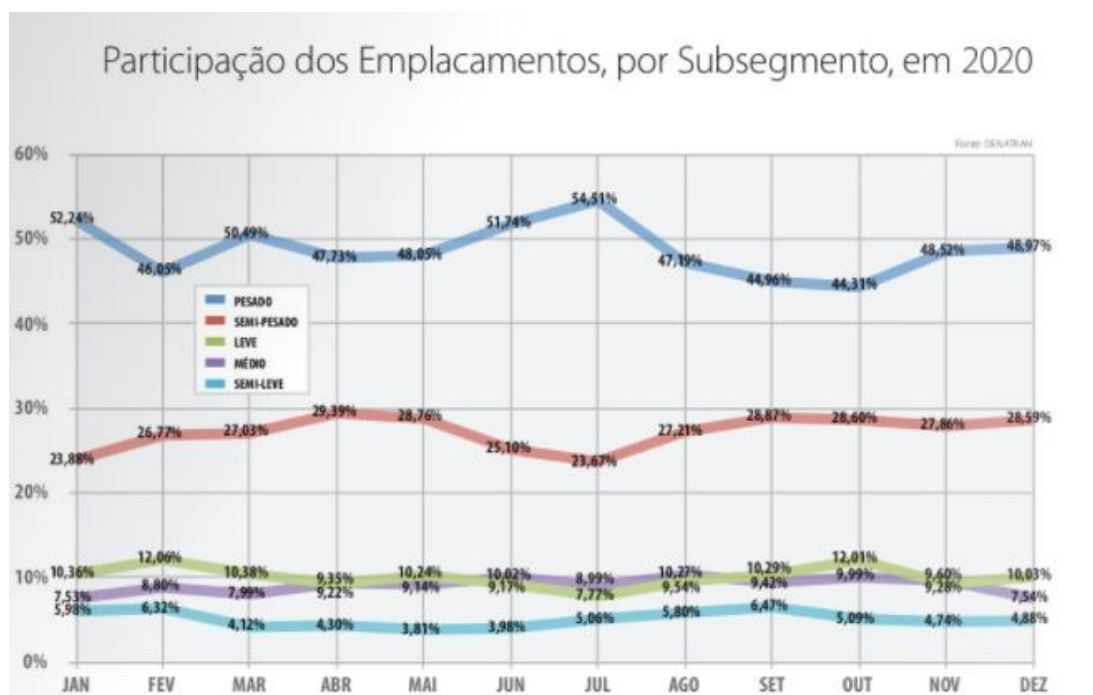


Fonte: FENABRAVE, (2021).

Dentre os fatores do sucesso, podemos elencar o advento de setores como agronegócio e mineração (fortalecidos pela desvalorização do real frente ao dólar e o “boom das commodities”), além das “bolhas de consumo” demandadas pelo e-commerce e de insumos básicos no momento pandêmico como álcool em gel, máscaras etc.

Os subsegmentos de veículos pesados e semipesados obtiveram cerca de 76% de participação de mercado no ano de 2020, como ilustrado abaixo. Destaca-se o desempenho dos semipesados que fecharam o ano de 2020 com 28,6% de participação, uma alta de 4,7% frente ao começo deste ano.

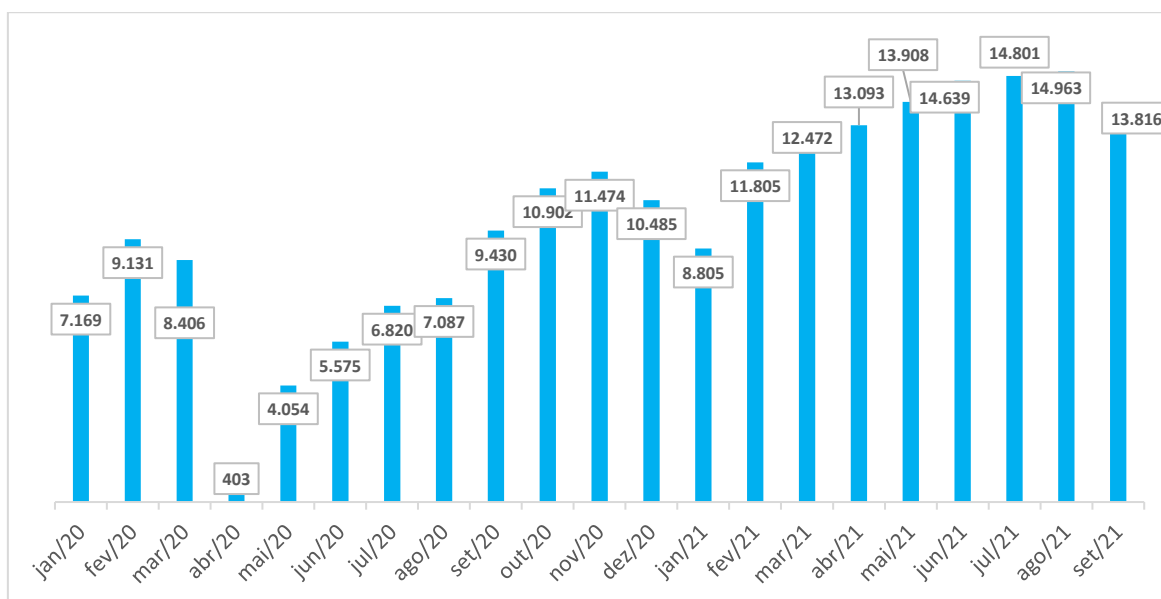
Gráfico 3: Participação dos Emplacamentos por subsegmento.



Fonte: FENABRAVE, (2021).

Ao analisar os dados a seguir, quando comparado o primeiro semestre de 2021 com o mesmo período de 2020, a produção de caminhões acumula uma alta de 115% (ANFAVEA, 2021), período esse do ano anterior onde as montadoras começaram a paralisar as linhas de produção em decorrência do avanço da pandemia de Covid-19. Ainda assim, em 2021 as empresas têm outro desafio: a de falta de componentes eletrônicos em nível global. Apesar da demanda de vendas, a produção não é tocada no mesmo ritmo pela falta de chips eletrônicos produzidos na Ásia. Chamada no mercado de “crise dos componentes”, a falta de componentes tem atingido com maior índice a produção de veículos de passeio, onde o produto é utilizado em maior quantidade, porém tem deixado suas marcas também na produção de veículos pesados, apresentados no gráfico a seguir.

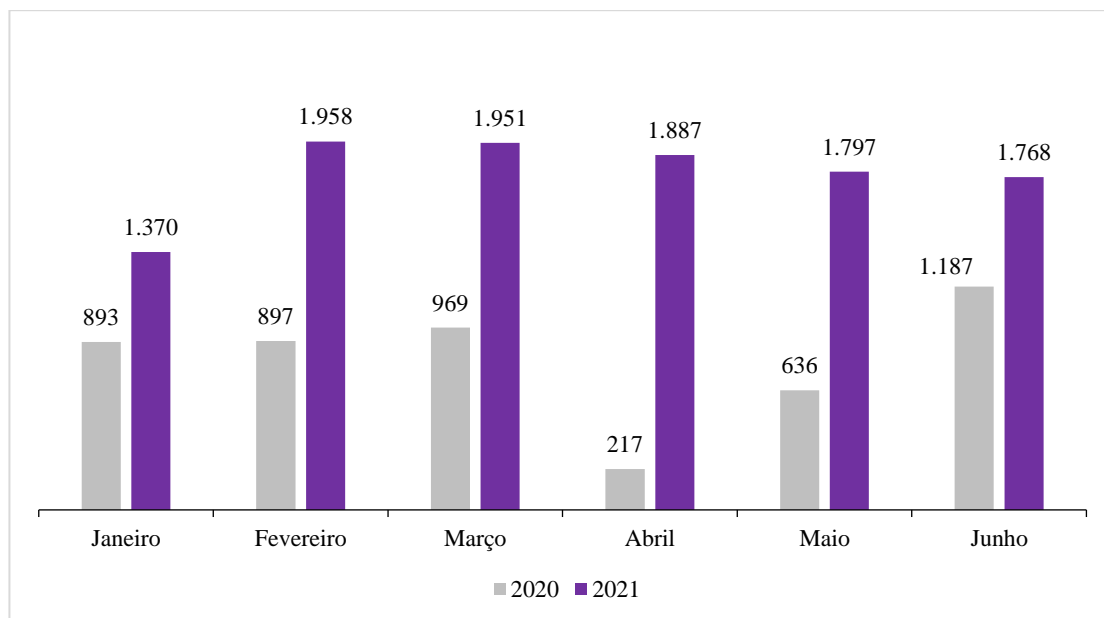
Gráfico 4: Produção mensal de caminhões no Brasil.



Fonte: FENABRAVE, (2021).

As fabricantes exportaram até junho de 2021 cerca de 10,7 mil unidades. Na comparação com março de 2020 a alta é de 101%, pois naquele mês os embarques foram bastante afetados pela pandemia de Covid-19. Como ilustrado no gráfico (5), no primeiro trimestre de 2021 foram exportados 5,3 mil caminhões, 123,6% a mais que o mesmo período do ano anterior.

Gráfico 5: Histórico de exportação de caminhões no primeiro semestre de 2020 e 2021.



Fonte: CNT, (2021).

1.2.2. A malha rodoviária e sua ligação com os caminhões

As rodovias são caracterizadas por serem vias de alta velocidade e asfaltadas, podendo apresentar três tipos de configurações: rodovias simples, rodovias duplas e rodovias múltiplas. Enquanto as estradas são caracterizadas por serem vias mais simples, podendo ou não ser asfaltadas, por apresentar uma concepção mais simples elas não são projetadas para comportar o tráfego de muitos veículos.

Figura 4: Rodovia simples.



Fonte: Anba, (2013).

Figura 5: Rodovia dupla.



Fonte: Estradas, (2014).

Figura 6: Rodovia múltipla.



Fonte: R7, (2019).

Figura 7: Estrada asfaltada.



Fonte: Mobilidadesampa, (2020).

Atualmente o Brasil apresenta aproximadamente 1,7 milhão de km de estradas e rodovias, e como citado no tópico 1, apenas 230.000 km são pavimentados. Sua manutenção é distribuída entre as esferas governamentais (federal, estadual e municipal) e pelo setor privado (concessionárias).

As rodovias são divididas da seguinte forma:

- Rodovias federais e interestaduais:

São vias que interligam grandes distâncias entre o país, podendo ligar a capital da federação até algum ponto estratégico ou pode ser classificada pela sua posição física no mapa geográfico.

- Rodovias estaduais:

São vias que interligam dois pontos dentro dos estados, muitas destas rodovias são segmentações de rodovias federais.

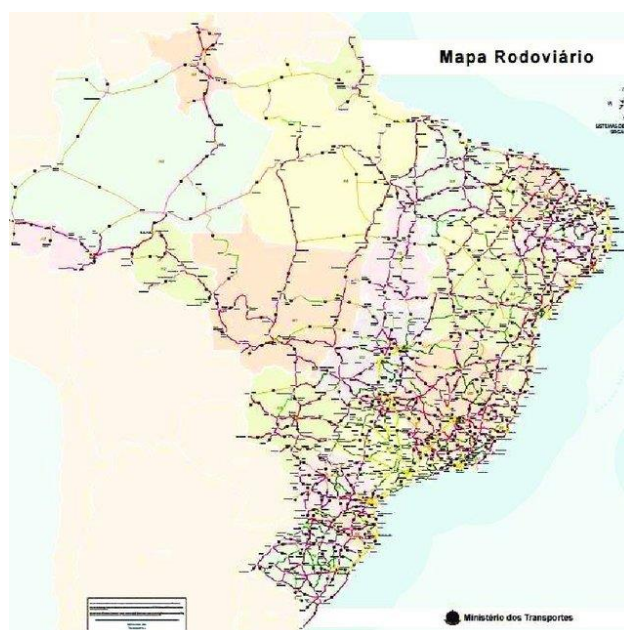
A tabela a seguir representa a divisão demográfica das rodovias pavimentadas brasileiras. Outra forma de visualizar esta informação é a partir da figura (8), sendo que esta apresenta, de uma forma visual, a menor quantidade de vias nas regiões Centro-Oeste e Norte.

Tabela 2: Divisão da extensão dos tipos de rodovias por regiões brasileiras.

Região	Rodovias Federais [Km]	Rodovias estaduais e municipais [Km]
Centro-Oeste	11463	18797
Nordeste	20392	39569
Norte	9708	12681
Sudeste	11986	50534
Sul	11821	26502
Total	65370	148083

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de CNT, (2019).

Figura 8: Mapa da malha rodoviária brasileira.



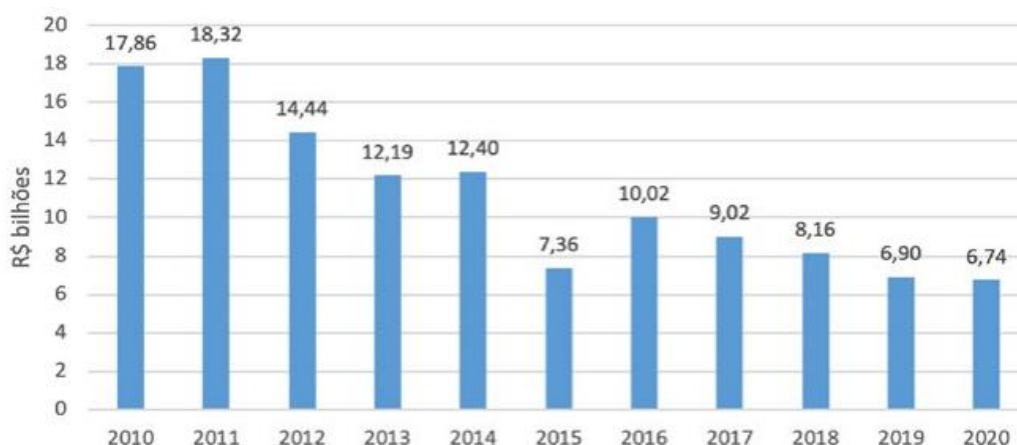
Fonte: Researchgate, (2019).

Já foi apresentado, no tópico 1.2.1, que os caminhões são muito utilizados para realizar o transporte de cargas no Brasil, nele é citado que esses veículos são muito utilizados nos setores de mineração e agronegócio. Para realizar a movimentação destes produtos até os canais de exportação, aeroportos e portos, os caminhões se tornam uma das alternativas mais escolhidas, visto que muitas dessas áreas produtivas são acessíveis apenas por estradas não pavimentadas.

No início deste tópico foi informado que a administração das rodovias e estradas brasileiras são divididas entre o setor público e privado. Para adquirir os valores necessários para suprir os gastos com a manutenção destas vias, as concessionárias utilizam de pedágios e de investimentos, públicos e privados. Enquanto o governo federal distribui os fundos para a federação e os estados.

O gráfico a seguir apresenta a redução do investimento em infraestrutura e transporte no Brasil. O investimento público federal em rodovias no ano de 2020 foi de R\$ 6,74 bilhões, 2,3% menor que o ano de 2019 que foi de R\$ 6,90 bilhões.

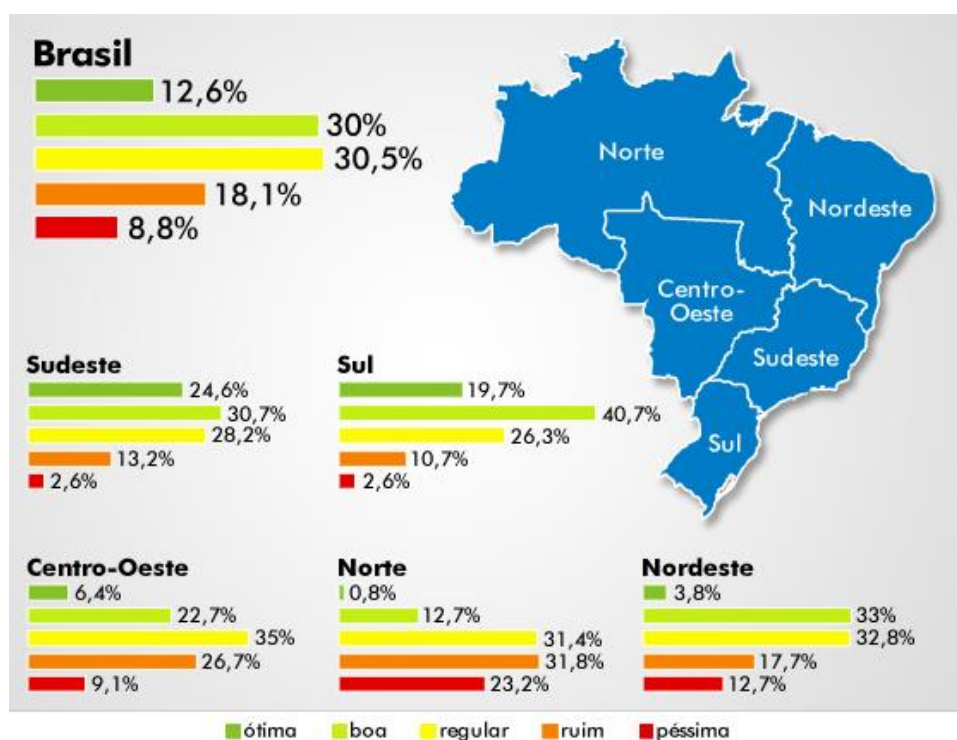
Gráfico 6: Investimento do governo federal nas rodovias em R\$ bilhões.



Fonte: CNT, (2021).

Essa redução no investimento reflete na situação das rodovias brasileiras. Mesmo que nos últimos três anos houve uma expansão de 3000km de rodovias pavimentadas, a avaliação da condição delas ainda são muito desiguais entre os estados brasileiros, como apresentado na figura abaixo.

Figura 9: Avaliação da condição da malha rodoviária brasileiras por estado.

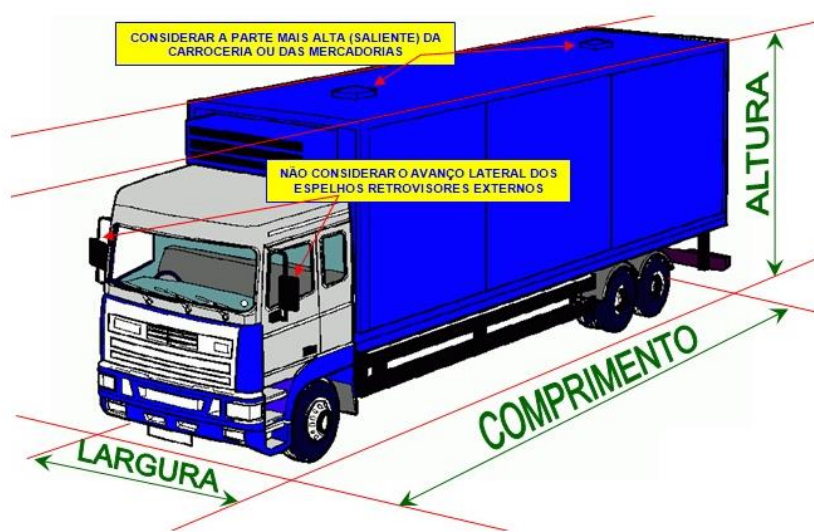


Fonte: Logisticadescompliada, (2011).

1.3.REGULAMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS PESADOS

Segundo a resolução 210 que entrou em vigor em 13/09/2006, foi determinado os limites de comprimento e peso para a circulação de veículos (CONTRAN, 2006). A forma de medição do comprimento destes veículos é apresentada na imagem abaixo.

Figura 10: Como as dimensões são coletadas.



Fonte: Ebanatw, (2018).

Tabela 3: Comprimentos e PTB máximos por tipo de veículo.

TIPO DE VEÍCULO	COMPRIMENTO MÁXIMO	PESO TOTAL BRUTO MÁXIMO (PTB)
Não articulado. Figura (11)	14,00 m	29 t
Caminhão-trator e Semirreboque articulado. Figura (12)	18,60 m	- Para comprimento < 16,00 m 45,0 t; - Para comprimento > 16,00 m 48,5 t (Modelo eixo tandem triplo); - Para comprimento > 16,00 m 53,0 t (Modelo eixos distanciados).
Caminhão e reboque articulado. Figura (13)	19,80 m	- Para comprimento < 17,50 m 45,0 t - Para comprimento > 17,50 m 57,0 t
Mais de duas unidades. Figura (14)	19,80 m	- Para Comprimento < 17,50 m 45,0 t - Para Comprimento > 19,80 m 57,0 t

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Governo Federal Brasileiro (2021).

Figura 11: Caminhão não-articulado.



Fonte: SILVA (2019).

Figura 12: Exemplo de caminhão-trator e semi-reboque.



Fonte: SILVA (2019).

Figura 13: Exemplo de caminhão e reboque articulado.



Fonte: SILVA (2019).

Figura 14: Exemplo de caminhão com mais de duas unidades articuladas.



Fonte: Superbid, (2018).

A alteração do perfil do modelo dos caminhões de “bicudos” para “cara-chata”, apresentado na figura a seguir, ocorreu devido a necessidade de otimizar o espaço dedicado ao transporte de carga.

Os caminhões “bicudos” apresentam uma estrutura similar aos de veículos de passeio, onde o motor fica posicionado a frente da cabina do motorista. Com esta nova resolução, parte do comprimento do veículo seria dedicada ao capô e motor. Já os caminhões “cara-chata” apresentam uma estrutura diferente, onde o motor fica posicionado abaixo da cabina do motorista.

Figura 15: Diferença entre os modelos “cara-chata” (esquerda) e “bicudo” (direita).



Fonte: Youtube, (2020).

Em 2020, a Mercedes-Benz anunciou o encerramento da produção do seu último modelo “bicudo”, apresentado na figura acima. Esse marco é de grande relevância para a alteração do perfil da frota dos caminhões brasileiros.

1.4. BASCULAMENTO

Após a criação da configuração “cara-chata”, fez-se necessário compactar os componentes do caminhão, como parte do sistema de transmissão, sistema de arrefecimento, turbina, entre outros. Com essa nova disposição, o acesso a estes itens se torna um problema, visto que a configuração anterior, “bicudo”, apresentava um acesso pela abertura do capô na frente do veículo.

Partes mais elementares como radiador, algumas centrais elétricas e mangueiras de arrefecimento podem ser acessadas pela frente do veículo “cara-chata”, porém outros componentes como: o cabeçote, turbocompressor, entre outros só podem ser acessados se a cabina for movimentada.

Figura 16: Caminhão com capô levantado.



Fonte: Amigosdasuaestrada, (2011).

O acesso aos componentes citados acima se torna de extrema importância na hora de realizar revisões e manutenções, modificações pelo implementador ou até mesmo medições de nível de óleo.

1.4.1. Mecanismo e processo de basculamento

As estruturas de basculamento dos caminhões atuais seguem duas vertentes e segregam-se basicamente pelo peso da cabina. Caminhões mais simples e urbanos como

os modelos Accelo (Mercedes-Benz) e 8-160 (Volkswagen) contam com uma barra de torção e o basculamento é realizado de forma manual. Para realizar a ação basta liberar uma trava e erguer o caminhão na mão.

Figura 17: Caminhão “Accelo” sendo basculamento por barra de torção.



Fonte: Autor.

Os modelos mais pesados consistem na utilização de uma bomba hidráulica, que será apresentada com mais detalhes nos tópicos posteriores. Seja o deslocamento da cabina realizado de forma elétrica ou manual, o mecanismo consiste em rotacionar a cabina no eixo horizontal de tal forma que ela se desloque para frente do caminhão, como mostrado na figura a seguir. O processo de “tombar” a cabina é chamado de basculamento.

Figura 18: Caminhão com sua cabina basculada, com o motor destacado.



Fonte: Macamp, (2019).

A diferença prática entre estes dois sistemas é simples. No basculamento elétrico o operador necessita acionar um controle para realizar o basculamento, como mostrado

na figura (19), enquanto no sistema manual o operador é responsável por realizar o içamento da cabina.

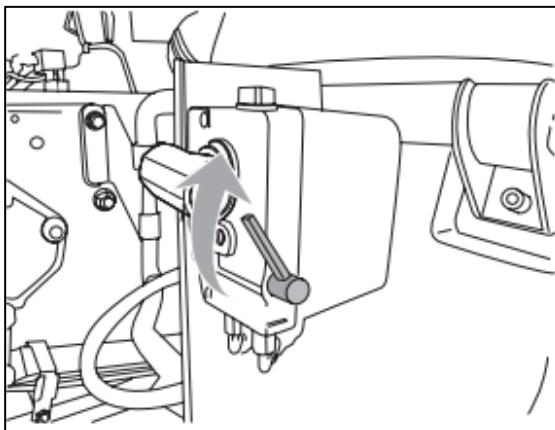
Figura 19: Sistema de basculamento elétrico do caminhão Scania S450.



Fonte: Youtube, (2020).

