



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



**PROJETO DE BANCADA DE TESTES E ENSAIOS DE VIDA ACELERADA PARA
ROLOS DE CARGA DE TRANSPORTADORES DE CORREIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOSÉ CLÉBER RODRIGUES DA SILVA

RIO GRANDE, RS

2020

JOSÉ CLÉBER RODRIGUES DA SILVA

**PROJETO DE BANCADA DE TESTES E ENSAIOS DE VIDA ACELERADA PARA
ROLOS DE CARGA DE TRANSPORTADORES DE CORREIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande-FURG como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Mecânica” – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Luciano Volcanoglo Biehl

RIO GRANDE, RS

2020

Ficha Catalográfica

S586p Silva, José Cléber Rodrigues da.

Projeto de bancada de testes e ensaios de vida acelerada para rolos de carga de transportadores de correia / José Cléber Rodrigues da Silva. – 2020.

159 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2020.

Orientador: Dr. Luciano Volcanoglo Biehl.

1. Correias Transportadoras 2. Roletes de Carga 3. Bancada de Testes 4. Métodos dos Elementos Finitos 5. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) I. Biehl, Luciano Volcanoglo II. Título.

CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Professor Luciano Volcanoglo Biehl, Dr
PPMec/FURG

Coorientador: Professor Demostenes Ferreira Filho, Dr
EMC/UFG

Professor Jorge Luiz Braz Medeiros, Dr
PPMec/FURG

Professor José de Souza, Dr
FETLSVC-RS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PPMec



Ata nº 08/2020 da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aostrintadias do mês de junho de dois mil e vinte, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às quinhenthoras e trinta minutos, via Videoconferência, a que se submeteu o mestrando **JOSÉ CLÉBER RODRIGUES DA SILVA**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Pesquisa Engenharia de Soldagem e Materiais do PPMec, com o seguinte título: **PROJETO DE BANCADA DE TESTES E ENSAIOS DE VIDA ACELERADA PARA ROLOS DE CARGA DE TRANSPORTADORES DE CORREIA**.

Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Jorge Luis Braz Medeiros e José de Souza, sob a coorientação de Demostenes Ferreira Filho e presidência do Professor Luciano VolcanogloBiehl. Analisando o trabalho, os Professores da BancaExaminadora o consideraram:

- | | |
|-------------------------------|----------|
| 1. Luciano VolcanogloBiehl: | Aprovado |
| 2. Demostenes Ferreira Filho: | Aprovado |
| 3. Jorge Luis Braz Medeiros: | Aprovado |
| 4. José de Souza: | Aprovado |

Foi concedido um prazo de 30 dias, para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora(anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma.A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

- | | | |
|----|---------------------|-------|
| 1. | | _____ |
| | CPF: 575.195.100-00 | |
| 2. | | _____ |
| | CPF: 058.389.438-92 | |
| 3. | | _____ |
| | CPF: 588.871.210-87 | |
| 4. | | _____ |
| | CPF: 914.626.140-00 | |

JOSÉ CLÉBER RODRIGUES DA SILVA:

DEDICATÓRIA

*Dedico esta obra à minha querida esposa, Danúbia e minhas amadas filhas
Camille e Clarisse por serem a razão da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pelo dom da vida e iluminá-la com sabedoria e abençoar-me com muitas graças, inclusive mais essa etapa de formação tão importante na minha vida.

Ao amigo José Neuber de Albuquerque pela parceria de muitos anos, e contribuição primordial nos discursões técnicas e modelagem em softwares de CAD da bancada.

Ao Amigo Nelson Mateus Pippi Lorenzoni por ter me conduzido e incentivado a ingressar no programa de mestrado em engenharia mecânica na FURG.

Ao professor Dr. Luciano Volcanoglo Biehl meu orientador e amigo no qual sem seu apoio e orientação este momento tão importante em minha vida não se concretizaria.

Ao professor Dr. Jorge Luis Braz Medeiros pelos conselhos de sabedoria e direcionamento durante as disciplinas do mestrado.

A todos os colegas e amigos que direta ou indiretamente contribuíram com esta obra.

À empresa Vale S/A através dos profissionais Eng.º Henrique Oscar de Miranda Junior, pelo incentivo na escolha do projeto, Eng.º Marcio Thompson da Cunha Gomes, pelos discursões técnicas, participação na definições e premissas do projeto e disponibilizar estudos de caso na empresa em dimensionamento de rolos em correias transportadoras. Ao Eng.º Luciano Antunes Dias, por disponibilizar o contrato de engenharia junto a empresa TRENG - Consultoria e tecnologia em projetos, para a execução do detalhamento e geração de documentos para fabricação e montagem da bancada. Aos gerentes Eng.º Mauro Bronbley e Eng.º José Ricardo Baltazar pelo apoio e incentivo na conclusão do mestrado.

À empresa Yara Brasil Fertilizante, nas pessoas dos amigos Dr. Pedro Henrique Librelon de Faria e Dr. Manuel Pereira do Nascimento Neto, por terem me apoiado e incentivado a cumprir a carga horaria das disciplinas do mestrado e flexibilizando meus horários de trabalho no período em que fiz parte desta grande empresa.

À FURG, através da escola de engenharia por ter me aceitado no programa de mestrado.

RESUMO

A indústria mineral brasileira vem apresentando nos últimos anos um crescimento anual expressivo, com destaque para a região norte do Brasil. O estado do Pará é um dos maiores produtores de minérios do Brasil. São mais de 20 projetos espalhados por todo o estado, incluindo produção de minério de ferro, bauxita, cobre, níquel, manganês, caulim, ouro, entre outros. Dentre os equipamentos de uma planta de mineração, os transportadores de correia são os ativos mais numerosos e que em geral desprendem os maiores custos de manutenção e operação. Em uma mineradora operando no sul e sudeste do Pará, são consumidos em média 50mil roletes de carga por ano, tornando assim necessário a busca pelo aumento da vida útil destes roletes. A metodologia usual para o desenvolvimento de novos roletes, consiste em executar teste em campo, porém estes testes levam cerca de um ano para finalizar, tornado assim o desenvolvimento lento sendo necessário alternativas mais rápidas de teste para acelerar a tomada de decisão de novos fornecedores e componentes. Motivado por este cenário desafiador este trabalho tem por objetivo desenvolver um projeto de uma bancada de teste e ensaios capaz de acelerar os testes e obter resultados mais rápidos para a tomada de decisão. Nos capítulos 2 e 3 são apresentados a revisão bibliográfica com a terminologia dos transportadores de correia e seus principais componentes bem como, a metodologia da pesquisa para o desenvolvimento do projeto, no qual foi escolhido como método a pesquisa experimental, desta forma, modelos de bancadas existentes no mercado, em órgãos de pesquisa e em normas técnicas. Onde obteve-se os seguintes projetos de referência: Bancada de teste de roletes de carga do Institute of Transport and Automation Technology, bancada desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da UFMG, bancada de testes da Laboratório do Instituto de Mineração da Universidade de Tecnologia de Wrocław na Polônia e as bancadas apresentadas pela ABNT. Para o desenvolvimento do projeto e dimensionamento da estruturas, partes/peças e componentes, tais como, estrutura metálica, mecanismo de acionamento, sistemas de aspersão (misturador e bomba de polpa de minério de ferro), do conceito definido na pesquisa são utilizados métodos analíticos de cálculos e simulações numéricas em elementos finitos(MEF) bem como, dinâmica de fluidos computacional(CFD). Os resultados dos dimensionamentos dos sistemas mecânicos de acionamento dos roletes de teste, os dispositivos elétricos de instrumentação e os projetos detalhados de fabricação e montagem bem como as listas de material para aquisição de partes e peças são apresentados no capítulo 4. Após os estudos, pesquisa de outras bancadas e métodos de cálculo analíticos e simulações computacionais foi concluído o projeto de uma bancada de testes de ensaios com estrutura metálica e sistema hidráulico capaz de aplicar cargas em três roletes de teste simultaneamente de até 8 toneladas, bem como rotação e deslocamento da carga axialmente ao eixo do rolete. Para comando, controle e leitura de dados de ensaios sistemas elétricos com inversores de frequência e dispositivos de instrumentação de leituras de temperatura, rotação, vibração e força foram desenvolvidos. Os projetos detalhados e listas de materiais para fabricação e montagem estão disponíveis, as análise estruturais de MEF e de CFD que compuseram o estudo estão disponibilizados nos anexos e apêndices desta obra.

Palavras-chave: Correias transportadoras, roletes de carga, bancada de testes, métodos dos elementos finitos, CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

ABSTRACT

The Brazilian mineral industry has been showing significant annual growth in recent years, with emphasis on the northern region of Brazil. The state of Pará is one of the largest ore producers in Brazil. There are more than 20 projects spread across the state, including production of iron ore, bauxite, copper, nickel, manganese, kaolin, gold, among others. Among the equipment of a mining plant, belt conveyors are the most numerous assets that generally give rise to the highest maintenance and operating costs. In a mining company operating in the south and southeast of Pará, an average of 50 thousand load rollers are consumed per year, thus making it necessary to seek to increase the useful life of these rollers. The usual methodology for the development of new rollers is to perform field tests, but these tests take about a year to complete, thus making the development slow and faster test alternatives are needed to speed up the decision making process of new suppliers and components. Motivated by this challenging scenario, this work aims to develop a design of a test bench and tests capable of accelerating tests and obtaining faster results for decision making. Chapters 2 and 3 present the bibliographic review with the terminology of the belt conveyors and their main components, as well as the research methodology for the development of the project, in which experimental research was chosen, in this way, bench models existing on the market, research bodies and technical standards. Where the following reference projects were obtained: Load roller test bench of the Institute of Transport and Automation Technology, bench developed by the Department of Mechanical Engineering (DEMEC) of UFMG, test bench of the Laboratory of the Mining Institute of the University of Wrocław technology in Poland and the benches presented by ABNT. Analytical methods are used to develop the design and dimensioning of structures, parts / components and components, such as metallic structure, drive mechanism, sprinkler systems (mixer and iron ore slurry pump). of finite element numerical calculations and simulations (FEM) as well as computational fluid dynamics (CFD). The results of the dimensioning of the mechanical systems for driving the test rollers, the instrumentation electrical devices and the detailed manufacturing and assembly projects as well as the material lists for the acquisition of parts and pieces are presented in chapter 4. After the studies, research from other benches and analytical calculation methods and computer simulations, the design of a test bench with metallic structure and hydraulic system capable of applying loads on three test rollers simultaneously of up to 8 tons, as well as load rotation and displacement, was completed. axially to the roller axis. For command, control and reading of test data electrical systems with frequency inverters and instrumentation devices for temperature, rotation, vibration and force readings were developed. Detailed projects and material lists for manufacturing and assembly are available, the structural analysis of MEF and CFD that made up the study are available in the annexes and appendices of this work.

Keywords: Conveyor belts, load rollers, test bench, finite element methods, CFD (Computational Fluid Dynamic).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Arranjo geral típico de um transportador de correia.	26
Figura 2 – Carcaça e cobertura de correias transportadoras.	28
Figura 3 – Tambores para correias transportadoras.	30
Figura 4 – Roletes de carga.	31
Figura 5 – Rolete de retorno metálico e anéis de borracha.....	31
Figura 6 – Rolete de impacto	32
Figura 7 - Rolete auto alinhador de correia.	32
Figura 8 – Roletes de carga com cavaletes de transição.....	33
Figura 9 – Roletes de retorno com anéis borrachas.....	34
Figura 10 – Rolete de retorno helicoidal.....	34
Figura 11 – Roletes de carga e impacto em catenária.	35
Figura 12 – Rolete guia.	35
Figura 13 – Acionamento de correia transportadora.	36
Figura 14 – Esticador de Correia Transportadora fuso e gravidade.....	38
Figura 15 – Limpadores simples e V.	39
Figura 16 – Raspador principal.	39
Figura 17 – Guias laterais.	40
Figura 18 – Passadiço e cobertura de um transportador de correia.....	41
Figura 19a, b, c e d – Roda de aço apoiada sobre uma superfície plana.	45
Figura 20 – Representação de roda com mancais de rolamento.	46
Figura 21 – Representação esquemática de uma bomba centrífuga.	49
Figura 22 - Tipos de rotores de bombas centrífugas.....	49
Figura 23 – Bomba de polpa KSB.....	50
Figura 24 – Sequência de operações para cálculo e escolha de bombas.	51
Figura 25 – Vaso típico de um processo de agitação mecânica.	56
Figura 26 – Tipos de impelidores	57
Figura 27 – Tanque padrão.....	58
Figura 28 – Gráficos das curvas do número de Reynolds versus número de potência escoamento turbulento e laminar.	60
Figura 29 – Gráfico de escolha e perfis de escoamento por tipos de impelidores. ...	61
Figura 30– Modelo de placa retangular regular.....	64
Figura 31 – Geometria complexa com malha de elementos finitos.	65

Figura 32 – Representação da similaridade entre um objeto e uma mola.	66
Figura 33 – Representação de um elemento de mola com rigidez K e nós 1 e 2.	66
Figura 34 – Dois elementos ou molas em série com rigidez, deslocamentos e forças diferentes.....	67
Figura 35 – Elementos de primeira ordem, bidimensionais e tridimensionais	69
Figura 36 – Elementos de segunda ordem, bidimensionais e tridimensionais, respectivamente.	69
Figura 37– Grau do polinômio em função do número de elementos.....	70
Figura 38 – Etapas para simulação de análise estrutural no Ansys.	71
Figura 39– Grau do polinômio em função do número de elementos.....	71
Figura 40 – Método de Newton-Raphson.....	72
Figura 41 – Método de Newton-Raphson aproximações sucessivas.	73
Figura 42 – Gráfico de escolha e perfis de escoamento por tipos de impelidores. ...	80
Figura 43– (a) Geometria de CAD em vista Wireframe mostrando as interfaces do impulsor e do fluido; (b) Vista em corte do modelo mostrando a malha a região do impulsor e do eixo no centro; e (c) malha do volume de fluido.....	80
Figura 44 – Componentes rolete de carga.	82
Figura 45 – Bancada de teste de roletes de carga ITA.	84
Figura 46 – Bancada de teste de roletes de carga UFMG.	84
Figura 47– Suporte de medição para testes de durabilidade de roletes.	85
Figura 48 – Suporte de medição para testes de durabilidade de roletes.	86
Figura 49 – Detalhe e disposição dos componentes da bancada de ensaio ABNT ..	87
Figura 50 – Detalhe da bancada de ensaio dinâmico de vedação da ABNT	88
Figura 51– Conceito inicial do projeto de mecanismos de aplicação de força e rotação.	89
Figura 52 – Conceito inicial da bancada de ensaios para teste de um rolete de carga.	90
Figura 53 – Conceito inicial da bancada de ensaios para teste de um rolete de carga.	91
Figura 54 – Planilha de cálculos dimensionamento dos componentes elétricos.....	93
Figura 55 – Coletor de vibração EMERSON CSI 2140.	93
Figura 56 – Sensor de vibração/temperatura - QM42VT1QP e câmera termográfica FLIR.	94
Figura 57 – Célula de carga tipo compressão e indicadores de pesagem - HRM.....	94

Figura 58– Sensor indutivo e tacômetro digital Laser.	95
Figura 59– Tela do Software Weibull++ da Reliasoft- análise de vida acelerada.....	95
Figura 60– Modelagem em 3D para o projeto detalhado para fabricação.....	100
Figura 61– Modelagem em 3D vista simplificada em corte.	100
Figura 62– Modelagem em 3D vista simplificada em corte.	101
Figura 63 – Vista das guias lineares e fuso trapezoidal para simular carga desalinhada.	102
Figura 64 – Vistas do sistema de aplicação de força e rotação.	102
Figura 65– Planilha de cálculo dimensionamento do motor de acionamento.....	103
Figura 66– Propriedades do material steel structural do software Ansys e curvas S/N.	104
Figura 67 – Exemplo de refinamento de malha de MEF do software Ansys®.	105
Figura 68– Condições de contorno para análise estrutural da estrutura da bancada.	105
Figura 69– Deformação total da estrutura da bancada.	106
Figura 70 – Tensão de Von Misses da estrutura da bancada.	106
Figura 71 – Tensão máxima principal da estrutura da bancada.....	107
Figura 72– Tensão máxima principal da estrutura da bancada.....	107
Figura 73 – Condições de contorno para análise estrutural base e rolete de teste.	108
Figura 74– Deformação total da base e rolete de teste.....	109
Figura 75 – Tensão de Von Misses da base e rolete de teste.....	109
Figura 76– Tensão de Von Mises concentração de tensão no rolamento.....	110
Figura 77– Tensão de Von Misses concentração de tensão no rolamento função capped isosurface.	110
Figura 78– Condições de contorno para análise estrutural do mecanismo de roda de atrito.	111
Figura 79– Deformação total do mecanismo de roda de atrito.....	112
Figura 80– Tensão de Von Misses do mecanismo de roda de atrito.....	112
Figura 81– Região de tensão máxima de Von Misses do mecanismo de roda de atrito.	113
Figura 82– Planilha de cálculos usados para dimensionamento do tanque e sistema de bico de aspersão.	114
Figura 83 – Planilha de cálculos usados para dimensionamento do agitador do sistema de bico de aspersão.	115

Figura 84– Representação esquemática tanque misturador e malha de CFD.....	116
Figura 85– Densidade da Mistura – 10rpm.	117
Figura 86 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 10rpm.	117
Figura 87– Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 10rpm.	118
Figura 88 – Densidade da Mistura – 100rpm.	118
Figura 89 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 100rpm.	119
Figura 90 – Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 100rpm.	119
Figura 91– Densidade da Mistura – 400rpm.	120
Figura 92 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 400rpm.	120
Figura 93 – Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 400rpm.	120
Figura 94– Planilha de cálculos - dimensionamento bomba centrifuga.....	122
Figura 95– Imagem da parte frontal da bancada posição de entrada e saída dos roletes de teste.	129
Figura 96 – suporte de rolete e seus componentes.	129
Figura 97 – Exemplo: Curva de temperatura no labirinto do rolamento de um rolete Ø133 x 465 submetido a uma força de $F = 1.5 \text{ kN}$	130
Figura 98– Exemplo: Curva de resistência rotacional pela força radial aplicada aos roletes de três fabricantes.	130
Figura 99– Exemplo: Curva de análise de vibração em rolamentos apresentando níveis de falha na frequência de 7,2Hz.....	131
Figura 100– Exemplo: Curva de Resistência rotacional do rolete de teste sobre velocidade de rotação e força radical.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes de um transportador de correia típico.....	27
Tabela 2 – Vida Mínima dos rolamentos de roletes.	42
Tabela 3 – Carga dinâmica mínima dos rolamentos de roletes.....	42
Tabela 4 – apresenta os coeficientes de atrito de mancais de rolamento.....	47
Tabela 6 – Coeficientes de atrito de mancais de rolamento.....	62
Tabela 7 – Apresenta os coeficientes de atrito de mancais de rolamento.	68
Tabela 8 – Apresenta os coeficientes de atrito de mancais de rolamento.	75
Tabela 9 – Valores das constantes utilizadas nas equações de cálculo dos parâmetros K e ϵ	79
Tabela 10 – Tabela de quadro de carga da demanda elétrica da bancada.	92
Tabela 11 – Lista de Materiais para confecção Bancada – estruturas metálicas.....	97
Tabela 12– Lista de Materiais para confecção Bancada – Mecânica.....	98
Tabela 13– Lista de Materiais para confecção Bancada – Elétrica e instrumentação.	98
Tabela 14– Potência, a partir dos troques obtidos em cada análise de CFD.	121
Tabela 15– Lista de documentos da disciplina planejamento e controle.....	123
Tabela 16 – Lista de documentos da disciplina mecânica.	124
Tabela 17 – Lista de documentos da disciplina metálica.	124
Tabela 18 – Lista de documentos da disciplina elétrica.	125
Tabela 19 – Lista de documentos da disciplina instrumentação.	125

LISTA DE UNIDADES

g/cm^3	Grama por centímetro cúbico
Hz	Hertz
kg	Quilograma
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
kW	Quilowatt
m	Metro
m/s^2	Metro por segundo ao quadrado
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
N.m	Newton - metro
Pa.s	Pascal - segundo
rad/s	Radianos por segundo
rpm	Rotações por minuto
V	Volt
W	Watt;

LISTA DE ABREVIATURAS

"TC"– (belt conveyor or BC) (Transportador de correia);

RANS – Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations (Equações médias de Reynolds);

LES – Large Eddy Simulation (Simulação de Grandes Escalas);

DNS – Direct Numerical Simulation (Simulação Numérica Direta);

L10 –Vida útil média com 90% de confiabilidade.

LISTA DE SÍMBOLOS

C=Concentração de sólidos.
Cv=Concentração por volume;
Cw=Concentração por peso.
d= diâmetro da partícula em mm.
D=Diâmetro interno da tubulação;
Da: Diâmetro do agitador;
Dp=Tamando da partícula sólida em m;
Dt=Diâmetro do tanque em mm;
E= Distância entre o impelidor e a base do tanque;
Em = eficiência – polpa;
Ew = eficiência – água.
F= Força aplicada ao corpo em KgF ou N;
f=Fator de atrito de Darcy
Fat2 = Força de atrito dos rolamentos;
FL = fator tamanho e concentração dos sólidos;
g=Aceleração da gravidade m/s².
H – Nível do líquido em m;
Hf=Perdas de carga na tubulação em mca;
Hl=Perdas de carga localizadas em mca;
Hm = altura manométrica total (polpa) - m
HR = razão de altura
Hw = altura manométrica total - água
J = Largura do defletor;
KL= Constante para cada tipo de imeplidor – Fluxo laminar.
Kt=Constante para cada tipo de imeplidor – Fluxo turbulento.
L=Comprimento da tubulação;
M= Massa de sólidos bombeada;
Mt = Momento de torção no eixo de saída em kgfm ou Nm;
N = Potência requerida em CV ou kW;
n = velocidade de rotação;
N = Velocidade de rotação em rev/s;
n=Rotação em rpm;

N_m = Potência do motor em CV ou kW;
 η_t = Rendimento do acoplamento da transmissão em %;
 P - Carga, N {kgf}
 $P_{eq} = P_s/2$, P_s = Carga para seleção do rolo ou rolete;
 Q = vazão em l/s;
 R = Raio de giração ou distância do ponto de aplicação da força em m.
 r = raio médio do mancal de rolamento.
 Re = Número de Reynolds.
 S = Peso Específico do sólido.
 SL = Peso específico líquido;
 S_m = Peso Específico da Polpa;
 t = tempo;
 T_t = tempo de mistura em segundos.
 U_t = Velocidade média da suspensão em m/s;
 V = Velocidade tangencial em m/s;
 V_m = Massa específica da suspensão excluindo a fase líquida acima de Z_s ;
 W = Altura da lâmina;
 $x=3$ para rolamentos de esferas;
 Z_s = Altura máxima das partículas em suspensão em m;
 β = Constante;
 Γ = Coeficiente de difusidade desta grandeza
 E_m = Fração volumétrica de líquida na suspensão;
 μ = Coeficiente de atrito
 ρ = Massa específica do líquido em kg/m³;
 ρ_m = Massa específica da suspensão excluindo a fase líquida acima de Z_s ;
 ρ_p = massa específica das partículas kg/m³;
 ϕ = grandeza conservada;
 ρ = densidade do fluido;
 (u, v, w) são os componentes do vetor velocidade correspondente as suas.
 (x,y,z) são as coordenadas cartesianas;
 μ = viscosidade do fluido em kg/m.s.
 μ = Viscosidade da parte líquida em P.as;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	OBJETIVOS GERAIS	25
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	Transportadores de Correia.....	26
2.2	Estrutura	27
2.3	Correia	27
2.4	Tambores.....	28
2.5	Roletes.....	30
2.6	CONJUNTO DE ALIMENTAÇÃO	35
2.7	CONJUNTO DE DESCARGA.....	36
2.8	CONJUNTO DE ACIONAMENTO	36
2.9	ACESSÓRIOS	37
2.10	ESTICADOR DE CORREIA.....	37
2.11	ACESSÓRIOS DE LIMPEZA.....	38
2.12	GUIAS LATERAIS	39
2.13	COBERTURA	40
2.14	PASSADIÇO.....	40
2.15	VIDA ÚTIL DO ROLO & VIDA DO ROLAMENTO	41
2.16	CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS ROLAMENTO	42
2.17	ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA	43
2.18	CALCULO DE POTÊNCIA & ATRITO DE ROLAMENTO.....	43
2.19	DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS DE POLPAS DE MINÉRIO	48
2.20	AGITADORES E MISTURADORES	55
2.21	DIMENSIONAMENTO DE AGITADORES.....	58
2.22	ANÁLISE ESTRUTURAL ESTÁTICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS 63	
2.23	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD).....	73
3	MATERIAIS E MÉTODOS	81
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	82
3.2	DEFINIÇÃO DE CONCEITOS E MODELAMENTO.....	83

3.3	MODELOS DE BANCADAS EXISTENTES PESQUISADOS	83
3.4	CONCEITO ESCOLHIDO PARA A BANCADA DE ENSAIOS.....	88
3.5	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	96
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	99
4.1	BANCADA DE TESTES.....	99
4.2	RESULTADOS DOS DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÕES	101
4.3	PROJETO DETALHADO PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM.....	123
4.4	DESCRIPTIVO OPERACIONAL DA BANCADA DE TESTE DE ROLETES...	126
4.5	DADOS DE SAÍDA ESPERADOS COM O USO DA BANCADA	129
5	CONCLUSÕES	132
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	133
7	REFERÊNCIAS.....	134
7.1	REFERÊNCIAS NOMINAIS.....	134
7.2	REFERÊNCIAS POR ESTRATO.....	139
7.4	REFERÊNCIAS POR QUALIS	140

1 INTRODUÇÃO

O estado do Pará, situado na região norte do Brasil, é o segundo maior do país em extensão territorial, com mais de um milhão de quilômetros quadrados. E possui as maiores jazidas minerais do país, tendo como base principal de sua economia a mineração, dos US\$ 15,608 bilhões em exportações totais do Estado do Pará em 2018, as indústrias de mineração e transformação mineral responderam por 88% deste valor. Juntas, exportaram US\$ 13,725 bilhões, fazendo do setor mineral o grande vetor de crescimento do comércio exterior paraense. a cadeia produtiva mineral respondeu por 266 mil empregos diretos e indiretos no Pará em 2018. O minério de ferro é o principal produto exportado pela indústria de mineração do Pará, representando US\$ 9,196 bilhões (8º ANUÁRIO MINERAL DO PARÁ, 2019).

Segundo o 7º Anuário Mineral do Pará, (2018) o Pará é um dos maiores produtores de minérios do Brasil. São mais de 20 projetos espalhados por todo o estado, incluindo produção de minério de ferro, bauxita, cobre, níquel, manganês, caulim, ouro, entre outros. E o futuro aponta para chegada de novos projetos. A expectativa é que o Pará receba aproximadamente US\$ 15 bilhões em investimentos na implantação de novos empreendimentos de mineração.

Dentro deste cenário promissor, as mineradoras vêm buscando cada vez mais otimizar seus processos produtivos para reduzir custos, maximizar seus lucros e aumentar a competitividade perante seus concorrentes, a redução de custos é uma meta a ser atingida ano a ano. Os maiores custos da mineração concentram-se nos sistemas de transporte da produção das minas até as usinas de beneficiamento e expedição (custos com Diesel, Correias transportadores e roletes de transportadores de correia). O método clássico de transporte mais comum em minas a céu aberto é a combinação de Caminhão-Carregadeira e, esta operação consiste de quase 50 a 60% do custo total de operação na mina a céu aberto (MAMBO ,2017).

Após extraído das cavas os minerais são transportados por caminhões e/ou sistemas truckless e descarregados nas moegas de britagens primárias, entradas estas, das usinas de beneficiamento desta etapa em diante até os pátios de estocagem e expedição e aos silos de carregamento dos trens, todo o transporte é realizado por transportadores de correia.

Os Transportadores de Correia são equipamentos de transporte de materiais a granel, que estão em posição de destaque devido as suas vantagens, tais como, baixo custo de manuseio, alta confiabilidade, versatilidade e ilimitada faixa de capacidade de transporte. Além de permitir a integração entre processos em fluxo contínuo (CEMA 6th ,2007).

Uma grande mineradora do país, instalada na região sul e sudeste do Pará, possui em um de seus complexos industriais 316 transportadores de correia, ativos estes que juntos somam 114km de transportadores de correia. E para reduzir os custos de transporte da mina até a usina com caminhões fora de estrada, em um de seus mais novos projetos, o sistema de transporte adotado foi o Truckless Mining, composto por carregadeiras, empilhadeiras e transportadores de correia. Com a inclusão desta nova unidade os dois complexos minerais somam mais de 240 km de transportadores de correias.

Neste contexto a confiabilidade dos transportadores de correia, é de suma importância para garantia do atingimento das metas de produção das mineradoras.

Dentre os componentes que compõem o sistema de transportadores de correias, na usina de beneficiamento de minério de ferro de uma mineradora do sul do Pará, os roletes representam um consumo de cerca de 50 mil rolos por ano representando altos custos de manutenção.

Avaliando-se os perfis de perdas da em uma das áreas de britagem da mineradora em questão, verifica-se que os modos de falha mais frequentes problemas são relativos a falhas ou defeitos em roletes/ rolos de transportadores de correia.

Segundo a ABNT NBR 6678 (2017) a vida mínima L10h, esperada por um rolo de em condições normais de operação e dimensionamento devem ser de 30.000 a 60.000 horas a 600 rpm máximos dependendo da série do rolo, vida está definida pelos rolamentos dos roletes.

Na mineradora em questão, os roletes aplicados atualmente, apresentam uma vida média de 4.000 horas de operação, com isso a troca de rolos é uma atividade frequente realizada pela manutenção. Associado a esta atividade está o risco de esmagamento de mãos e ou dedos, um dos tipos de acidentes mais frequentes na mineração.

Baseado neste contexto, além de garantir os parâmetros do projeto e instalação de roletes em correias transportadoras, a qualidade dos parâmetros normalizados dos roletes para cada fabricantes é fundamental para garantir a vida média destes. Desta forma testes com novos modelos, tecnologias e fabricantes de roletes, são necessários para determinar quais fabricantes apresentam maior vida útil.

Para melhor confiabilidade nos resultados de testes deve-se aplicar os roletes nos transportadores de maior solicitação de esforços e condições normais de sujidade e acompanhá-los pelo mínimo de um ano para assim definir quais os fabricantes de roletes aproximam-se dos valores benchmarking da (ABNT NBR 6678, 2017).

Contudo, em um cenário cada vez mais competitivo que apresenta a necessidade de reduzir e eliminar paradas no processo produtivo, o tempo de teste de um ano não atende as expectativas de atendimento a produção e redução exposição ao risco dos empregados.

Para tanto, este estudo propõe o desenvolvimento de um equipamento para realização de em roletes de transportadores de correia para determinação da vida média destes, através de ensaios acelerados. Reduzindo assim os tempos de teste, agilizando a tomada de decisão e desenvolvimento de melhores materiais e fornecedores.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho se propõe a desenvolver o projeto de uma bancada de teste de roletes de carga de correias transportadoras a fim de determinar, por meio de ensaios acelerados, a vida média, qualidade das vedações dos rolamentos e resistência mecânica da carcaça dos roletes em teste. O equipamento deve simular as condições de instalação dos roletes em serviço, para isso, deverá possuir dispositivos capaz de aplicar rotação, carga e condições de intemperes (mistura de água e minério de ferro) aos mesmos e através de medições de parâmetros tais como, carga, rotação, temperatura e vibração obter dados para análise de degradação a través de ensaios acelerados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver estrutura de um equipamento com suportes para instalação de 3 roletes de carga de transportadoras de correias para larguras de 1000, 1200, 1600, 1800 e 2200mm;

Desenvolver sistema de acionamento para aplicar rotação, através de motores elétricos e sistema de acoplamento entre o motor e os roletes;

Desenvolver dispositivos para aplicar carga em cada rolete individualmente;

Desenvolver sistema para aspergir uma mistura de água com minério de ferro, para teste da vedação dos roletes;

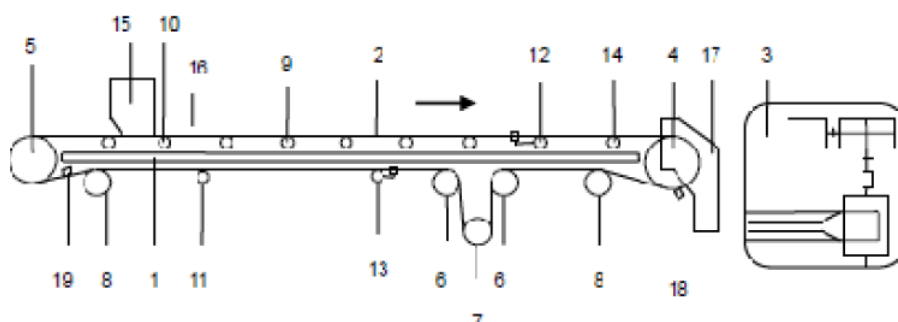
Desenvolver sistema elétrico e de instrumentação para a medição de vibração, rotação, carga e temperatura dos roletes em teste.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Transportadores de Correia

Segundo a NBR 6177 (2016) um transportador de correia ou abreviadamente "TC" (belt conveyor or BC) é um arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas) ou, ainda, uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado à movimentação ou transporte de materiais a granel, através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre os tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento, segundo uma trajetória determinada pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga. A figura 1 e tabela 1 apresentam o arranjo geral com os componentes de um transportador de correia típico.

Figura 1– Arranjo geral típico de um transportador de correia.



Fonte: Adaptado de Hickmann, 2017.

Tabela 1 – Componentes de um transportador de correia típico.

Componentes de um transportador de correia	
1. Estrutura;	11. Rolete de retorno;
2. Correia transportadora;	12. Rolete auto-alinhante de carga;
3. Conjunto de acionamento;	13. Rolete auto-alinhante de retorno;
4. Tambor de acionamento;	14. Rolete de transição;
5. Tambor de retorno;	15. Chute de alimentação;
6. Tambor de desvio;	16. Guias laterais;
7. Tambor de esticamento;	17. Chute de descarga;
8. Tambor de encosto;	18. Raspador;
9. Rolete de carga;	19. Limpador.
10. Rolete de impacto;	

Fonte: Adaptado de Hickmann, 2017.

Ampla número de aplicações de correias transportadoras em quase todos os ramos da indústria, impulsiona a demanda por soluções inovadoras, melhores e cada vez mais eficientes no ponto de vista energético de seus componentes. Os usuários de correias transportadoras estão procurando soluções energeticamente eficientes, incluindo: baixa resistência à rotação e durabilidade dos roletes, economia em correias, sistemas de acionamento de alta eficiência, etc. Todos esses fatores têm um impacto no custo de transporte dos materiais através das correias transportadoras e da durabilidade do equipamento (KRÓL, 2017).

2.2 Estrutura

A estrutura resume-se a todas as partes que compõem o transportador e tem função de sustentação, como apoio, torres, suportes, treliças, etc. Trata-se do maior elemento mecânico, visto que deve fixar todos os demais elementos mecânicos presentes no transportador (CAMPOS, et al, 2013).

2.3 Correia

De todos os componentes de um TC a correia é o mais importante, representa uma porção significativa do custo de um transportador e sua operação bem-sucedida é fator decisivo para a produtividade geral de uma usina (VELOSO, 2014).

Segundo Mercúrio (2015), é o principal elemento de um transportador de carga, apresenta alta resistência a impactos, tensões e flexões, a correia transportadora é basicamente constituída por carcaça e coberturas. A carcaça é

responsável por toda a força e resistência da correia, mais comumente fabricadas com fibras têxteis, porém podem ser constituídas por cabos de aço (MERCÚRIO, 2015).

A carcaça da correia é responsável pela resistência para suportar a carga, bem como as consequentes tensões e flexões submetidas à correia em sua utilização. Seu tecido é fabricado em geral de fibras têxteis, sendo também possível a aplicação de cabos de aço (GAVI, 2011).

A cobertura, tem a função de proteger a correia contra os efeitos encontrados no contato com o material transportado. Ela pode ser de dois tipos, lisa ou não lisa. As lisas são aplicadas para o transporte horizontal ou para operar em plano inclinado de inclinação menor que o especificado pelo fabricante. As correias com cobertura não lisas são usadas em situações de transporte de carga mais elevadas, com seu relevo projetado de acordo com a severidade das condições a ser utilizada.

A figura 2 apresenta dois modelos de correia, na esquerda correia com fibras têxteis (Lona), e na direita correia com cabos de aço.

Figura 2 – Carcaça e cobertura de correias transportadoras.



Fonte: Mercúrio, 2018.

2.4 Tambores

O principal papel dos tambores é tracionar a correia durante o funcionamento do transportador, função exercida pelo tambor motriz. Com o acionamento do tambor motriz pelo acoplamento à motorização ocorre a movimentação da correia. Esta movimentação é responsável pelo movimento dos tambores movidos. Além do tensionamento, os tambores também são responsáveis por realizar dobras e desvios na correia. Os tambores podem ser classificados em (SACRAMENTO, 2010).

Ainda segundo Sacramento, (2010) os tambores de correia transportadoras podem ser divididos em:

- 2.4.1. Tambor de acionamento:** É usado para a transmissão de torque e pode ser posicionado no centro, na cabeceira ou no retorno;
- 2.4.2. Tambor de retorno:** Permite a correia retornar à posição inicial. Em alguns casos é responsável também por tencionar a correia e fica localizado na extremidade oposta ao terminal de descarga;
- 2.4.3. Tambor esticador:** Responsável por a correia permanecer com a tensão adequada durante o funcionamento;
- 2.4.4. Tambor de dobra:** Responsável por desviar a trajetória da correia;
- 2.4.5. Tambor aletado:** Possui uma geometria diferente a fim de não permitir que o material transportado, após a correia passar pelo trecho de retorno, seja pressionado contra a mesma e possa danificá-la. Quando aplicados em transportadores automáticos verticais pode ser aplicado como tambor de retorno ou de esticamento;
- 2.4.6. Tambor magnético:** Possui comportamento magnético responsável por separar os materiais magnéticos dos não-magnéticos. Geralmente localiza-se no terminal de descarga;
- 2.4.7. Tambor de encosto:** Utilizado para maximizar a área de contato (ou ângulo de contato) entre a correia e o tambor de acionamento.

A figura 3 apresenta alguns tipos de tambores para correias transportadoras.

Figura 3 – Tambores para correias transportadoras.



Fonte:PARCAN, 2018.

2.5 Roletes

Utilizados para suportar e guiar a correia transportadora, os roletes são rolos cilíndricos fixados em estruturas metálicas por meio de um eixo central fixado em rolamentos, onde são capazes de efetuar livre rotação. Normalmente são divididos em 8 tipos (GAVI, 2011).

2.5.1. Rolete/ Rolos De Carga

Responsável pelo apoio do lado da correia onde a matéria-prima é transportada (GAVI, 2011). Roletes de carga podem estar na configuração plana, duplo, triplo, seletor, quádruplo e em catenária (NBR 6177, 2016). A figura 4 apresenta rolo de carga metálico.

Figura 4 – Roletes de carga.



Fonte: Generalroller, 2018.

2.5.2. Rolete/Rolo De Retorno

Responsável pelo apoio da correia no retorno da mesma (GAVI, 2011). Roletes de retorno podem estar na configuração plana, duplo em “V” e em catenária (NBR 6177, 2016). Afigura 5 apresenta rolo de retorno metálico e de anéis de borracha.

Figura 5 – Rolete de retorno metálico e anéis de borracha.



Fonte: Generalroller, 2018.

2.5.3. Rolete/Rolo De Impacto

Roletes de impacto são instalados em uma estrutura especial destinada a suportar os roletes, chamada de mesa de impacto (NBR 6177, 2016). Como mostra a figura 6.

Figura 6 – Rolete de impacto



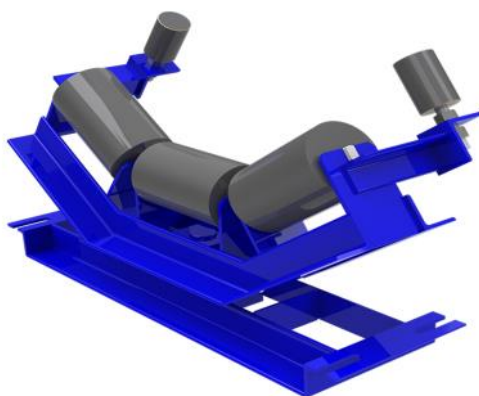
Fonte: Parcan, 2018

2.5.4. Rolete/Rolo Auto-Alinhador

Instalado nas laterais, em contato com a correia tem a função de manter a correia alinhada, como mostrado na figura 7, é composto por rolos giratórios que controlam o deslocamento lateral da correia durante todo o percurso da mesma, convenientemente dispostos, sendo também instalados no retorno (GAVI, 2011).

Se cavaletes de rolos auto-alinhantes forem necessários, elas deverão estar espaçadas de 100 a 150 pés (30 a 46m) de distância, e pelo menos uma deve ser usada em transportadores com menos de 30 metros de comprimento. Cavaletes de rolos auto-alinhantes de correia não devem ser usadas em áreas de transição de correia (CEMA 6th, 2007).

Figura 7 - Rolete auto alinhador de correia.



Fonte: Parcan, 2018

2.5.5. Roleta/Rolo De Transição

Instalados próximo as mudanças de concavidade da correia. Os cavaletes com roletes podem ser fixos ou ajustáveis (GAVI, 2011). A quantidade de roletes de transição depende do ângulo estabelecido para a correia. A Figura 8 apresenta rolos de carga com cavaletes de transição.

Figura 8 – Roletes de carga com cavaletes de transição

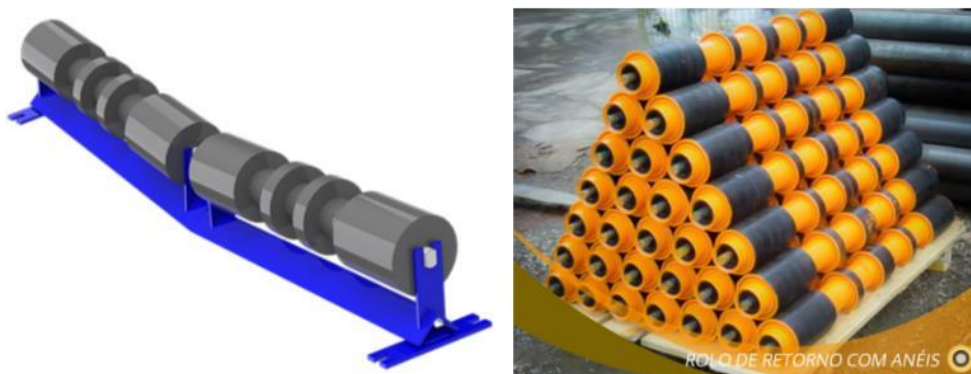


Fonte:Autor, 2018

2.5.6. Roleta De Retorno Com Anéis

Constituído de anéis de borracha espaçados material no rolete, são responsáveis pelo aderido à correia (GAVI, 2011). A figura 9 apresenta rolete de retorno com anéis.

Figura 9 – Roletes de retorno com anéis borrachas.



Fonte: Generalroller, 2018.

2.5.7. Rolete Helicoidal

Os roletes em forma helicoidal, instalados no retorno da correia, são responsáveis pelo desprendimento de material aderido à correia (GAVI, 2011). A figura 10 apresenta rolete de retorno helicoidal.

Figura 10 – Rolete de retorno helicoidal.



Fonte: Generalroller, 2018.

2.5.8. Rolete Em Catenária

Diferente dos roletes apresentados anteriormente, os roletes em catenária não estão presos em uma estrutura rígida. Como mostrado na figura 11, os roletes em catenária são conjuntos de rolos suspensos com interligações articuladas, permitindo a livre conformação dos mesmos, fazendo com que a correia se centralize automaticamente. Podem ser instalados tanto no carregamento quanto no retorno (GAVI, 2011).

Figura 11 – Roletes de carga e impacto em catenária.



Fonte: Imepel, 2018

2.5.9. Roletes Guias

Trabalham conjuntamente com os roletes dos cavaletes auto-alinhantes, são fixados verticalmente com função de guiar a correia em caso de deslocamento contra a estrutura. Sua utilização deve ser minimizada porque causa o cisalhamento das lonas da carcaça presente nas bordas da correia (GAVI, 2011). A figura 12 apresenta um rolete guia.

Figura 12 – Rolete guia.



Fonte: Imepel, 2018

2.6 CONJUNTO DE ALIMENTAÇÃO

Conjunto de alimentação de um transportador contínuo podemos citar o chute ou bica de descarga. Trata-se de elemento que recebe o material transportado e o dirige, através de seu formato afunilado, à correia de forma uniforme e equilibrada para que não haja o transbordo do material. Trabalhando de forma conjunta com os chutes, destacam-se as moegas e tremonhas (CAMPOS, 2013).

2.7 CONJUNTO DE DESCARGA

A realização da descarga do material transportado, comumente se faz pelo tambor de cabeça, empilhando em local determinado. Caso seja utilizado um chute adequado, este material pode ser depositado em silos laterais ou até ser encaminhado à outra correia. Para que se descarregue o material em diferentes locais ao longo do percurso do transportador, podem ser usados desviadores ou trippers(CAMPOS, 2013).

2.8 CONJUNTO DE ACIONAMENTO

O acionamento de um transportador consiste de um conjunto de motor elétrico, acoplamentos hidráulicos, dispositivos de segurança, transmissão e tambores com a função de gerar a movimentação da correia. Acoplados ao tambor motriz (ou conjunto de tambores motrizes), eles controlam a velocidade de trabalho do transportador (CAMPOS, 2013).

A figura 13 apresenta um conjunto de acionamento de correia transportadora.