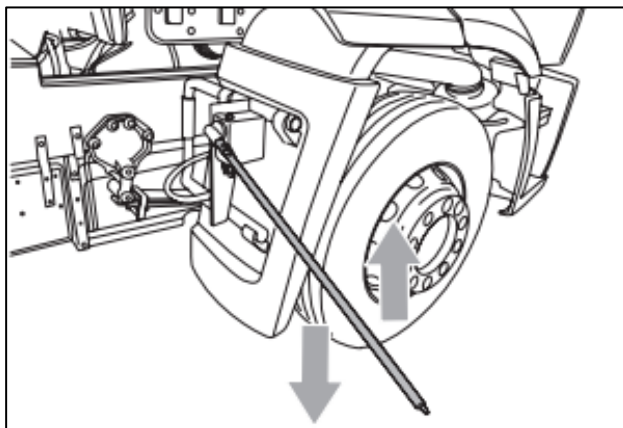
O processo de basculamento dos veículos com a ausência do sistema elétrico segue o seguinte procedimento: inicialmente posiciona-se o seletor na posição para o basculamento da cabine figura (20), engata-se a barra na bomba hidráulica e por fim é preciso fazer o movimento cíclico para cima e para baixo ou para um lado e para o outro até que a cabina esteja completamente tombada.

Figura 20: Seletor da direção de basculamento.



Fonte: Fordcaminhoes, (2018).

Figura 21: Direção do processo de basculamento.



Fonte: Fordcaminhoes, (2018).

1.4.2. Sistema de basculamento

Como apresentado no tópico 1.4, grande parte dos caminhões são basculados por meio de uma bomba hidráulica, que ocorre a partir do engate de uma barra na bomba ou pelo acionamento por um sistema elétrico. Neste projeto será abordado com mais detalhes o sistema manual.

A bomba hidráulica, por sua vez, apresenta diversos perfis e características que variam de fabricante para fabricante. Entretanto, os dois tipos de acoplamento mais comuns são os demonstrados nas figuras (22) e (23).

Figura 22: Tipo de bomba de basculamento.



Fonte: Autor.

Figura 23: Bomba de basculamento com engate de pino sextavado.

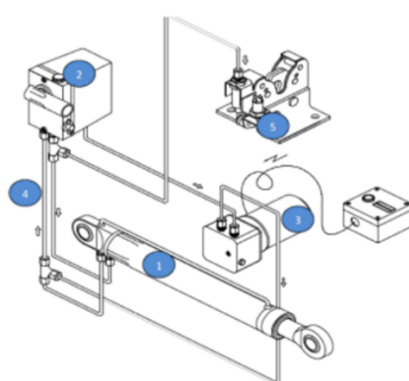


Fonte: Divap Automotive, (2021).

O basculamento do caminhão é um ponto crítico no veículo, visto que será necessário rotacionar a estrutura da cabina do caminhão até o ponto em haja espaço para se trabalhar nos componentes abaixo dela.

Esse processo já foi descrito brevemente, no entanto a figura (24) apresenta o esquema do sistema de basculamento, onde inicia-se pelo acionamento da *bomba manual hidráulica* (2), seja a operação manual ou por um *sistema elétrico* (3), fará com que o fluido siga pelas tubulações e preencha o *cilindro hidráulico de inclinação da cabine* (1), assim o veículo é reclinado. As *travas hidráulicas* (5) estão fixadas na parte traseira da cabina, e são liberadas assim que este fluido é bombeado.

Figura 24: Componentes do sistema de basculamento de caminhões.



Componentes do sistema hidráulico de inclinação da cabine

Um sistema hidráulico de inclinação da cabine consiste em:

1. Cilindro hidráulico de inclinação de cabine;
2. Bomba manual hidráulica;
3. Bomba elétrica (opcional);
4. Mangueiras hidráulicas;
5. Travas hidráulicas (opcional).

Fonte: EG Bombas e Compressores, (2021).

Esse processo exige pontos de atenção na estrutura do veículo. A fixação da cabina no chassi ocorre em quatro pontos de apoio, sendo que esses pontos devem garantir que a estrutura do caminhão fique fixa durante o seu funcionamento e que o basculamento possa ocorrer.

Figura 25: Trava hidráulica.



Fonte: Autor.

1.4.3. Dificuldades encontradas

Realizar o basculamento de um caminhão, embora seja uma tarefa simples não é algo prático, ergonômico ou leve. Ao realizar o processo o operador encontra algumas dificuldades, como: movimento repetitivo, o trabalho total é lento e dependendo da cabina será algo pesado, demandando muito esforço físico. Para contornar esse sistema há a possibilidade de pedir de fábrica um acessório que faz uma interface eletrônica com o sistema, uma bomba elétrica, porém este acessório é um opcional que encarece o veículo e limitado apenas a veículos de topo de gama das montadoras.

1.5. OPORTUNIDADES DE MERCADO

No tópico anterior foi dado uma breve apresentação dos sistemas de basculamento existentes no Brasil. O mais comumente utilizado é o sistema de bomba hidráulica manual.

Em entrevista à revista caminhões.com o vice-presidente de vendas e marketing de caminhões e ônibus da Mercedes Benz do Brasil, Roberto Leoncini, disse: “A produção do Atron (modelo “bicudo”) seria encerrada neste ano (2020), dentro de um processo natural de evolução tecnológica de nossa linha de caminhões”.

A transição da frota de caminhões acontecerá de forma gradual, e visando a necessidade de automatizar o processo de basculamentos de caminhões com cabinas avançadas, o E-cab apresenta uma proposta atualizada a necessidade do mercado.

Como apresentado no tópico 1.2.2 o Brasil é extremamente dependente da sua malha rodoviária e devido a pandemia causada pelo COVID-19, o mercado de e-commerce foi acelerado gerando uma necessidade grande de veículos para realizar a logística de transporte de longas e curtas distâncias.

Gráfico 7: Dados referentes ao E-Commerce brasileiro no ano de 2020.



Fonte: Divulgação CNC, (2021).

Nos últimos anos o setor de venda de caminhões novos era fortemente puxado pelo segmento de caminhões pesados gráfico (3), veículos destinados aos setores de mineração e agricultura. Porém o setor de vendas começa a apostar no aumento das vendas de veículos médios e leves, para suprir o crescimento da demanda de transporte em pequenas distâncias e em centros urbanos.

Como definido no tópico 1.2, o caminhão é a principal ferramenta de trabalho na vida do caminhoneiro, logo é de extrema importância que esta ferramenta opere em condições seguras e produtivas. Quando analisado a área das manutenções preventivas e corretivas, muitos caminhoneiros negligenciam este procedimento alegando que “tempo é dinheiro”, e nesse caso, o processo de manutenção impacta negativamente no tempo disponível de trabalho e, consequentemente, na renda obtida.

Os mecânicos das oficinas ou montadoras são responsáveis por efetuar a manutenção nos componentes mecânicos, elétricos, hidráulicos e pneumáticos dos veículos. Como apresentado no tópico 1.4, o acesso a estes sistemas citados demanda que a cabina seja movimentada e, na grande maioria dos casos, o próprio mecânico é responsável por realizar o basculamento. O E-cab tem como objetivo retirar esta tarefa da sua rotina, dando a ele a oportunidade de focar suas energias em outras atividades além de melhorar a qualidade ergonômica e física do seu serviço.

1.6.PROPOSTA DO E-CAB

O projeto do E-cab tem como principal objetivo, criar um produto, capaz de executar acionamento da bomba hidráulico da cabina de forma autônoma, onde o operador terá a menor participação no processo, retirando, assim, sua exposição a grandes esforços e posições ergonômicas prejudiciais à saúde, e simultaneamente, o deixa com um tempo livre durante o basculamento, podendo reunir ferramentas, organizar outras tarefas e até mesmo descansar, melhorado o rendimento de seu trabalho e formando um ambiente de trabalho mais saudável.

1.6.1. Proposta

Para o desenvolvimento do projeto, informações sobre diferentes modelos de caminhões, foram de extrema importância, levando em conta o sistema de basculamento da cabina, como citado anteriormente existem dois modelos o elétrico e o hidráulico, sendo o último o alvo do projeto. A posição da bomba e sua acessibilidade influenciaram nas escolhas de como o E-cab será construído, deve-se levar em conta que a sua posição, dimensão e formato variam muito entre cada modelo, essas informações estarão diretamente ligadas ao desenvolvimento tanto do sistema de movimentação, como do sistema de fixação do E-cab.

A existência de equipamentos do mesmo tipo possibilitou o grupo a buscar referencias para o desenvolvimento do projeto, fornecendo informações sobre seus pontos fortes e seus pontos fracos. A Mercedes Benz, por exemplo, apresenta em sua officia um basculante que pode ser utilizado em seus modelos. O equipamento em questão serviu de certa inspiração para o projeto, onde seu formato compacto e sua mobilidade se destacaram. O E-cab apresentará diversos pontos que o farão se distanciar de suas referências, como fazer um encaixe que sirva a grande maioria dos caminhões, a fixação que será feita em sua própria estrutura, pois, diversos modelos de caminhões apresentam difícil acesso a suas bombas.

1.6.2. Matriz de decisão

Para a elaboração de um novo equipamento, o grupo dividiu em dois sistemas para simplificar a escolha, que estão representados nas tabelas abaixo.

Tabela 4: Tipo de acionamento a ser selecionado.

Critério	Sistema pneumático	Sistema mecânico	Média dos pesos
Custo de aplicação	0,83	0,16	0,42
Poluição sonora	0,25	0,75	0,10
Dimensão do equipamento	0,75	0,25	0,42
Complexidade do sistema	0,75	0,25	0,05
TOTAL	73,2 %	26,8 %	1,00

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Tabela (4), os critérios que mais se destacaram foram o custo de aplicação e a dimensão do equipamento, pois o foco do projeto é produzir um equipamento com o menor custo o possível e que tenha suas dimensões reduzidas até onde seja viável. Nos levando a escolher o sistema pneumático que apresentará o menor custo e dimensões finais, além de apresentar a menor complexibilidade de seu sistema.

Tabela 5: Método de locomoção do equipamento a ser selecionado.

Critério	Manual	Com carro	Média dos pesos
Fixação do equipamento	0,25	0,75	0,12
Custo de aplicação	0,75	0,25	0,04
Segurança do processo	0,17	0,83	0,63
Fácil deslocamento	0,75	0,25	0,19
TOTAL	31,8 %	68,2 %	1,00

Fonte: Autor.

Para o tópico abordado na tabela (6), é possível perceber que o grupo se preocupa muito com a segurança que o equipamento apresentará durante o processo de deslocamento, mas com uma preocupação significativa tanto na facilidade do deslocamento, como na fixação do equipamento. O sistema manual apresenta uma vantagem na hora de levar o equipamento, pois ao levar o equipamento nas mãos é possível fazer manobras onde não seriam possíveis em um sistema com carro, porém, há grandes chances de cair, podendo ser no próprio operário, machucando-o, ou no chão prejudicando a integridade do E-cab. Assim foi decidido o sistema por carro, que

apresenta maior segurança e fornece uma melhor fixação, evitando possíveis falhas durante o processo de basculamento.

1.6.3. Perfil do consumidor

Tendo em vista as escolhas apresentadas acima, o E-Cab tem como público-alvo os profissionais responsáveis pela manutenção dos caminhões, sendo eles mecânicos de oficinas mecânicas ou de montadoras. Por ser um equipamento de fácil mobilidade, alta taxa de utilização e de uso universal, esta clientela apresenta interesse visando a produtividade em sua área.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PNEUMÁTICA

A pneumática se refere ao estudo do comportamento dos fluídos gasosos, e este projeto se baseia nas teorias referentes a transmissão de energia com este tipo de fluído.

Todos os gases são fluídos compressíveis, isto é, o volume ocupado por ele é variável em função da força que se é aplicada nele. Devido a esta propriedade de compressibilidade é possível transmitir energia. Esse conceito foi descoberto em 1662, por Robert Boyle. A sua descoberta revelou que a relação entre pressão e volume era constante, desde que não houvesse variação na temperatura.

$$(1) \qquad P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

A matéria prima do sistema pneumático do E-Cab é o ar atmosférico, devido a sua alta disponibilidade e a ausência de custo para coletá-lo. Porém ele pode ser coletado e armazenado em tanques ou cilindros.

2.1.1. Atuadores

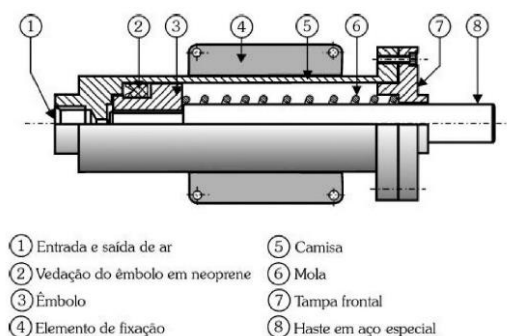
Conhecidos como cilindros pneumáticos, são elementos construídos num formato de tubo cilíndrico, com uma das extremidades tampada e a outra com uma haste onde na extremidade interna, um êmbolo se movimenta através da expansão do ar interno. Atuadores pneumáticos são regidos pelas normas internacionais ISO 6431 e 6432 e outras normas específicas de países europeus.

Os atuadores pneumáticos podem ser classificados em duas famílias, apresentados nos próximos tópicos.

2.1.1.1. Atuador pneumático linear de simples efeito

São atuadores onde o movimento de avanço ou retorno é acionado por uma mola localizada internamente do cilindro pneumático. Dessa forma, o avanço ou retorno será automático após o corte de alimentação de ar comprimido.

Figura 26: Esquema de um atuador pneumático linear de simples efeito com retorno por mola.



Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

Assim como todo elemento pneumático, o atuador pneumático tem uma representação simbólica normalizada de acordo com a norma DIN/ISSO 1929.

Figura 27: Representação simbólica segundo a norma DIN/ISO 1929.

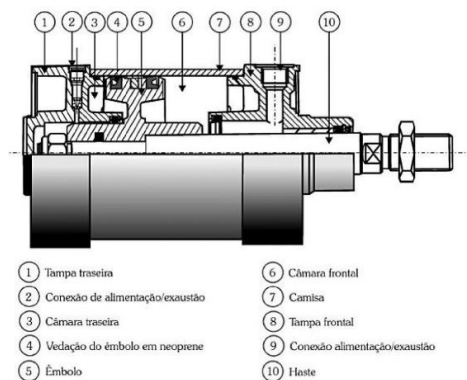


Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

2.1.1.2. Atuador pneumático linear de duplo efeito

São atuadores onde o movimento de avanço e retorno é feito através da expansão de ar internamente. Os movimentos lineares de atuadores pneumáticos de duplo efeito é comandado por uma ou mais válvulas controladoras direcional que veremos a seguir.

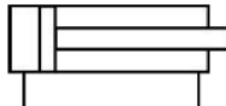
Figura 28: Esquema de um atuador pneumático linear de duplo efeito.



Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

Da mesma forma que o atuador pneumático linear de simples efeito, o atuador de duplo efeito tem uma representação simbólica, a fim de representar o atuador em um desenho esquemático da linha de operação.

Figura 29: Representação simbólica segundo a norma DIN/ISO 1929.



Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

Tanto no atuador pneumático linear de simples efeito quanto no de duplo efeito, ambos podem ser equipados com amortecimento de fim de curso.

Além da conexão de alimentação de ar comprimido, estes atuadores possuem um orifício de saída de diâmetro pequeno, com o objetivo de dificultar a vazão de ar. Com essa dificuldade imposta, o embolo encontrará uma maior dificuldade para avançar sobre um bolsão de ar que é formado, reduzindo a velocidade de avanço ou retorno no final do curso.

2.1.1.3. Modelos: Atuador sem haste vs atuador com haste

O atuador pneumático sem haste apresenta como principal ponto positivo o seu tamanho, por não ter uma haste extensiva, o seu curso se encontra inteiramente dentro do tamanho total do equipamento, o que proporcionaria ao projeto um tamanho total menor. Porém, este equipamento é, de uma maneira geral, mais delicado de manusear.

Sua resistência a tensões de torção é bem baixa, onde o menor dos estímulos é capaz de quebrar o equipamento.

Figura 30: Modelo de atuador pneumático sem haste.



Fonte: Cilindro pneumático sem haste - MTiBrasil

Já o modelo com haste é mais recomendado ao uso por diversos motivos, dentre eles, seus componentes são mais robustos e suportam forças de trabalho mais altas, além de serem os modelos de uso mais comum.

Entretanto, o uso desse modelo implica em um maior tamanho total do projeto, e outro ponto a ser considerado é o preço, já que este modelo é um pouco mais caro se comparado ao outro. Mesmo assim, levando em consideração a segurança do equipamento, optou-se por utilizar este modelo, demonstrado na figura (31).

Figura 31: Modelo de atuador pneumático com haste.



Fonte: Cilindro ISO pneumático - MTiBrasil

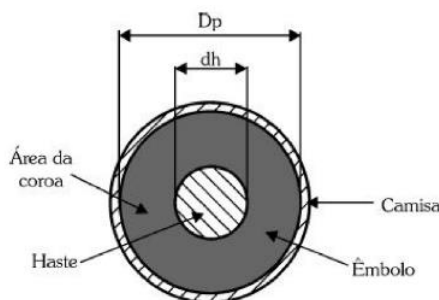
2.1.1.4.Dimensionamento

Podemos calcular a força de avanço e recuo do atuador pneumático através da seguinte fórmula.

$$F_{Atuador} = A_c * P_t \quad (2)$$

Em atuadores pneumáticos com apenas uma haste, a força de avanço é maior que sua força de retorno. Isso se dá por conta da área superficial que o ar comprimido tem contato. Na situação de retorno é, esta área é menor, como mostrado na figura abaixo.

Figura 32: Vista em corte de um atuador pneumático com haste.



Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

Desta forma, temos a duas possibilidades para a área do cilindro, área de avanço disponível, equação (2), e a área de retorno disponível, equação (3), de:

$$A_p = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \quad (3)$$

$$A_h = \frac{\pi (D_p - D_h)^2}{4} \quad (4)$$

Com o modelo escolhido, é necessário definir quais são as dimensões básicas do atuador, sendo que estas dimensões são o diâmetro interno e o comprimento da haste.

Com o auxílio da curva demonstrada no gráfico (8), apresentado nesta seção, consegue-se fixar o curso de trabalho do atuador e definir a força de basculamento. A partir desta força se é possível encontrar o diâmetro interno do atuador a partir da tabela fornecida pelo fabricante.

Figura 33: Critério de seleção pela força do atuador.

Criteria for selection: Cylinder thrust

Unit: Newton(N)

Bore size (mm)	Rod size (mm)	Acting type		Pressure area (mm ²)	Operating pressure(MPa)								
					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
32	12	Double acting	Push side	804	80.4	160.8	241.2	321.6	402.0	482.4	562.8	643.2	723.6
			Pull side	690	69.0	138.0	207.0	276.0	345.0	414.0	483.0	552.0	621.0
40	16	Double acting	Push side	1256	125.6	251.2	376.8	502.4	628.0	753.6	879.2	1002.4	1130.4
			Pull side	1055	105.5	211.0	316.5	422.0	527.5	633.0	738.5	844.0	949.5
50	20	Double acting	Push side	1963	196.3	392.6	588.9	785.2	981.5	1177.8	1374.1	1570.4	1766.7
			Pull side	1649	164.9	329.8	494.7	659.6	824.5	989.4	1154.3	1399.2	1484.1
63	20	Double acting	Push side	3117	311.7	623.4	935.1	1246.8	1558.5	1870.2	2181.9	2493.6	2805.3
			Pull side	2803	280.3	560.6	840.9	1121.2	1401.5	1681.8	1962.1	2242.4	2522.7
80	25	Double acting	Push side	5026	502.6	1005.2	1507.8	2010.4	2513.0	3015.6	3518.2	4020.8	4523.4
			Pull side	4536	453.6	907.2	1360.8	1814.4	2268.0	2721.6	3175.2	3628.8	4082.4
100	25	Double acting	Push side	7853	785.3	1570.6	2355.9	3141.2	3926.5	4711.8	5497.1	6282.4	7067.7
			Pull side	7362	736.2	1472.4	2208.6	2948.6	3681.0	4417.2	5153.4	5889.6	6625.8
125	32	Double acting	Push side	12272	1227.2	2454.4	3681.6	4908.8	6136.0	7363.2	8590.4	9817.6	11044.8
			Pull side	11468	1146.8	2293.6	3440.4	4587.2	5734.0	6880.8	8027.6	9174.4	10321.2

Fonte: Catálogo Airtac. (2022)

Para dimensionamento de atuadores pneumáticos lineares, foi verificado a existência de atrito estático e dinâmico que variam conforme a aplicação de carga, natureza de materiais e acabamento superficial. Para calcular a força de projeto necessária

que o atuador deverá superá-la, deve-se multiplicar por um fator de correção, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 6: Fator de correção de força para diferentes carregamentos.

Velocidade de Deslocamento da Haste do atuador	Exemplo	Fator de Correção (φ)
Lenta e carga aplicada somente em fim de curso	Operação de rebitagem	1,25
Lenta e carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Talha pneumática	1,35
Rápida com carga aplicada somente no fim de curso	Operação de estampagem	1,35
<i>Rápida com carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso</i>	<i>Deslocamento de mesas</i>	<i>1,5</i>
Situações gerais não descritas anteriormente		1,25

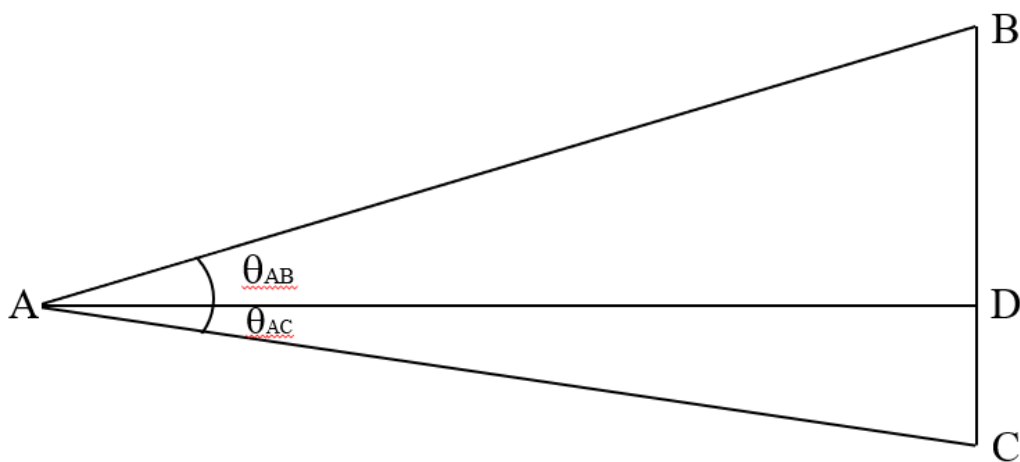
Fonte: Apostila de pneumática USP, (2002).

O acionamento da bomba de basculamento ocorrerá por uma barra cilíndrica que estará conectada à haste do atuador pneumático por um oblongo, conforme apresentado na seção 2.5.2.

Um modelo simplificado do curso do atuador é representado na figura abaixo. Os pontos apresentados significam, respectivamente:

- a) A: Posição da bomba de basculamento.
- b) B: Comprimento mínimo da haste do atuador.
- c) C: Comprimento máximo da haste do atuador.

Figura 34: Modelo simplificado da bomba de basculamento e haste do atuador.



Fonte: Autor.

As especificações técnicas da bomba de basculamento utilizada nos veículos Mercedes-Benz são:

Tabela 7: Limites operacionais da bomba de basculamento utilizada na Mercedes-Benz.

Posição	Teta	Ângulo bomba (°)
Ang. Máx	θ_{AB}	30
Ang. Mín	θ_{AC}	-15
Ang. Operação	θ_{OP}	45
Zero	θ_{AD}	0
Ang. Operação Fabricante	$\theta_{OP\ FAB}$	50 ± 3

Fonte: Autor.

A figura (34) pode ser simplificada como três triângulos, sendo que os triângulos $A\hat{C}D$ e $A\hat{B}D$ são retângulos. Assim, é encontrado quais são os ângulos θ_B e θ_C a partir da equação (5).

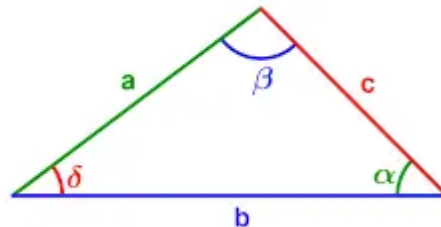
$$\theta_{B\ ou\ C} + \theta_{90^\circ} + \theta_X = 180^\circ \quad (5)$$

$$\theta_B = 180 - 90 - 30 = 60^\circ$$

$$\theta_C = 180 - 90 - 15 = 75^\circ$$

Com os ângulos definidos, utiliza-se a leis dos senos, apresentados na figura e equação seguir:

Figura 35: Lei dos senos



Fonte: Autor.

$$\frac{a}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{b}{\text{sen}(\beta)} = \frac{c}{\text{sen}(\delta)} \quad (6)$$

Realizando manipulações matemáticas, obtém-se as relações:

$$\overline{AD} = \overline{BC} * \text{sen}(\theta_C) * \frac{\text{sen}(\theta_B)}{\text{sen}(\theta_{OP})} \quad (7)$$

$$\overline{AB} = \overline{BC} * \frac{\text{sen}(\theta_C)}{\text{sen}(\theta_{OP})} \quad (8)$$

$$\overline{AC} = \overline{BC} * \frac{\text{sen}(\theta_B)}{\text{sen}(\theta_{OP})} \quad (9)$$

A força máxima exigida pela bomba de basculamento foi encontrada a partir da realização de um teste prático, onde foi utilizado um caminhão com cabine mais pesada, resultando numa força aplicada a barra de aproximadamente 150 N.

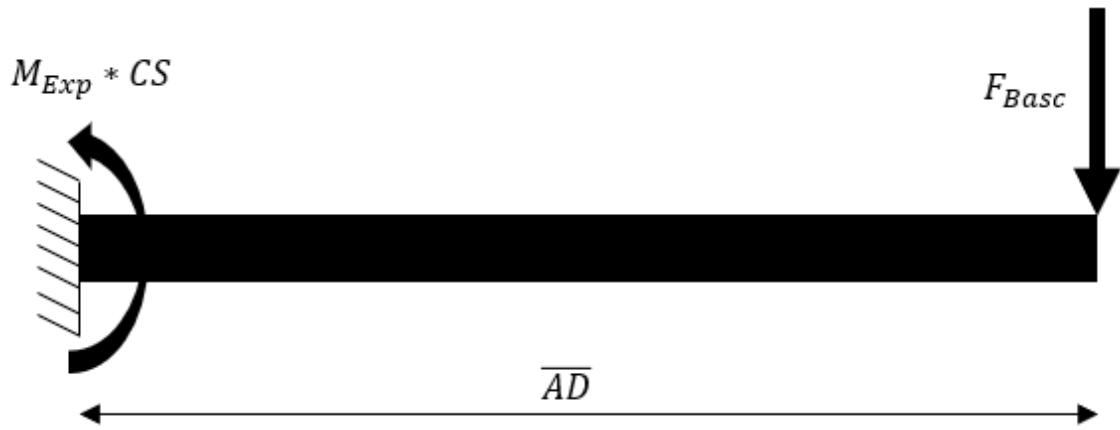
$$M_{Exp.} = F_{Exp} * l_b \quad (10)$$

$$M_{Exp.} = 150 * 1,0 = 150 Nm$$

Não foram feitos testes parametrizados para obtenção do $M_{Exp.}$, então para a segurança do projeto e respeitando os fatores de correção apresentados na tabela (6), foi adotado um coeficiente de segurança de 1,5 para realizar os cálculos subsequentes. Sendo assim, é possível relacionar qual é a força necessária para bascular a cabina do caminhão com a distância mínima entre a bomba e o atuador.

Neste processo, foi utilizado o modelo demonstrado na figura (36) e as equações a seguir.

Figura 36: Modelo de viga engastada.



Fonte: Autor.

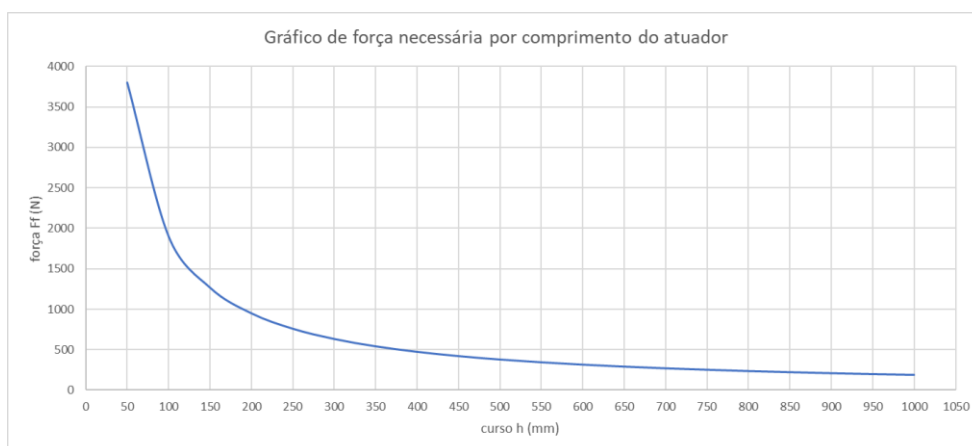
$$\sum M_A = F_{Basc} * \overline{AD} - M_{Exp} * CS = 0 \quad (11)$$

$$\overline{AD} = \frac{M_{Exp.} * CS}{F_{Basc}}$$

Relacionando as equações (11) e (12), obtém-se a equação:

$$F_{Basc} = \frac{225}{\overline{BC} * \text{sen}(\theta_C) * \frac{\text{sen}(\theta_B)}{\text{sen}(\theta_{OP})}} \quad (12)$$

Ao plotar a equação (13) no excel, obtém-se a curva apresentada no gráfico (8).

Gráfico 8: Curva F_{Basc} vs curso do atuador.

Fonte: Autor.

2.1.1.5. Escolha

Visando manter a característica de um equipamento compacto, foram estipulados limites para o curso do atuador, sendo estes variando entre 100 e 200 milímetros. Ao aplicar estes valores no gráfico (8) obtém-se as forças de:

$$F_{basc(100\text{ mm})} = 1902\text{ N}$$

$$F_{basc(200\text{ mm})} = 951\text{ N}$$

Fixando a pressão de operação em 0,6MPa, condição de operação do E-Cab, as faixas de força mais próximas encontradas com seus respectivos diâmetros internos são de 50 mm e 80 mm, destacadas a seguir.

Figura 37: tamanho do diâmetro interno.

Criteria for selection: Cylinder thrust

Unit: Newton(N)

Bore size (mm)	Rod size (mm)	Acting type		Pressure area (mm²)	Operating pressure (MPa)								
					0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
32	12	Double acting	Push side	804	80.4	160.8	241.2	321.6	402.0	482.4	562.8	643.2	723.6
			Pull side	690	69.0	138.0	207.0	276.0	345.0	414.0	483.0	552.0	621.0
40	16	Double acting	Push side	1256	125.6	251.2	376.8	502.4	628.0	753.6	879.2	1002.4	1130.4
			Pull side	1055	105.5	211.0	316.5	422.0	527.5	633.0	738.5	844.0	949.5
50	20	Double acting	Push side	1963	196.3	392.6	588.9	785.2	981.5	1177.8	1374.1	1570.4	1766.7
			Pull side	1649	164.9	329.8	494.7	659.6	824.5	989.4	1154.3	1399.2	1484.1
63	20	Double acting	Push side	3117	311.7	623.4	935.1	1246.8	1558.5	1870.2	2181.9	2493.6	2805.3
			Pull side	2803	280.3	560.6	840.9	1121.2	1401.5	1681.8	1962.1	2242.4	2522.7
80	25	Double acting	Push side	5026	502.6	1005.2	1507.8	2010.4	2513.0	3015.6	3518.2	4020.8	4523.4
			Pull side	4536	453.6	907.2	1360.8	1814.4	2268.0	2721.6	3175.2	3628.8	4082.4
100	25	Double acting	Push side	7853	785.3	1570.6	2355.9	3141.2	3926.5	4711.8	5497.1	6282.4	7067.7
			Pull side	7362	736.2	1472.4	2208.6	2948.6	3681.0	4417.2	5153.4	5889.6	6625.8
125	32	Double acting	Push side	12272	1227.2	2454.4	3681.6	4908.8	6136.0	7363.2	8590.4	9817.6	11044.8
			Pull side	11468	1146.8	2293.6	3440.4	4587.2	5734.0	6880.8	8027.6	9174.4	10321.2

Fonte: Autor.

Após definir qual é o diâmetro do atuador, precisa definir o comprimento padronizado da haste do atuado, na tabela fornecida pelo fabricante do atuador.

Figura 38: Comprimentos de haste padronizados.

Bore size (mm)	Standard stroke (mm)	Max. std stroke	Max. stroke
32	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500	1000	1800
40	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800	1200	1800
50	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1200	1800
63	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1500	1800
80	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1500	1800
100	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1500	1800
125	25 50 75 80 100 125 150 160 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800 900 1000	1500	1800

Fonte: Catálogo Airtec. (2022)

Assim, foram estipulados quatro atuadores para análise:

Tabela 8: Seleção das dimensões básicas do atuador.

Curso (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Diâmetro haste (mm)	Força Basculante (N)
200	50	20	950,96
175	50	20	1086,81
150	63	20	1267,95
100	80	25	1901,92

Fonte: Autor.

A fim de escolher o atuador com o menor diâmetro interno, por conta de custo, e com o menor curso, com a finalidade de se obter o menor tamanho para o projeto, foi escolhido o de dimensões 175x50.

Após definir o curso do atuador, que pode ser representado pelo segmento \overline{BC} , é definido quais serão as dimensões dos segmentos \overline{AB} , \overline{AC} e \overline{AD} pela dedução das equações (8), (9) e (10).

$$\overline{AB} = 175 * \frac{\text{sen}75^\circ}{\text{sen}45^\circ} = 239 \text{ mm}$$

$$\overline{AC} = 175 * \frac{\text{sen}60^\circ}{\text{sen}45^\circ} = 214 \text{ mm}$$


$$\overline{AD} = 175 * \text{sen}75^\circ * \frac{\text{sem } 60^\circ}{\text{sem } 45^\circ} = 207 \text{ mm}$$

Essas dimensões são referentes as distâncias que a barra de basculamento precisa ter em relação a bomba hidráulica de basculamento do caminhão. Importante ressaltar que o atuador deve ser posicionado a 239 mm de distância da bomba de basculamento.

2.1.1.6. Tempo de operação do atuador

Para definir qual é o tempo de operação do atuador selecionado, foi escolhido um compressor genérico para auxiliar nos cálculos apresentados. É necessário coletar qual a vazão proporcionada pelo compressor, que está demonstrado na figura (39).

Figura 39: Informações de catálogo do compressor selecionado.

PRATIC AIR CSV 10/100		921.3542-0 127V	921.3543-0 220V
	Vazão Máxima		10 pcm
			283 l/min
	Pressão de Operação	Máxima	125 lb/pol²
			8,6 bar
Unidade Compressora	Minima		90 lb/pol²
			6,2 bar
	Nº de Estágios		1
	Nº de Pistões		2-V
Potência do Motor			2 hp
			1,5 kW
Nº de Polos			2
Volume do Reservatório			93 L
Peso Líquido			65 kg
Peso Bruto			78 kg
Largura x Altura x Profundidade			350 x 810 x 900 mm

Fonte: Catálogo motocompressores Schulz. (2018)

Com a vazão definida, é necessário calcular os volumes deslocados das operações de avanço e retorno para avaliar qual é a vazão máxima que essas operações suportam.

Vale ressaltar, que na seção 2.1.8 é apresentado o diagrama pneumático do E-Cab, e nele é explicado com mais detalhes os componentes utilizados para limitar a vazão do sistema e como eles operam.

Essa limitação é extremamente importante, pois o pistão do atuador apresenta uma velocidade máxima de 0,8m/s, como mostrado na figura a seguir.

Figura 40: Especificações do atuador selecionado.

■ Specification													
Bore size(mm)		32	40	50	63	80	100	125					
Acting type		Double acting											
Fluid		Air(to be filtered by 40 μ m filter element)											
Mounting type	SE	Basic	FA	FB	CA	CB	CR	LB	TC	FTC	TCM1	TCM2	
	SED, SEJ	Basic	FA	LB	TC	FTC	TCM1	TCM2					
Operating pressure		0.1~1.0MPa(15~145psi)(1.0~10.0bar)											
Proof pressure		1.5MPa(215psi)(15bar)											
Temperature °C		-20~80											
Speed range mm/s		30~800											30~500
Stroke tolerance		0~250 ^{+1.0} ₀ 251~1000 ^{+1.5} ₀ 1001~1500 ^{+2.0} ₀											
Cushion type		Variable cushion											
Adjustable cushion stroke mm		27		30			36			40			
Port size ①		1/8"		1/4"			3/8"			1/2"			

Fonte: Catálogo Airtec. (2022)

O volume deslocado do atuador está representado nas equações (21) e (22) a seguir.

$$V_{Avanço} = A_p * L_h \quad (13)$$

$$V_{Avanço} = \left(\pi * \frac{(50 * 10^{-3})^2}{4} \right) * 150 * 10^{-3} = 2,94 * 10^{-4} m^3$$

$$V_{Retorno} = A_h * L_h \quad (14)$$

$$V_{Retorno} = \left(\pi * \frac{(50 * 10^{-3})^2 - (20 * 10^{-3})^2}{4} \right) * 150 * 10^{-3} = 2,47 * 10^{-4} m^3$$

Para garantir que a vazão que passa pelo atuador não resulte numa velocidade de operação do pistão superior a limitada pelo fabricante, é colocado válvulas de controle de vazão que regulam a quantidade de ar que irá passar no sistema.

Após essas válvulas, a vazão de ar não pode extrapolar os valores determinados nas equações (24) e (25)

$$\dot{Q}_{Avanço} = V_{Avanço} * A_p \quad (15)$$

$$\dot{Q}_{Avanço} = 0,8 * \left(\pi * \frac{(50 * 10^{-3})^2}{4} \right) = 1,57 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 94,2 \text{ lpm}$$

$$\dot{Q}_{Retorno} = V_{Retorno} * A_h \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{Retorno} = 0,8 * \left(\pi * \frac{(50 * 10^{-3})^2 - (20 * 10^{-3})^2}{4} \right) = 1,32 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 79,2 \text{ lpm}$$

A partir das vazões acima, se é possível relacionar a vazão de operação na condição de velocidade máxima do atuador com o volume deslocado de cada operação, resultando no tempo de operação do atuador, descrito na equação (25).

$$\dot{Q} = \frac{V}{t} \quad (17)$$

$$t_{Avanço} = \frac{2,94 * 10^{-4}}{1,57 * 10^{-3}} = 0,187 \text{ s}$$

$$t_{Retorno} = \frac{2,47 * 10^{-4}}{1,32 * 10^{-3}} = 0,187 \text{ s}$$

Resultando num tempo de um cliço de aproximadamente 0,374 s. Para análise comparativa foi cronometrado o tempo do basculamento em um caminhão simples, a operação de maneira manual leva cerca de 90 ciclos para ser completa e demora aproximadamente 2min30s, enquanto a operação com o E-Cab entrega os mesmos 90 ciclos em 33,66 segundos.

2.1.2. Tratamento do ar comprimido

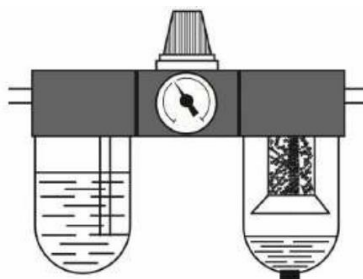
O sistema de compressão de ar não faz parte do projeto do E-Cab, no entanto é de extrema relevância compreender o que acontece no fluido nesta etapa, para prevenir o sistema pneumático do E-Cab.

Na compressão do ar atmosférico, ocorre o aumento da temperatura deste fluído e quando ele começa a fluir pelas mangueiras, ocorre a troca de calor entre fluído e ambiente resultando na perda de calor do ar provocando uma condensação natural. Estas partículas de água líquida se misturam com o óleo proveniente do sistema de compressão do ar e se somam a pequenas partículas sólidas vindas do mesmo sistema.

Essa mistura pode acarretar em danos mecânicos e/ou físicos em todos os sistemas subsequentes, dito isso, é de extrema importância a utilização de um sistema de tratamento de ar após o sistema de compressão.

O sistema de tratamento de ar utilizado no E-Cab é composto de um filtro, um regulador e um lubrificador pneumático.

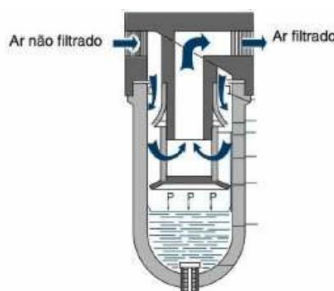
Figura 41: Filtro, regulador e lubrificador pneumático.



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

O filtro de ar tem como função remover todas as partículas sólidas presentes no ar comprimido, como demonstrado na figura a seguir:

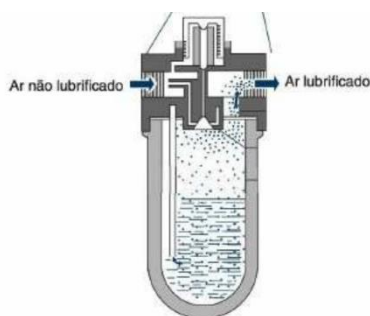
Figura 42: Filtro de ar.



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

O lubrificador pneumático proporciona a lubrificação necessária para todos os componentes pneumáticos para que eles rendam ao máximo. Seu funcionamento é demonstrado na figura abaixo.

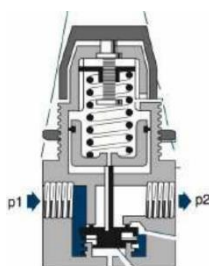
Figura 43 - Lubrificador pneumático.



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

A pressão precisa ser regulada para garantir que ela seja constante no sistema após o sistema de tratamento de ar. Antes dele, o compressor funciona numa faixa de pressões pré-estabelecida pelo fabricante. O regulador de pressão funciona obstruindo mais ou menos a passagem de ar, como representado abaixo:

Figura 44 - Regulador de pressão

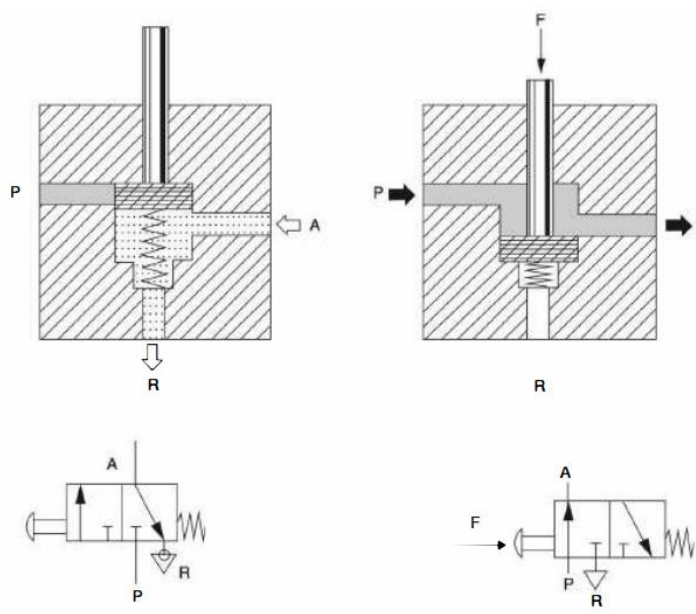


Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

2.1.3. Válvulas de Controle Direcional

Serve para dirigir o fluxo de fluido para as diferentes partes do sistema, de maneira que todas as regiões sejam abastecidas com a quantidade necessária de ar para realizar o trabalho desejado. Existem várias formas de operar estas válvulas, porém neste projeto serão utilizadas as válvulas de acionamento manual, mecânico e por arranjo pneumático.

Figura 45 - Representação simplificada de uma Válvula Direcional 3/2 vias liberando diferentes possibilidades de fluxo.

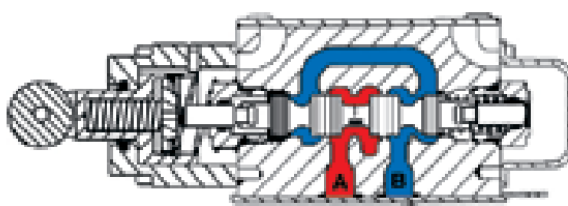


Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

2.1.3.1. Operação mecânica

Os comandos mecânicos são de extrema importância quando é visado um sistema de ciclo automático ou semi-automático. O seu acionamento é feito por rolete, pino de disparo, por mola ou por outras maneiras.

Figura 46 - Ilustração de um acionamento por rolete

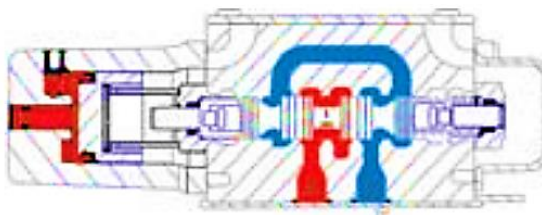


Fonte: Catálogo Parker (Apostila M2001-2 BR)

2.1.3.2. Operação de piloto

O comando de operação de piloto serve para operar válvulas que apresentem duas ou três posições. Sendo possível automatizar algumas operações sem a necessidade de utilizar energia elétrica ou a presença de um operador.

Figura 47: Válvula acionada por piloto.



Fonte: Catálogo Parker (Apostila M2001-2 BR)

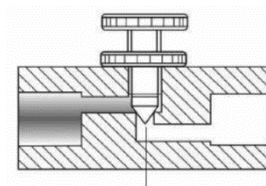
2.1.4. Controladores de fluxo

As válvulas de controle de fluxo são usadas para intervenção no fluxo de ar que atravessa as tubulações do sistema.

2.1.4.1. Válvula reguladora de fluxo bidirecional

Esse tipo de válvula resulta na aplicação de uma resistência pneumática variável no circuito variando a vazão após a válvula.

Figura 48 - Válvula reguladora de fluxo bidirecional

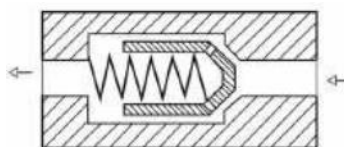


Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

2.1.4.2. Válvula de retenção com mola

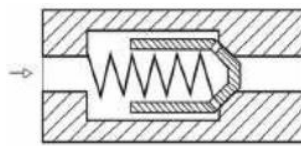
É utilizada quando é necessário controlar o sentido do fluxo do fluido no sistema. Ela é muito utilizada quando é necessário proteger componentes do sistema que só aceitam receber fluxos unidirecionais.

Figura 49 - Válvula de retenção com mola (fluxo livre)



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

Figura 50 - Válvula de retenção com mola (fluxo bloqueado)



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

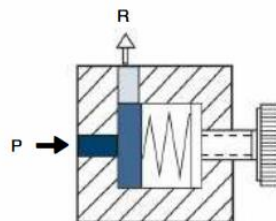
2.1.5. Válvulas reguladoras de pressão

As válvulas reguladoras de pressão são utilizadas para controle de pressão no sistema de potência fluida, consequentemente alterando a força do nosso atuador pneumático ou hidráulico.

2.1.5.1. Válvula de alívio ou Limitadora de pressão

Servem para impedir o aumento da pressão no sistema garantindo a sua segurança. Quando a força gerada dentro do sistema é superior a força de resistência da mola é liberado uma brecha para que o fluido pressurizado escape para o ambiente.

Figura 51 - Funcionamento da Válvula de alívio



Fonte: Automação Industrial Pneumática: Teoria e Aplicações. (2015)

2.1.6. Tubulação

A tubulação serve para conduzir o fluido entre os pontos A e B, este componente é frequentemente alvo de estudos, por ser um dos grandes responsáveis pelos problemas de vazamento nos sistemas pneumáticos e hidráulicos. As tubulações podem ser classificadas em três categorias:

- a) Canos rígidos, normalmente feitos de aços rígidos;
- b) Canos semirrígidos, normalmente feitos de aço inoxidáveis, alumínio, cobre ou aços em geral;
- c) Tubos flexíveis, normalmente são feitos de materiais poliméricos.

2.1.7. Simbologia pneumática


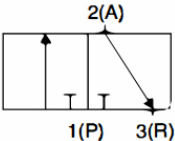
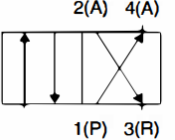
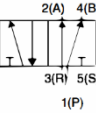
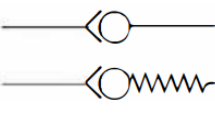
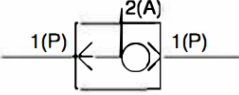
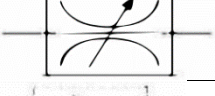
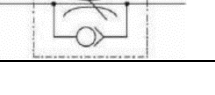
O estudo de um sistema pneumático é muito mais fácil quando representado em formato de diagrama ou em circuito. O diagrama indica quais são as principais funções dos componentes do sistema e a sua construção deve respeitar a norma NBR 8190.

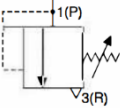
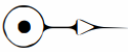

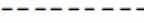



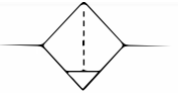
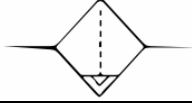

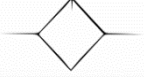
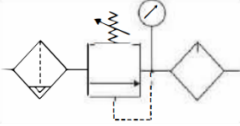


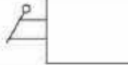


A NBR 8190 utiliza como base as normas ANSI S5.1 e ANSI S5.5.

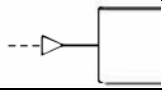



2.1.7.1. Símbolos gráficos da ANSI

Abaixo é ilustrado alguns símbolos que serão utilizados no diagrama pneumático do projeto E-Cab conforme ISO 1219, onde normaliza a simbologia gráfica de sistemas pneumáticos e hidráulicos.