Figura 13 – Acionamento de correia transportadora.



Fonte: Autor, 2018

2.9 ACESSÓRIOS

Outros itens podem ser aplicados ao conjunto de elementos funcionais de um transportador contínuo para flexibilizar sua utilização e simplificar sua manutenção e conservação (CAMPOS, 2013).

2.10 ESTICADOR DE CORREIA

Possuem a função de garantir a tensão adequada da correia bem como absorver suas mudanças de comprimento. Essas mudanças podem ser causadas por efeitos de temperatura, variações de carga, tempo de trabalho, entre outros (CAMPOS, 2013).

Os esticadores mais comuns são o automático por gravidade, que utiliza um tambor que recebe força de um contrapeso próximo a um dos tambores principais; e por fuso, que desloca o eixo do tambor através da montagem de duas roscas ligadas a ele, esticando assim a correia.

A figura 13 apresenta conjuntos de sistema de esticamento por parafuso tensor e gravidade de correia transportadora.

Figura 14 – Esticador de Correia Transportadora fuso e gravidade.



Fonte: Autor, 2018

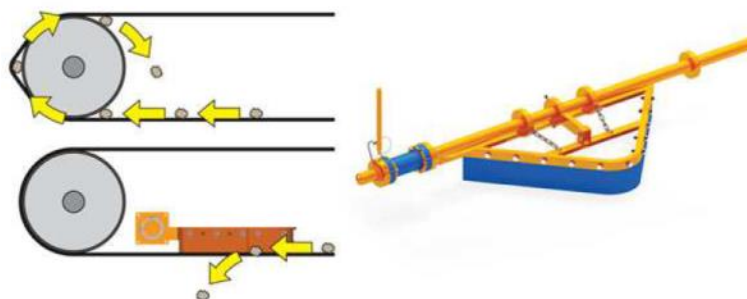
2.11 ACESSÓRIOS DE LIMPEZA

Alguns dispositivos como limpadores simples, limpadores por jato d'água, raspadores e viradores de correia são equipamentos importantes para realizar a remoção do material transportado restante na correia. São imprescindíveis para o bom funcionamento dos transportadores, especificamente aqueles que movem material de característica abrasiva ou pegajosa. Essa remoção aumenta a vida útil da correia e dos tambores (CAMPOS, 2013).

2.11.1. Limpadores Simples

Possuem uma geometria em “V”, fabricados geralmente em aço e aplicam uma força no ramo limpo da correia. É posicionado antes dos tambores de esticamento e de retorno, evitando que a correia seja danificada caso o material caia neste lado (CAMPOS, 2013). A figura 15 apresenta um limpador simples em V.

Figura 15 – Limpadores simples e V.



Fonte: Adaptado de Hickmann, 2017.

2.11.2. Raspadores

Atuam de forma com que o material em contato com a correia, mesmo após passar pelo tambor de descarga, caia na calha de descarga. Isso faz com que não permaneça sujeira significativa na correia e evita danos aos tambores de desvio e aos roletes de retorno (CAMPOS, 2013). A figura 16 apresenta a imagem de um raspador primário.

Figura 16 – Raspador principal.



Fonte: Adaptado de Hickmann, 2017.

2.12 GUIAS LATERAIS

São adotadas como um prolongamento da tremonha. Sua função é evitar o derramamento de material em situações que há o excesso de vibração (CAMPOS, 2013). A figura 17 apresenta a imagem de um conjunto de guias laterais e vedações.

Figura 17 – Guias laterais.



Fonte: Martin-engineering, 2018.

2.13 COBERTURA

A cobertura pode ser superior ou inferior. A primeira evita que a ação da luz do sol e demais adversidades ajam diretamente na correia ou demais elementos. A cobertura inferior evita que materiais como sujeira, resquícios da região superior da correia ou qualquer corpo estranho se deposite no ramo limpo da correia (CAMPOS, 2013).

2.14 PASSADIÇO

O passadiço é uma espécie de passarela que acompanha o comprimento da correia. Ela pode ser usada para simplificar as operações de manutenção dos equipamentos do transportador (CAMPOS, 2013). A figura 18 apresenta a cobertura e passadiço de um transportador de correia.

Figura 18 – Passadiço e cobertura de um transportador de correia.



Fonte: Autor, 2018.

2.15 VIDA ÚTIL DO ROLO & VIDA DO ROLAMENTO

Conforme a ABNT - NBR 6678 (2017), a vida de um rolo depende de muitos fatores tais como, material transportado, espessura da parede do tubo, eficiência da vedação do rolamento, meio ambiente, etc. Porém, como todos estes fatores não são quantificáveis, desta forma, a vida do rolamento é utilizada como indicativo da vida do rolo.

Ainda segundo a ABNT - NBR 6678 (2017), entende-se como vida do rolamento, o número de horas a uma determinada rotação que 90% dos rolamentos atinge antes que apareçam os primeiros sinais de fadiga (descascamento) em seus anéis ou corpos rolantes. A vida real da carcaça do rolo ou rolete, pode ser, portanto, inferior à vida do rolamento. É recomendado normalmente uma vida mínima conforme a tabela 2, sendo estes valores de referência para o cálculo da carga mínima, de acordo com a tabela 3. Para aplicações especiais e confiabilidade superiores, ouse já taxa de falhas abaixo de 10%, a vida do rolamento deve ser acordada entre usuário e fornecedor.

Tabela 2 – Vida Mínima dos rolamentos de roletes.

Série	Mínima L _{10h} h	Rotação máxima do rolo r/min
15	30 000	600
20	30 000	600
25	30 000	600
30	60 000	600
40	60 000	600
45	60 000	600
50	60 000	600
60	60 000	600

Fonte: ABNT - NBR 6678, 2017.

Tabela 3 – Carga dinâmica mínima dos rolamentos de roletes.

Série	Ø Rolo mm	Rolamento	Carga dinâmica mínima N
15	75 / 102	6 202	7 650
20	102 / 127	6 204	12 800
25	127 / 152	6 205	14 000
		6 305	20 600
30	152 / 165	6 206	19 500
		6 306	26 700
40	165 / 178 / 203	6 208	29 100
		6 308	40 500
45	165 / 178 / 203	6 209	31 500
		6 309	53 000
50	178 / 203	6 310	62 000
60	203 / 219	6 312	82 000

NOTA Para as séries 25, 30, 40 e 45, podem ser utilizados dois tamanhos de rolamentos, dependendo da vida desejada.

Fonte: ABNT - NBR 6678, 2017.

2.16 CÁLCULO DA VIDA ÚTIL DOS ROLAMENTO

Segundo a ABNT – NBR 6678 (2017) a vida dos rolamentos, em horas, deve ser calculada pela equação, Equação 1.

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60 \times n} \times \left(\frac{C}{P_{eq}} \right)^x \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

n= número de rotações em RPM;

C=Capacidade de carga do Rolamento

x=3 para rolamentos de esferas;

$P_{eq} = \frac{P_s}{2}$, Ps= Carga para seleção do rolo ou rolete;

2.17 ENSAIOS ACELERADOS DE VIDA

Os ensaios acelerados são aqueles no qual os níveis das solicitações aplicadas são escolhidos de modo a exceder os valores especificados nas condições de referência, a fim de reduzir o tempo necessário para se observar a reação do componente ou para ampliar esta reação durante um intervalo de tempo. Para ser válido, o ensaio acelerado não deve alterar os modos de falha básicos e os mecanismos de falha (PALLEROSI, 2007).

Ensaio acelerado de vida (Accelerated Life Test, ou simplesmente ALT), o ensaio que têm como objetivo acelerar as falhas para de quantificar as características de vida de um produto em condições normais de serviço (RELIASOFT CORPORATION, 2015).

Testes acelerados de vida como “uma deterioração/envelhecimento induzido num componente para que surjam falhas normais, operando em níveis de solicitações muito maiores do que seria esperado em condições normais de utilização” (HIETALA E OJALA, 2017).

2.18 CALCULO DE POTÊNCIA & ATRITO DE ROLAMENTO

2.18.1. Noções De Torque E Potência

Segundo Fevereiro (2019), Quando uma força é aplicada sobre um corpo e a linha de ação desta força passa por fora do ponto apoio do corpo haverá a tendência de produzir o mesmo produzir um giro. Ao produto da intensidade da força pela distância de atuação desta até o ponto de apoio dar-se o nome de torque, momento de torção, momento torçor ou ainda conjugado.

A medida da eficiência de uma força, no que refere a tendência de fazer um corpo girar em relação a um ponto fixo, chamamos momento da força em relação a esse ponto (PALADINI, 2019).

Paladini (2019), relembra que a potência é definida como sendo o trabalho realizado sobre o tempo e que o trabalho é o produto da intensidade da componente de uma determinada força na direção do deslocamento. Ainda segundo Paladini (2019), pode-se calcular a potência requerida de acionamento de um equipamento, a partir do momento de torção ou torque requerido e da rotação por minuto no seu

eixo de acionamento. Para determinar o motor a ser utilizado o rendimento do sistema de transmissão deve ser conhecido.

As equações de 2 a 7 apresentam as equações para cálculo da potência e torque, força e velocidades de um determinado sistema de acionamento.

$$N = \frac{F \cdot V}{75} (CV)$$

Equação 2

$$F = \frac{Mt}{R} (N \text{ ou } Kgf)$$

Equação 3

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} (m/s)$$

Equação 4

$$Nm = \frac{Pt}{\eta t}$$

Equação 5

$$N = \frac{Mt \cdot n}{716,2} (CV)$$

Equação 6

$$N = \frac{Mt \cdot n}{9550} (Kw)$$

Equação 7

Onde:

F= Força aplicada ao corpo em KgF ou N;

R – Raio de giração ou distância do ponto de aplicação da força em m.

Mt – Momento de torção no eixo de saída em kgfm ou Nm;

N – Potência requerida em CV ou kW;

Nm= Potência do motor em CV ou kW;

V=Velocidade tangencial em m/s;

n=Rotação em rpm;

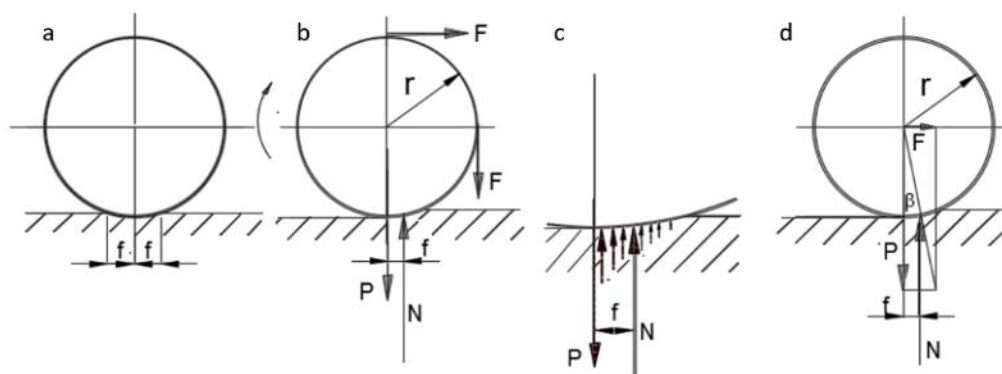
ηt = Rendimento do acoplamento da transmissão em %;

2.18.2. Atrito De Rolamento

De acordo com Fevereiro (2019) Coulomb, em ensaios de laboratório, fez experimentos para determinar os valores dos atritos de rolamento e verificou que

esse atrito se apresenta em razão direta do peso e em razão inversa do diâmetro da roda ou esfera. As imagens da figura 19 a, b, c e d, apresentam o mecanismo do atrito de rolamento de uma roda de aço apoiada sobre uma superfície plana.

Figura 19a, b, c e d – Roda de aço apoiada sobre uma superfície plana.



Fonte: Fevereiro, 2019.

Com a roda parada (figura 19 a), “f” é a metade do valor do contato (atrito estático). Quando a roda entra em movimento (figura 19 a e b), “f” diminui de valor (atrito cinético). Na figura 19 b, o raio da roda “r” tem a mesma distância de P até a aplicação da força F e também uma alavanca onde a medida “f” é o braço de alavanca da resistência ao rolamento. A força F, com apoio em N, eleva e movimenta P e, para fazer a roda girar, o seu valor deverá ser conforme a equação 8.

$$f = \frac{P}{R}$$

Equação 8

Ou ainda conforme figura 19 d a força pode como apresentado na equação 2.9.

$$f = P \tan \beta$$

Equação 9

Onde:

f = Metade da medida do contato;

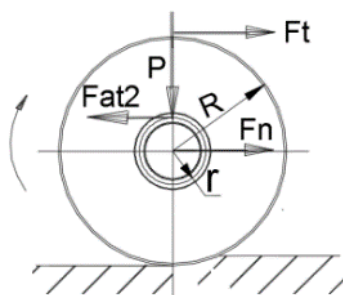
P – Força peso.

r – Raio da esfera;

Os valores de f dependem da rugosidade das superfícies e dos materiais envolvidos no contato. No sistema de deslocamento de um corpo qualquer, sobre rodas ou cilindros, outra força de atrito se refere aos mancais de rolamentos (de esfera ou de roletes) entre o eixo e a roda ou cilindro (F_{at2}). O valor de f para mancais de rolamentos é na prática 0,1 mm (FEVEREIRO, 2019).

A figura 20 apresenta a esquema da força de atrito dos mancais de rolamentos de uma roda qualquer.

Figura 20 – Representação de roda com mancais de rolamento.



Fonte: Fevereiro, 2019.

A equação 10 apresenta o cálculo da força de atrito relativa aos mancais de rolamento.

$$Fat_2 = P \frac{f}{r}$$

Equação 10

Onde:

r – raio médio do mancal de rolamento.

f = Metade da medida do contato;

P – Força peso;

Fat_2 = Força de atrito dos rolamentos;

Ainda segundo Fevereiro (2019), A força tangencial necessária ou requerida F_t para fazer a roda girar e a força de tração necessária F_n para puxar o carro por um cabo preso ao seu eixo, deve ser levemente maior do que a soma das duas forças de atrito. Conforme apresentado na equação 2.10.

$$F_n = F_t \geq Fat_1 + Fat_2 \frac{r}{R}$$

Equação 11

O valor de f é dado geralmente em mm e o coeficiente de atrito é adimensional. A tabela 4 apresenta os coeficientes de atrito típicos de alguns materiais.

Tabela 4 – apresenta os coeficientes de atrito de mancais de rolamento.

Materiais	f (mm)	Coeficiente de atrito de rolamento	Sem unidade
Aço/madeira dura	1,2	Carros sobre vias asfaltadas	0,010 a 0,015
Aço/aço	0,5	Vagões	0,004 a 0,005

Fonte: NTN, 2019.

Segundo NTN (2019), um dos principais requerimentos de um rolamento é ter um baixo atrito. O coeficiente de atrito para rolamentos se calcula com base no diâmetro interno do rolamento, momento de atrito e carga aplicada, conforme equação 12.

$$\mu = \frac{2M}{Pd}$$

Equação 12

onde,

μ – Coeficiente de atrito

M – Momento de atrito, N · mm {kgf · mm}

P – Carga, N {kgf}

d – Diâmetro do furo do rolamento, mm

A tabela 5 apresenta os coeficientes de atritos típicos de mancais de rolamento.

Tipo de rolamento	Coeficiente $\mu \times 10^{-3}$
Rolamentos rígidos de esferas	1.0~1.5
Rolamentos de esferas de contato angular	1.2~1.8
Rolamentos autocompensadores de esferas	0.8~1.2
Rolamentos de rolos cilíndricos	1.0~1.5
Rolamentos de agulhas	2.0~3.0
Rolamentos de rolos cônicos	1.7~2.5
Rolamentos autocompensadores de rolos	2.0~2.5
Rolamentos axiais de esferas	1.0~1.5
Rolamentos axiais de rolos	2.0~3.0

Fonte: NTN, 2019.

2.19 DIMENSIONAMENTO DE BOMBAS DE POLPAS DE MINÉRIO

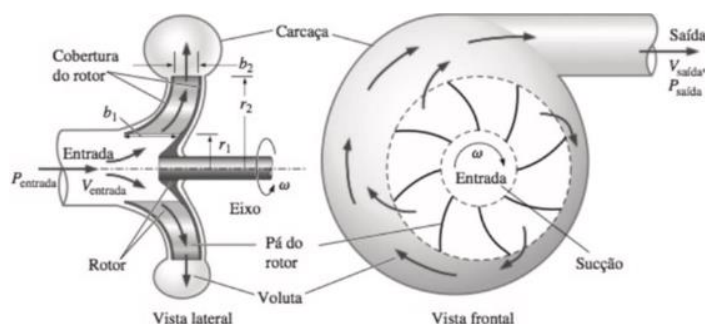
2.19.1. Bombas

Uma bomba é um dispositivo que transformam energia cinética (do rotor) em energia potencial. A energia elétrica fornecida ao motor é transferida em sua maioria ao fluido, resultando em um aumento de pressão podendo ou não apresentar um aumento de vazão (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

2.19.2. Bomba centrífuga

Segundo Çengel e Cimbala (2015), uma bomba centrífuga é composta por eixo (que transfere energia para bomba), mancal, rotor e carcaça (também denominada voluta). Em funcionamento, o fluido entra axialmente no centro da bomba e adquire velocidade tangencial por transferência de quantidade de movimento com as pás do rotor e velocidade radial, devido a força centrífuga. A figura 21 apresenta a representação esquemática de uma bomba centrífuga.

Figura 21 – Representação esquemática de uma bomba centrífuga.



Fonte: Çengel, 2015.

Os rotores utilizados em bombas centrífugas podem ser basicamente classificados em três tipos: Aberto, semiaberto e fechado (ESTEVAM, 2017). A figura 22, abaixo apresenta os principais tipos de rotores.

Figura 22 - Tipos de rotores de bombas centrífugas.



Fonte: Adaptação de GOMES, 2012.

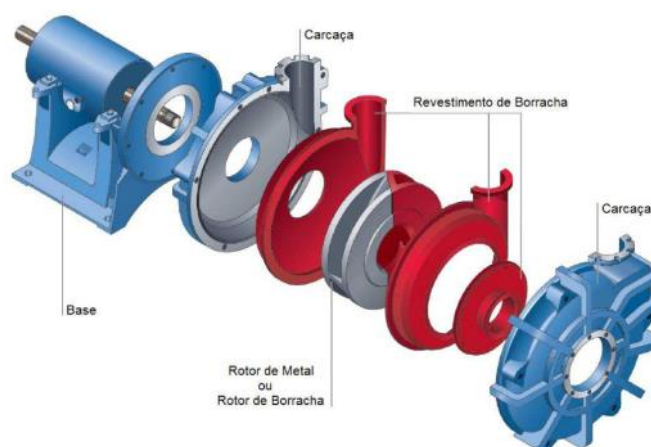
2.19.3. Bombas De Polpa

Bombas de polpa são bombas centrífugas capazes de movimentar fluidos densos e abrasivos. O nome “Bomba de Polpa” também deve ser considerado um termo genérico, para diferenciá-la de outras bombas centrífugas que trabalham com água ou óleos (ESTEVAM, 2017).

Para a aplicação deste estudo Polpa é considerado o fluido composto por uma mistura de água e uma porcentagem de minério de ferro com granulometria abaixo de 0,15mm.

Segundo Estevam (2017), as bombas de polpa apresentam rotores mais robustos e com menos aletas o rotor e o interior da carcaça estão sempre expostos ao fluido abrasivo e, portanto, precisam ser protegidos apropriadamente contra o desgaste. Geralmente são utilizados revestimento para os rotores e carcaça como borracha natural ou elastômeros à base de poliuretano reticulado (PUR), ou tem seus componentes fabricados com materiais resistentes à abrasão e corrosão como ligas de NI-HARD, aços de alto cromo e revestimentos cerâmicos. A figura 23 apresenta as partes internas de uma bomba de polpa.

Figura 23 – Bomba de polpa KSB.



Fonte: KSB,2015.

Segundo Figueira Jr. (2017), a curva característica de bombas de polpa é menos acentuada que bombas d'água, e trabalham com rotações menores, abaixo de 1800 rpm, pois no caso de rotores muito grandes, caso a rotação seja alta, as velocidades periféricas (tangenciais) serão altíssimas e consequentemente o desgaste será elevado.

Como no sistema de aspersão da bancada de teste de roletes, as velocidades e vazões são relativamente baixas, comparadas as aplicações de sistemas convencionais de bombeamento de polpas como minerodutos entre outros, a hipótese é que não será necessária uma bomba tão robusta no que tange a potência, vazão e altura manométrica total. Porém dois pontos de atenção a ser considerado são o desgaste abrasivo do rotor, voluta bem como a estagnação do fluido em transporte na tubulação.

2.19.4. Cálculo e Escolha de Bombas De Polpa

Segundo Silva (2011), vários fatores importantes devem ser analisados no dimensionamento de um sistema de polpa pressurizada, a saber:

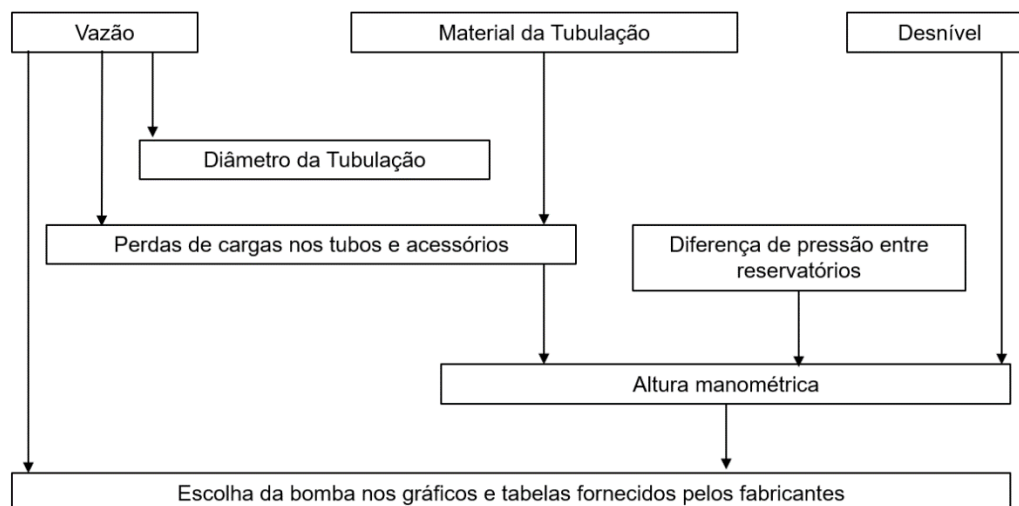
- Impedir a sedimentação/entupimentos de sólidos na tubulação;
- Otimizar o consumo de energia;
- Atender às exigências processuais (vazão, pressão residual, etc.);
- Tornar mínimo o desgaste de componentes (internos das bombas, tubulações, etc.).

Ainda segundo Silva (2011), fundamentalmente a especificação de uma bomba para uma instalação de bombeamento é função do conhecimento de duas importantes grandezas:

- A vazão a ser recalçada (Q);
- Altura manométrica da instalação (H_{man} ou H).