Tabela 9: Simbologia dos componentes pneumáticos e hidráulicos com uma breve descrição.

Simbologia	Descrição
	Cilindro de ação dupla, haste em uma extremidade. O fluido atua sobre qualquer lado do pistão. Uma haste de pistão estende-se por cada extremidade do cilindro.
	Válvula direcional com três vias e duas posições. Posição normal e posição fechada.
	Válvula direcional com quatro vias e duas posições.
	Válvula direcional com cinco vias e duas posições.
	Válvula de retenção sem e com mola para retorno.
	Válvula alternadora (elementos OU seletoras de circuito).
	Válvula de controle de fluxo variável bidirecional.
	Válvula de controle de fluxo com retorno livre (unidirecional).

	Válvula reguladora de pressão do tipo alívio.
	Fonte de pressão pneumática.
	Linha de transmissão de energia.
	Linha de transmissão de energia de comando (inclusive ajustagem e regulagem).
	União fixa de linha de pressão (conexões).
	Separador de água com dreno manual (purgador).
	Separador de água com dreno automático (purgador).
	Filtro com separador de água com dreno manual
	Filtro com separador de água com dreno automático.
	Secador de ar.
	Lubrificação de ar. Unidade na qual se adiciona pequenas quantidade de óleo para lubrificação de sistema.
	Unidade de condicionamento de ar. Unidade composta por filtro válvula reguladora de pressão, manômetro e lubrificador.
	Unidade de condicionamento de ar (simbologia simplificada).
	Acionamento por botão.
	Acionamento por alavanca.
	Acionamento por mola.
	Acionamento por rolete.

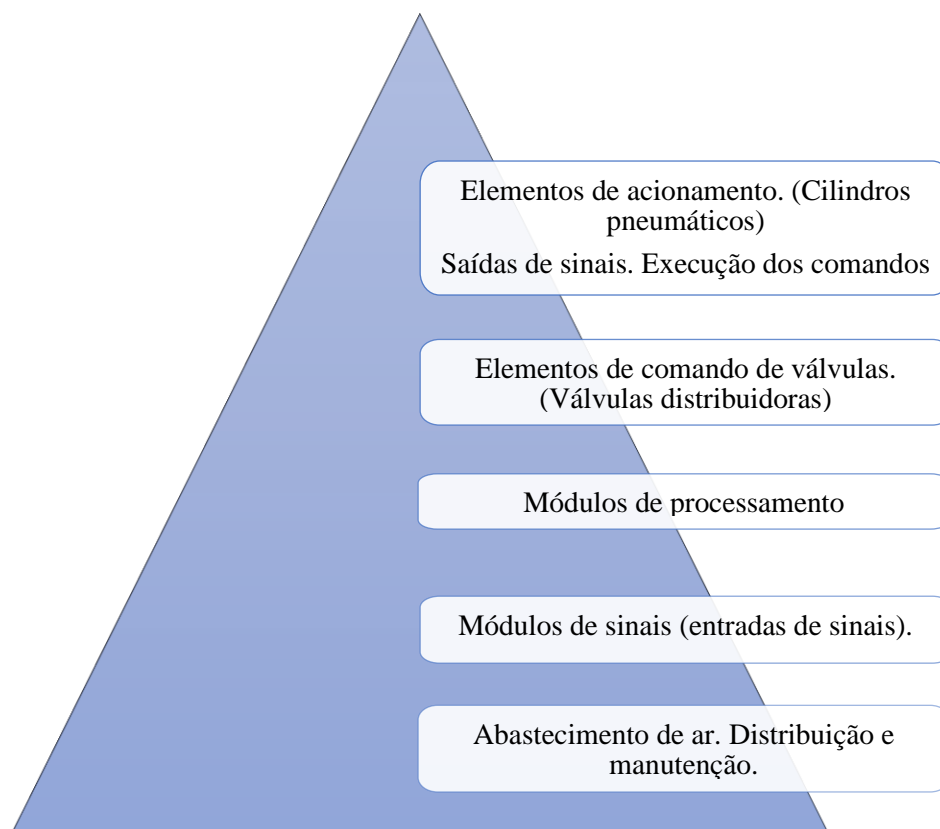
	Acionamento direto por acréscimo de pressão (acionamento pneumático).
	Acionamento elétrico por solenoide com uma bobina.
	Manômetro (instrumento para medir pressão).
	Silenciador pneumático.

Fonte: Autor.

2.1.8. Diagrama do sistema pneumático

O diagrama deve ser construído segundo o esquema apresentado abaixo, onde o fluxo se inicia na parte inferior, local que deve colocar a alimentação do sistema, e todos os outros componentes deste sistema devem estar acima da alimentação. Por recomendação, é necessário representar todos os cilindros e válvulas distribuídos de maneira horizontal, mas a sua representação gráfica não está relacionada a distribuição física dos componentes.

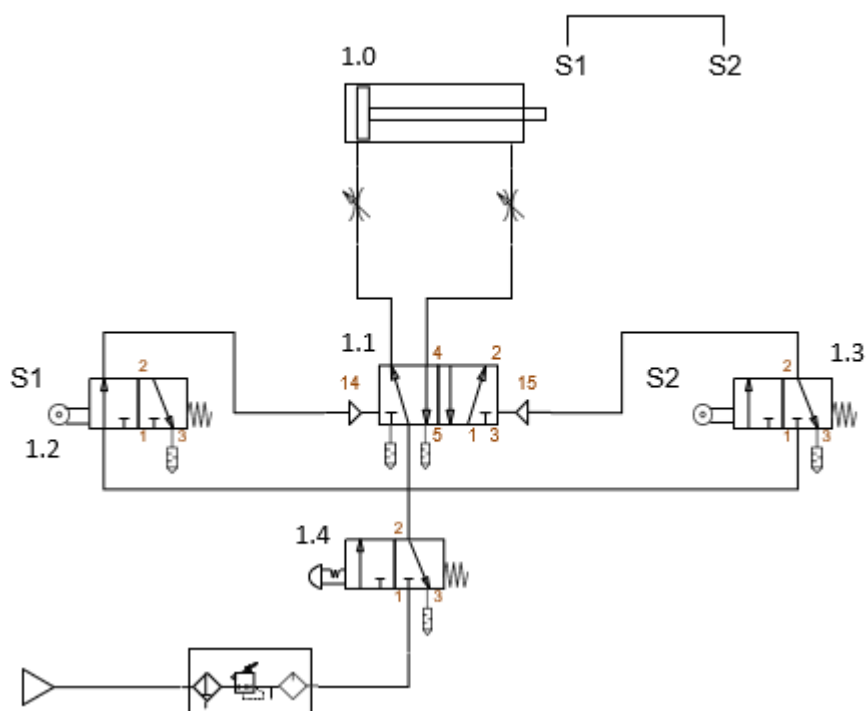
Figura 52: Decomposição de Sistema



Fonte: Autor.

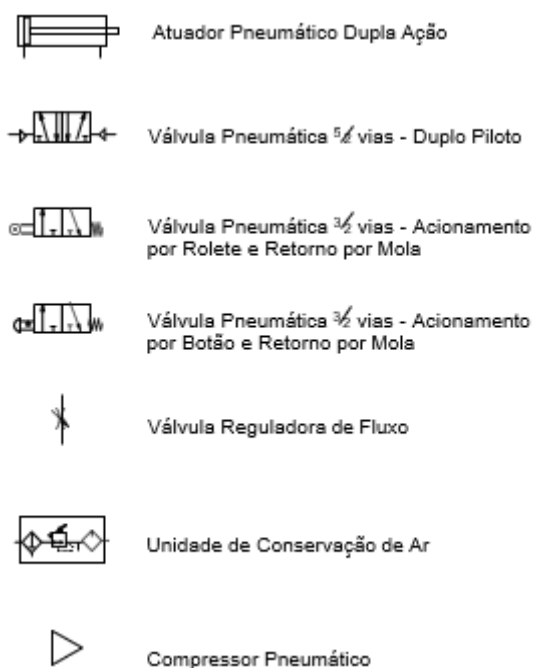
O diagrama pneumático do E-Cab está representado na figura abaixo.

Figura 53: Sistema Pneumático E-Cab.



Fonte: Autor.

Figura 54: Componentes do diagrama pneumático.



Fonte: Autor.

2.1.8.1. Funcionamento

Ao acionar o botão referente a válvula 1.4, de maneira manual, o fluxo de ar irá fluir para a válvula 1.1 e posteriormente para o atuador 1.0 entrando pela parte de trás, realizando o movimento de avanço da haste do atuador.

Quando o atuador chega na posição 1.3, existe um mecanismo de disparo mecânico que aciona a válvula 1.3, forçando o ar a fluir para a válvula 1.1 modificando a sua posição resultando na entrada de ar no atuador pela parte frontal, realizando o movimento de recuo do atuador.

Quando o atuador voltar para a posição inicial, é acionado, de forma idêntica a citada anteriormente, a válvula 1.2 que força o ar a fluir para a válvula 1.1 que é reposicionada para deixar que o ar flua para a parte de trás do atuador.

A parada do sistema ocorre quando o operador acionar o botão referente a válvula 1.4, bloqueando o fluxo de ar para o sistema.

As válvulas reguladoras de fluxo presentes nas mangueiras que conectam o atuador e a válvula 1.4 servem para controlar a velocidade que o atuador enche de ar, podendo ser regulado de acordo com a necessidade da operação.

2.1.9. Componentes utilizados

Na tabela a seguir, é descrito quais são os componentes utilizados no sistema pneumático projetado. Para cada conexão de mangueira será utilizado o engate rápido, devido sua fácil instalação e grande versatilidade.

Será utilizado uniões do tipo “X” para realizar as ligações cruzadas entre as linhas de transmissão e para as conexões onde o ar é expelido para a atmosfera, será instalado silenciadores pneumáticos.

Tabela 10: Lista de materiais utilizados no sistema pneumático E-Cab

Item	Qtd	Unidade de medida	Descrição
1	1	un	Unidade de Conservação de Ar
2	2	un	Válvula Reguladora de Fluxo
3	1	un	Válvula Pneumática 3/2 vias – Acionamento por botão e retorno por mola
4	2	un	Válvula Pneumática 3/2 vias – Acionamento por rolete e retorno por mola
5	1	un	Válvula 5/2 vias – Acionamento duplo piloto pneumático
6	1	un	Atuador pneumático
7	3	m	Mangueira de PU (Ø6,0mm)
8	5	un	Silenciador pneumático

Fonte: Autor.

2.2. MATERIAIS METÁLICOS

No desenvolvimento do projeto, percebeu-se que o material que será mais utilizado na estrutura é o material metálico, e para isso é importante conhecer as características de cada material para que se possa escolher o que se adequará melhor ao projeto. As suas características são definidas por meio de experimentos e testes, fornecendo assim, suas propriedades: dureza, rigidez, resistência, ductilidade e tenacidade.

Os testes conseguem reproduzir as condições de trabalho de uma forma bem fiel, sendo por produzir cargas que podem ser constantes no tempo, ou não. Tais testes também podem reproduzir algumas condições ambientais como temperatura de trabalho, que por sua vez altera as propriedades do material.

Tendo o conhecimento das propriedades do material, e conhecendo também, os esforços presentes no projeto, quais os tipos de cargas, e a temperatura de trabalho, é possível escolher uma gama de materiais que são adequados a situação.

Para extrair as propriedades listadas acima, será utilizado a figura (55). O gráfico de tensão-deformação é extraído por meio do ensaio de tração, que não cabe a este relatório descrever.

Figura 55: Gráfico de tensão-deformação genérico.



Fonte: site ensus.com (2020).

A tensão é obtida pela equação (7) e a deformação, pela equação (8).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (18)$$

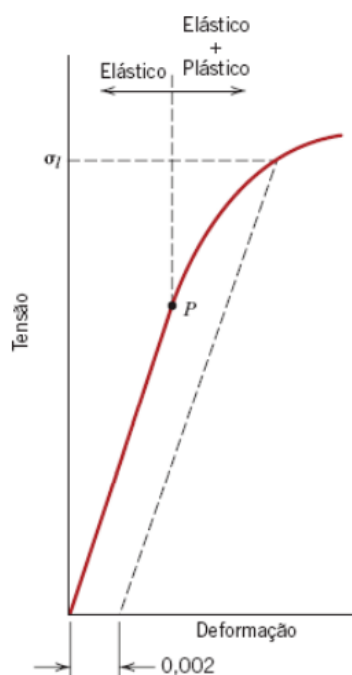
$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} * 100\% \quad (19)$$

2.2.1. Limite de resistência ao escoamento (LRE)

É convencional trabalhar dentro do regime elástico do material, área em que o metal, após sofrer uma deformação, retorna a suas dimensões originais. Portanto é importante estudar os limites de resistência ao escoamento, que nos diz a máxima tensão que um determinado material consegue suportar, sem que saia do regime elástico.

Na figura (56) é possível observar a presença linha reta no começo do gráfico tensão-deformação, o ponto P representa o início do regime plástico, onde é o final da linearidade da reta, mas para facilitar o processo de visualização, adotamos uma reta paralela a nossa função saindo da deformação de 0,002, onde essa reta encontrar com nossa função, será o limite de resistência ao escoamento.

Figura 56: Determinação do limite de escoamento.



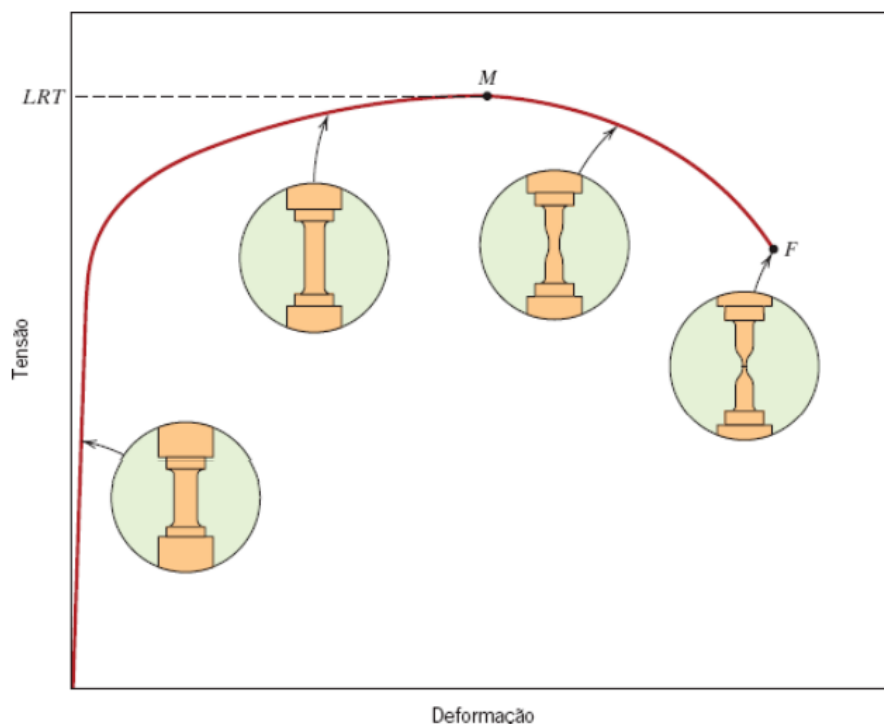
Fonte: Callister, (2016).

2.2.2. Limite de resistência a tração (LTR)

Ultrapassado o limite de resistência a escoamento, o material se encontra inteiramente no regime de deformação plástica, a tensão para deformar o material aumenta até atingir o valor máximo que será denominado de limite de resistência a tração

(LRT), representado na figura (57) como o ponto M. Ao atingir esse valor, ocorre o fenômeno de estiramento (formação do pescoço), e neste pescoço, todas as tensões serão concentradas até o momento da fratura.

Figura 57: Representação do limite de resistência a tração.



Fonte: Callister. (2016)

Normalmente, a propriedade que utilizamos para escolher um material é o limite de resistência ao escoamento, pois, se a tensão ultrapassar esse ponto, o material se tornará obsoleto. Porém, é importante conhecer o limite de resistência a tração, para caso haja algum caso extremo, devemos saber até que nível de tensão o material agüente antes de romper.

2.2.3. Resiliência

A resiliência está ligada a capacidade que o material tem em absorver energia durante a deformação elástica e após a retirada da força, e da devolução dessa energia armazenada. A resiliência é associada ao módulo de resiliência, matematicamente definida como a área abaixo da curva obtida no gráfico de tensão-deformação, até o ponto de limite de resistência ao escoamento.

A partir da figura (56), é calculado a área abaixo da curva, triângulo, que é obtido pela equação (28).

$$U_r = \frac{1}{2} * \sigma_e * \epsilon_l \quad (20)$$

2.2.4. Variação nas propriedades

Em um mundo ideal, se forem ensaiadas várias amostras de algum material e realizadas os levantamentos gráficos de tensão-deformação, seria encontrado o mesmo gráfico em todos os casos. Porém, no mundo real os materiais apresentam pequenas irregularidades que alteram as suas propriedades, mesmo de maneiras sutis.

Para lidar com esse problema, é utilizado conceitos de estatística básica para estipular o valor médio, de qualquer variável a ser analisada, e o seu desvio padrão.

O valor médio pode ser determinado pela soma de todos os valores encontrados, dividido pelo número de amostras.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (21)$$

O desvio padrão pode ser encontrado pela relação entre valor médio, valor analisado e número de amostras.

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (22)$$

2.2.5. Fator de segurança em projetos

Conforme discutido no tópico anterior, é possível que um material varie suas propriedades, dentro de um limite plausível, e sempre haverá alguma incerteza durante a medição dos esforços que seu projeto será submetido. Consequentemente, deverá ser utilizado um procedimento de precaução a possíveis falhas, neste caso, um fator de segurança deverá ser empregado após o cálculo da tensão, para garantir que o material possa aguentar um nível de esforço mais elevado do que normalmente ele seria exposto, desta forma temos:

$$\sigma_p = N' * \sigma_c \quad (23)$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_e}{N} \quad (24)$$

Sendo a equação (31) a mais adequado, pois está se baseando em uma estimativa de tensão máxima. Já para o valor do fator de correção N , devemos levar em consideração as condições de trabalho em que o material se encontra, para situações mais severas o seu valor será mais alto, podendo se encontrar dentro do espectro entre 1,1 à 4,0.

2.3. RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Conhecer quais são os esforços e deformações que serão aplicadas ao sistema resultará numa melhor tomada de decisão na escolha ou desenvolvimento de componentes que irão compor a estrutura do projeto.

Dentre as áreas da engenharia mecânica, a resistência dos materiais é a que tangencia o estudo das estruturas quando aplicadas solicitações externas a ela, além de relacionar as cargas externas aos esforços internos, que por sua vez são analisados como tensões. Essas tensões são responsáveis por deformar elástica ou plasticamente os materiais.

2.3.1. Tensão axial

A tensão é a relação entre as cargas externas e internas num corpo. A partir dessa ideia, a tensão axial estuda o esforço perpendicular a seção do corpo, podendo ter um caráter de compressão ou tração. A forma de encontrar é a mesma demonstrada na equação (18).

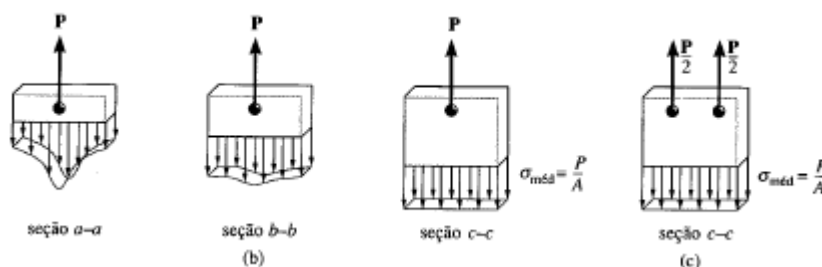
Figura 58: Representação das tensões axiais.



Fonte: Carregamento axial, tensão normal, (2017).

Ao aplicar a análise dessas tensões axiais, é necessário entender que, dependendo da localização das cargas primitivas no elemento, as tensões pontuais irão diferir uma das outras. Assim, a tensão média resultante dessa carga pode variar, apresentando zonas de diferentes criticidades na estrutura.

Figura 59: Tensão axial média.



Fonte: Hibbeler, (2004).

2.3.2. Tensão de cisalhamento

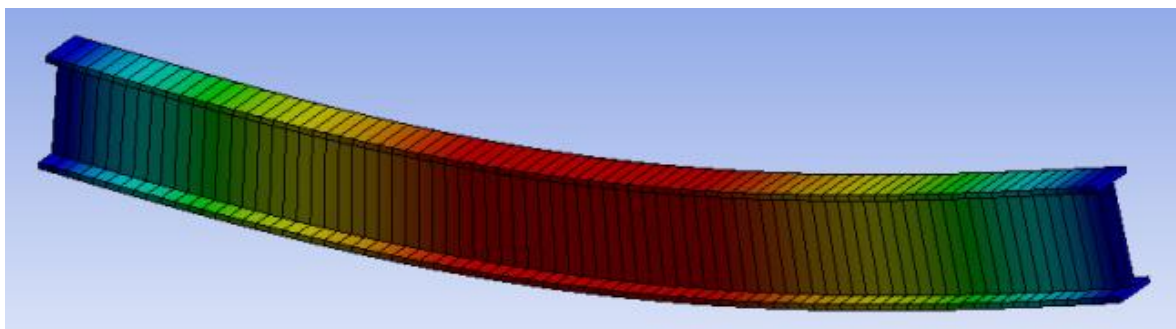
A tensão de cisalhamento estuda a carga que esta paralela a seção do corpo. Esta carga é responsável por gerar o momento fletor, que por torcer o corpo, em diferentes direções, e é obtida pela equação (25).

$$\tau = \frac{F_V * Q}{I * t} \quad (25)$$

2.3.3. Flexão

Como já mencionado anteriormente, as cargas de cisalhamento geram os momentos fletores internos da estrutura. Assim, dependendo do local estudado, esses momentos irão ocasionar flexões no material.

Figura 60: Deformação mecânica através da flexão.



Fonte: InFinite Simulation, (2018).

2.3.4. Análise dos esforços internos

Após a realização de um teste experimental com dinamômetro, decidiu-se criar um diagrama de corpo livre do mecanismo a fim de obter-se uma aproximação dos valores de forças atuantes no sistema. A análise torna-se mais simples uma vez que o sistema trabalha na maior parte do tempo em regime estático.

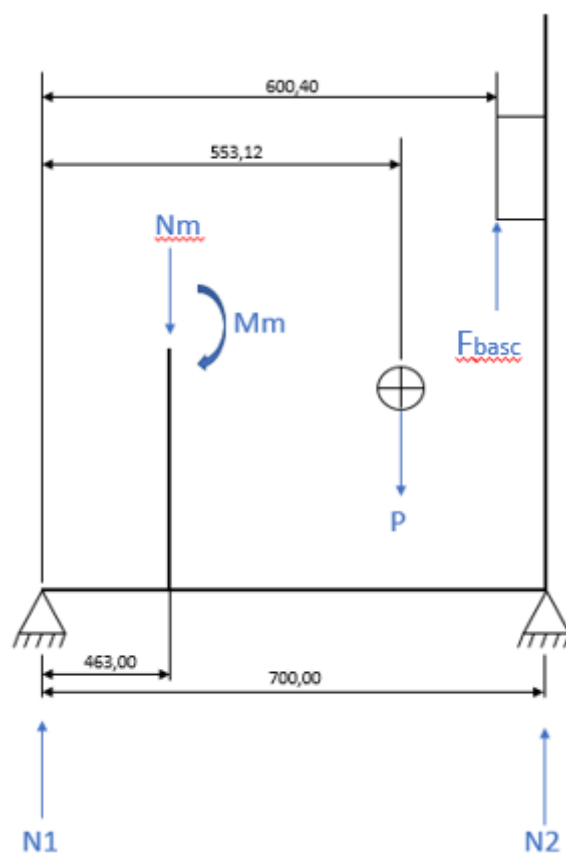
O modelo simplificado utilizado para as análises estruturais está descrito na figura (62), porém sua simplificação veio do modelo 3D apresentado na figura (61)

Figura 61: Modelo 3D.



Fonte: Autor.

Figura 62: Simplificação 2D do mecanismo.



Fonte: Autor.

Os apoios dos rodízios foram aproximados de engastes, uma vez que com travas nos rodízios o movimento no eixo x é bloqueado. Como simplificação, foram omitidas as

guias de movimentação da morsa. O atuador pneumático é representado apenas ilustrativamente para posicionamento da força, tendo sua massa considerada na massa total do mecanismo em seu centro de gravidade, onde o posicionamento e a sua respectiva massa foi obtido através do CAD do projeto.

2.3.4.1. Cálculos analíticos

Através de somatória de forças, as forças horizontais, verticais e momentos foram obtidos, representados nas equações (26), (27) e (28).

$$\Sigma F_x = N1_x + N2_x = 0 \quad (26)$$

$$N1_x + N2_x = 0$$

$$N1_x = -N2_x$$

Obtendo que as forças horizontais nos apoios são contrárias, conclui-se o já esperado: as forças se anulam e o sistema fica em regime estático no eixo x. Através da equação (27) foram consultadas as forças verticais, obtendo a força que a morsa deve sustentar.