A figura 24 apresenta um fluxograma global das várias fases que procedem a escolha da bomba.

Figura 24 – Sequência de operações para cálculo e escolha de bombas.



Fonte: Adaptação de Silva, 2011.

O primeiro passo no dimensionamento de sistema de bombeamento de polpa é a determinação da velocidade real de transporte, a velocidade “limite” (velocidade crítica) e o diâmetro da tubulação (SILVA, 2011).

2.19.5. Seleção de Bombas de Polpa Método Warman

As equações de 13 a 24 apresentam as nomenclaturas para dimensionamento de um sistema de bombeamento de polpa utilizado pela Warman.

2.19.6. Gravidade Específica (Densidade) Da Polpa

$$S_m = SL + \frac{C_V}{100} (S - SL)$$

Equação 13

$$S_m = \frac{SL}{1 - \left[\frac{C_W}{100} \cdot (S - SL) / S \right]}$$

Equação 14

2.19.7. Concentração De Sólidos

$$C_V = \frac{(S_m - SL)}{(S - SL)} \cdot 100 (\%)$$

Equação 15

$$C_W = \frac{C_V \cdot S}{(S_m)} (\%)$$

Equação 16

$$C_W = \frac{C}{S_m \cdot 10} (\%)$$

Equação 17

Onde:

Sm=Peso Específico da Polpa;

Cv Concentração por volume;

SL=Peso específico líquido;

Cw Concentração por peso.

S=Peso Específico do sólido;

2.19.8. Vazão Da Polpa

$$Q = \frac{M \cdot 1000}{3,6 \cdot C} (l/s)$$

Equação 18

Onde:

Q = vazão em l/s;

M= Massa de sólidos bombeada;

C=Concentração de sólidos.

2.19.9. Velocidade Média De Fluxo

$$V = \frac{1273 \cdot Q}{d^2} \text{ (l/s)}$$

Equação 19

Onde:

Q = vazão em l/s;

d= diâmetro da partícula em mm.

2.19.10. Velocidade de Assentamento

$$V_L = F_L \sqrt{2gD \frac{(S-S_L)}{S_L}}$$

Equação 20

Onde:

FL = fator tamanho e concentração dos sólidos;

g = aceleração da gravidade – m/s²;

D=Diâmetro da tubulação;

SL=Peso específico líquido;

S=Peso Específico do sólido.

2.19.11. Potência da Bomba

$$P = \frac{Q \cdot H_m \cdot S_m}{100 \cdot e_m} \text{ (KW)}$$

Equação 21

$$P = \frac{Q \cdot H_m \cdot S_m}{100 \cdot e_w} \text{ (KW)} - \text{(quando } HR=ER \text{)}$$

Equação 22

Onde:

Q = vazão em l/s;

Hm = altura manométrica total (polpa) em m;

Sm=Peso Específico da Polpa;

Em = eficiência – polpa;

Ew = eficiência – água.

HR = razão de altura

ER = razão de eficiência

2.19.12. Perda De Carga

$$H_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Equação 23

Onde:

f=Fator de atrito de Darcy

L=Comprimento da tubulação;

V=Velocidade da polpa;

D=Diâmetro interno da tubulação;

g=Aceleração da gravidade m/s².

2.19.13. Altura Manométrica Total

$$HM = H_f + H_L + H$$

Equação 24

Onde:

H_m = altura manométrica total (polpa) - mca

H_f=Perdas de carga na tubulação em mca;

H_L=Perdas de carga localizadas em mca;

H=Altura geométrica em m;

2.19.14. Razão De Altura E Eficiência

$$HR = \frac{H_m}{H_w} \quad \text{OU} \quad ER = \frac{E_m}{E_w}$$

Equação 25

Onde:

H_m = altura manométrica total (polpa) - m

H_w = altura manométrica total - água

E_m = eficiência – polpa;

E_w = eficiência – água.

Os gráficos, tabelas dos fabricantes das bombas, ábacos de Cave, diagrama de Darcy entre outros estão presentes nos anexos desta obra. Para agilizar o dimensionamento foi criado uma planilha de cálculo contendo todo o

procedimento para dimensionamento da bomba de polpa do sistema de aspersão do projeto da bancada (ver figura 94).

2.20 AGITADORES E MISTURADORES

Para compor o sistema de aspersão da bancada de teste de roletes se faz necessário o projeto de um sistema de agitação/mistura do fluido a ser utilizado para teste de vedação a seguir serão apresentados os conceitos para o dimensionamento desse equipamento.

2.20.1. A Agitação e Mistura

Segundo Fonseca e Chaguri (2019), a agitação e a mistura de líquidos e ou sólidos são duas operações unitárias bastante comuns nas indústrias de processamento químico, mineral, bioquímico ou de alimentos. Apesar consistir, em geral, na movimentação de líquidos, apresentam diferenças em relação ao padrão do movimento.

Ainda segundo Fonseca e Chaguri (2019), Agitação é definida como uma operação unitária que tem por objetivo induzir movimento ao fluido em uma direção específica, usualmente no interior de um tanque, por meio de impulsores giratórios, produzindo um perfil circulante.

Fonseca e Chaguri (2019), completam definindo que a mistura busca produzir uma distribuição aleatória e com certo grau de homogeneidade de uma ou mais fases ou substâncias.

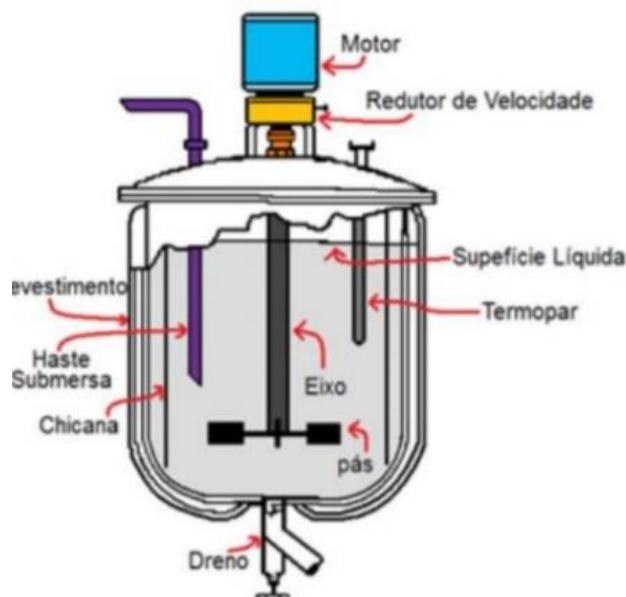
Segundo Fernandes (2005), o que diferencia os processos de mistura e agitação, é que na mistura há um movimento aleatório de duas ou mais fases inicialmente separadas; é uma operação unitária empregada na indústria química, bioquímica, farmacêutica, petroquímica e alimentícia. As substâncias a serem misturadas podem ser do tipo homogênea, que são substâncias miscíveis, ou heterogênea, não-miscíveis.

Para Fernandes (2005), o processo de mistura é altamente dependente das propriedades das substâncias a serem misturadas. Tais como a viscosidade, massa específica e miscibilidade em líquidos e granulometria, massa específica, forma, aderência e molhabilidade em sólidos.

O equipamento utilizado no processo de agitação é conhecido como agitador e possui um sistema acoplado geralmente a um tanque que possui um conjunto cilíndrico de lâminas acopladas posicionadas verticalmente que é responsável pela ação de agitação e ou mistura em seu interior(DIAS,2018).

Afigura 31 apresenta a representação de um agitador mecânico.

Figura 25 – Vaso típico de um processo de agitação mecânica.



Fonte: Dias, (2018).

Com relação a um misturador, o conceito não difere muito de um agitador. A diferença está nas substâncias envolvidas, onde o agitador trabalha com uma fase já misturada ou homogênea inicialmente, e o misturador trabalha com substâncias diferentes inicialmente separadas. Os misturadores de líquidos geralmente são utilizados tanques como equipamento recipiente assim como nos agitadores. A diferença está que há a entrada de dois ou mais substâncias, que pode ocorrer de forma contínua ou em batelada (DIAS, 2018).

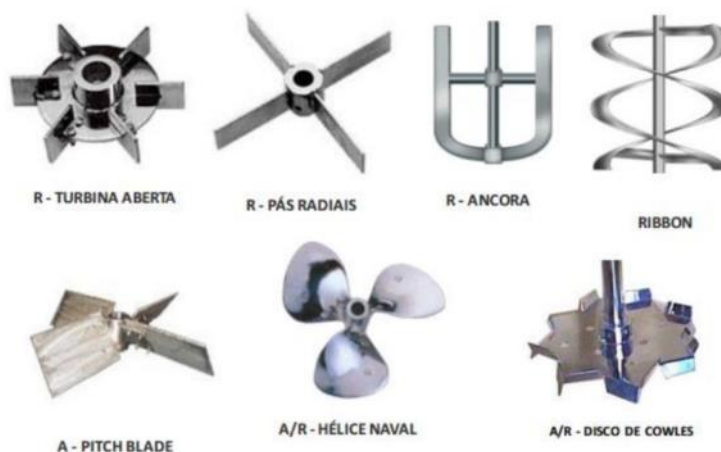
2.20.2. Tipos De Agitadores / Impelidores

Existe uma grande variedade de impelidores desenvolvidos ao longo dos anos em estudos de otimização visando uma mistura mais eficiente com o menor consumo de energia possível. E dentre os principais tipos, estão os impelidores do

tipo turbina aberta, pás radiais, ancora, ribbon, hélice naval e disco de cowles (DIAS, 2018).

A figura 26 apresenta alguns tipos de impelidores mais utilizados no mercado de equipagens.

Figura 26 – Tipos de impelidores



Fonte: Dias, (2018).

Os impelidores do tipo pás radiais são laminas chatas e largas que medem em torno de 50 a 75% do diâmetro do tanque e giram em torno de 20 a 150 rpm, como a velocidade rotação é relativamente baixa não há necessidade de uso de chicanas para amenização de vórtices centrais. É recomendado para uso em misturadores de líquidos de baixa e média viscosidade (OLEFEMI, 2016).

Os impelidores do tipo turbinas apresentam diversos formatos de lâminas, podendo ser retas, curvadas, inclinadas e ainda verticais. Se caracterizam por atender à um amplo intervalo de valor de viscosidade, e proporcionam altas forças de cisalhamento desenvolvendo escoamento completamente turbulentos e utilizados em misturadores de líquidos de baixa e média viscosidade (DIAS, 2018).

Os agitadores do discos de cowles são impelidores que trabalham com velocidades de rotação na faixa de 1750 a 3500 rpm, muito utilizado em mistura de líquidos de baixa viscosidade na dispersão e dissolução de sólidos (OLEFEMI, 2016).

Dias (2018), afirma que o agitador do tipo Hélice opera a velocidades de rotação de 400 a 1500 rpm, são utilizados na indústria para mistura de líquidos

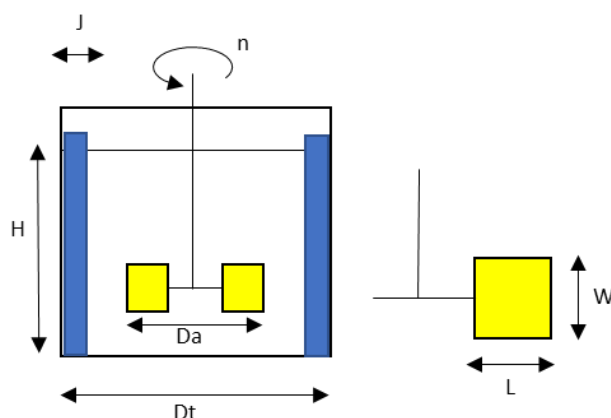
miscíveis na diluição de soluções concentradas e de sólidos, e para aumentar a taxa de transferência de calor. Possui de 1 a 5 laminas em sua composição.

2.21 DIMENSIONAMENTO DE AGITADORES

2.21.1. Geometria Padrão

As configurações e dimensões características de um tanque padrão podem ser vistos na figura 33 (MCCABE, 2005).

Figura 27 – Tanque padrão



Fonte: Adaptado McCabe, (2018).

Onde:

J – Largura do defletor;

n – velocidade de rotação;

D_t – diâmetro do tanque;

D_a – diâmetro do agitador;

H – Nível do líquido;

L – Comprimento da lâmina;

w – Altura da lâmina;

E – Distância da lâmina ao fundo.

Para um agitador padrão com quatro defletores e de 4 a 16 lâminas onde o mais usual é de 6 a 8 laminas. As equações 26 a 31 são utilizadas para determinar as medidas do tanque padrão.

$$S_1 = \frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Equação 26

$$S_2 = \frac{E}{D_a} = 1$$

Equação 27

$$S_3 = \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Equação 28

$$S_4 = \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

Equação 29

$$S_5 = \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Equação 30

$$S_6 = \frac{H}{D_t} = 1$$

Equação 31

2.21.2. Potências Em Tanques Agitados

Segundo Dias (2018), para exercer ação sobre uma mistura o agitador ou misturador precisa de uma determinada quantidade de energia. Para calcular a potência consumida em um agitador podem ser utilizadas as Equações 32 e 33.

$$R_e = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu}$$

Equação 32

Onde:

Re: Número de Reynolds do agitador;

Da: Diâmetro do agitador;

N: Velocidade de rotação em rev/s;

ρ : massa específica do fluido em kg/m³;

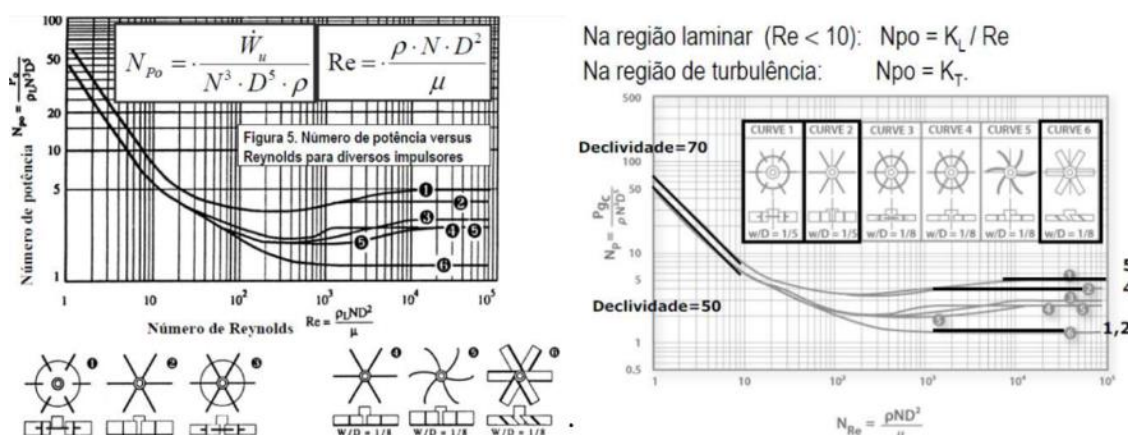
μ : viscosidade do fluido em kg/m.s.

$$N_P = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5}$$

Equação 33

Com os números adimensionais, Re e Np, utilizando-se os diagramas da figura 28 para encontrar por exemplo, qual o melhor tipo de agitador, ou ainda, com um tipo de agitar encontrar com a potência necessária (DIAS, 2018).

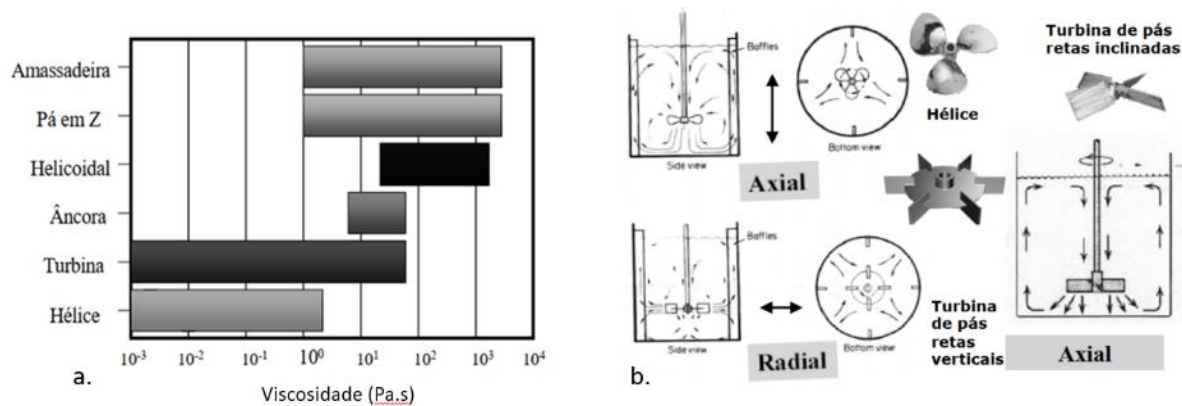
Figura 28 – Gráficos das curvas do número de Reynolds versus número de potência escoamento turbulento e laminar.



Fonte: Adaptado McCabe, (2020).

A escolha do tipo de impelidor e os padrões de escoamento dependem de cada tipo de impelidor e das propriedades dos fluidos em agitação ou mistura. A figura 29 a e b, apresentam o gráfico de escolha e perfis de escoamento por tipo de impelidores.

Figura 29 – Gráfico de escolha e perfis de escoamento por tipos de impelidores.



Fonte: Adaptado de Ortega, (2020).

Segundo Pereira (2016), para a mistura de sólidos em suspensão a Potência (P) requerida para suspender partículas em suspensão a uma máxima altura Zs usando impelidor de turbina é dada pelas equações 34 a 38.

$$\frac{P}{g\rho_m V_m u_t} = (1 - \varepsilon_m)^{2/3} \left(\frac{D_t}{D_a} \right)^{1/2} e^{4,35\beta} \quad \text{Equação 34}$$

$$\beta = \frac{Z_s - E}{D_t} - 0,1 \quad \text{Equação 35}$$

$$u_t = \frac{g D_t (\rho_p - \rho)}{18\mu} \quad \text{Equação 36}$$

$$P = K_t \frac{n^2 (D_a^3 \mu)}{g_c}, R_e < 10 \quad \text{Equação 37}$$

$$P = K_L \frac{n^3 (D_a^5 \rho)}{g_c}, R_e < 10.000 \quad \text{Equação 38}$$

Onde:

P = Potência requerida;

pm= Massa específica da suspensão excluindo a fase líquida acima de Zs;

V_m = Massa específica da suspensão excluindo a fase líquida acima de Z_s ;

ϵ_m = Fração volumétrica de líquida na suspensão;

E = Distância entre o impelidor e a base do tanque;

D_p =Tamanho específico das partículas;

ρ_p = massa específica das partículas kg/m³;

ρ = Massa específica do líquido em kg/m³;

D_t =Diâmetro do tanque em mm;

μ =Viscosidade da parte líquida em P.as;

V_m = Volume em Suspensão em m³;

Z_s =Altura máxima das partículas em suspensão em m;

g =Aceleração da gravidade e m/s².

D_p =Tamando da partícula sólida em m;

K_t =Constante para cada tipo de imeplidor – Fluxo turbulento.

K_L = Constante para cada tipo de imeplidor – Fluxo laminar.

E = Dist. da turb. ao fundo do tanque em m;

D_a =Largura da turbina em m;

u_t = Velocidade média da suspensão em m/s;

β = Constante;

Re = Número de Reynolds.

A tabela 6 apresenta os valores das constantes para cada tipo de impelidor e regimes de fluxo laminar e turbulento (MCCABE,2005).

Tabela 5 – Coeficientes de atrito de mancais de rolamento.

Tipo de Impulsor	K_L	K_T
Hélice, passo quadrado, 3 lâminas	41,0	0,32
Hélice, passo 2, 3 lâminas	43,5	1,00
Turbina, 6 lâminas planas	71,0	6,30
Turbina, 6 lâminas curvas	70,0	4,80
Ventilador turbina, 6 lâminas	70,0	1,65
Pás planas, 2 lâminas, $W/D_s=1/5$	36,5	1,70
Turbina, 6 lâminas curvas	97,5	1,08
Turbina com estator e sem chicanas	172,5	1,12

Fonte: Adaptado McCabe, (2020).

Para o cálculo do tempo de mistura necessária para líquidos miscíveis é possível obtê-lo pela Equação 39 (DIAS, 2018).

$$f_t = \frac{T_t (ND_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} \quad \text{Equação 39}$$

Onde,

T_t é o tempo de mistura em segundos.

Para $Re > 1000$, f_t é aproximadamente constante, então $T_t N^{2/3}$ é constante.

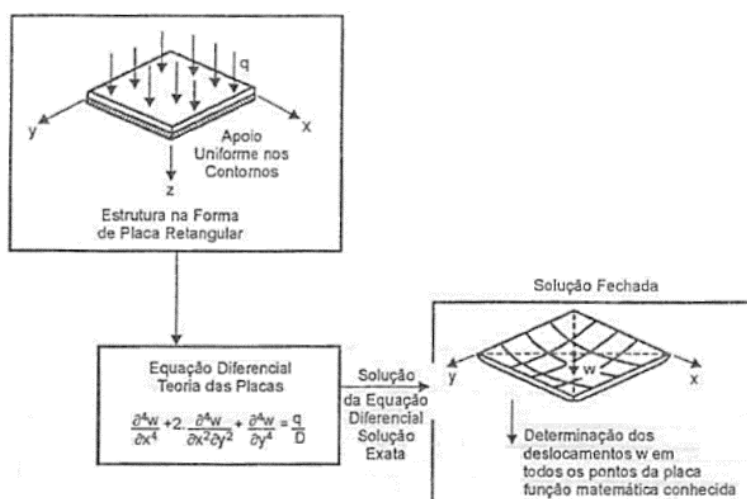
Para o desenvolvimento do projeto do sistema de aspersão, escolheu-se o impelidor do tipo turbina de aberta com 6 pás (Turbina Rushton) pela facilidade de construção, trabalharem com fluidos de baixa viscosidade e possuírem escoamento misto. Suficiente para se utilizar em um misturado de polpa de minério de ferro.

2.22 ANÁLISE ESTRUTURAL ESTÁTICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

De acordo com Moaveni (1999), os problemas de engenharia em geral possuem uma complexidade que torna inviável a solução exata através de métodos matemáticos que governem todo o modelo, devido à complexidade dos mesmos, geralmente são equações diferenciais e integrais com um conjunto de condições de contorno.

Em casos mais simples, onde há geometrias regulares, carregamentos uniformes e materiais homogêneos, pode-se obter um modelo matemático que representa a estrutura analisada. Ou seja, com uma geometria simples, carregamento conhecido e apoios definidos pode-se assim obter uma solução exata (ALVES, 2000). A figura 36 apresenta um exemplo de geometria simples.

Figura 30– Modelo de placa retangular regular.

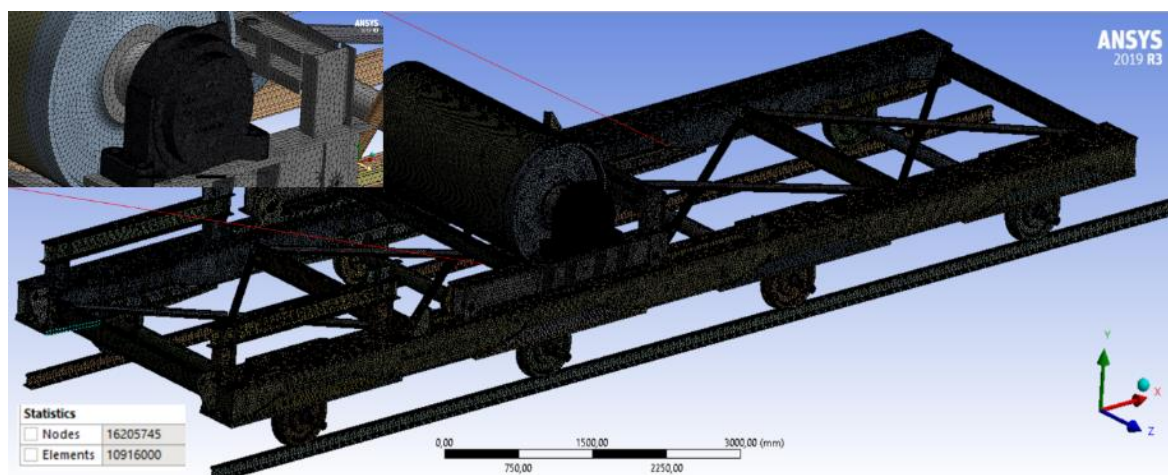


Fonte: Alves (2000).

No método de elementos finitos, toda estrutura é subdividida (discretizada) em partes denominadas elementos que são interligados por nós. A posição de cada um dos nós de um elemento e os graus de liberdade que este terá para movimentação é extremamente relevante para os cálculos realizados pelos softwares de elementos finitos e quanto mais nós existirem, maior será a quantidade de cálculos a serem realizados. Porém maior será a acurácia da solução (AZEVEDO, 2016).

Azevedo (2016), completa afirmando que a quantidade de nós depende diretamente da complexidade da estrutura, podendo ter algumas centenas até milhares de nós. Logo, quanto mais complexa a estrutura, maior a quantidade de dados a serem processada pelo computador e mais demorada é a obtenção de resultados. Afigura 31 apresenta um exemplo de geometria com malha de elementos finitos do software Ansys, com pouco mais de 16milhoes de nós e 10 milhões de elementos.

Figura 31 – Geometria complexa com malha de elementos finitos.



Fonte: Autor (2020).

A análise estrutural é provavelmente a mais comum das aplicações do método de elementos finitos. O termo estrutural (ou estrutura) implica não só estruturas de engenharia civil como pontes e prédios, mas também naval, aeronáutica, estruturas mecânicas, cascos de navios, corpos de aeronaves, casas de máquinas, bem como componentes mecânicos como pistões, peças de máquinas e ferramentas (ANSYS, 2020).

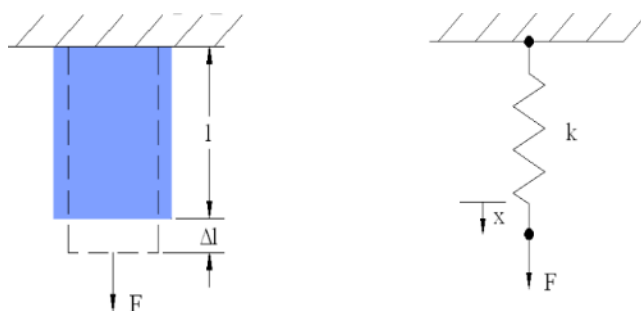
Na análise estrutural com MEF (Método de Elementos Finitos) cada um dos elementos é interpretado como uma mola que possui rigidez e tamanho predeterminado (AZEVEDO, 2016).

Segundo Alves (2000), o método dos elementos finitos para a análise estrutural objetiva a determinação da deformação da estrutura a partir do cálculo dos deslocamentos nodais. Estes deslocamentos podem ser obtidos através de uma análise do elemento considerando ele como uma mola.

Para o dimensionamento segundo os deslocamentos máximos permitidos em uma estrutura metálica normas como a ABNT NBR 8800 (2008) deve ser usado como critérios de aprovação neste estudo, o valor de deformação igual ou menor a $L/600$, onde: L é o comprimento das vigas de rolamento abaixo de 200KN.

Figura 32 apresenta a representação por similaridade entre um objeto e uma mola carregados axialmente.

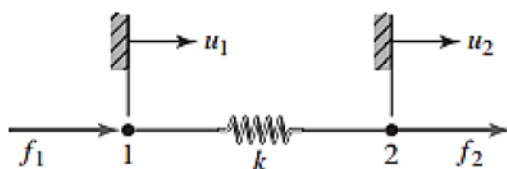
Figura 32 – Representação da similaridade entre um objeto e uma mola.



Fonte: Azevedo (2015).

Segundo Hutton (2004), o tipo de elemento mais simples que se pode encontrar é o de mola, pois os esforços envolvidos são apenas forças axiais e como resposta deslocamentos axiais, algo simples quando comparando a elementos que transmitem simultaneamente tensões axiais, flexão, cisalhamento e torção. A representação mais simples de pode ser vista na figura 33 apresentando a representação de um elemento de mola com rigidez K e nós 1 e 2. Estes possuem o vetor deslocamento composto por u_1 e u_2 e o vetor força composto f_1 e f_2 .

Figura 33 – Representação de um elemento de mola com rigidez K e nós 1 e 2.



Fonte: Carlesso (2015).

Para a determinação dos deslocamentos nodais u_1 e u_2 utiliza-se a o conceito de mola (CARLESSO, 2015), conforme a equação 40.

$$\{F\} = [K] \cdot \{u\}$$

Equação 40

No elemento de mola identificamos dois componentes de força e dois de deslocamento, representando em forma matricial (CARLESSO, 2015). Conforme Equação 41.

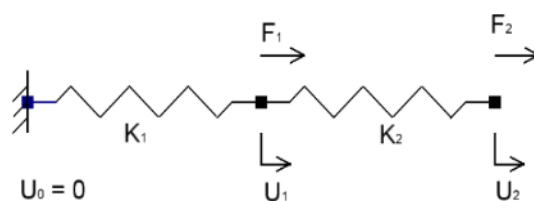
$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_{12} \end{Bmatrix}$$

Equação 41

O tamanho da matriz depende dos graus de liberdade do elemento. Como no caso da mola possui apenas o deslocamento axial, com dois nós e cada nó possui um deslocamento, o resultado é um elemento com dois graus de liberdade (CARLESSO, 2015).

Segundo Azevedo (2016), o conjunto dos elementos através dos nós comuns a eles formam a matriz global, com dois elementos, os nós de cada elemento e um grau de liberdade. Conforme figura 34.

Figura 34 – Dois elementos ou molas em série com rigidez, deslocamentos e forças diferentes.



Fonte: Azevedo (2016).

As condições de contorno globais (carga e apoios) são aplicadas aos nós, conforme equação 42 - Equação matricial do sistema de dois elementos em série.

$$\begin{Bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & -K_1 & 0 \\ -K_1 & K_1 + K_2 & -K_2 \\ 0 & -K_2 & K_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix}$$

Equação 42

Semelhantemente ao elemento de mola há o elemento de barra articulada nas extremidades, onde as forças são aplicadas as juntas. As barras transmitem apenas forças axiais de tração ou compressão em sua direção. Para esse elemento não são considerados esforços devido a momentos fletores, torçores e forças cortantes, estes carregamentos englobam os elementos conhecido como pórtico (ALVES, 2000).

Através das definições de tensão normal, deformação linear e da lei de Hooke podemos determinar a rigidez axial da barra, representada na equação 43 (CARLESSO, 2015).

$$k = AE/L$$

Equação 43

Segundo Alves (2000), como descrito na equação 43 a barra se comporta como uma mola de constante elástica $k = AE/L$, assim a matriz de rigidez do elemento de barra será idêntica à do elemento de mola substituindo os valores de k pela rigidez axial do elemento de barra. A tabela 2.7 apresenta os valores para a matriz de rigidez de alguns elementos lineares simples.

Tipo de Elemento	Grau de Liberdade	Matriz de Rigidez
Mola	2	$[k] = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix}$
Barra	2	$[k] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{l} & -\frac{AE}{l} \\ -\frac{AE}{l} & \frac{AE}{l} \end{bmatrix}$
Viga (plano)	4	$[k] = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix}$
Pórtico (plano)	6	$[k] = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & -a & 0 & 0 \\ 0 & 12b & 6bl & 0 & -12b & 6bl \\ 0 & 6bl & 4bl^2 & 0 & -6bl & 2bl^2 \\ -a & 0 & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & -12b & -6bl & 0 & 12b & -6bl \\ 0 & 6bl & 2bl^2 & 0 & -6bl & 4bl^2 \end{bmatrix}$, onde: $a = \frac{EA}{l}$ $b = \frac{EJ}{l^3}$
Eixo	2	$[k] = \begin{bmatrix} \frac{GJ}{l} & -\frac{GJ}{l} \\ -\frac{GJ}{l} & \frac{GJ}{l} \end{bmatrix}$

Tabela 6 – Valores para a matriz de rigidez de alguns elementos lineares simples..

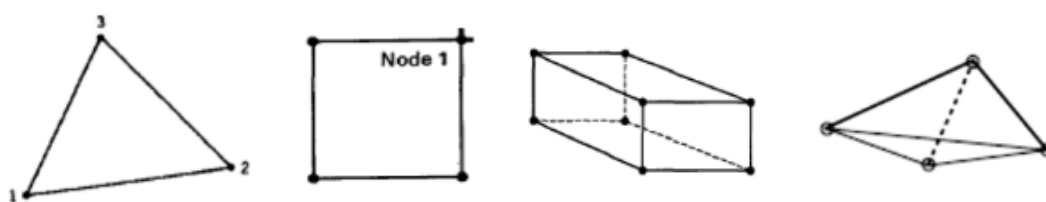
Fonte: Carlesso(2015).

Segundo Azevedo (2016), a formação da malha se denomina discretização e na análise estrutural compreende a subdivisão dos objetos sejam peças ou conjuntos de peças em pequenas partes denominados elementos e dos respectivos nós interligando-os. Após a discretização tornam-se conhecidas as quantidades e tipos de elementos e nós.

Azevedo (2016) enfatiza que os nós estarão sempre localizados nas extremidades das arestas e eventualmente sobre as arestas ou faces do elemento, dependendo do seu grau polinomial.

Elementos que possui apenas nós em suas extremidades, delimitando o próprio elemento, é de primeira ordem. A figura 35 apresenta alguns tipos de elementos de primeira ordem.

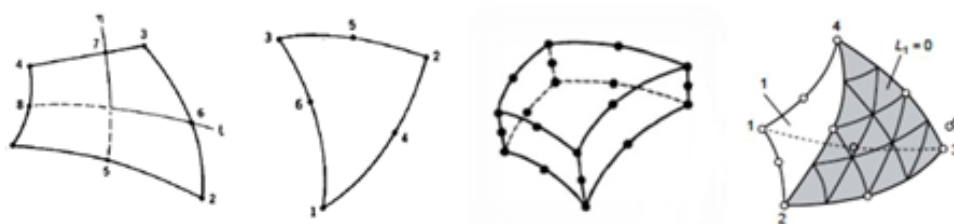
Figura 35 – Elementos de primeira ordem, bidimensionais e tridimensionais



Fonte: Azevedo (2016).

Elemento que possua um nó em cada uma de suas arestas é de segunda ordem. conforme mostrado na figura 36.

Figura 36 – Elementos de segunda ordem, bidimensionais e tridimensionais, respectivamente.



Fonte: Azevedo (2016).

O grau polinomial é determinado pela quantidade de nós do elemento. Conforme figura 37.

Figura 37– Grau do polinômio em função do número de elementos.

Triângulo de Pascal	Grau Polinomial, p	Número de Termos, n	Elemento triangular (Número de nós = Número de termos)
1	0 (constant)	1	
x y	1 (linear)	3	
x ² xy y ²	2 (quadratic)	6	
x ³ x ² y xy ² y ³	3 (cubic)	10	
x ⁴ x ³ y x ² y ² xy ³ y ⁴	4 (quartic)	15	

$n = \frac{(p+1)(p+2)}{2}$

Fonte: Azevedo (2016).

2.22.1. Etapas do MEF

Segundo Moaveni (1999) os passos básicos envolvidos em uma análise de elementos finitos consistem em:

1. Criar e discretizar um domínio de elementos finitos subdividindo o problema dentro de nós e elementos;
2. Descrever o comportamento físico de um elemento através de uma função e então assumi-la como uma função contínua para representar a solução para o elemento;
3. Desenvolver o sistema de equações do elemento;
4. Montar os elementos para representar todo o problema e construir a matriz de rigidez global;
5. Aplicar as condições de contorno, condições iniciais e carregamentos;
6. Resolver o conjunto de equações algébricas a fim de obter os resultados nodais de deslocamento para os diferentes nós;
7. Obter as respostas de interesse, como tensões principais e deformação.

Segundo Azevedo (2016), a análise pelo método de elementos finitos se divide em três etapas distintas são elas: o pré-processamento, processamento (ou análise propriamente dita) e pós-processamento.

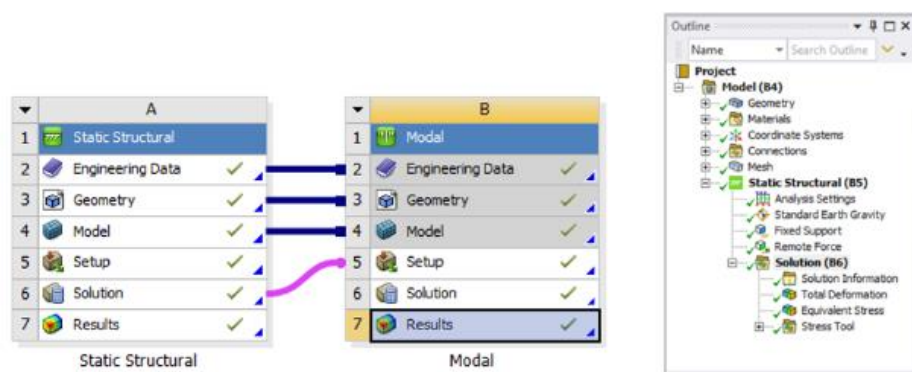
Pré-processamento se deve definir: a geometria, tipo de análise, malha, propriedades dos materiais e condições de contorno.

Processamento (ou análise) se deve definir (configurar) o tipo de análise desejada (utilizando equações lineares ou não lineares, e outras configurações) para obter os deslocamentos nodais.

Pós-processamento se pode obter os resultados tais como, tensões, fluxo de calor, convergência, fatores de segurança, etc.

As etapas para uma análise estrutural no ansys podem ser vistas na figura 44 - 1º. Definir materiais, desenhar / importar a geometria, gerar malha de MEF, Aplicar as condições de contorno, resolver o modelo (Solve) e avaliar os resultados.

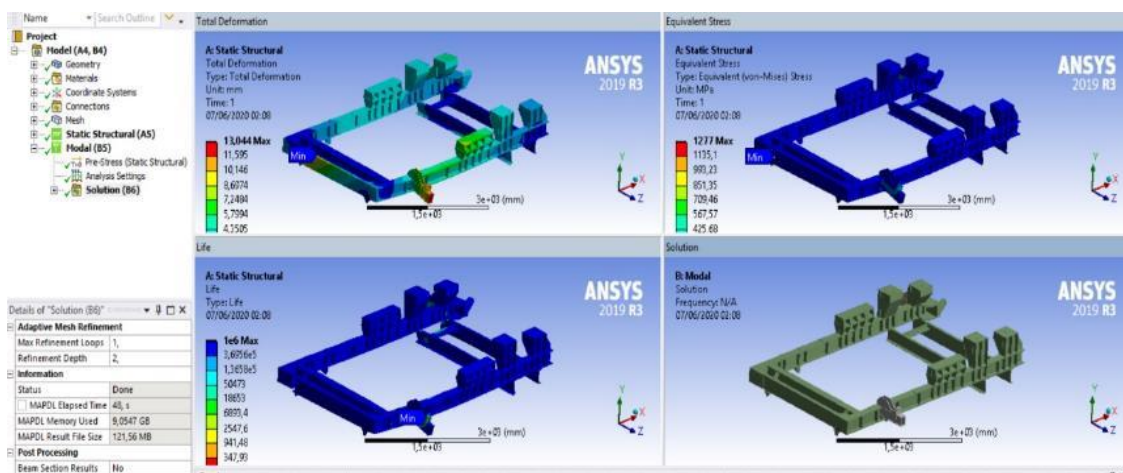
Figura 38 – Etapas para simulação de análise estrutural no Ansys.



Fonte: Autor (2020).

A figura 39 apresenta um exemplo da análise estrutural, Modal e de fadiga de uma estrutura no software ansys 2019 R3.

Figura 39– Grau do polinômio em função do número de elementos.



Fonte: Azevedo (2016).

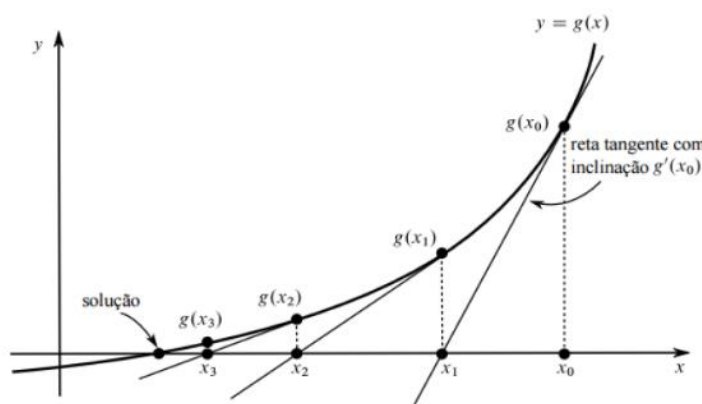
2.22.2. O Método Iterativo Newton-Raphson

Na análise estrutural estática a estrutura analisada deve estar em equilíbrio, onde as forças externas devem ser iguais as internas aplicadas aos nós. Como a solução do MEF é por métodos de aproximação, existe um erro (imprecisão da solução comparado ao analítico-exato), assim este equilíbrio será com base neste, onde o somatório de forças ao invés de zero será igual ao valor do erro. Quanto mais próximo de zero for o erro melhor será a aproximação do resultado (ALVES, 2012).

De acordo com Carlesso(2015), a aproximação é realizada através de métodos de iterativos, o software Ansys utiliza como método de iteração, o método de Newton-Raphso. Este método consiste em incrementos de carga e em resposta a rigidez da estrutura resulta em incrementos de deslocamento, os quais geram forças internas nos nós. Se as forças nodais estão em equilíbrio o incremento proposto está correto, se esta condição não é atingida um novo incremento deve ser proposto até a diferença entre as forças nodais sejam iguais ao erro estabelecido.

O método de Newton-Raphson é utilizado para encontrar a raiz de função, na qual inicia a partir de um incremento x_0 que é a primeira estimativa de raiz. As próximas posições são obtidas através do cruzamento da reta tangente $g'(x)$ com o eixo x , repetindo o processo para outros incrementos até obter uma solução igual ao erro, sendo este próximo de 0 (BATHE, 2006). A figura 40 mostra o método.

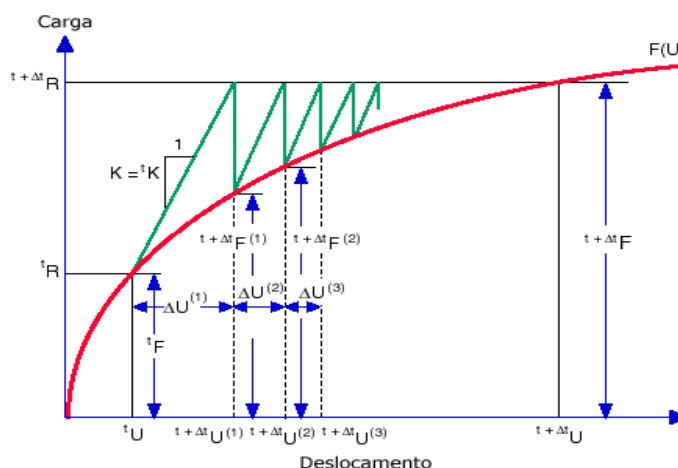
Figura 40 – Método de Newton-Raphson



Fonte: Bathe (2006).

A Figura 41 apresenta um esquema do método de Newton-Raphson, onde matriz de rigidez tangencial é formada e decomposta no início de cada etapa e utilizada em todas as iterações.

Figura 41 – Método de Newton-Raphson aproximações sucessivas.



Fonte: Solidworks (2020).

De acordo com Alves (2012). Em um incremento tem-se diversas interações até determinar a condição de equilíbrio. Como inicialmente o primeiro incremento, ainda não possui forças internas resultante a matriz de rigidez utilizada é a obtida durante a montagem, após calcular os deslocamentos nodais com base nessa matriz, busca-se melhorar os dados por meio de correções.

Utilizando-se a matriz de rigidez modificada tem-se um novo cálculo dos deslocamentos nodais, com respectivas forças nodais. Estas forças devem estar em equilíbrio, como o processo é aproximado utiliza-se um erro próximo de 0 (CARLESSO, 2015).

2.23 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Segundo Wendt (2009), os aspectos físicos de um escoamento, e as suas propriedades, são regidas por três princípios a conservação de massa, conservação de movimento e a conservação de energia. Esses princípios são expressos em expressões matemáticas que são basicamente equações diferenciais parciais

Ainda de acordo com Wendt (2009), a fluidodinâmica computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) é uma ferramenta que resolve numericamente

essas equações diferenciais, utilizando avanço de tempo e espaço resultando de uma descrição qualitativa e quantitativa do escoamento fluídico em estudo.

Maitelli (2010) descreve os três principais métodos numéricos que são utilizados pela técnica CFD, são eles:

- a. Método das Diferenças Finitas - É o método mais antigo utilizado;
- b. Método de Elementos Finitos - Permite o tratamento de geometrias complexas, utilizado na resolução de problemas de elasticidade e deformação de estruturas mecânicas;
- c. Método dos Volumes Finitos - Trata-se de soluções aproximadas por meio dos balanços de conservação em um volume elementar, que ao contrário dos demais métodos que trabalham com pontos elementares.

De acordo com Dias (2018), independentemente do método utilizado, o estudo de CFD se divide em três principais etapas: pré-processamento, resolução e o pós-processamento.

O método de volumes finitos é descrito por Patankar (1980), elaborado para a resolução numérica de uma equação diferencial geral de transporte de uma propriedade ϕ que segue a forma apresentada na Equação 44.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\phi v) - \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) - S = 0$$

Equação 44

Onde:

ϕ é a grandeza conservada;

Γ é o coeficiente de difusidade desta grandeza

S é o termo de geração.