No tópico 2.1.1. foi selecionado o atuador que aplicará uma força de 1.086,81 N e o peso do equipamento resulta numa força igual à 298,12 N.

$$\Sigma F_y = N1 + N2 + F_h - P - N_m = 0 \quad (27)$$

$$N_m = 1086,81 - 298,12$$

$$N_m = 788,69 \text{ N}$$

Pela somatória dos momentos no ponto A, teremos:

$$\Sigma M_{N1} = N_m * a + M_m + P * b - F_h * c - N2 * d = 0 \quad (28)$$

$$788,96 * 463,00 + M_m + 298,12 * 553,12 - 1086,81 * 600,40 - 0 = 0$$

$$M_m = 122,33 \text{ Nmm}$$

Com a magnitude momento definida, será desconsiderado a possibilidade do sistema rotacionar o sistema travado e em funcionamento.

2.4. PROTÓTIPO MODELADO

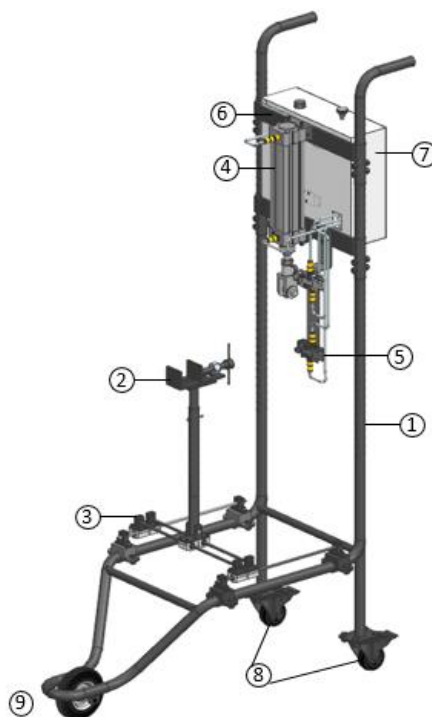
O design do mecanismo foi projetado a modo que atendesse as premissas principais do projeto: ser de fácil utilização, rápido funcionamento e com uma operação segura ao usuário. Além desses pontos, também foi relevante como seria o encaixe na parte de baixo do caminhão (abaixo da bomba hidráulica de basculamento) para não haver

obstáculos como tanques e outros componentes presentes na longarina. As premissas e detalhes construtivos serão abordados nas seções adiante.

2.4.1. Sistema completo

O equipamento consiste em uma estrutura tubular dobrada, com mobilidade por rodízios (rodas) em três pontos. O acionamento da bomba hidráulica acontece por atuador pneumático e a fixação do sistema é feito por uma morsa fixada na carcaça da bomba hidráulica de basculamento. Ambos os componentes (atuador e morsa) contam com um sistema de posicionamento ajustável, a fim de atender diferentes modelos de caminhões em que a bomba hidráulica apresente localização diferente. A figura (63) apresenta o sistema e os principais componentes enumerados e a tabela (11) apresenta as suas descrições.

Figura 63: Sistema e principais componentes.



Fonte: Autor.

Tabela 11: Descrição dos itens da figura (63).

Item	Descrição
1	Estrutura tubular
2	Morsa de fixação
3	Guias de posicionamento da morsa
4	Atuador pneumático
5	Sensores de fim de curso do atuador

6	Abas de fixação e ajuste de altura do atuador
7	Caixa do sistema pneumático de controle
8	Rodízios traseiros
9	Rodízio dianteiro

Fonte: Autor.

A figura (64) apresenta o E-Cab em escala 1:1 acoplado a um caminhão, também em escala 1:1.

Figura 64: E-Cab em posição de operação.



Fonte: Autor.

2.4.2. Componentes

Os principais componentes são separados como:

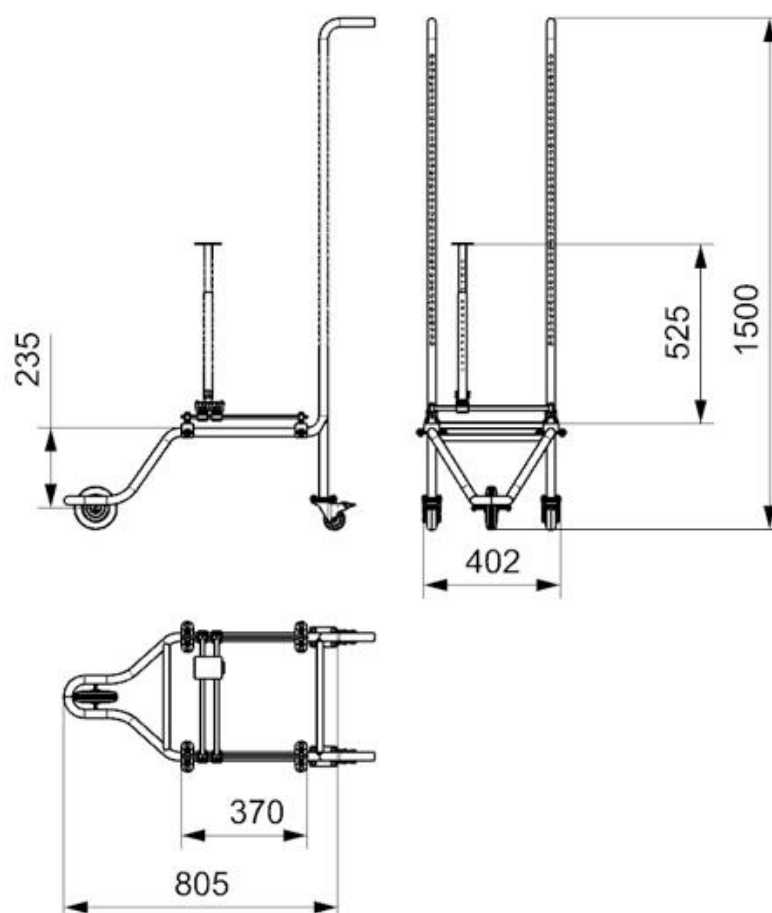
- a) Estrutura tubular
- b) Morsa de fixação
- c) Guias de posicionamento da morsa
- d) Atuador pneumático e sensores de fim de curso
- e) Acoplamento barra-atuador
- f) Barra acionadora da bomba
- g) Caixa do sistema pneumático de controle
- h) Rodízios traseiros e dianteiro

Os detalhes construtivos e aprofundamento serão abordados nas seções posteriores.

2.4.2.1. Estrutura Tubular

A estrutura do sistema, como mencionado anteriormente, é o componente principal onde é atendida a premissa de projeto de ser de fácil utilização e montagem, além da preocupação com a ergonomia do usuário. Conta com manoplas para deslocamento, suporte do atuador com ajuste de altura, rodízios para movimentação e patamar inferior com altura compatível a ser posicionada abaixo do chassi do caminhão. Suas dimensões principais estão representadas na figura (65).

Figura 65: Dimensões básicas da estrutura.



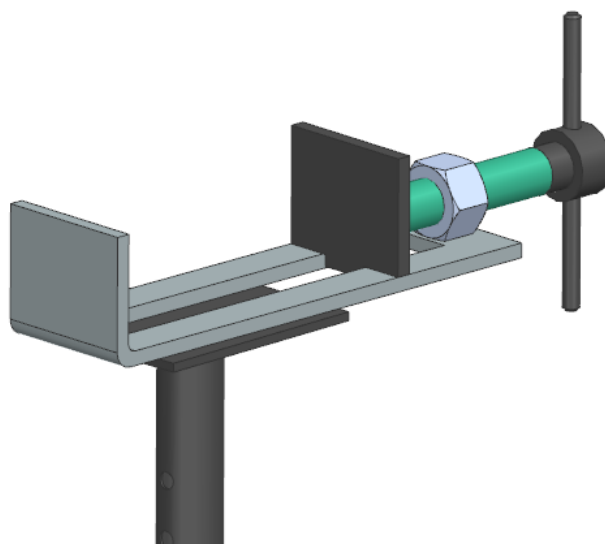
Fonte: Autor.

Os tubos são de diâmetro de 25,4 mm (1 polegada) e espessura de parede de 1,0 mm, sendo os verticais (do atuador e da morsa) com furos espaçados para posicionamento. O material escolhido é o aço SAE 1020 por ser de custo competitivo, apresentar resistência mecânica adequada, usinabilidade, boa soldabilidade, além de possibilitar a dobra sem maiores dificuldades com a dobradora disponível para utilização. Apesar de estar sujeita à solicitações relevantes, a análise estrutural por elementos finitos apresentada na seção 2.5. apresenta segurança na utilização.

2.4.2.2. Morsa de fixação

Com o desenvolvimento do projeto, entendeu-se que seria necessário algum tipo de fixação para estabilidade da estrutura no momento de funcionamento com os movimentos cíclicos. A solução foi proposta foi o de uma pequena morsa para fixação junto à carcaça da bomba hidráulica de basculamento do caminhão, restringindo translação e rotação do sistema e prevenindo que não haja perda de contato com o solo. O acionamento é feito por um fuso roscado M20x1.5 que aciona as paredes da morsa que ficarão em contato com as laterais da carcaça da bomba. O material utilizado é o SAE 1020. A figura (66) apresenta suas características construtivas.

Figura 66: Morsa de fixação.

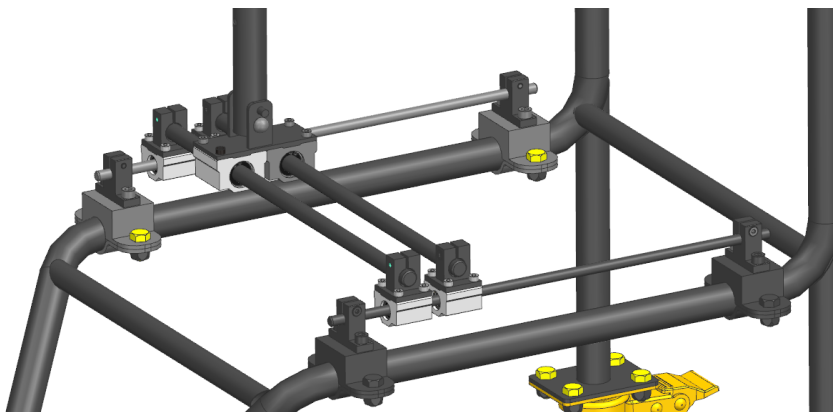


Fonte: Autor.

2.4.2.3. Guias de posicionamento da morsa

Identificado a necessidade também de ajuste da posição da morsa para diferentes aplicações, foi projetado um sistema de posicionamento através de guias lineares, além do ajuste de altura pelo tubo da estrutura. Representado na figura (67) é possível o ajuste em dois eixos. Houve atenção especial no dimensionamento e escolha de materiais das barras maciças de menor diâmetro que apoiam as guias lineares pela possibilidade de flexão, uma vez que se aproximam de uma viga bi engastada em mancais e sujeita a forças em seu centro.

Figura 67: Guias de posicionamento da morsa.

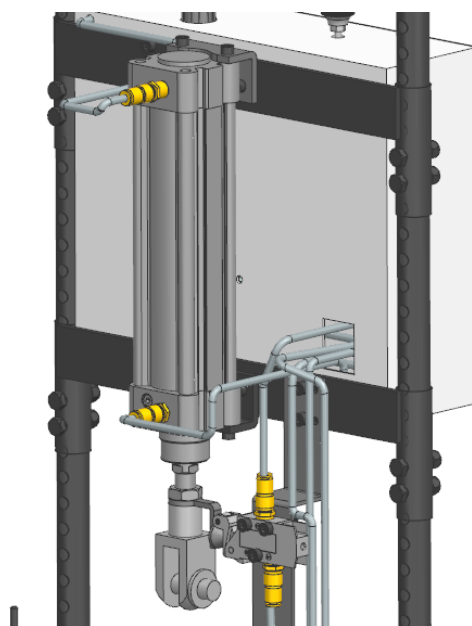


Fonte: Autor.

2.4.2.4. Atuador pneumático e sensores de fim de curso

O acionamento pneumático foi escolhido por atender à força necessária, ser uma tecnologia “limpa”, compacta e com tomada de pressão comumente disponível nas oficinas e até nos caminhões. O posicionamento e fixação do atuador é feito através de abas, unidas por parafuso na estrutura tubular. Isso facilita a retirada do atuador em si para trocas, manutenções ou outra necessidade. Facilitando a montagem, o equipamento fica posicionado à 5 da caixa em que contém o sistema pneumático de controle, como apresenta a figura (68).

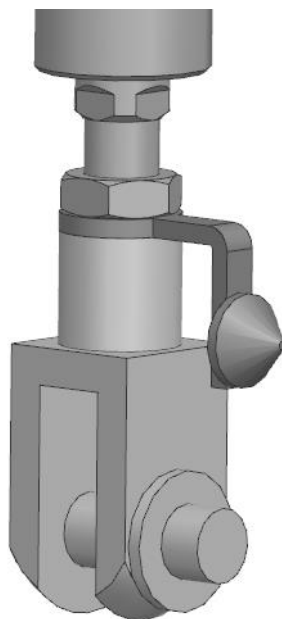
Figura 68: Atuador pneumático.



Fonte: Autor.

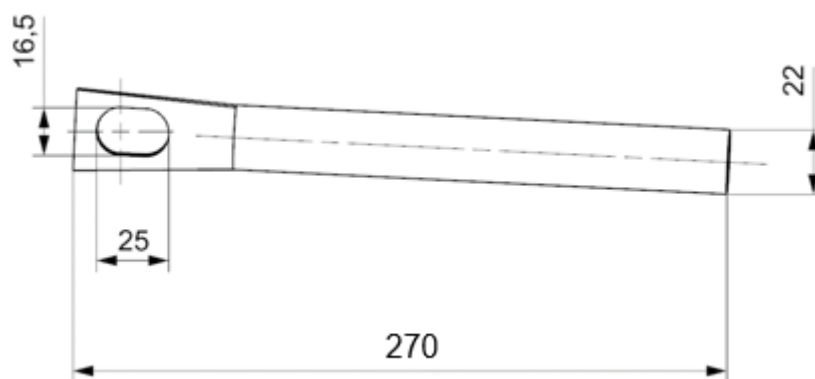
O controle do atuador é feito através de sensores fim de curso, posicionados no curso projetado. Na haste do atuador é fixado um acoplamento para a barra de acionamento da bomba, com detalhe na figura (69) A barra mencionada vem de série com os caminhões zero-quilômetro, comumente com 1.000 mm de comprimento. Para o projeto foi adotada uma barra com 270 mm de comprimento a fim de otimizar o espaço utilizado, ilustrada na figura (70). Não há impedimento do usuário usar a barra original. A figura (71) apresenta o conjunto montado.

Figura 69: Acoplamento barra-atuador.



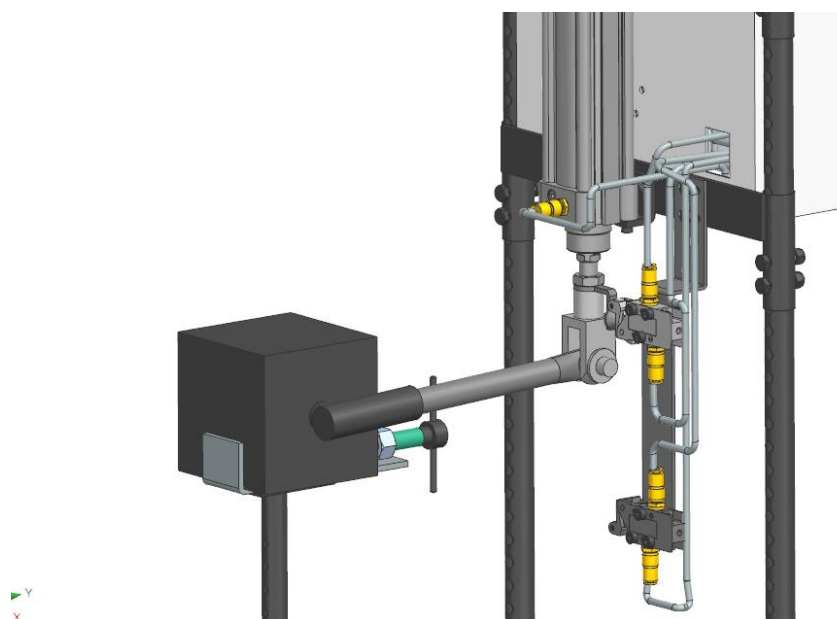
Fonte: Autor.

Figura 70: Barra de acionamento da bomba.



Fonte: Autor.

Figura 71: Conjunto atuador, barra e bomba.

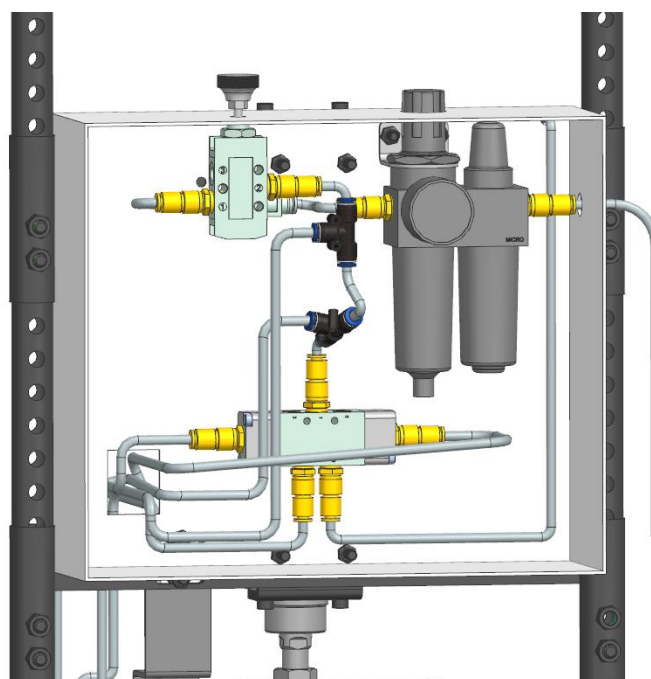


Fonte: Autor.

2.4.2.5. Sistema pneumático de acionamento

A interface entre a tomada de pressão e o controle do atuador é feito por um sistema pneumático montado numa caixa fixa na parte de trás do equipamento, todo o sistema já foi descrito na seção 2.1.8. A figura (72) representa como os componentes estarão dispostos fisicamente na caixa de acrílico.

Figura 72: Sistema pneumático de acionamento.

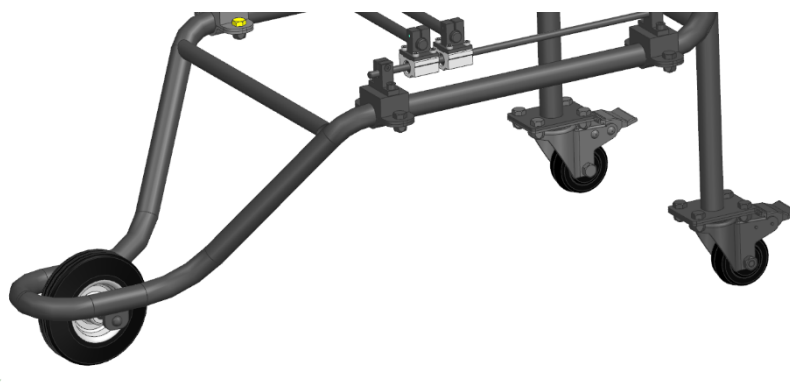


Fonte: Autor.

2.4.2.6. Rodízios de deslocamento

A sustentação do sistema é feita em 3 pontos com rodas, sendo uma dianteira e duas traseiras. A escolha por “rodízios” foi feita por ser de fácil acesso no mercado, fácil montagem e por atender as necessidades de projeto. A dianteira é única, de material polimérico e com 126 mm de diâmetro, ficando a traseira do equipamento bi apoiada por duas rodas de 63 mm de diâmetro, como apresenta a figura (73). Tais rodízios foram selecionados através do catálogo do fornecedor presente nos anexos, com a premissa de aguentar a massa da estrutura e seus carregamentos.

Figura 73: Rodízios.



Fonte: Autor.

2.5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

2.5.1. Introdução

A simulação computacional de elementos finitos é um processo de resolução de problemas analíticos de extrema complexidade em qualquer tipo de geometria desejada. Para realizar esta análise, a geometria estudada é dividida em pequenas partes, denominadas elementos e os seus pontos de intersecção são chamados de nós. Logo, os elementos apresentam diferentes formas em função da quantidade de nós que possuem.

Para realizar as simulações do E-Cab, foi utilizado o módulo Mechanical do software Ansys. Este módulo é voltado para análise das tensões e deformações existentes na estrutura do projeto.

Na próxima seção, será apresentado o resultado de cinco simulações nos subconjuntos do E-Cab. Estas simulações avaliam quais são os componentes mais críticos do sistema que estão sujeitos a ajustes em sua geometria.

2.1.1. Simplificações adotadas

Foram realizadas simplificações geométricas nos parafusos, porcas e componentes com geometrias complexas.

Na geometria dos componentes não foi considerado a existência de soldas, a união deles foi feita a partir dos modelos de contato existentes no software.

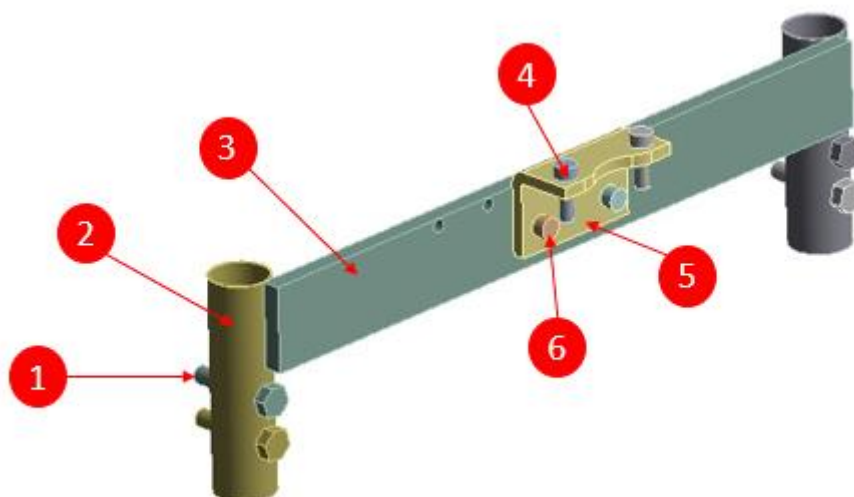
Devido ao limite de elementos e nós que a licença presente no Centro Universitário FEI e a licença estudantil do Ansys permite, o E-Cab teve que ser dividido em pequenos subsistemas para que a simulação ocorresse.

2.1.2. Subconjuntos

2.1.2.1. Suporte do sistema pneumático

Esse subconjunto tem a função de fixar o atuador pneumático na estrutura do equipamento. Dos componentes listados na tabela (12), é de extrema importância saber o comportamento das tensões cisalhantes nos parafusos (1) e (6) para avaliar se ocorre ou não o seu cisalhamento, e as tensões e deformações existentes no item (5), pois a sua curvatura resulta numa região de acúmulo de tensões.

Figura 74. Suporte do sistema pneumático.



Fonte: Autor.

Tabela 12: Componentes do sistema

Número	Descrição	Material utilizado	Componente estudado
1	Parafuso M8x40	Aço 1020	X
2	Luva de fixação	Aço 1020	
3	Chapa 350x40	Aço 1020	

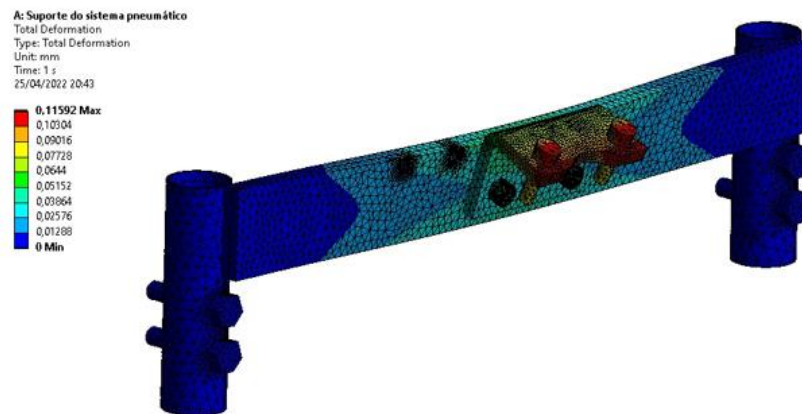
4	Parafuso M6x20	Aço 1020	
5	Aba de fixação	Aço 1020	X
6	Parafuso M6x30	Aço 1020	X

Fonte: Autor.

A força utilizada para essa simulação é de 600 N aplicada na face superior do item (5).

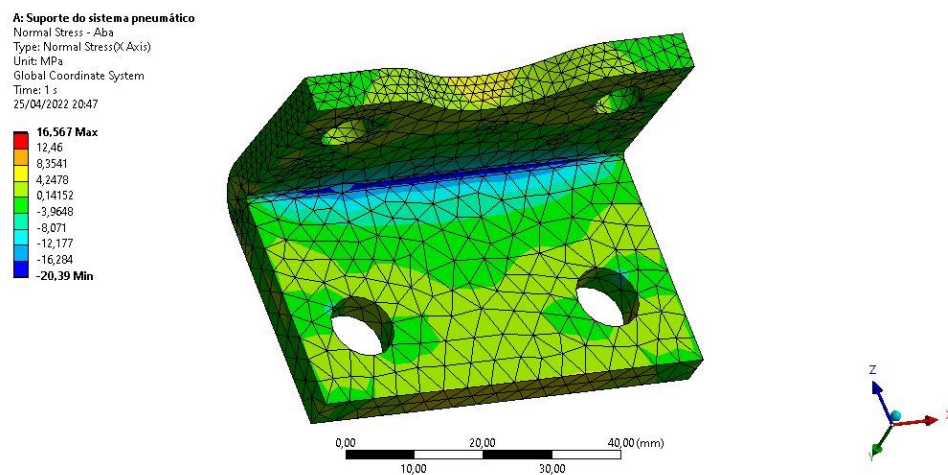
Os resultados da simulação são apresentados nas figuras subsequentes.

Figura 75: Deformação total no subsistema.



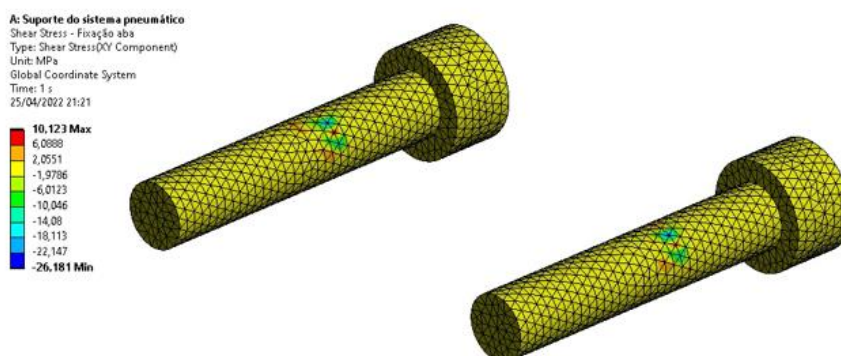
Fonte: Autor.

Figura 76: Tensão normal no item (5).



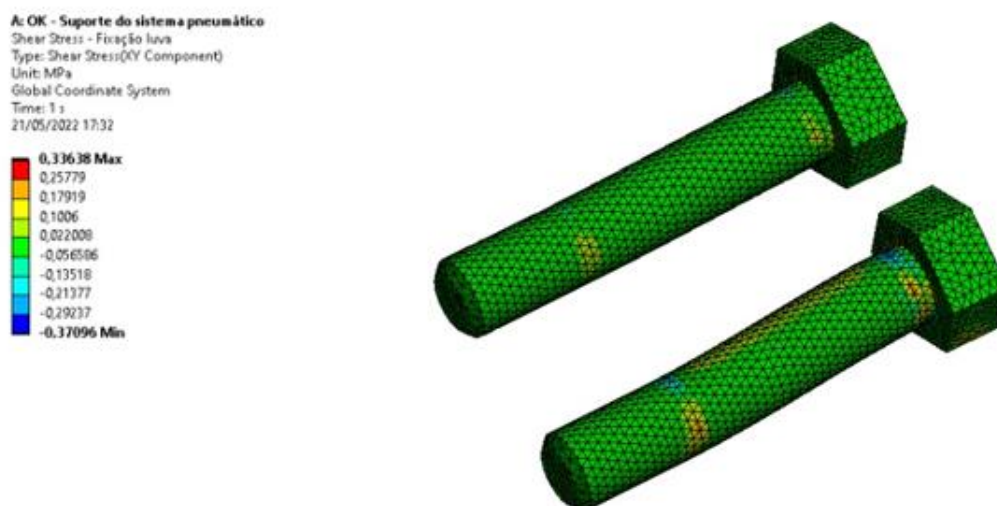
Fonte: Autor.

Figura 77: Tensão de cisalhamento no item (6).



Fonte: Autor

Figura 78: Tensão de cisalhamento do componente (1)



Fonte: Autor.

2.1.1.1.1. Avaliação dos resultados obtidos

Não existem pontos críticos que podem causar alguma falha na operação do equipamento. Todas as tensões e deformações estão abaixo do limite de tensão de escoamento dos materiais determinados.

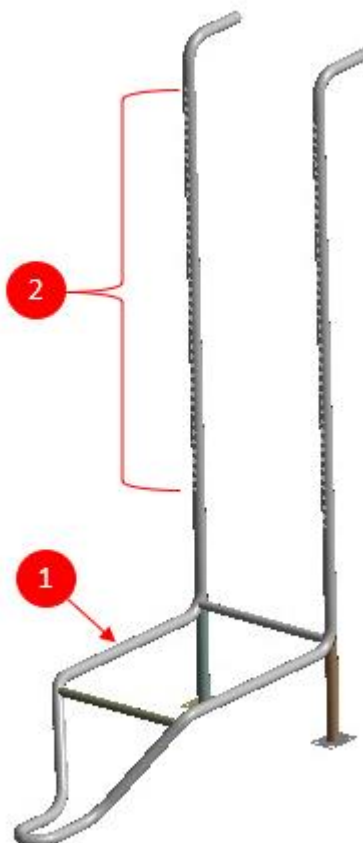
A consequência da simulação do item (1) é a redução na quantidade de parafusos existentes nesse subconjunto. No momento da simulação se tem quatro parafusos, esse número pode ser reduzido para apenas dois.

2.1.1.2.Estrutura tubular

Como o nome diz, é a estrutura do E-Cab. Na região (2), indicada na figura (79), é fixado o “*suporte do sistema pneumático*”.

É importante avaliar a deformação e tensões na região dos furos que recebem os parafusos (1) do subsistema anterior. Caso os esforços danificassem de alguma forma estes furos, haverá um grande aumento na chance de danificar o sistema pneumático.

Figura 79: Subsistema da estrutura tubular com região furada.



Fonte: Autor.

Tabela 13: Componentes do subsistema.

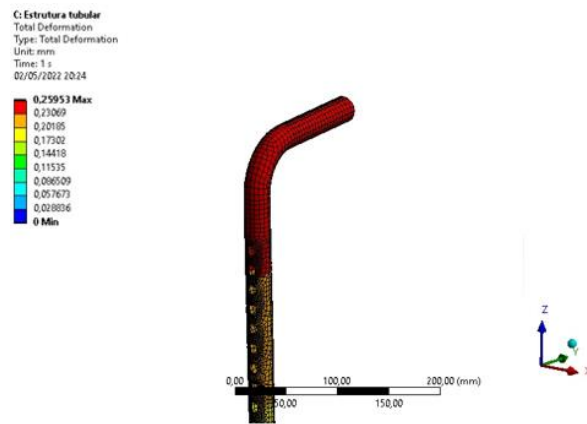
Número	Descrição	Material utilizado	Componente estudado
1	Estrutura tubular	Aço 1020	
2	Região com furos	Aço 1020	X

Fonte: Autor.

Foi aplicado uma força de 300 N em cada furo que suporta os parafusos do subsistema anterior.

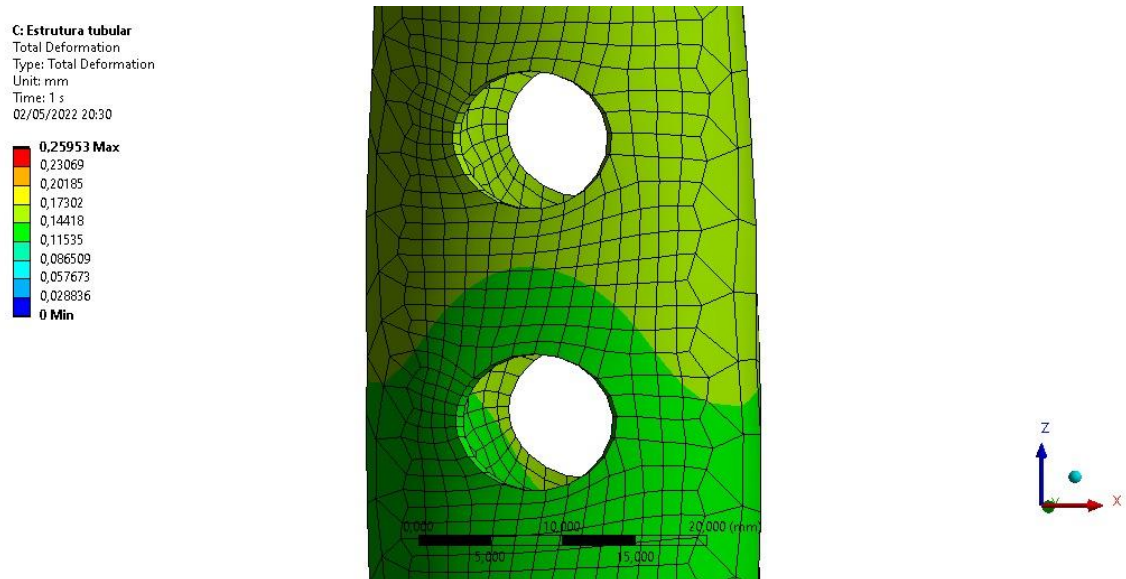
Os resultados desta simulação estão compilados nas figuras a seguir.

Figura 80: Deformação máxima total do subsistema.



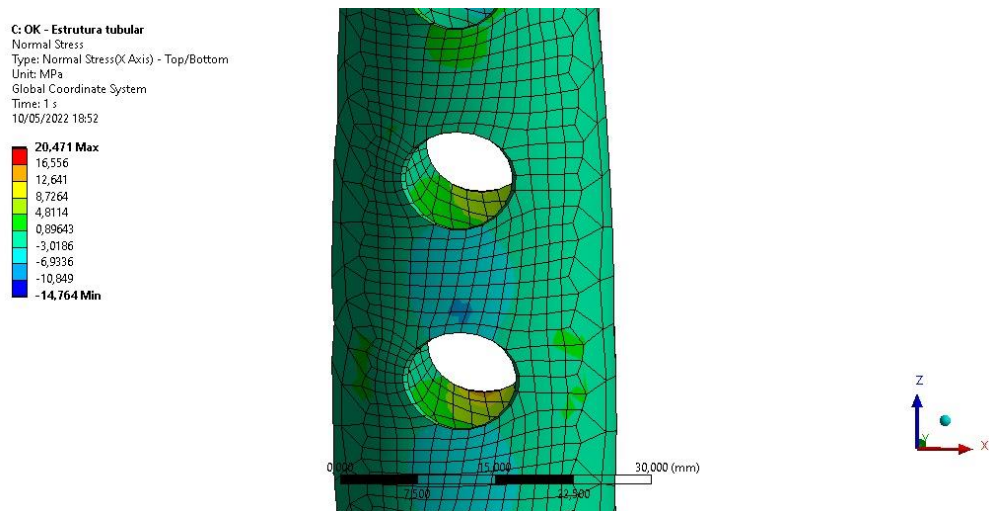
Fonte: Autor.

Figura 81: Deformação total da região 2.



Fonte: Autor.

Figura 82: Tensão normal na região 2.



Fonte: Autor.

2.1.1.2.1. Avaliação dos resultados obtidos

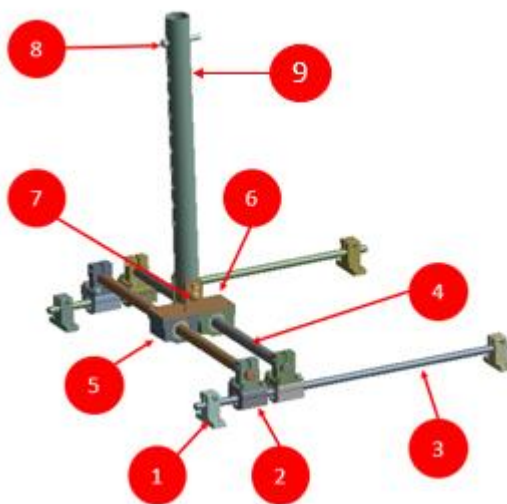
Não existem pontos críticos que podem causar alguma falha na operação do equipamento. Todas as tensões e deformações estão abaixo do limite de tensão de escoamento dos materiais determinados.

2.1.1.3. Guias de movimentação e pinos da barra vertical

Considerado pelo grupo como sistema mais crítico do projeto. Este subsistema é composto pelos itens (7), (8) e (9). É necessário ver o comportamento dos rebites (7) e (8), avaliando as tensões de cisalhamento e a possibilidade de haver esmagamento.

As guias de movimentação, itens (3) e (4), são responsáveis por suportar todos os esforços de fixação do E-Cab. É de grande importância avaliar a sua deformação e as tensões resultantes.

Figura 83: Guias de movimentação da morsa.



Fonte: Autor.

Tabela 14: Componentes do sistema.

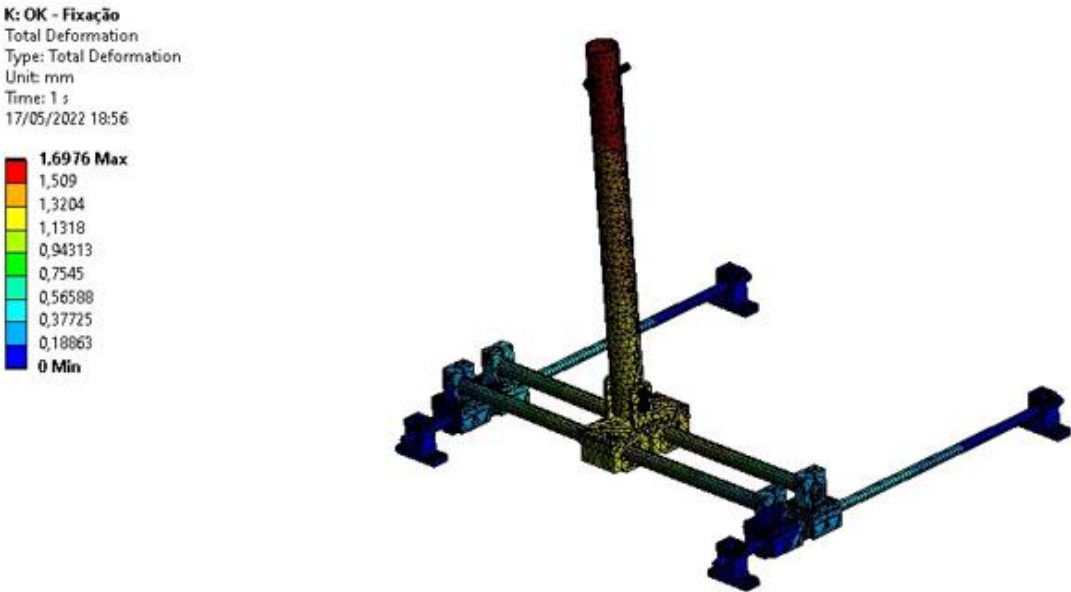
Número	Descrição	Material utilizado	Componente estudado
1	Mancal p/ guia lateral	Aço 1020	
2	Suporte Pillow Block c/ Mancal p/ guia principal	Aço 1020	
3	Guia lateral		X
4	Guia principal		X
5	Suporte Pillow Block s/ mancal	Aço 1020	
6	Suporte p/ barra vertical	Aço 1020	

7	Pino XXX (inferior)	Aço 1020	X
8	Pino de fixação da morsa.	Aço 1020	X
9	Barra vertical	Aço 1020	

Fonte: Autor.

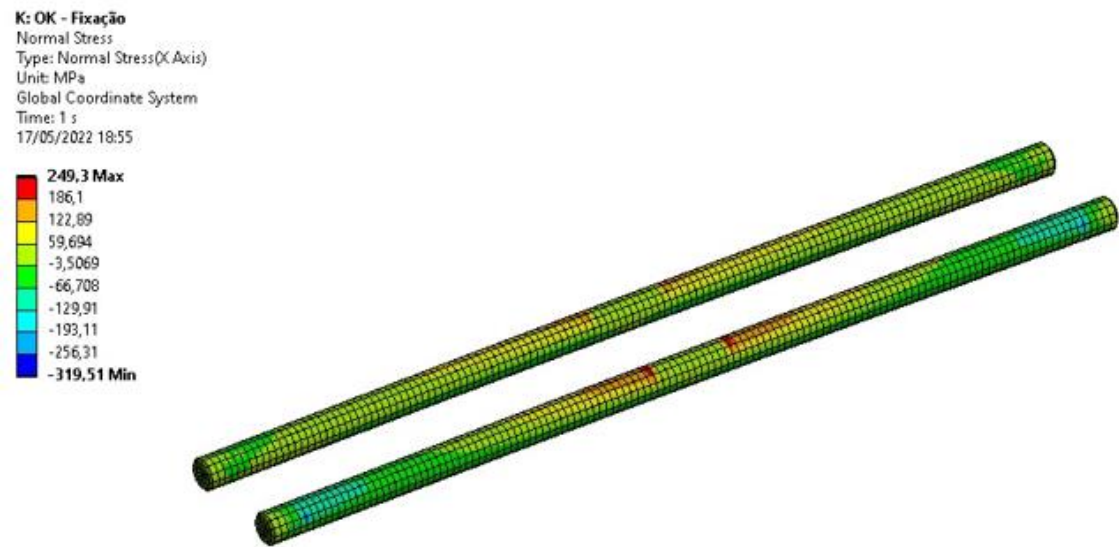
Para esta simulação, foi utilizado as forças de 1200 N e momento de 120 Nmm na face superior do item (9). Os resultados estão compilados nas figuras a seguir.

Figura 84: Deformação total no subsistema.



Fonte: Autor.

Figura 85: Tensão de cisalhamento no item (4).

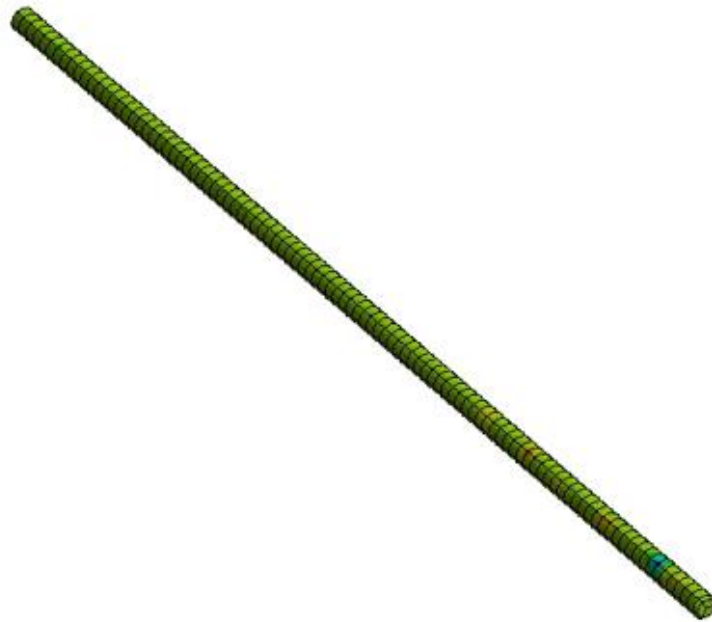


Fonte: Autor.

Figura 86: Tensão normal no item (3).

K: OK - Fixação
 Normal Stress 2
 Type: Normal Stress(X Axis)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 1 s
 17/05/2022 18:55

38,175 Max
 26,669
 15,162
 3,6561
 -7,8502
 -19,356
 -30,863
 -42,369
 -53,875
 -65,381 Min

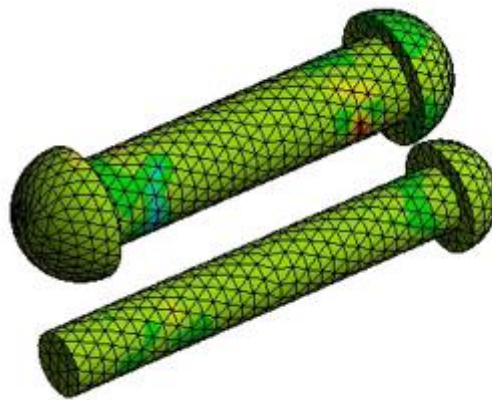


Fonte: Autor.

Figura 87: Tensão de cisalhamento no item (7).

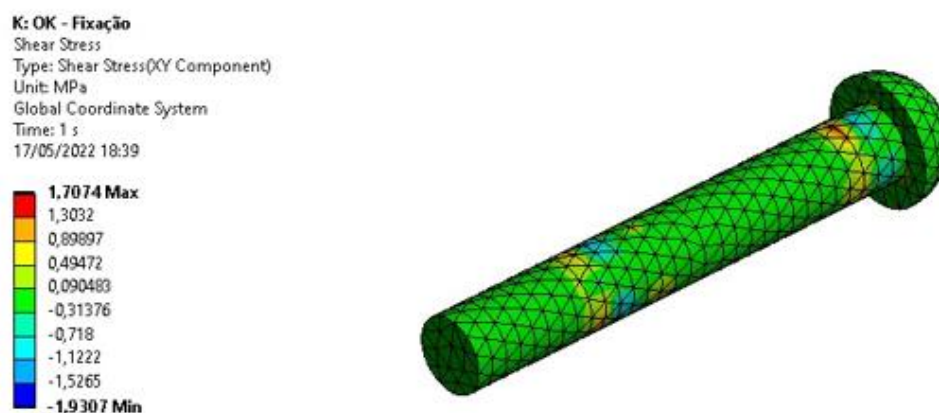
K: OK - Fixação
 Shear Stress 2
 Type: Shear Stress(XY Component)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 1 s
 17/05/2022 18:53

5,7945 Max
 4,2855
 2,7764
 1,2673
 -0,24171
 -1,7508
 -3,2598
 -4,7689
 -6,2779
 -7,787 Min



Fonte: Autor.

Figura 88: Tensão de cisalhamento no item (8).



Fonte: Autor.

2.1.1.3.1. Avaliação dos resultados obtidos

A guia linear principal, componente (4), passou por otimizações em seu design devido aos valores das tensões normal e de cisalhamento e deformações encontrados. Essa otimização resultou num aumento do diâmetro da guia de 3/8" (9,5 mm) para 1" (25,4 mm).

Nenhum outro componente deste subconjunto apresentou sinais de possíveis falhas em condições de operação.

2.1.1.4. Rodízio dianteiro

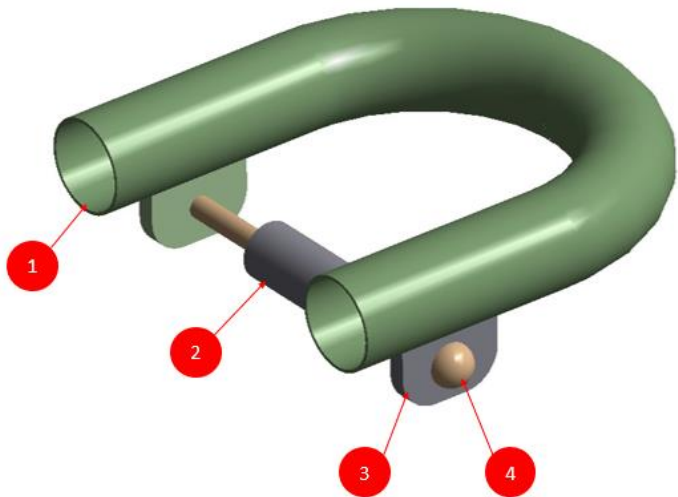
A partir da análise estrutural realizada na seção 2.3.5.1, foi definido os valores do momento e força vertical que a morsa de fixação deveria suportar na condição de esforço nulo nos apoios do E-Cab. A partir da situação descrita, não faz o menor sentido simular uma região que não existe força aplicada nela.

Logo, definiu-se uma situação hipotética, na qual cerca de 80% da força vertical referentes a morsa foi transferida para este subconjunto.

Essa situação está longe de simular a condição real de operação do sistema, porém a condição de esforços nulos nos apoios também não simula a realidade.

Então, por questão de segurança e avaliação de uma situação hipotética, se avalia os resultados nos itens (3) e (4) para definir quais seriam os materiais mais adequados a estas condições.

Figura 89: Rodízio dianteiro.



Fonte: Autor.

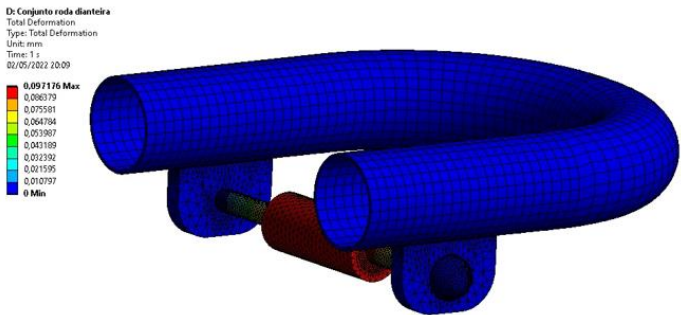
Tabela 15: Descrição dos componentes do sistema.