No caso simplificado em que ϕ é igual a 1 e S igual a zero, tem-se a equação da conservação de massa (equação da continuidade) em coordenadas cartesianas conforme apresentada na Equação 2.36.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

Equação 45

Para as equações da conservação do movimento, ϕ é igual a velocidade e o S representa o gradiente de pressão e as forças de corpo. Maliska (2004) pela Tabela 8 fornece os valores das três componentes de velocidades em coordenadas cartesianas e seus valores de S , onde Γ representa a viscosidade dinâmica.

Tabela 7 – Valores das três componentes de velocidades em coordenadas cartesianas.

Equação de conservação de movimento em	Propriedade ϕ	Difusividade Γ	Termo fonte S
X	U	μ	$B_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial x}$
Y	V	μ	$B_y + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial y}$
Z	W	μ	$B_z + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial P}{\partial z}$

Fonte: Maliska (2004).

Onde:

ρ é a densidade do fluido;

t é o tempo;

(x,y,z) são as coordenadas cartesianas;

(u, v, w) são os componentes do vetor velocidade correspondente as suas coordenadas direcionais, x, y e z, respectivamente.

As equações de Navier Stokes são demasiadamente difíceis de resolver até a invenção dos computadores ágeis. Era tão difícil que matemáticos, físicos e engenheiros se restringiram a atalhos e aproximações. Porém, observando o que um “fluido real” é capaz de fazer (STEWART 2013).

As equações de Navier-Stokes com valores médios no tempo, conhecidas como Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations (RANS), a simulação de grandes (LES) e a simulação numérica direta (DNS) são os três principais métodos comumente usados. Na técnica RANS, as equações são calculadas como médias em um intervalo de tempo ou em uma coleção de campos equivalentes. Os cálculos RANS são amplamente utilizados em cálculos práticos para prever soluções em

estado estacionário. A anisotropia na natureza do fluxo introduz uma incerteza chave na computação (Ansys Fluent Guide, 2017).

As equações de Navier-Stokes são usadas para representar as características da turbulência e formar a base para descrever os fenômenos de fluxo. A natureza caótica dos fluxos turbulentos atua como resultado direto da termos não lineares nas equações N-S. Essas equações são baseadas nas leis de conservação, a saber: leis de continuidade, momento e conservação de energia (ANSYS FLUENT GUIDE, 2017).

2.23.1. Modelo Matemático E Numérico Para Misturadores Bifásicos

As simulações para dimensionamento do misturador de polpa de minério foram realizadas usando o modelo multifásico Euler-Granular disponível no software comercial CFD, ANSYS Fluent 19.0 (ANSYS Inc., Canonsburg, PA, EUA).

Segundo Gohel et. al. (2012), esse modelo pressupõe que cada fase coexiste em todos os pontos do espaço na forma de contínuos interpenetrantes. As equações de continuidade e momento são resolvidas para todas as fases e o acoplamento entre as fases são obtidos através de coeficientes de troca de pressão e interfase.

As equações da conservação para cada fase q estão apresentadas nas equações 46 e 47.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{u}_q) = 0 \quad \text{Equação 46}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q \vec{u}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{u}_q) = & -\alpha_q \nabla p + \nabla \cdot \vec{\tau}_q \\ & + \sum_{q=1}^n (R_{fs} + \dot{m}_{fs} \vec{u}_{fs}) + \vec{F}_q \end{aligned} \quad \text{Equação 47}$$

Onde os termos da conta subscrita “f s” para troca entre as fases fluida e sólida. Uma fase fluida e uma fase sólida foram modelados neste trabalho. Eles são indicados individualmente com os subscritos f e s, respectivamente, nos demais desta seção.

Ainda segundo Gohel et. al. (2012), no modelo Euleriano-Granular, a equação do momento da fase sólida inclui um termo adicional de pressão sólida.

A pressão dos sólidos e os termos do tensor de tensão dos sólidos (τ_q) são determinados a partir da teoria cinética do fluxo granular como descrito por (DING E GIDASPOW ,1990).

O modelo Euler-Granular também inclui uma equação de transporte adicional para a temperatura granular. Na equação 47, F_q é responsável pelos efeitos da força de elevação, massa virtual força e quaisquer outras forças externas atuando na fase sólida. O termo R_{fs} representa o momento sólido em interfase do fluido troca expressa como apresentado na equação 48.

$$R_{fs} = K_{fs}(\vec{u}_f - \vec{u}_s) \quad \text{Equação 48}$$

Onde:

O K_{fs} é o coeficiente de troca entre fases, que é definido em termos do modelo de arrasto proposto por (DING E GIDASPOW ,1990). A equação 49 apresenta o K_{fs} em função do C_D .

$$\begin{aligned} K_{fs} &= \frac{3}{4} C_D \frac{\alpha_s \alpha_f \rho_f |\vec{u}_f - \vec{u}_s|}{d_s} \alpha_f^{-2.65} \quad \text{for } \alpha_f > 0.8, \\ K_{fs} &= 150 \frac{\alpha_s (1 - \alpha_f) \mu_f}{\alpha_f d_s^2} \\ &\quad + 1.75 \frac{\alpha_s \rho_f |\vec{u}_f - \vec{u}_s|}{d_s} \quad \text{for } \alpha_f \leq 0.8 \\ C_D &= \frac{24}{Re \alpha_f} \left(1 + 0.15 (Re \alpha_f)^{0.687} \right), \quad Re = \frac{\rho_f |\vec{u}_f - \vec{u}_s| d_s}{\mu_f}. \end{aligned} \quad \text{Equação 49}$$

Para fluxos turbulentos, a força de arrasto (C_D) é uma função da velocidade média. Um termo de correção está incluído na equação de troca de momento em interfase para explicar o efeito da dispersão turbulenta devido à ação instantânea flutuações, como proposto por (DEUTSCH E SIMONIN ,1991). O termo de troca de momento interfásico resultante é então dado pela equação 50.

$$R_{fs} = K_{fs}(\vec{U}_f - \vec{U}_s) - K_{fs} \vec{v}_{dr} \quad \text{Equação 50}$$

Onde:

$\vec{U}$ Representa velocidades médias fásicas e $\vec{V}_{dr}$ é a velocidade de deriva representado na equação 50.

$$\vec{v}_{dr} = - \left(\frac{D_f}{\sigma_{fs}\alpha_f} \nabla_{\alpha_f} - \frac{D_s}{\sigma_{fs}\alpha_s} \nabla_{\alpha_s} \right) \quad \text{Equação 51}$$

Nesta expressão, $D_f = D_s = D_t$, f_s são os coeficientes sólido-fluido de dispersão turbulentos, e σ_{fs} é Número Prandtl da dispersão.

Segundo Dias (2018), para escoamentos fluidos um modelo de turbulência deve ser definido, entre os modelos clássicos, existem dois que serviram de base para a resolução de problemas fluidodinâmicos em CFD: o modelo de comprimento de Prandtl e o $k - \varepsilon$.

Ainda segundo Dias (2018), os modelos $k - \varepsilon$ são conhecidos pela confiabilidade as aplicações que envolvem domínios fechados, por envolverem soluções da energia cinética turbulenta (k) e a taxa de dissipação (ε). Este modelo prediz que há uma analogia entre a ação das tensões viscosas e as tensões de Reynolds, e a existência de um termo denominado viscosidade turbulenta (μ_t) calculada por uma função com o parâmetro k e ε , expressa pela equação 52.

$$u_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{Equação 52}$$

Para calcular o parâmetro k (cinética turbulenta) e o ε (taxa de dissipação) usa-se as Equações 53 e 54. do lado esquerdo dessas equações estão a variação temporal e o transporte convectivo. Do lado direito, os termos difusivos (DIAS, 2018).

$$\left[\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} k) \right] = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right) \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad \text{Equação 53}$$

$$\left[\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \varepsilon) \right] = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad \text{Equação 54}$$

P_k representa a taxa de geração de energia cinética e é calculada pela equação 55.

$$P_k = \mu_t \nabla \bar{V} \cdot (\nabla \bar{V} + \nabla \bar{V}^T) - \frac{2}{3} \nabla \bar{V} (3\mu_t \nabla \cdot \bar{V} + \rho k)$$

Equação 55

As constantes que são mostradas nas equações 53, 54 e 55 são características do modelo e são mostradas na tabela 10 (MAITELLI, 2010).

Tabela 8 – Valores das constantes utilizadas nas equações de cálculo dos parâmetros K e ε .

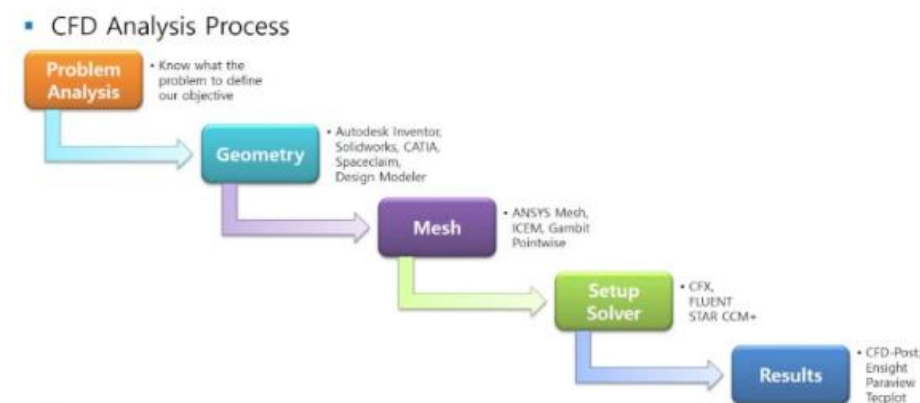
Constante	Valor
C_μ	0,09
$C_{\varepsilon 1}$	1,44
$C_{\varepsilon 2}$	1,92
σ_k	1,0
σ_ε	1,3

Fonte: Maliska, 2004.

2.23.2. Processo De Simulação No Ansys Cfd-Fluent®

Para a simulação de CFD durante as etapas de pré-processamento e geração da malha, devem ser criadas Interfaces entre as regiões de fluido de contato e condições de contorno, através de softwares de CAD tais como, Dassaut Solidworks®, Autodesk inventor®, entre outros (TOROTWA E JI ,2018). A figura 42. apresenta as etapas do processo de simulação no Ansys CFD.

Figura 42 – apresenta as etapas do processo de simulação no Ansys CFD.

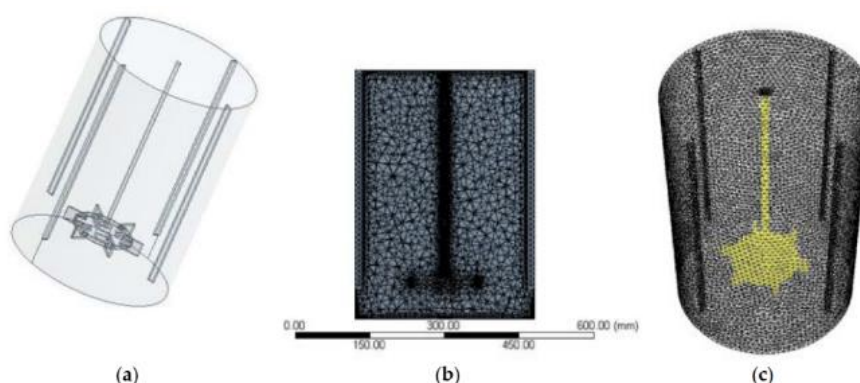


Fonte: Adaptado de Edson CFD (2020).

A malha deve ser gerada para discretizar os domínios em pequenos volumes de controle, onde as equações de conservação devem ser aproximadas por métodos de cálculos numéricos. A malha para a configuração da simulação de mistura dever conter no mínimo duas zonas principais, a região tanque-fluido e a região impulsora, modeladas como domínios de fluido interagindo separados. Um refinamento da malha deve ser usado para melhorar acurácia e estabilidade na precisão dos cálculos (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

A Figura 2.36 de a à c apresentam um exemplo de interfaces de contorno criadas e as regiões de malha de um conjunto de agitação. Onde pode ser observado o refinamento da malha na região do impulsor e do eixo.

Figura 43– (a) Geometria de CAD em vista Wireframe mostrando as interfaces do impulsor e do fluido; (b) Vista em corte do modelo mostrando a malha a região do impulsor e do eixo no centro; e (c) malha do volume de fluido.



Fonte: Ian Torotwa and Changying Ji, 2018.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A necessidade de acelerar os testes para a determinação da vida roletes de correia transportadoras, bem como o desenvolvimento de novos fornecedores resultou no desenvolvimento de uma bancada de testes para determinação da vida médias destes roletes.

A metodologia adotada neste estudo caracteriza-se por uma pesquisa exploratória.

A pesquisa exploratória é uma metodologia que conduz o pesquisador, a encontrar soluções de problemas sobre temas que ainda são pouco conhecidos ou pouco explorados, podendo ainda utilizar-se da união de outros tipos de metodologias como, pesquisa bibliográfica, estudo de caso e entrevista, fornecendo dados qualitativos ou quantitativos para a conclusão final (MARTELLI, et al, 2020).

Desta forma com base ABNT - NBR 6678 (2017), as trocas de roletes são necessárias quando alguma falha ocorre nos componentes externos e internos. Os rolamentos são a principal causa destas trocas, as falhas mais comuns são:

Final de vida útil do rolamento, qualidade do rolamento, problemas com vedação, problemas com lubrificação interna, qualidade do eixo e encaixe, estes danos causam travamento do rolete.

O acúmulo de material gerado por material fugitivo pode gerar contaminação levando a travamentos dos rolamentos e consequentemente desgaste na carcaça do rolete.

Outro importante modo de falha é a má qualidade dos componentes dos roletes. A figura 44 apresenta os componentes internos e externos de um rolete de carga.

Figura 44 – Componentes rolete de carga.



Fonte: LION MERC, 2018.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

De acordo com a ABNT - NBR 6678 (2017), acerca dos modos de falha dos roletes, executou-se os seguintes passos para o desenvolvimento da bancada de testes:

- Realizar pesquisa bibliográfica referente a teste de roletes;
- Pesquisar a existência de projetos de bancadas para testes de rolos no âmbito comercial, acadêmico e normas técnicas relacionadas;
- A partir dos conceitos de bancadas observados, definir quais variáveis devem ser coletados e desenvolver projeto de bancada para testes e ensaio de roletes;
- Dimensionamento e especificação das partes, peças e componentes da bancada de ensaio de roletes;
- Modelagem do projeto em software de CAD (Solidworks), simulação numérica em softwares de elementos finitos (Ansys), tendo como base os dados da pesquisa bibliográfica;
- Detalhamento do projeto para fabricação e montagem do projeto;

3.2 DEFINIÇÃO DE CONCEITOS E MODELAMENTO

Variáveis como rotação, carga aplicada ao eixo, temperatura de operação, vibrações mecânicas e contaminação dos rolamentos são informações necessárias para esta análise e determinação da vida média dos roletes. Desta forma para a escolha do melhor conceito de projeto para a bancada de teste de roletes foi realizada uma pesquisa nos projetos existentes em mercado ou grupos de pesquisa científica para servir de modelo. Nos itens a seguir, deste capítulo, serão apresentados os projetos pesquisados.

3.3 MODELOS DE BANCADAS EXISTENTES PESQUISADOS

3.3.1. Bancada do Institute of Transport and Automation Technology

Este modelo de bancadas apresenta uma estrutura capaz de realizar teste em um rolete de carga. Ao tubo do rolete de teste é acionado rotação e carga por um sistema de tensionamento composto por correias, polias e motor elétrico, através de um sistema de instrumentação de células de carga e sensores é realizada a coleta de dados de força aplicada aos apoios do eixo do rolete de teste bem como, rotação entre outros dados. A figura 45 apresenta a bancada de teste de roletes de carga do *Institute of Transport and Automation Technology*.

Figura 45 – Bancada de teste de roletes de carga ITA.

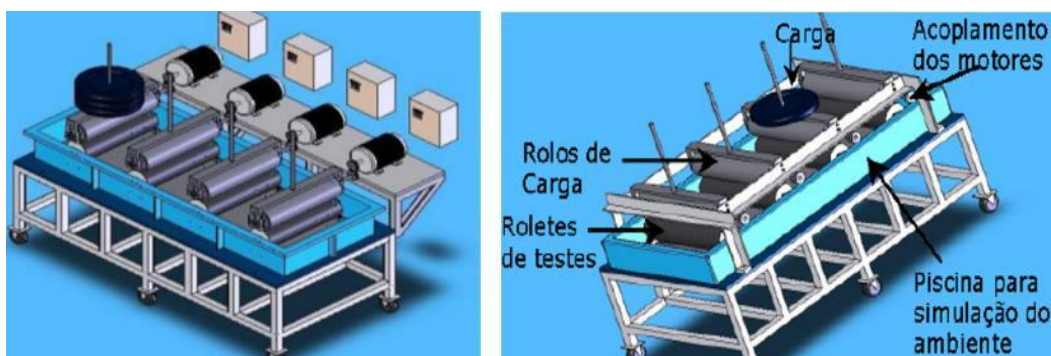


Fonte: ITA - Institute of Transport and Automation Technology, 2018.

3.3.2. Bancada da UFMG

O modelo de bancada proposto e desenvolvido por Nascimento et al. (2006), do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da UFMG, consiste numa estrutura capaz de executar testes em quatro roletes simultaneamente, acionados por motores através de polias e rolos para aplicação de carga com um sistema independente por rolete de teste. Os roletes permanecem submersos em água misturada com minério para simular severas condições de trabalho e operação. A figura 52 apresenta a modelagem 3D da bancada da UFMG.

Figura 46 – Bancada de teste de roletes de carga UFMG.



Fonte: Nascimento, et al, 2006.

3.3.3. Bancadas do Laboratório do Instituto de Mineração da Universidade de Tecnologia de Wrocław (Breslávia – Polônia)

Segundo Robert Król et al (2017), o Laboratório do Instituto de Mineração da Universidade de Tecnologia de Wrocław na Polônia possui duas bancadas de teste de para roletes uma delas pode ser vista na figura 47 este equipamento é capaz de realizar ensaios de vida acelerada através da aplicação de carga através de um mecanismo de fuso e pneu bem como um sistema de polia e correia com motor elétrico possui ainda células de carga tipo strain gauge para a medição da carga aplicada ao corpo do rolete de teste. Esta bancada também pode ser usada para determinar a estanqueidade das vedações do rolete quanto a poeira e água.

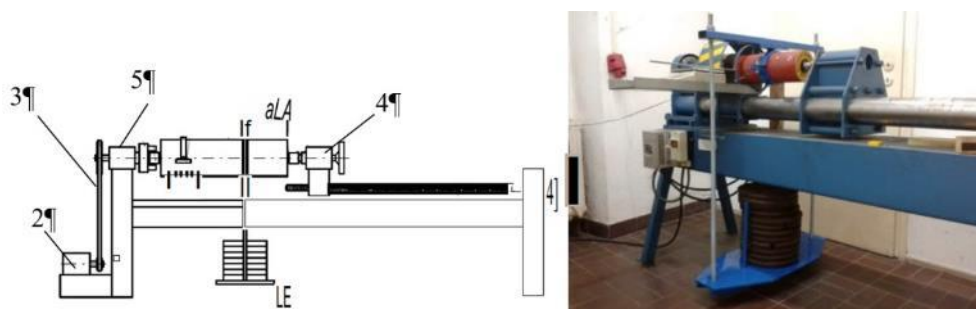
Figura 47– Suporte de medição para testes de durabilidade de roletes.



Fonte: Robert Król, 2017.

Outra bancada do laboratório do Instituto de Mineração da Universidade de Tecnologia de Wrocław pode ser vista na figura 48. Com este conceito de bancada pode-se obter a resistência rotacional de um rolete de teste. Segundo Gładysiewicz et al, (2011), a resistência rotacional do rolete pode ser determinada pela força tangencial aplicada à carcaça do rolete, a fim de superar a resistência de atrito nos mancais e nas vedações, a componente tangencial da força aplicada pode ser obtida através de células de carga do tipo strain gauges instalados nas experimentalmente do rolete de teste.

Figura 48 – Suporte de medição para testes de durabilidade de roletes.



Fonte: Gładysiewicz et al, 2011.

De acordo com Gładysiewicz et al, (2011), na bancada apresenta, em uma extremidade do eixo do rolo é fixada no dispositivo rotativo (4), através do qual as rotações do motor (2) são transmitidas por correia de transmissão (3). Sua outra extremidade é suportada por abraçadeira no dispositivo fixo (5). A carcaça do rolete é fixada em um anel de aperto cujo braço repousa sobre uma balança (pela qual a carcaça do rolo é imobilizada). O movimento do eixo em relação ao invólucro estacionário produz um torque transmitido pelo braço (tendo comprimento constante) até a balança ou um medidor de força. A força registrada é convertida, usando a condição equilíbrio de torque em relação ao eixo do rolo, em um valor de resistência rotacional. O motor que aciona o eixo é controlado por inversor de frequência. A balança é acoplada a um sistema de aquisição de dados que registra resistência rotacional da roda ao longo do tempo.

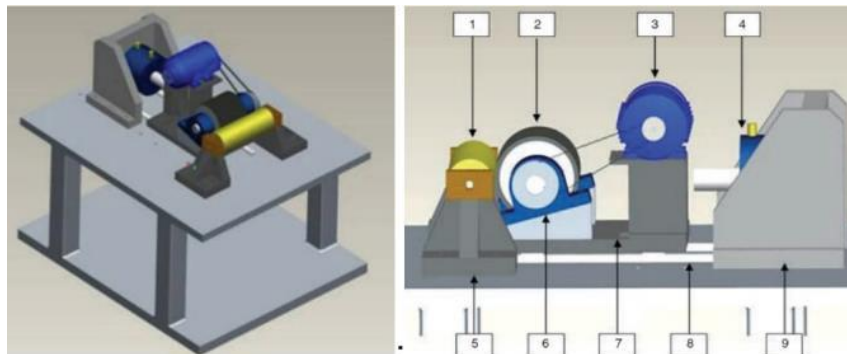
3.3.4. Bancada para ensaio dinâmico de rolos de carga ABNT NBR 16139

A bancada de ensaio dinâmicos proposta pela ABNT NBR 16139, a apresentada na figura 49, é composta dos seguintes itens:

1. Rolo a ser ensaiado;
2. Rolo tensor;
3. Motoredutor para acionamento do cilindro tensor;
4. Atuador hidráulico para aplicação de carga radial no cilindro tensor;
5. Suporte do rolo a ser ensaiado;
6. Sistema de mancais do rolo tensor;
7. Suporte móvel – carro;

8. Guia linear de suporte do carro;
9. Estrutura de suporte para o atuador hidráulico.

Figura 49 – Detalhe e disposição dos componentes da bancada de ensaio ABNT



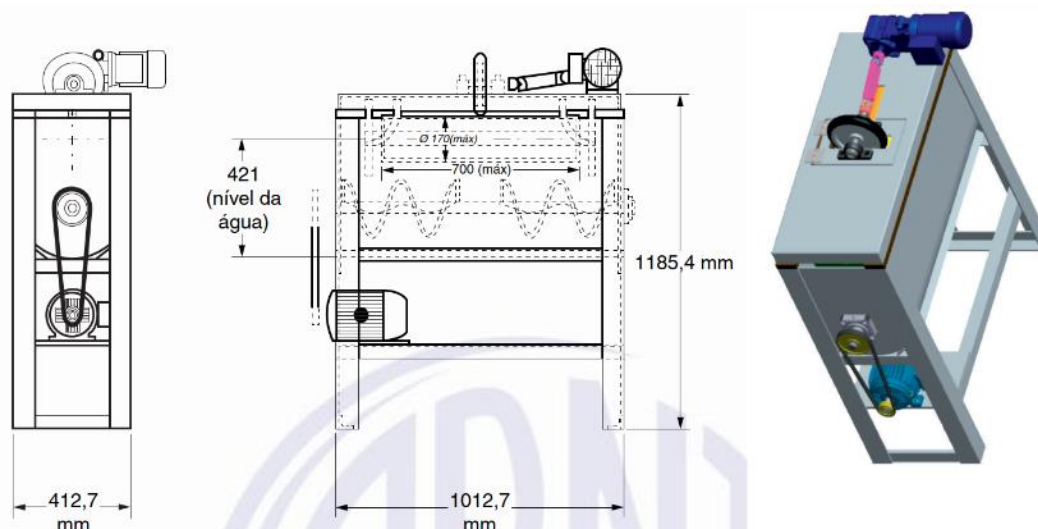
Fonte: ABNT NBR 16139, 2013.