Número	Descrição	Material utilizado	Componente estudado
1	Estrutura tubular	Aço 1020	
2	Eixo de suporte	Aço 1020	
3	Junção estrutura e roda	Aço 1020	X
4	Rebite	Aço 1020	X

Fonte: Autor.

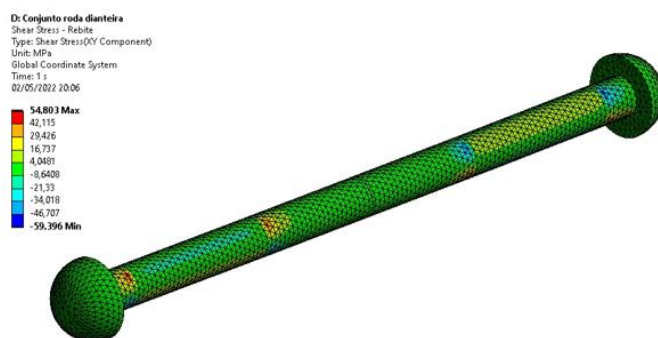
A força utilizada para esta simulação é de 930 N sendo aplicada na face do item (2). Os resultados estão compilados nas figuras a seguir.

Figura 90: Deformação total.



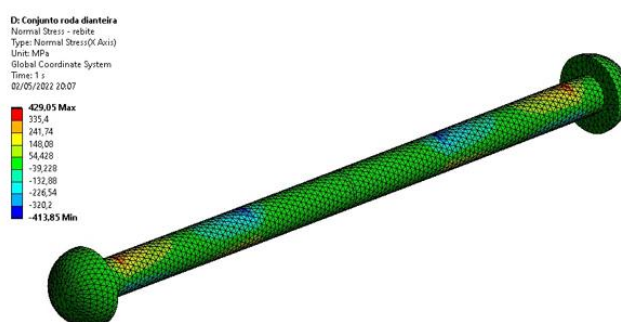
Fonte: Autor.

Figura 91: Tensão de cisalhamento no item (4).



Fonte: Autor.

Figura 92: Tensão normal no item (4).



Fonte: Autor.

2.1.1.4.1. Avaliação dos resultados

Tendo em vista a simulação estrutural realizada, nota-se que o sistema do rodízio dianteiro apresente um ponto crítico em seu rebite, item (4). O rebite apresentou uma tensão normal de aproximadamente 430 MPa, sendo próximo à fase de deformação plástica de aços estruturais.

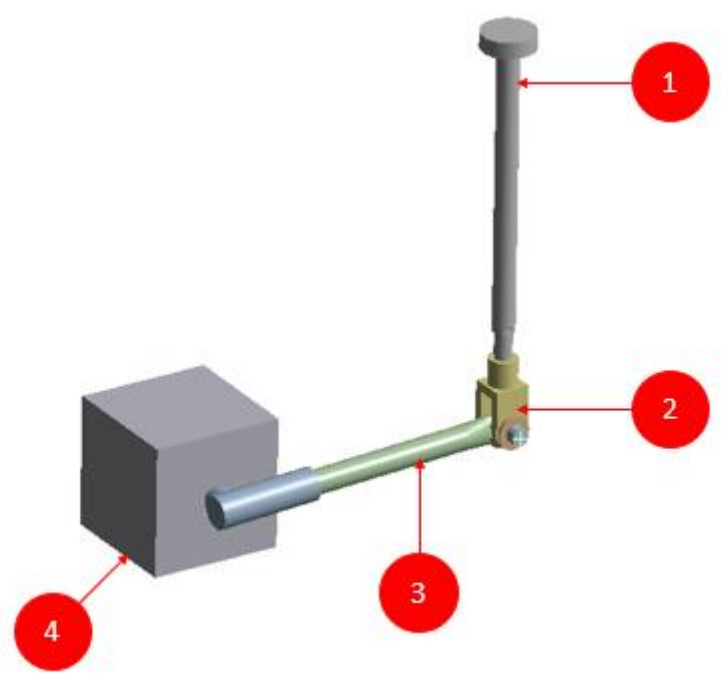
O material a ser selecionado, em função dessa condição hipotética, deve ser o aço 4140. Porém como a condição de operação resultara em tensões menores, o material selecionado para o rebite foi o aço 1020.

2.1.1.5. Sistema de basculamento

Esse subsistema realiza, efetivamente, o basculamento da cabina do caminhão. A barra de basculamento, item (3), é o único componente que demanda uma avaliação mais crítica.

É necessário avaliar quais são as tensões existentes, buscando encontrar a melhor solução para que esse componente não sofra deformações plásticas.

Figura 93: Sistema de basculamento



Fonte: Autor.

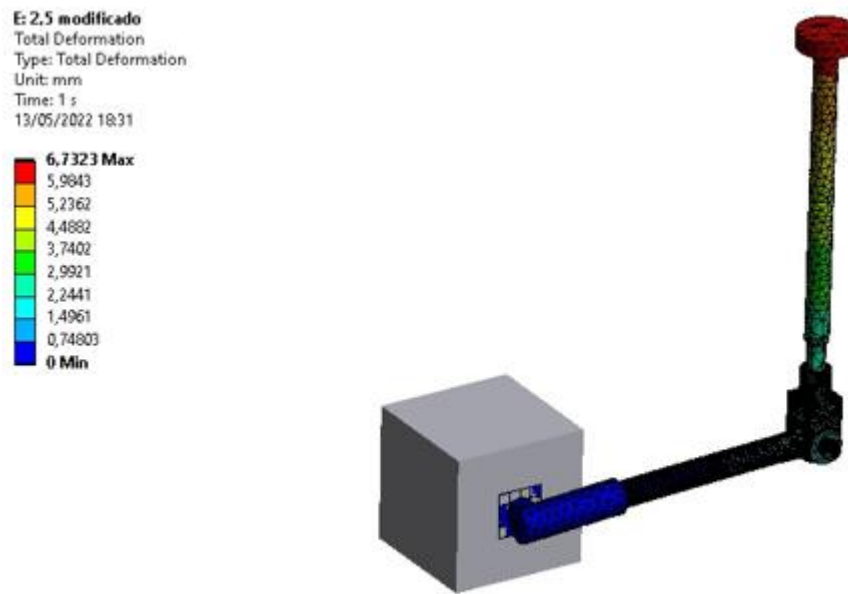
Tabela 16: Descrição dos componentes do sistema.

Número	Descrição	Material Utilizado	Componente estudado
1	Haste do atuador	-	
2	Acoplamento	-	
3	Barra de basculamento	Aço 1020	X
4	Bomba de basculamento	-	

Fonte: Autor.

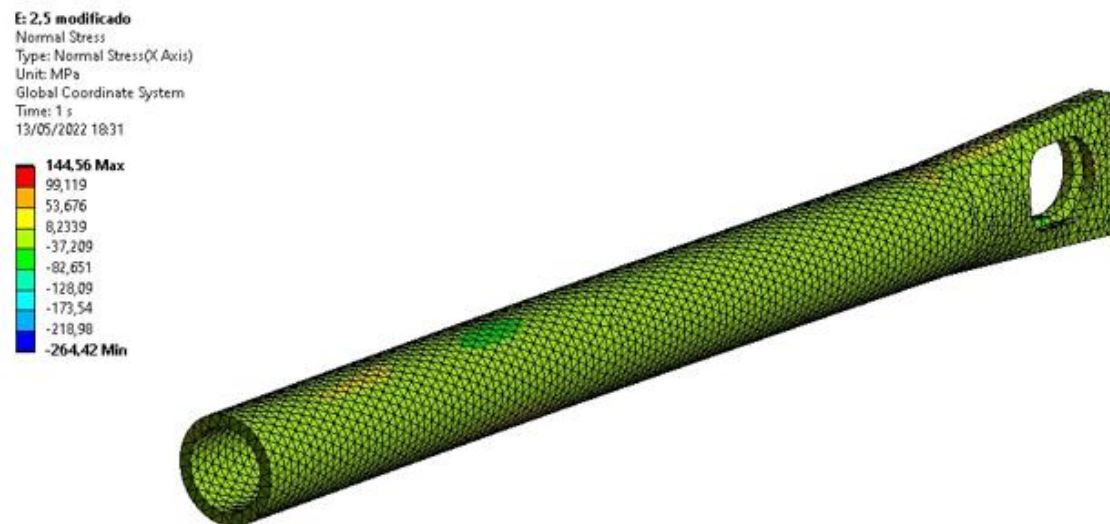
A força utilizada nesta simulação é de 1200 N, e ela foi aplicada na face superior do item (1). Os resultados estão listados nas figuras abaixo.

Figura 94: Deformação total.



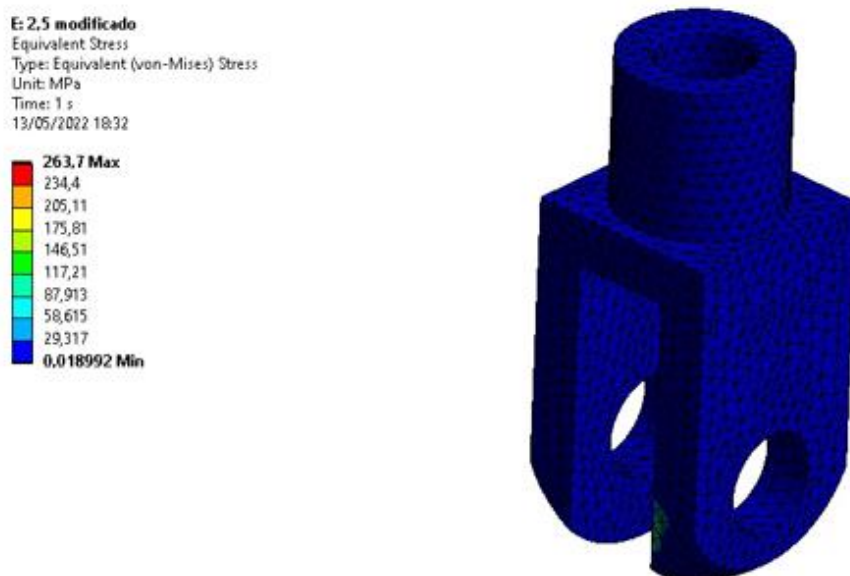
Fonte: Autor.

Figura 95: Tensão normal no item (3).



Fonte: Autor.

Figura 96: Tensão equivalente de Von-Misses no item (2).



Fonte: Autor.

2.1.1.5.1. Avaliação dos resultados obtidos

A barra de basculamento, componente (3), passou por otimizações em sua geometria. Na situação inicial, onde a mesma apresentava uma espessura de 0,9 mm, foi observado tensões na casa de 1000 MPa. Após os devidos ajustes, espessura de 2,5 mm, a tensão máxima observada no componente está próxima a 145 MPa, dentro dos limites de tensão elástica do aço 1020.

Os outros componentes não apresentam motivos estruturais para falharem.

2.1.2. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se avaliar que o E-Cab foi superdimensionado para a sua condição de operação.

2.6. FEI-40

Com o objetivo de construir um protótipo na escala de 1:1, foi necessário preencher e atender as especificações do documento, FEI-40, fornecido pelo CLM (Centro de Laboratório Mecânico). Fornecendo, detalhadamente, os materiais e equipamentos a serem adquiridos, as horas-máquina, as horas-operador, adicionalmente anexando os desenhos mecânicos a serem confeccionados pelos técnicos do CLM.

Este documento se encontra no anexo A.

2.6.1. Recursos materiais

Em conjunto ao documento FEI-40, o CLM envia o contato de alguns fornecedores conhecidos pela faculdade, os quais deverão ser contatados, e providenciar uma cotação, que será anexada ao documento. Para a construção do protótipo, foram cotados:

Tabela 17: Lista de materiais e equipamentos cotados.

Origem	Lista de Material ou Equipamento
Aços	Chapa; Tubo cilíndrico; Barra Cilíndrica; Barra quadrada;
Parafusos e Porcas	Parafuso Allen: M4; M6; Parafuso: M8; Porcas: M6;
Hidráulica	Atuador pneumático; mangueiras; conexões;
Outros	Suporte Pillow Block; Rodas; Chapa de Acrílico;

Fonte: Autor.

2.6.2. Recursos Humanos e serviços internos

A FEI disponibiliza o uso dos técnicos e máquinas, para auxiliar na confecção das peças projetadas pelo grupo. Com os desenhos em mãos, os técnicos fornecem os procedimentos e a quantidade de horas que cada peça irá utilizar.

Tabela 18: Lista de operações utilizadas.

Operação
Corte a jato d'água
Corte a laser
Furação
Soldagem
Usinagem convencional

Fonte: Autor.

É recomendado pelos técnicos que, durante o preenchimento, o número de horas total seja multiplicado por 1,2 (20% a mais das horas totais), para garantir que não falte horas durante o processo. Para concluir o documento, as horas totais das máquinas devem ser divididas, sendo metade para as horas-operador, e a outra metade para as horas-máquina, proporcionalmente a cada máquina.

3. CONCLUSÃO

No trabalho apresentado fica clara a importância que o transporte terrestre, especificamente caminhões, tem na logística nacional e a condição de trabalho que estes

veículos são utilizados. Este tipo de ativo necessita estar em constante operação. E para que isso ocorra, os processos de manutenção devem ser realizados de forma mais rápida e efetiva possível.

Contudo, foi observada tal demanda que é específica do segmento de veículos pesados de carga, assim tornando-se objetivo do presente trabalho e motivando a desenvolver um equipamento capaz de atuar no processo de manutenção, realizando o basculamento de cabinas de caminhão.

Dentre as premissas adotadas, foram atingidos níveis satisfatórios para um primeiro protótipo e sendo levado em consideração as melhorias a se realizar numa futura otimização. A premissa de fácil utilização foi cumprida nos seguintes aspectos:

- a) Fácil deslocamento do conjunto e posicionamento abaixo do caminhão considerando as dimensões
- b) Acoplamento da barra no eixo da bomba de basculamento realizado de forma simples
- c) Acionamento do mecanismo de forma intuitiva

Nas melhorias a serem realizadas, podemos elencar: uma otimização do sistema de posicionamento da morsa, desenvolvimento de uma carenagem para todo o conjunto para adequação à NR12, uma otimização no mecanismo para atender bombas com eixo sextavado, entre outros.

A premissa de velocidade de operação foi um dos pontos mais satisfatórios e dentro das expectativas. O processo de basculamento manual dura cerca de 2 minutos e 30 segundos, além de ser necessário realizar 90 ciclos para completar o curso da cabine. O E-Cab oferece, considerando máxima velocidade, os mesmos 90 ciclos em 33,46 segundos, uma redução de tempo de aproximadamente 63%. Além da redução de tempo dedicado à tarefa, o usuário não precisa se expor aos esforços que a operação demanda, melhorando a sua qualidade de vida no ambiente de trabalho e atendendo também à terceira premissa definida: segurança na operação. Dentre as melhorias, pode-se elencar: um controle de velocidade mais intuitivo, implementação de um sistema de controle para identificação do final de curso da bomba, otimização do sistema de fixação para uma melhor ergonomia ao operador, entre outras.

O equipamento custou R\$8.791,22. Dentro deste valor está inserido os custos de produção, ferramental disponível no centro de laboratórios mecânicos do Centro Universitário FEI, custo da mão de obra técnica e o custo da matéria prima.

A matéria prima é responsável por cerca de 52% do valor do equipamento. Este valor poderá ser reduzido se o projeto for produzido em série, por exemplo. Assim a matéria prima seria utilizada de maneira mais eficiente (em sua totalidade), escolha por materiais de menor custo (aplicações nas peças do mecanismo onde não existem solicitações relevantes), dentre outras soluções.

A grande demanda de tempo de desenvolvimento, testes e melhorias em um projeto de engenharia situa o projeto E-Cab em uma solução em estágio inicial. Contudo, dado a importância e relevância da solução proposta e apresentada, a inovação do tipo radical do projeto e o tempo de desenvolvimento e construção do protótipo, conclui-se que foram atendidas as expectativas do grupo e dos demais envolvidos.

4. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Darlan. Com pandemia, comércio eletrônico tem salto em 2020 e dobra participação no varejo brasileiro. **G1**. 26/02/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/02/26/com-pandemia-comercio-eletronico-tem-salto-em-2020-e-dobra-participacao-no-varejo-brasileiro.ghtml>>. Acesso em: 18/10/2021;

ALVARENGA, Darlan. Economia em 2015: o ano em que o Brasil andou para trás. **G1**. 19/12/2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2015/12/economia-em-2015-o-ano-em-que-o-brasil-andou-para-tras.html>>. Acesso em 27/09/2021;

ANFAVEA. ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, c2021. Dados Estatísticos para Download. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/estatisticas>>. Acesso em 17/10/2021.;

BANDEIRA, Renan. Porque o coronavírus não colapsou o mercado de caminhões como o de carros. **Quatrorodas**. 03/07/2020. Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/por-que-o-coronavirus-nao-colapsou-mercado-de-caminhoes-como-o-de-carros/>>. Acesso em 29/10/2021;

BENEVIDES, Carolina. No Brasil, 80% das estradas não contam com pavimentação. 23/08/2014. **O Globo**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/politica/no-brasil-80-das-estradas-nao-contam-com-pavimentacao-13710994>>. Acesso em 21/10/2021;

BRASIL. Congresso. Senado. Resolução n. 210. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/concurso-2021/resolucoes/R210-06>>. Acesso em: 17/10/2021;

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2 ed. São Paulo, Pearson Universities, 2008.

CALLISTER, W, D. **Ciência e Engenharia dos Materiais**, 9 ed. LTC, 2016

CRISE NO BRASIL: entenda as suas principais causas. **USJT**, 2021. Disponível em: <<https://www.usjt.br/blog/crise-no-brasil-entenda-as-suas-principais-causas/>>. Acesso em 27/09/2021;

CURCIO, Mário. Produção de caminhões cresce 33,9% no primeiro trimestre, apesar da pandemia. **Automotive Business**. 07/04/2021. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/producao-de-caminhoes-cresce-339-no-primeiro-trimestre-apesar-da-pandemia/>>. Acesso em: 29/10/2021;

FIALHO, A, B. **Automação Pneumática – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7 ed. Editora Érica, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=DrdiDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=atuador+pneumático&ots=pTrz-WYbJf&sig=bhLJJeE12r_g3EwfgExvuhkuqmU#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 08/11/2021.

Fonte: Parker Trainig. **Tecnologia Eletropneumática Industrial**: Apostila M1002-2 BR, 2001. Disponível em: <http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/Apostila_Eletropneumatica_Parker.pdf>. Acesso em 12/11/2021.

GERALDO, João. O último dos caminhões bicudos deixa a de ser produzido no Brasil. **O Carreteiro**. 30/06/2020. Disponível em: <<https://www.ocarreteiro.com.br/o-ultimo-dos-caminhoes-bicudos-deixa-de-ser-produzido-no-brasil/>>. Acesso em: 18/10/2021;

GONÇALVES, Carlos. O mercado de caminhões no Brasil. 2016;

GOVERNO FEDERAL. Governo Federal: Governo do Brasil, c2021. Balança comercial – dados consolidados. Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/comercio-exterior/estatisticas/balanca-comercial-brasileira-acumulado-do-ano>>. Acesso em 17/10/2021;

GOVERNO FEDERAL. Governo Federal: Governo do Brasil, c2021. RNTRC. Disponível em: <<https://portal.antt.gov.br/rntrc>>. Acesso em 27/09/2021;

JOVEM PAN. Venda de caminhões cresce 27,5% no Brasil apesar da pandemia. **JovenPam**. 30/04/2021. Disponível em: <<https://jovempan.com.br/programas/jornal-da-manha/venda-de-caminhoes-cresce-275-no-brasil-apesar-da-pandemia.html>>. Acesso em: 29/10/2021;

PARKER, **Apostila M2001-2 BR** Disponível em: <https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_09.pdf>. Acesso em: 16/05/2022 p.76.;

PRUDENTE, FRANCESCO. **Automação Industrial Pneumática**: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro. LTC, 2015. p. 29, 30, 31, 60, 69, 70, 73;

QUAL A DIFERENÇA DE RODOVIA E ESTRADA?. **RS Notícias**, 2020. Disponível em: <<https://www.rsnoticias.top/2020/04/qual-diferenca-de-rodovia-e-estrada.html>>. Acesso em: 22/10/2021;

SILVA, E, C, N. **PMR 2841 – Sistemas fluidomecânicos**: Apostila pneumática, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://proalpha.com.br/onewebmedia/apostila%20de%20pneumática%20USP.pdf>>. Acesso em: 12/11/2021.

SILVA, Isaac. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/127138911-A-veiculos-nao-articulados-maximo-de-14-00-metros.html>>. p.1, 2, 3;

SOUZA, R. S;SOUZA, G, S. A Logística Internacional e Comércio Exterior Brasileiro: Modais de Transporte. Fluxos Logísticos e Custos Envolvidos. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/631831.pdf>>. Acesso em: 25/10/2021.

5. ANEXO A – FEI 40



PROPOSTA DE PROJETO - PP

Release 19/09/2019

As informações abaixo são necessárias para a correta identificação do projeto a ser proposto e estão em conformidade com a NP4812/16, em vigor a partir de 15/02/2016

Atenção: "Esta página não deve ser impressa"

Nome Projeto :

Natureza: Curso:

Período do Curso: Semestre de referência da Proposta: Ano:

Origem de Controle Numérico (indica a quem deve ser solicitado o número de 2 dígitos que será vinculado ao Projeto):

- ① **Projetos de Natureza Técnico-Administrativa** (Obras, Reformas de Instalações, Implantação de Sistemas, etc.), o número do projeto deve ser solicitado à Administração Central (Fundação).
- ① **Projetos de Mestrado, Doutorado, Iniciação, Competição, Pesquisa em parceria com Terceiros e Pesquisa Financiadas por Órgãos Públicos de Fomento** (ex.: FINEP, SMS, etc.), **Pesquisas de Professores Horistas com Financiamento da FEI e com dedicação parcial, assim como Projetos para participação Feiras / Eventos / Congressos**, o número do projeto deve ser solicitado à Reitoria.
- ① **Trabalhos de Conclusão de Curso (Projetos de Formatura)** que envolvam custos, mas que não utilizam-se dos Centros de Laboratório para execução, o número do projeto deve ser controlado e mantido pelo Departamento de Ensino do curso em questão.
- ① **Trabalhos de Conclusão de Curso (Projetos de Formatura)** executados nos Centros de Laboratório, o número do projeto deve ser controlado e mantido pelos respectivos Laboratórios (CLE, CLM e CLQ).

Somente para Projetos de Conclusão de Curso, responder aos questionamentos a seguir:

Será utilizado os Centros de Laboratório para a sua execução? ☐ Não ☒ Sim

Se "Sim", selecione o Centro de Laboratório a ser utilizado:

☐ E - Centro de Laboratório Elétrico (CLE) ☒ M - Centro de Laboratório Mecânico (CLM) ☐ Q - Centro de Laboratório Químico (CLQ)

***** Próximo Passo: Entre em contato com o Centro de Laboratório Mecânico (CLM) e solicite o número para controle de seu projeto ! *****

Digite ao lado o número informado para a sua Proposta de Projeto ➡

A sequência alfanumérica abaixo é o código estruturado para identificação desta proposta e, uma vez aprovada, será utilizado como referência em todos os documentos relativos ao Projeto.



CC-1N1M13/22

Próximos Passos:

- preencha a planilha FEINF040-2 e demais planilhas (quadros), conforme a aplicabilidade;
- imprima 1 via de cada uma destas planilhas (exceto esta "Principal", a "Custo Total" e demais que não forem preenchidas);
- reúna e anexe demais documentos que justifiquem a proposta;
- encaminhe para aprovação superior, conforme sua área de atuação.

Release 19-09-2019



PROPOSTA DE PROJETO - PP (CONCLUSÃO CURSO) (PLANILHA DE ESPECIFICAÇÃO DE RECURSOS)

DATA

NÚMERO

20/04/22

CC-1N1M13/22

1- DENOMINAÇÃO

TÍTULO DO PROJETO: **E-CAB**

C.R. BENEFICIÁRIO	C.C.	NOME DA UNIDADE	REITORIA / DIRETORIA	PROponente	RESPONSÁVEL DO CR	RAMAL
2207	17	Depto Eng.Mecânica	Prof. Dr. Gustavo H. B. Donato	Mohammad Hossein S Yazdi	Marko Ackermann	

DATA DE INICIO	DATA DE TÉRMINO	DURAÇÃO EM DIAS	VALOR TOTAL ORÇADO	MOEDA/ÍNDICE	VALOR DA MOEDA/ÍNDICE	DATA PARA CÁLCULO	FINANCIAMENTO PELA FEI
20/04/22	10/06/22	51	8.791,22				

3- CUSTO DO PROJETO (Preencher as Planilhas/Quadros A à F)

4.553,76	1.262,46	0,00	0,00	2.975,00	0,00

4- OBJETIVOS DO PROJETO

O projeto E-CAB tem como principal objetivo estudar a viabilidade da criação e desenvolvimento do protótipo de um equipamento capaz de realizar o basculamento das cabines de caminhões, com o propósito de ser um equipamento voltado para o uso dentro de montadores e oficinas mecânicas especializadas em caminhões, melhorando a ergonomia dos seus operadores. O equipamento em questão consta de uma estrutura tubular movida a base de rodas, e sua capacidade motriz será um atuador pneumático.