3.3.5. Bancada para ensaio dinâmico de vedações de rolos de carga ABNT NBR 16169

A bancada para ensaios de vedação proposto pela ABNT NBR 16169, apresentada na figura 50, o equipamento é composto dos seguintes componentes:

1. Tanque em aço inoxidável;
2. Agitador interno da mistura (lama);
3. Motor para acionamento do agitador;
4. Suporte variável para os rolos a serem ensaiados;
5. Sistema de transmissão de potência para acionamento dos rolos a serem ensaiados;
6. Motorreductor para acionamento do sistema de transmissão de potência para acionamento dos rolos;
7. Sistema elétrico para controle de rotação do agitador e rolos a serem ensaiados.

Figura 50 – Detalhe da bancada de ensaio dinâmico de vedação da ABNT



Fonte: ABNT NBR 16139, 2013.

3.4 CONCEITO ESCOLHIDO PARA A BANCADA DE ENSAIOS

O conceito escolhido para a bancada de testes de roletes de carga para correia transportadoras, para setor de engenharia de manutenção da usina de beneficiamento de minério de ferro da mineradora em questão, deve executar testes e ensaios, conforme objetivos desta obra, reapresentado e descritos a seguir:

- a) Determinar a vida média dos rolamentos do rolete de teste, através da aplicação de rotação e força na carcaça do rolete;
- b) Verificar a eficiência das vedações dos rolamentos através de aspersão de uma mistura água/minério;
- c) Coletar dados de temperatura, vibrações mecânicas, leitura de rotação e carga aplicada aos rolos de teste.
- d) Realizar ensaio simultâneo de três roletes de teste.

O projeto da bancada deve realizar testes em roletes de carga para correias de largura de 1200, 1600, 1800 e 2200mm. Coletar dados através da medição de sensores de temperatura, rotação e células de carga tipo strain gauge. Tais valores serão aplicados como entrada de dados em softwares de análise de degradação e vida acelerada, tais como Weibull, Alta da Reliasoft®.

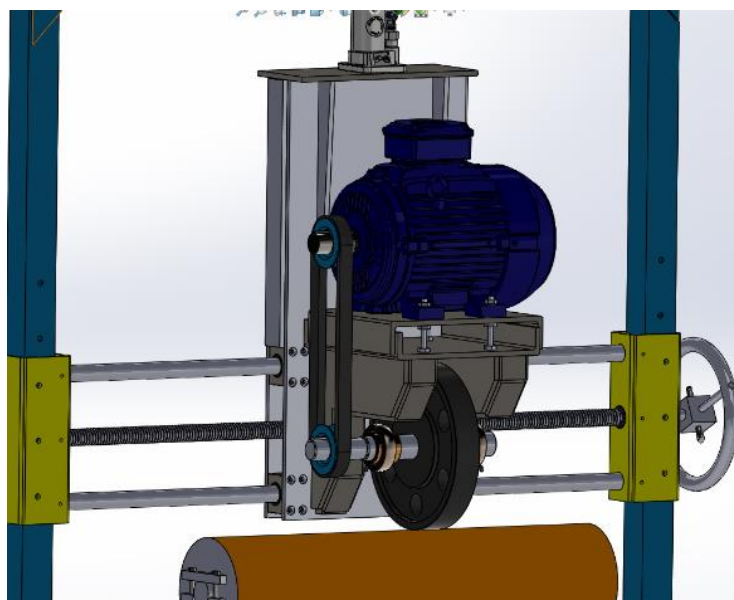
3.4.1. Conceito Inicial Da Bancada

Primeiramente foi definido o mecanismo de aplicação de força e rotação a carcaça do rolete de teste, conforme definido em Paladini, (2019). Para aproximar as condições de aplicação do rolete em campo o mecanismo deve simular os efeitos de um modo de falha comum em correias transportadoras o desalinhamento da correia, esta condição leva aos roletes instalados a falharem prematuramente por danos nos rolamentos. O mecanismo adotado é baseado no conceito de barramento X-Y com guias lineares e fusos de acionamento.

A NBR 6678 define que os roletes devem operar a 600 rpm e suportar cargas de acordo com a série do rolete, conforme apresentados na revisão da literatura item 2.14, tabelas 2 e 3. desta forma a aplicação de rotação e força são fatores definidores da vida dos rolamentos e consequentemente do rolo, conforme pode ser visto na equação 1 que define a vida L10 do rolamento, ou seja, a vida a 10 % de taxa de falha ou ainda 90% de confiabilidade.

A figura 51 apresenta o conceito do mecanismo de aplicação de força que simula o desalinhamento de carga no rolete de teste.

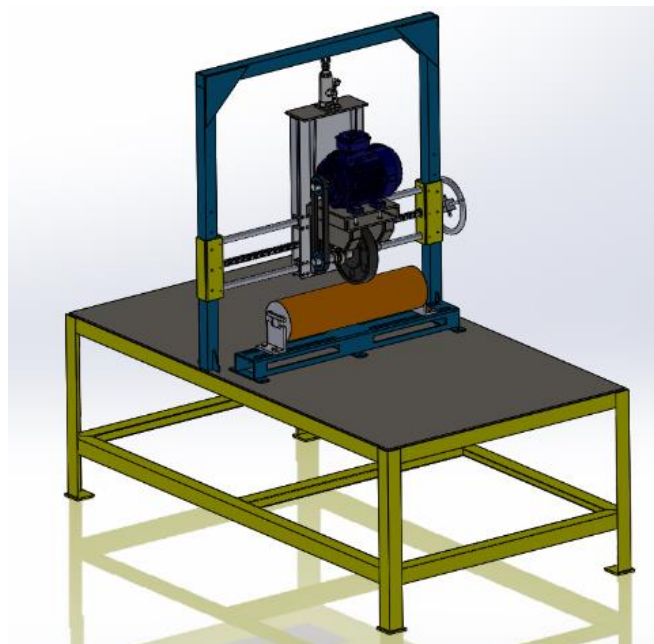
Figura 51– Conceito inicial do projeto de mecanismos de aplicação de força e rotação.



Fonte: Autor, 2019.

A figura 52 apresenta o conceito inicial da estrutura da bancada bem como, os mecanismos de aplicação de rotação e força a carcaça de um rolete de teste.

Figura 52 – Conceito inicial da bancada de ensaios para teste de um rolete de carga.

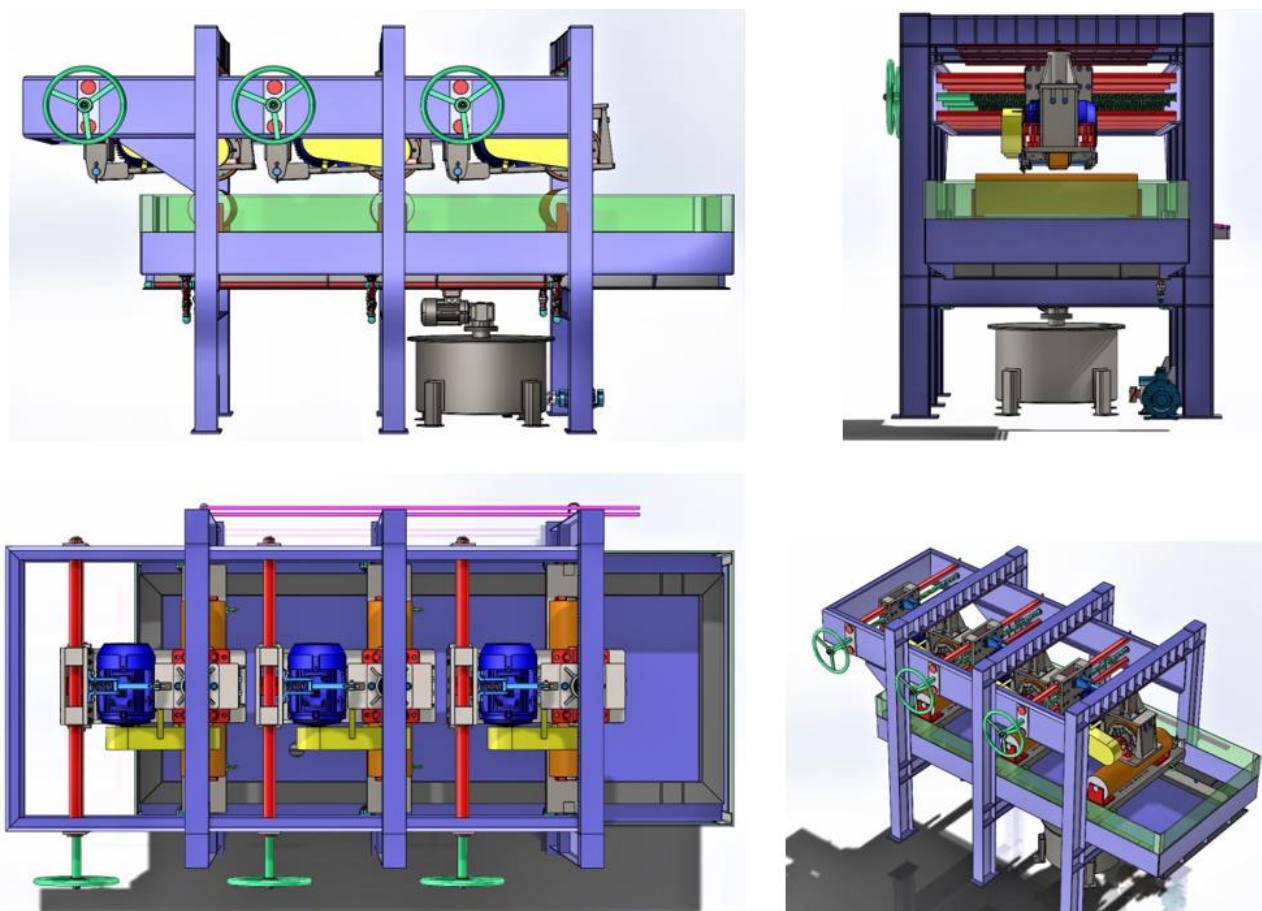


Fonte: Autor, 2019.

3.4.2. Projeto Definido Para A Bancada

A partir da definição de quais informações seriam necessárias a coletar nos ensaios para a determinação da qualidade e vida média dos roletes. E com avanço nos estudos da pesquisa dos conceitos e modelos apresentados por Ita (2018), Nascimento, et al (2006), Robert Król, (2017), Gładysiewicz et al, (2011), bem como em ABNT NBR 16139 (2013). O projeto final da bancada foi definido. Afigura 53 apresenta a modelagem em 3D do projeto final da bancada.

Figura 53 – Conceito inicial da bancada de ensaios para teste de um rolete de carga.



Fonte: Autor, 2020.

A projeto final da bancada de testes e ensaios de roletes é composta pelos seguintes componentes:

1. Estrutura da bancada;
2. Tanque agitador interno da mistura (lama) e motor de acionamento;
3. Suportes variável para os roletes de teste;
4. Via de rolagem dos suportes variáveis;
5. Sistema de transmissão de potência para acionamento dos roletes de teste;
6. Mecanismos com guias lineares para aplicação de força descentralizada ao rolete de teste;
7. Sistema de aplicação de força no rolete de teste.
8. Bomba de polpa para sistema de aspersão;
9. Tubulação para sistema de aspersão de polpa;

10. Sistema elétrico para controle de rotação dos motores dos roletes de teste, bomba de polpa e agitador.

11. Sistema de instrumentação prevista;

Os itens a seguir deste capítulo, apresentaram o dimensionamento dos principais componentes da bancada, as análises estruturais pelo método dos elementos finitos para refinamento da solução adotada.

3.4.3. Sistemas elétricos e de instrumentação

Para o dimensionamento do sistema elétrico foi levantada a demanda de potência desprendida durante os testes para os componentes da bancada, a tabela 12 apresenta o quadro de carga elétrica demandada para, após essa etapa dimensionou-se os dispositivos elétricos eletrônicos e demais componentes conforme apresentado na planilha de cálculo da Figura 54.

Tabela 9 – Tabela de quadro de carga da demanda elétrica da bancada.

PROJETO DETALHADO BRITAGEM GERAL LISTA DE CARGAS E DEMANDA MEMORIA DE CALCULO										Nº VALE		PÁGINA			
										MC-1200KN-E-00002					
										Nº (CONTRATADA)			REV.		
			VM2401-05-E-MC-1200-0001			0									
6. ESTUDO DE DEMANDA															
TAG. PAINEL	TAG. EQUIP.	DESCRIÇÃO	CLASSIF.		CARACTERÍSTIC. DAS				KW EQUIV.	FD	POTÊNCIA REQUERIDA			FP	
			DEM.FUNC.	POT.	UND.	Vn(V)	REND.	FP			KW	kVAr	kVA		
1200KN - SISTEMA NORTE - BRITAGEM															
QGBT-1200KN-HOLD															
QGBT-1200KN-HOLD	AG-1200KN-HOLD	AGITADOR	M	N	5,00	CV	440	0,87	0,78	4,22	0,75	3,16	2,54		
QGBT-1200KN-HOLD	BA-1200KN-HOLD	BOMBA D'ÁGUA DE RECIRCULAÇÃO	BO	N	3,00	CV	440	0,85	0,75	2,60	0,85	2,21	1,95		
QGBT-1200KN-HOLD	EO-1200KN-HOLD-M1	ACIONAMENTO DOS ROLOS EM TESTE	M	N	10,00	CV	440	0,91	0,78	8,13	0,75	6,10	4,89		
QGBT-1200KN-HOLD	EO-1200KN-HOLD-M2	ACIONAMENTO DOS ROLOS EM TESTE	M	N	10,00	CV	440	0,91	0,78	8,13	0,75	6,10	4,89		
QGBT-1200KN-HOLD	EO-1200KN-HOLD-M3	ACIONAMENTO DOS ROLOS EM TESTE	M	N	10,00	CV	440	0,91	0,78	8,13	0,75	6,10	4,89		
QGBT-1200KN-HOLD	-	CARGAS INTERNAS (CONTROLE)	I	N	1,00	kVA	480		0,90	0,90	0,80	0,72	0,35		
QGBT-1200KN-HOLD	-	CARGAS INTERNAS (ILUMINAÇÃO, TOMADAS, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO)	I	N	1,00	kVA	480		0,90	0,90	0,80	0,72	0,35		
TOTAL												25,11	19,86	32,01	0,78

Fonte: Autor, 2020.

Figura 54 – Planilha de cálculos dimensionamento dos componentes elétricos.

PROJETO DETALHADO
BRITAGEM
GERAL
LISTA DE CARGAS E DEMANDA
MEMORIA DE CALCULO

Nº VALE
MC-1200KN-E-00002
Nº (CONTRATADA)
VM2401-05-E-MC-1200-0001

PÁGINA
REV.
0

1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo a estimativa da potência necessária para a Instalação da Bancada de Testes de Rolos, na mina do Sistema Norte - Britagem (1200KN-Caraças), de propriedade da VALE.

2. CÁLCULO DA DEMANDA TOTAL

O resumo da demanda está representado na tabela abaixo (planilhas de cálculo no item 6.0).

POTÊNCIA DEMANDADA				
Equipamento	kW	kVAr	kVA	FP
QGBT-1200KN-HOLD	25,11	19,86	32,0	0,78
TOTAL	25,11	19,86	32,01	0,78

CONSIDERANDO FATOR DE SIMULTANEIDADE = (1,00)				
Descrição	kW	kVAr	kVA	FP
QGBT-1200KN-HOLD				
Total com Fator de Simultaneidade	25,11	19,86	32,01	0,78
TOTAL FINAL	25,11	19,86	32,01	0,85

Fator de Simultaneidade adotado: 1,00

3. LEGENDA

A legenda utilizada nas planilhas de cargas por painel é:
Classificação da carga por demanda
I - Iluminação e cargas auxiliares
P - Não motor ou painel que alimenta grupo de motores
M - Motor de uso geral
O - Ocasional
BO - Motor de acionamento de bombas
IFM - Partida por Inversor de frequência
SS - Partida por Soft Starter

São utilizados como referência valores típicos de demanda conforme tabela a seguir.:

Motor	M	0.75
Bomba	BO	0.85
Painel	P	0.75
Carga Ocasional	O	0.3
Iluminação	I	0.8
Banco de Capacitor	C	1
Inv. Freq. Motor	IFM	0.75
Inv. Freq. Bomba	IFBO	0.85
Softstart	SS	0.85

4. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

1200KN-E-87452- Rev. A - Diagrama Unifilar
DT-1200KN-E-00005 Rev. A - Diagrama Funcional Típico

5. NOTAS

5.1 - Para determinação do fator de potência e rendimento dos motores foram utilizados valores de catálogo do fabricante WEG, considerando motores de 4 polos.

5.2 - Os dados de motores e outras cargas deverão ser atualizados sempre que os DF's dos novos equipamentos adquirirem o status "CERTIFICADO".

Fonte: TRENG, 2019.

Para a coleta de vibração e análise dos rolamentos será usado sistemas de aquisição da equipe de inspeção preditiva da usina da mineradora em estudo. Conforme pode ser visto na figura 55. Bem como pelo sistema de instrumentação da bancada apresentada nos projetos de instrumentação e apêndice desta obra.

Figura 55 – Coletor de vibração EMERSON CSI 2140.



Fonte: Emersson, 2020

Para medição da temperatura sensor de vibração/temperatura - QM42VT1QP bem como, instrumentos como a câmera de termo visão Flir® conforme figura 56.

Figura 56 – Sensor de vibração/temperatura - QM42VT1QP e câmera termográfica FLIR.



Fonte: Banner, Flir, 2020.

Para a medição das dos esforços transmitidos pelas cargas aos rolamentos serão utilizadas células de carga conforme figura 57.

Figura 57 – Célula de carga tipo compressão e indicadores de pesagem - HRM.



Fonte: Weigtech, 2019.

Para medição da rotação será utilizado sensores indutivos e medidor tipo tacômetro a Laser, conforme figura 58.

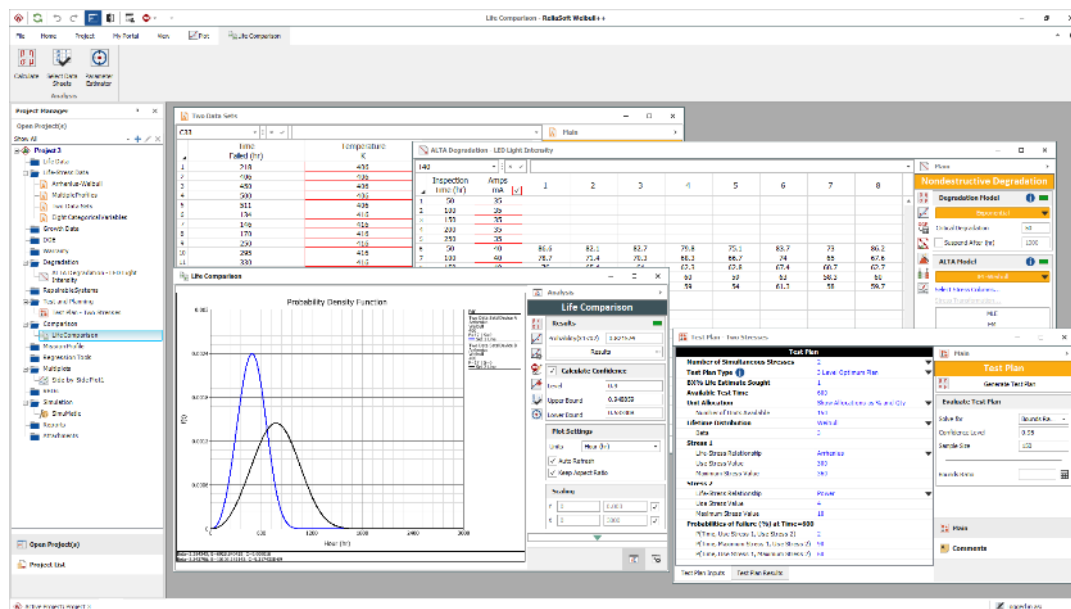
Figura 58– Sensor indutivo e tacômetro digital Laser.



Fonte: Banner, Fluke 2019

Todas as informações serão coletadas por software supervisorio que será desenvolvido para o monitoramento online e coleta de dados para alimentar a análise de degradação do software Weibull++ / Alta da Reliasoft®. A figura 59 apresenta a tela do weibull ++ / ALTA.

Figura 59– Tela do Software Weibull++ da Reliasoft- análise de vida acelerada



Fonte: Reliasoft, 2020.

3.5 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o dimensionamento, modelagem e simulações numéricas do projeto da bancada de testes de roletes para correia transportadoras, foram utilizadas várias softwares e ferramentas de cálculo conforme listados a seguir:

Softwares de CAD (*Computer Aided Design*):

- a. Autodesk Autocad®
- b. Autodesk Inventor®
- c. Dassaut Systems SolidWorks®

Softwares de CAE (*Computer Aided Engineering*):

- a. ANSYS Workbench®
- b. ANSYS CFX®

Planilhas de Cálculo em Microsoft Excel® para os cálculos analíticos.

Após os devidos dimensionamentos foi gerada uma lista de materiais dos itens (partes e peças) que compõem a bancada, os quais serão apresentados no próximo item deste capítulo.

3.5.1. Lista de materiais para a fabricação e montagem da bancada.

As tabelas 11 a 13 apresentam os materiais para fabricação da bancada de teste divididos por disciplina estruturas metálicas, mecânica, elétrica e instrumentação respectivamente.

Tabela 10 – Lista de Materiais para confecção Bancada – estruturas metálicas.