5- JUSTIFICATIVA DO PROJETO

Após análises de simulações computacionais, será construído um protótipo na escala 1x1. Ao estudar o mercado, foi encontrada uma ausência de equipamentos com a mesma finalidade, o que facilita a possibilidade de ser patenteado, por se tratar de uma solução inovadora, capaz de atender uma grande variedade de modelos de caminhões, em especial modelos da Mercedes Benz, e com pequenas modificações pode ser expandido para um mercado ainda maior. Quanto ao valor do projeto, como não foi possível cotar os tamanhos exatos para barras, tubos e chapas que serão usados, o custo para o projeto está com sobre valor, porém estamos dispostos a fornecer as sobras ao CLM.

6- ALUNOS ENVOLVIDOS

12.220.030-6	Bernardo Campos Soares Novaes				
12.218.294-2	Bruno Guercio Augusto				
12.116.293-7	Gustavo Sacaramuci Lourenço da Silva				
12.120.014-1	Henrique Mirabile				
12.120.041-4	João Victor Zambini				
12.219.218-0	Jonatan Manso Lopes de Oliveira				
12.120.099-2	Luísa Nagib Jorge Barbieri				
12.120.167-7	Rodrigo Alves Cricci				

7- PARECER DO ORIENTADOR

Nome: E-mail: Data: / / Assinatura:

8- CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ENSINO

☐ Recomenda ☐ Não Recomenda

Nome: E-mail: Data: / / Assinatura:

9- CHEFIA DE LABORATÓRIO

☐ CLE ☐ CLM ☐ CLQ

Nome: E-mail: Data: / / Assinatura:

10- CHEFE DO CENTRO DE LABORATÓRIOS

☐ Autoriza ☐ Não Autoriza

Nome: Data: / / Assinatura:

11- OBSERVAÇÕES/ANEXOS *(Importante: Anexar folhas avulsas indicando o nº do campo sempre que necessário)*



CUSTO DO PROJETO (Quadro A) RECURSOS MATERIAIS

CC-1N1M13/22

R\$ 4.553,76

Item	Descrição	Tipo Doc	Número	Quant.	Valor Unit.	Valor Total	% Sobre Sub-Total
1	Chapa P (1/8) 2 x 1 - 3 mm	SC		1	704,18	704,18	15,46
2	tubos cilindricos (25,40)x0,90MM NBR 8261	SC		1	45,00	45,00	0,99
3	Quadrado MAC 1.1/2" G	SC		1	1.039,83	1.039,83	22,83
4	Chapa de acrílico 1050x2050	SC		1	251,96	251,96	5,53
5	Parafuso Allen - M4X0,7x16 mm	SC		10	0,38	3,80	0,08
6	Parafuso Allen - M4X0,7x10 mm	SC		26	0,34	8,84	0,19
7	Parafuso Allen - M6X1x20 mm	SC		20	0,37	7,40	0,16
8	Parafuso Allen - M6X1x30 mm	SC		30	0,45	13,50	0,30
9	Parafuso M8x20	SC		20	0,78	15,60	0,34
10	Parafuso M8X40	SC		30	0,70	21,00	0,46
11	Porca M6	SC		20	0,10	2,00	0,04
12	FR.L. - Unidade Comb. de Preparacao de Ar Serie 2, 1/4"	SC		1	371,22	371,22	8,15
13	Válvula regulador de fluxo 1/4"	SC		1	63,25	63,25	1,39
14	Botão pneumático 3/2 cogumelo trava de 1/4	SC		1	180,51	180,51	3,96
15	Válvula pneumática rolete 3/2 vias 1/8"	SC		2	194,68	389,36	8,55
16	Valvula Ar Serie 3 - 5/2 ar/ar 1/4"	SC		1	324,64	324,64	7,13
17	Cil ISO perfil D50mm 175mm curso - mag.	SC		1	568,26	568,26	12,48
18	Cantoneira p/ D50mm (par)	SC		1	38,23	38,23	0,84
19	Garfo c/ pino p/ cilindro ISO diam. 50/63mm	SC		1	115,27	115,27	2,53
20	Conexao reta 6mm 1/4"	SC		9	9,06	81,54	1,79
21	Conexao 90 6mm 1/8"	SC		8	8,47	67,76	1,49
22	Silenciador plastico mini mm 1/4"	SC		3	8,82	26,46	0,58
23	Uniao X 6mm	SC		1	17,41	17,41	0,38
24	Mangueira de PU diam 6mm / metro	SC		3	3,37	10,11	0,22
25	Silenciador plastico mini mm 1/8"	SC		2	7,06	14,12	0,31
26	Ferro Redondo 1/2" - FER	SC		1	68,51	68,51	1,50
27	Suporte pillow block - 12mm	SC		4	26,00	104,00	2,28
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
SUB-TOTAL:						4.553,76	
56							
57							

58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						
101						
102						
103						
104						
105						
106						
107						
108						
109						
110						

SUB-TOTAL: 4.553,76

111						
112						
113						
114						
115						
116						
117						
118						
119						
120						
121						
122						
123						
124						
125						
126						
127						
128						
129						
130						
131						
132						
133						
134						
135						
136						
137						
138						
139						
140						
141						
142						
143						
144						
145						
146						
147						
148						
149						
150						
151						
152						
153						
154						
155						
156						
157						
158						
159						
160						
161						
162						
163						
164						
165						

SUB-TOTAL: 4.553,76



CUSTO DO PROJETO (Quadro B)
RECURSOS HUMANOS

CC-1N1M13/22

R\$ 1.262,46

PROFESSORES

Item	Nome	Regime Dedicção	Horas Dedicadas	Valor Hora	Custo Total	Custo Fechado	Encargos Sociais	Valor Final	% S/ Total
1	Técnico/Prep. Instruto/Instr.Laboratório	Aulista	32	28,18	901,76		360,70	1.262,46	100,00
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

TOTAL DE PROFESSORES32901,76-360,701.262,46

FUNCIONÁRIOS / PESQUISADORES

Item	Nome	Horas Dedicadas	Valor Hora	Custo Total	Custo Fechado	Encargos Sociais	Valor Final	% S/ Total
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

TOTAL DE FUNCIONÁRIOS0- - - -

ESTAGIÁRIOS/MONITORES/INICIAÇÃO/AUXÍLIO/PRODUTIVIDADE

Item	Nome	Horas Dedicção	Valor	Custo Total				Valor Final	% S/ Total
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									

TOTAL DE ESTAGIÁRIOS/MONITORES/INICIAÇÃO0- - -

TOTAL DE RECURSOS HUMANOS1.262,46

**CUSTO DO PROJETO (Quadro C)****CC-1N1M13/22****OUTRAS DESPESAS****R\$****-****Bolsas de Estudo a serem Concedidas**

Item	Nome	Qtde. meses da Bolsa	Valor da Mensalidade	% Bolsa	Nome da Bolsa	Valor Desconto	% S/ Total
1						-	
2						-	
3						-	
4						-	
5						-	
6						-	
7						-	
8						-	
9						-	
10						-	
11						-	
12						-	
13						-	
14						-	
15						-	
TOTAL DE BOLSAS DE ESTUDO						-	

Demais Despesas a Discriminar

Item	Descrição	Valor	% S/ Total
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
TOTAL DE DEMAIS DESPESAS		-	
TOTAL DE OUTRAS DESPESAS		0,00	



CUSTO DO PROJETO (Quadro D) INVESTIMENTOS

CC-1N1M13/22**R\$****-**

Item	Descrição	Código Contábil (*)	Unid. Medida	Qtde.	Valor Unitário	Valor Total	% S/ Total
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							

TOTAL DE INVESTIMENTOS**0,00**

Legenda da coluna "Código Contábil": 1=Máquinas e Equipamentos; 2=Instalações; 3=Móveis e Utensílios; 4=Informática; 5=Biblioteca; 6=Veículos; 7=Diversos



CUSTO DO PROJETO (Quadro E)

SERVIÇOS INTERNOS

CC-1N1M13/22

R\$ 2.975,00

Item	Descrição	Qtde. Horas	Valor	Custo Total	% S/ Total
1	Laser	1	50,00	50,00	1,68
2	Usinagem Máquinas convencionais	17,5	100,00	1.750,00	58,82
3	Furadeira	10	50,00	500,00	16,81
4	Soldagem	5	50,00	250,00	8,40
5	Jato d'água	8,5	50,00	425,00	14,29
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
TOTAL DE SERVIÇOS INTERNOS		42		2.975,00	



CUSTO DO PROJETO (Quadro F)
SERVIÇOS EXTERNOS

CC-1N1M13/22

R\$ -

Item	Descrição	Fornecedor	Data	Tipo (*)	Valor	% S/ Total
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						

TOTAL DE SERVIÇOS EXTERNOS 0,00

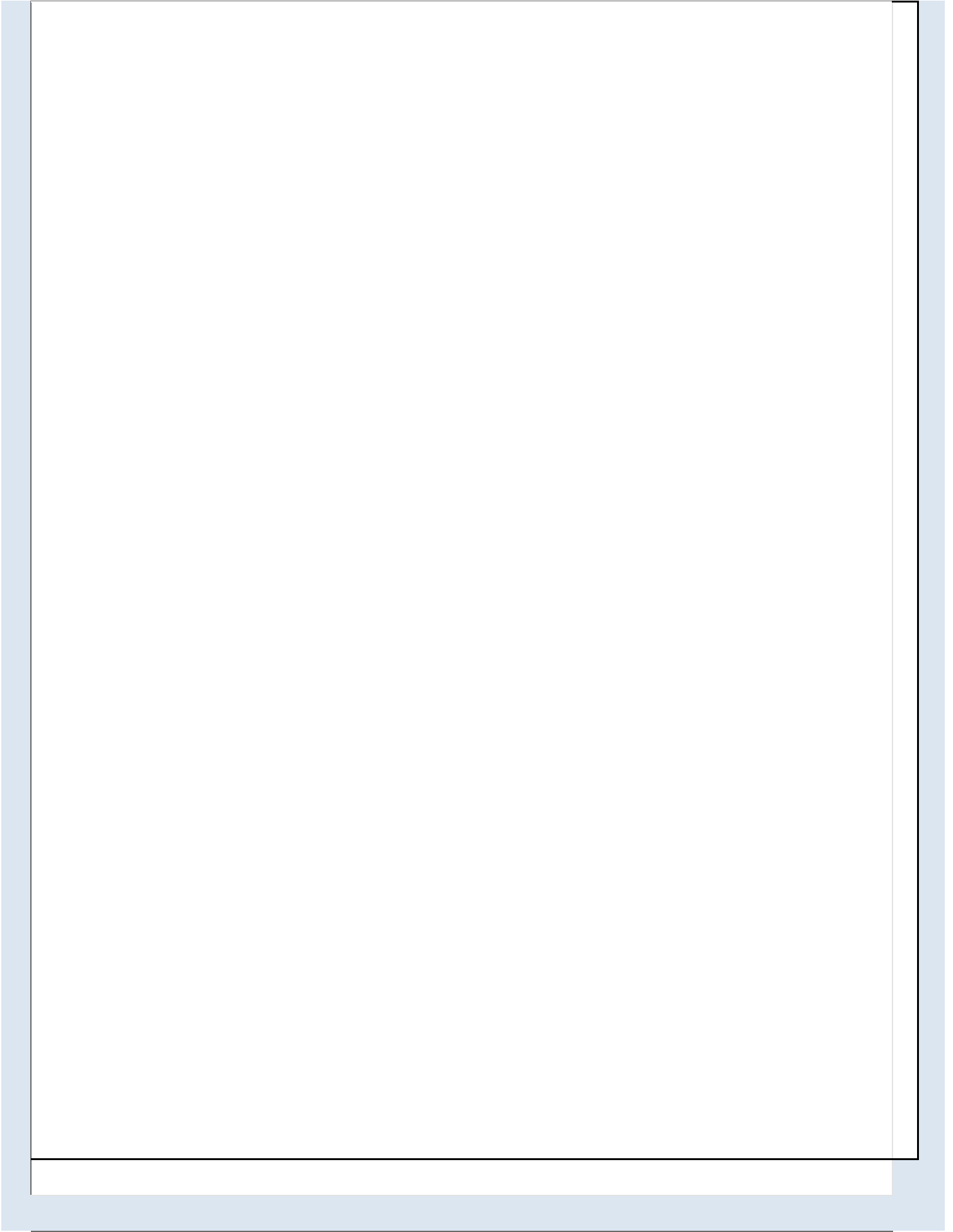
Legenda da coluna **Tipo**": 1 = Estimativa (Valor preliminar projetado pelo coordenador); 2= Orçamento/Cotação (Valor real apresentado pelo Fornecedor)

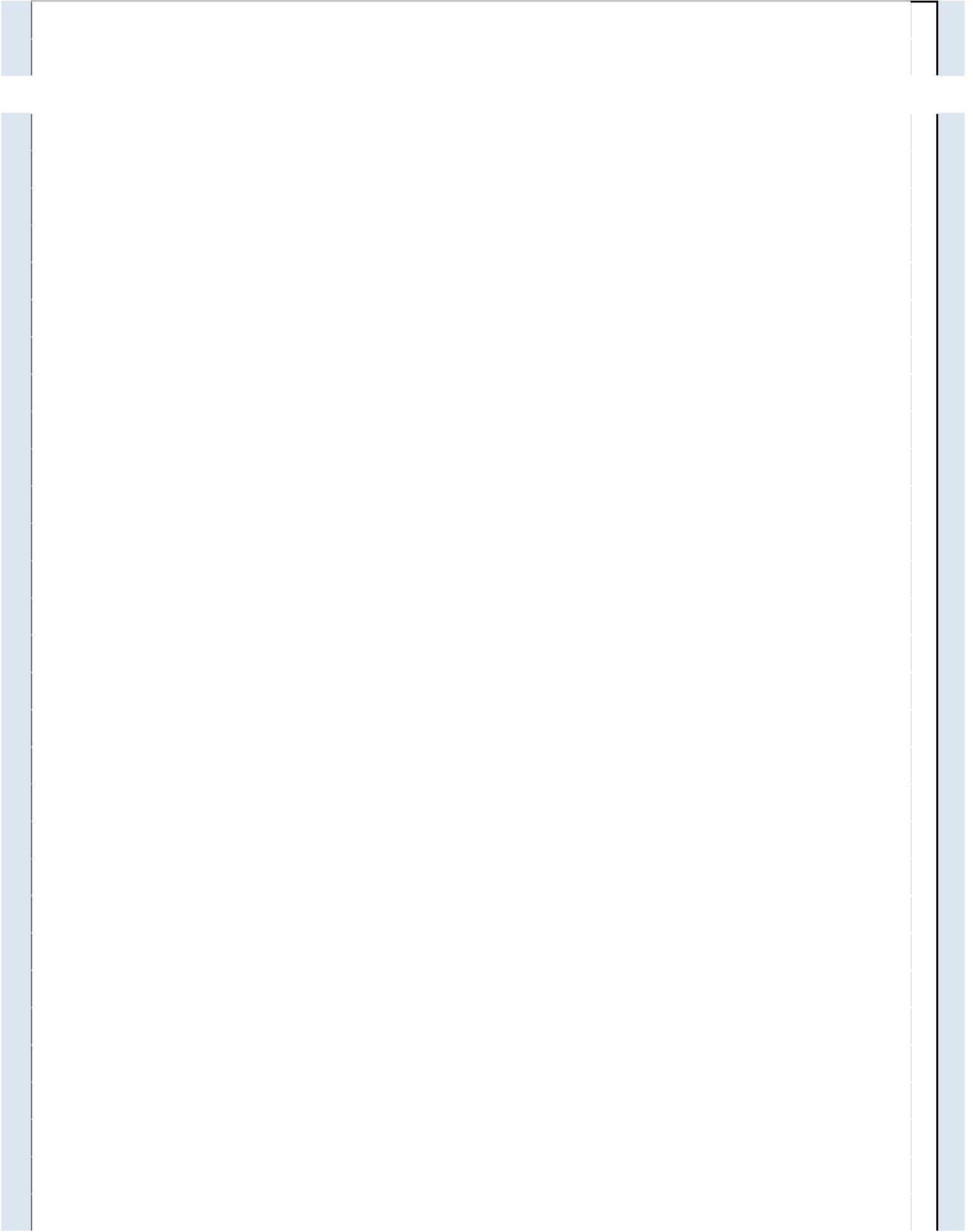


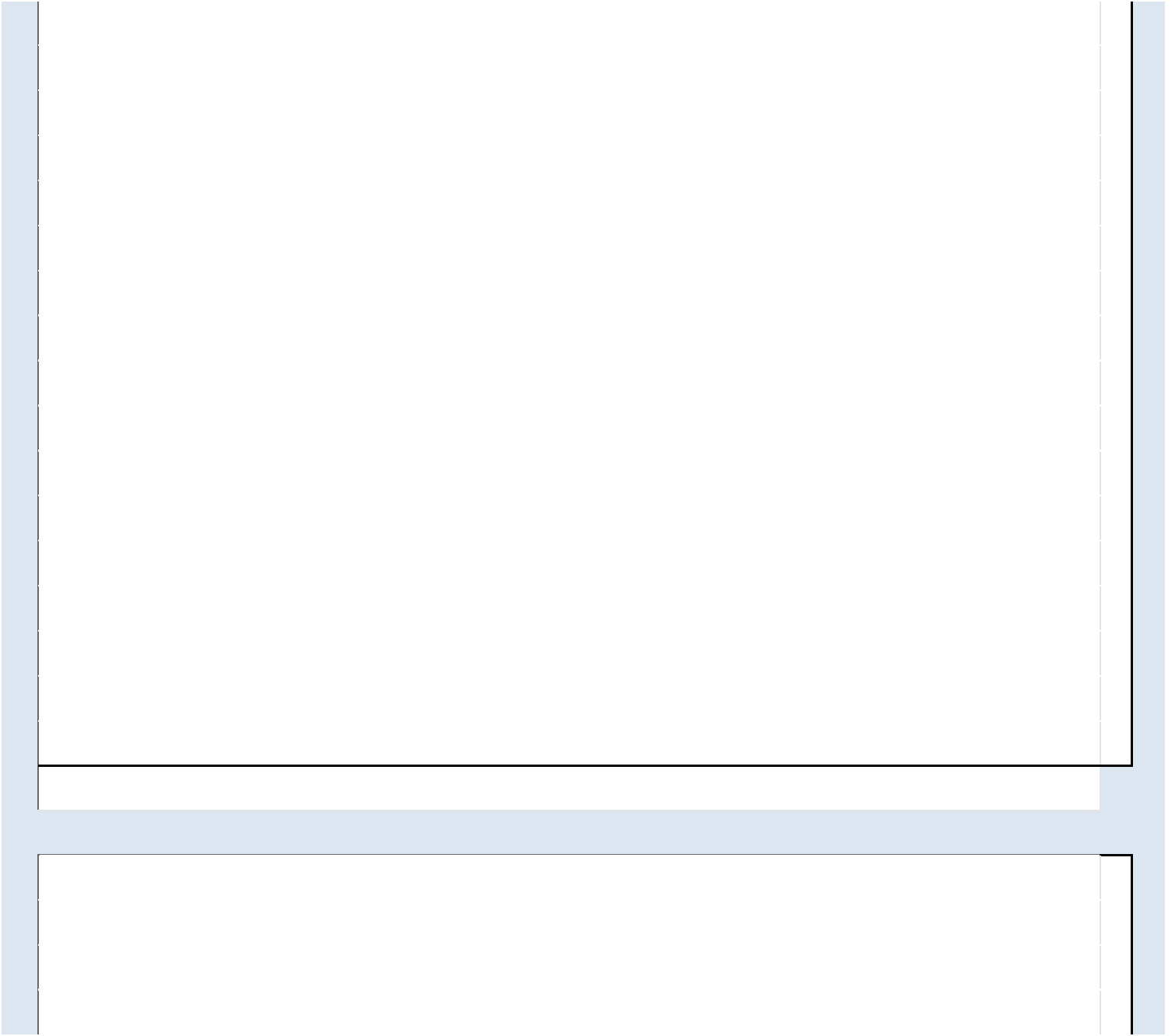
DETALHAMENTOS GERAIS

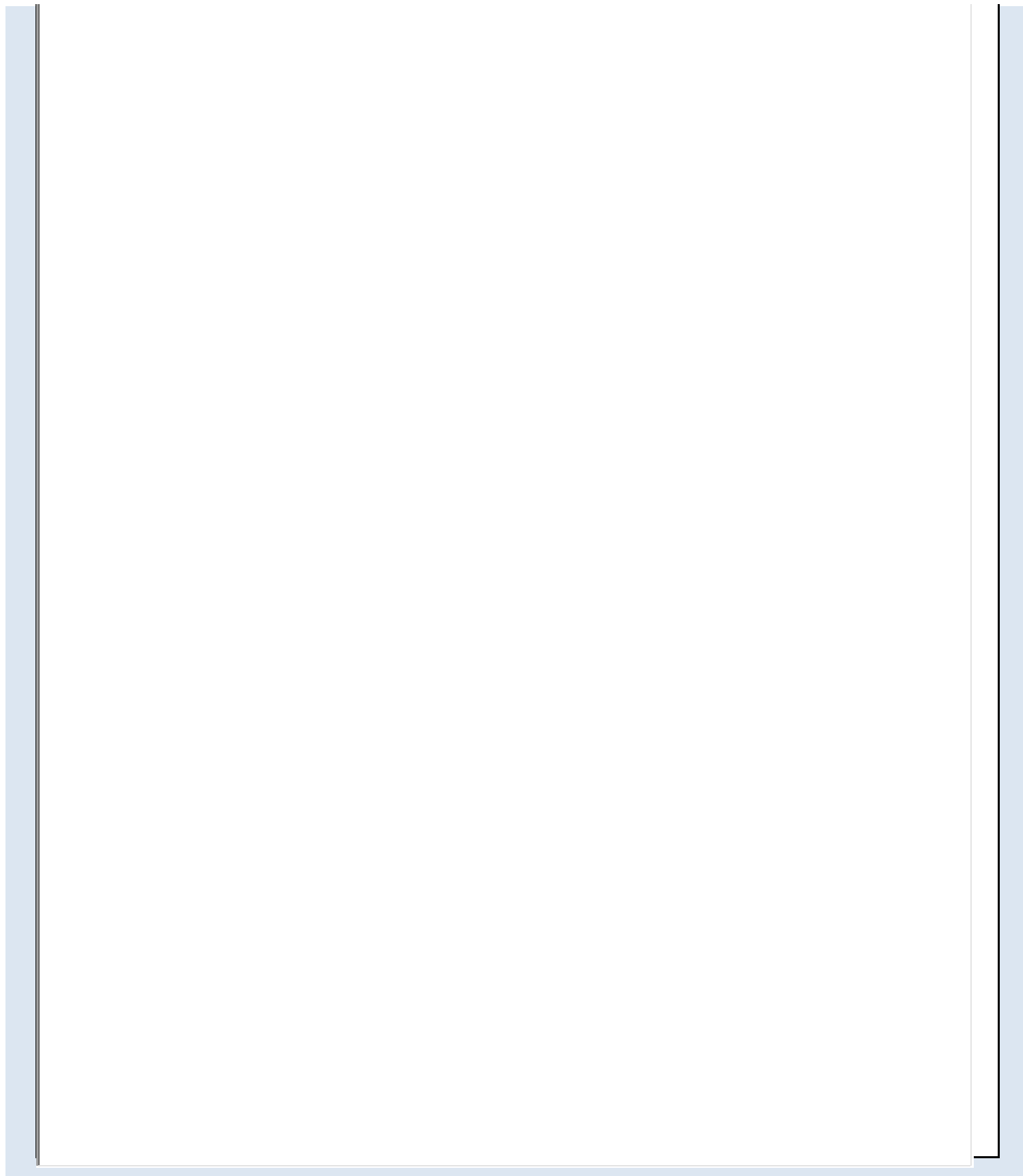
CC-1N1M13/22

(incluir as informações complementares e ou detalhes que julgue necessários à Proposta do Projeto)











Custo Total (Resumo)

CC-
1N1M13/22

Descrição	Realizado	Valor orçado	Diferença	% S/ Total
Sub-total Materiais		4.553,76	4.553,76	51,80%
Sub-total Materiais (Fórmula FEI)		0,00	0,00	0,00%
Sub-total Recursos Humanos		1.262,46	1.262,46	14,36%
Sub-total Outras Despesas		0,00	0,00	0,00%
Sub-total Investimentos		0,00	0,00	0,00%
Sub-total Serviços Internos		2.975,00	2.975,00	33,84%
Sub-total Serviços Externos		0,00	0,00	0,00%
TOTAL:		8.791,22		