PROJETO DETALHADO				Nº VALE	PÁGINA			
BRITAGEM				LM-1200KN-M-00001			2/2	
GERAL				Nº (CONTRATADA)	REV.			
ESTRUTURA DA BANCADA TESTE				VM2401-05-M-LM-1200-0001			0	
LISTA DE MATERIAIS								
Item	Área/Subárea	Código	Descrição	Dimensão	Unid.	Qtde.	Peso	Observações
1	Britagem/Geral	1200KN	PERFIL "U" 8" x 27,90		m	3.44	96	
2	Britagem/Geral	1200KN	CH Nº14 (2mm)		m²	0	0.06	
3	Britagem/Geral	1200KN	CH3,2		m²	0.59	4.82	
4	Britagem/Geral	1200KN	CH4,8		m²	0.16	5.05	
5	Britagem/Geral	1200KN	CH6,4		m²	2.16	78.01	
6	Britagem/Geral	1200KN	CH9,5		m²	0.25	7.4	
7	Britagem/Geral	1200KN	CH12,7		m²	0.69	67.05	
8	Britagem/Geral	1200KN	CH16		m²	1.25	127.6	
9	Britagem/Geral	1200KN	CH19		m²	1.91	225.4	
10	Britagem/Geral	1200KN	CH25,4		m²	0.75	120.4	
11	Britagem/Geral	1200KN	CH31,75		m²	0.02	3.93	
12	Britagem/Geral	1200KN	BARRA CHATA 25 x 3		m	0.79	0.48	
13	Britagem/Geral	1200KN	CHAVETA 8x7		m	0.12	0.06	
14	Britagem/Geral	1200KN	CHAVETA 10x8		m	0.18	1.2	
15	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 5/8"		m	4.12	6.4	
16	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 7/8"		m	0.14	0.33	
17	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 1"		m	0.84	2.67	
18	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 1 5/8"		m	4.65	43.86	
19	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 2 3/4"		m	1.33	40.2	
20	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 2 7/8"		m	7.83	123.3	INOX-A316
21	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 2 3/16"		m	1.35	12.42	
22	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 80mm		m	1.28	28.92	
23	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 4 5/8"		m	0.48	21.12	
24	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 6"		m	0.38	30.54	
25	Britagem/Geral	1200KN	EIXO Diâmetro 270		m	0.33	49.71	
26	Britagem/Geral	1200KN	BARRA QUADRADA 3 1/4"		m	1.8	76.02	INOX-A316
27	Britagem/Geral	1200KN	BARRA OCA Diâmetro 4"x1 7/8"		m	1.02	9.6	BRONZE SAE-620
28	Britagem/Geral	1200KN	BARRA REDONDA Diâmetro 300/240		m	0.3	7.14	POLIURETANO

Fonte: Autor, 2020

Tabela 11– Lista de Materiais para confecção Bancada – Mecânica.

BANCADA DE TESTE DE ROLOS		LM-1200KN-S-40005				
LISTA DE MATERIAIS		Nº (CONTRATADA)				REV.
		VM2401-5-S-LM-1200-0001				B
	DESCRIÇÃO MATERIAL - MECÂNICA	Dimensão	Unid.	Qtde.	Peso	Observações
10	CORREIA MULTI V PERFIL B-42 - CIRCUNF, EXT, 1130	1136	mm	3		Goodyear
11	POLIAS DE FERRO EM V PERFIL B-SPB			3	5,06	3 Canais
12	MOTOR DE INDUÇÃO-W22 IR2 TRIFÁSICO-CARCAÇA 132S-10cv					WEG
13	MOLA SERIE R - REFERÊNCIA R40-102					POLIMOLD
14	CILINDRO HIDRÁULICO RLS101 + MANGUEIROA 700BAR					SIMPLEX
15	BOMBA HIDRAULICA - G4272 COM BLOCO MANIFOLD					SIMPLEX
16	PINO DE FIXAÇÃO Ø13					
17	MANCAL HSBM11-BP-ASR-22211K					HENFEL
18	MANCAL HSBM11-LC-ASR-22211K					HENFEL
19	CORREIA MULTI V PERFIL B-42 - CIRCUNF, EXT, 1130					Goodyear
20	TANQUE AGITADOR					
21	CONJUNTO MOTOBOMBA					
22	TUBO PVC - 25mm	7,2	m			
23	JOELHO 90° SOLD. - 25mm		unid.	22		
24	TÊ SOLD. - 25mm		unid.	5		
25	UNIÃO - 25mm		unid.	13		
26	ADAPTADOR ROSC. - 25mm			1		
27	ADAPTADOR SOLD. - 25mm			6		
28	ADAPTADOR SOLD. COM ANEL - 25mm			6		
29	VALVULA ESFERA - 3/4"			6		
30	MANGUEIRA FLEXÍVEL-Código 03751-Ref. BAKELITSUL			6		
31	MISCELANIA DE PARAFUSOS, PORCAS E ARROELAS					Ver projetos em anexos

Fonte: Autor, 2020

Tabela 12– Lista de Materiais para confecção Bancada – Elétrica e instrumentação.

	DESCRIÇÃO MATERIAL - ELETRICA E INSTRUMENTAÇÃO	Dimensão	Unid.	Qtde.	Peso	Observações
32	INDICADOR DIGITAL DE PESO ETHERNET - DIS2116		unid.	1		HBM
33	TRANSMISSOR VIBRAÇÃO/TEMPERATURA - DX80N2X6S-P6		unid.	6		WEBER
34	SENSOR DE VIBRAÇÃO/TEMPERATURA - QM42VT1QP		unid.	6		WEBER
35	TRANSMISSOR DE VELOCIDADE - DX80N2X6S-P6		unid.	6		WEBER
36	SENSOR DE VELOCIDADE - BI8U-EM18-AP6X-H1141		unid.	3		WEBER
37	CÉLULA DE CARGA - RTN-10T		unid.	3		HBM
38	SINALIZADOR DE COLUNA - XVD-14M4+DL1-BEM+LÂMPADA		unid.	1		SCHNEIDER
39	PAINEL ELETRICO CONFORME FD-1200KN-E-00010		unid.	1		-
40	INVERSOR DE FREQUANCIA - CFW11-0024-T4		unid.	3		WEG
41	DISJUNTORES		unid.			CONFORME DOCUMENTOS DT-1200KN-E-00005, 1200KN-E-87452, FD-1200KN-E-00009, FD-1200KN-E-00010, FD-1200KN-E-00011
42	RELES INTELIGENTE		unid.			
43	CONTADORES E RELES TERMICOS		unid.			
44	LAMPADAS DE SINALIZAÇÃO		unid.			
45	TRANSFORMADORES		unid.			
46	CABOS ELETRICOS		unid.			
47	CHAVES SECCIONADORA		unid.			
48	MISCELANIA DE CONECTORES, TERMINADORES		unid.			
49	VOLTIMETROS E AMPERIMETROS		unid.			
50	CHAVES E BOTOEIRAS		unid.			

Fonte: Autor, 2020

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme o tema desta obra, o desenvolvimento da bancada de testes, projeto motivado pela necessidade da engenharia de manutenção de uma grande mineradora operando no sul do Pará região norte do Brasil, em desenvolver novos materiais e fornecedores de componentes em um tempo muito menor a um ano, método padrão para testes de roletes em campo. Portanto, os resultados do estudo estão diretamente relacionados aos objetivos descritos no item 1.1. Norteado pelos objetivos específicos, naturalmente alcançou-se o objetivo principal, desenvolver e projetar a bancada de testes para roletes de carga para larguras de correia de 1000 a 2200mm com subsistemas capazes de aplicar carga, rotação e realizar medições instrumentadas.

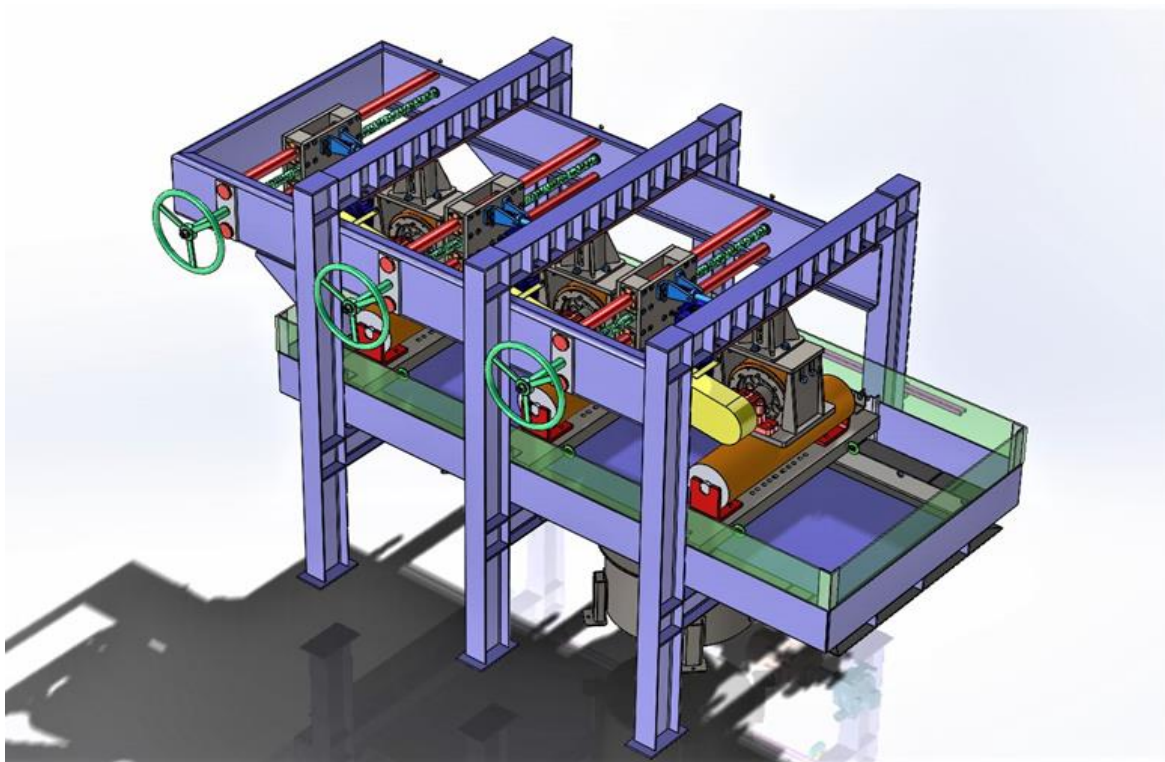
A partir da utilização da mesma, engenheiros e técnicos dos setores de engenharia da referida empresa, poderão obter resultados de vida média, resistência mecânica, eficiência de vedação de roletes de carga em tempos de testes bem menores comparados aos métodos atuais de teste de campo. E através dos resultados obtidos pelos parâmetros previamente estabelecidos e coletados de forma rápida e precisa, a tomada de decisão será mais assertiva e clara, garantindo a confiança na escolha dos roletes e fabricantes de melhor eficiência e vida útil a serem aplicados nos equipamentos.

4.1 BANCADA DE TESTES

O projeto da bancada foi definido após as pesquisas, estudos conceituais e dos modelos apresentados por Ita (2018), Nascimento, et al (2006), Robert Król, (2017), Gładysiewicz et al, (2011), bem como em ABNT NBR 16139 (2013). Os dimensionamentos das estruturas e mecanismos, bem como o projeto dos sistemas elétricos e de instrumentação apresentados nos capítulos 2 e 3 desta obra e serão detalhados no presente capítulo.

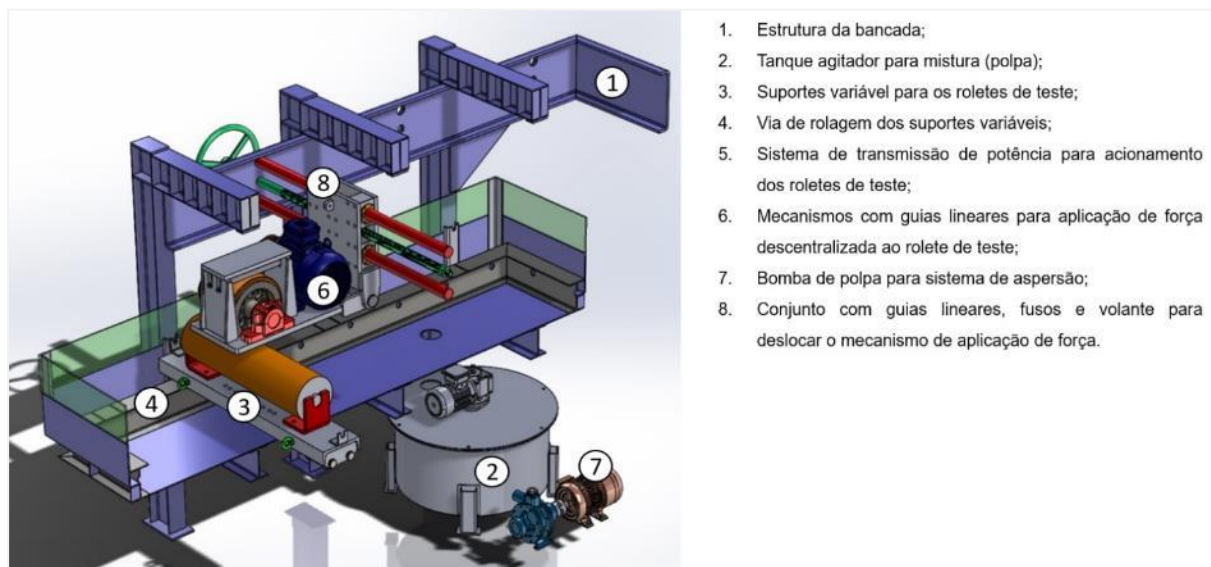
A Figura 60 apresenta a modelagem em 3D utilizada como entrada ao projeto detalhado para fabricação. A figura 61 apresenta uma vista em corte para visualização dos detalhes internos e seus componentes. A figura 62 apresenta o mecanismo de aplicação de força e suas partes componentes.

Figura 60– Modelagem em 3D para o projeto detalhado para fabricação.



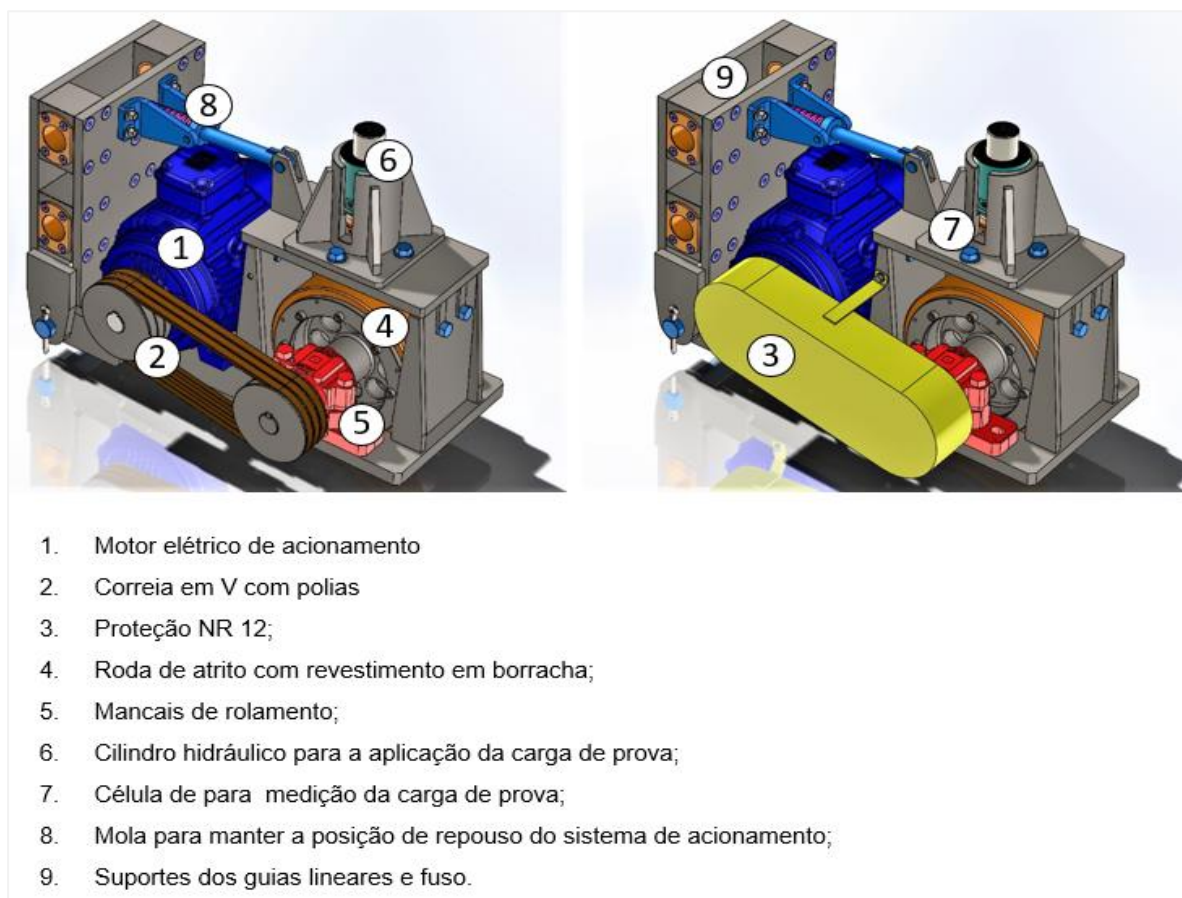
Fonte: Autor, 2020

Figura 61– Modelagem em 3D vista simplificada em corte.



Fonte: Autor, 2020

Figura 62– Modelagem em 3D vista simplificada em corte.



Fonte: Autor, 2020

4.2 RESULTADOS DOS DIMENSIONAMENTO E SIMULAÇÕES

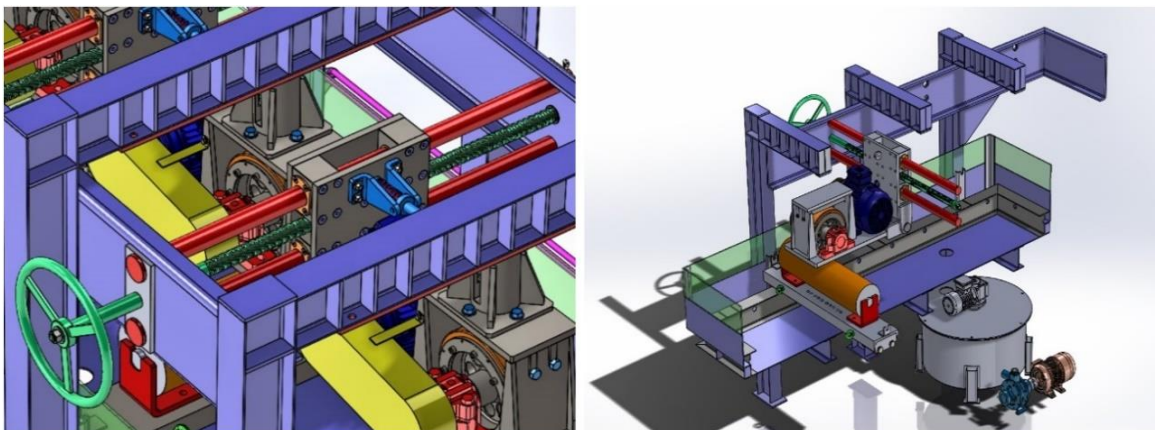
4.2.1. Dimensionamento dos subsistemas da bancada

Este item do capítulo é destinado a apresentar os resultados dos dimensionamentos dos principais componentes da bancada, para o dimensionamento foram utilizados cálculos analíticos e simulação numérica pelo método dos elementos finitos e volumes finitos. O software Ansys® Workbench versão 2019 R3 foi a ferramenta utilizada para as análises estruturais estáticas e análise de escoamento de fluidos com Ansys Computational Fluid Dynamics, CFD (ANSYS,2017).

4.2.2. Sistema de acionamento e aplicação de força e rotação do rolete de teste.

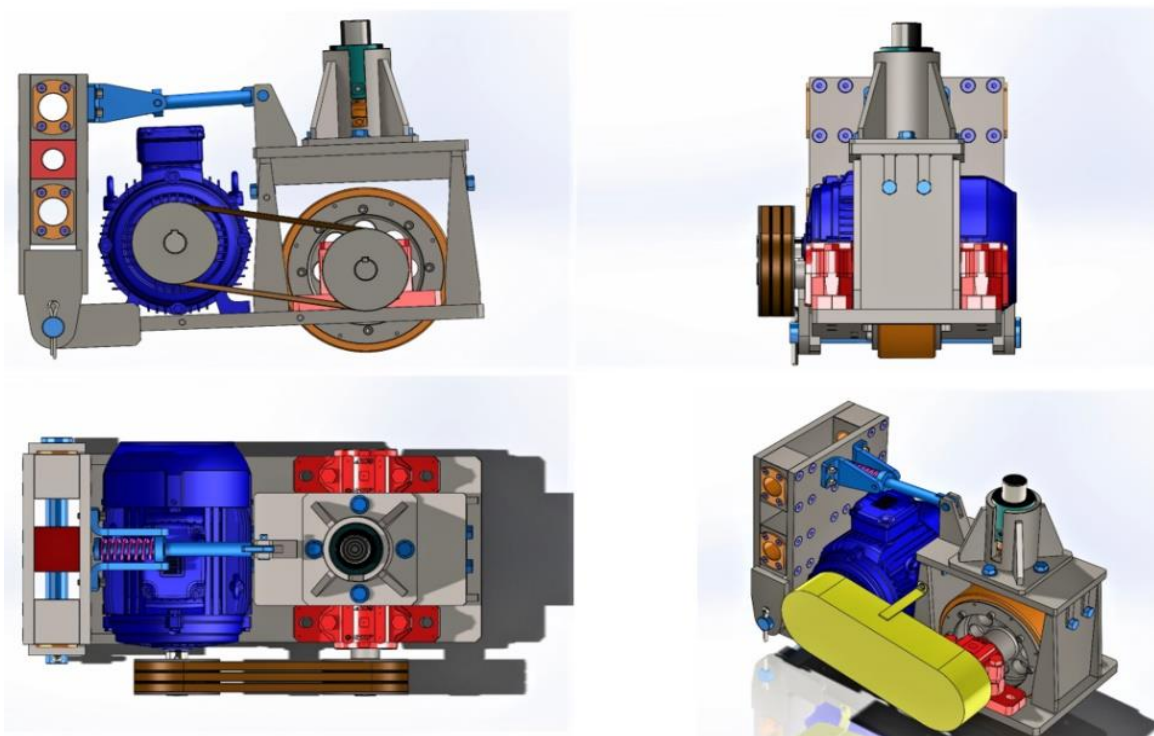
Este sistema é composto de mecanismos capazes de aplicar rotação através de um conjunto composto por um motor elétrico com correia de transmissão e polia, além de guias deslizante com fuso de barra roscada trapezoidal para simular o desalinhamento de carga no rolete de teste. As figuras 63 e 64 apresentam a modelagem em 3D no software de CAD Solidworks®.

Figura 63 – Vista das guias lineares e fuso trapezoidal para simular carga desalinhada.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 64 – Vistas do sistema de aplicação de força e rotação.

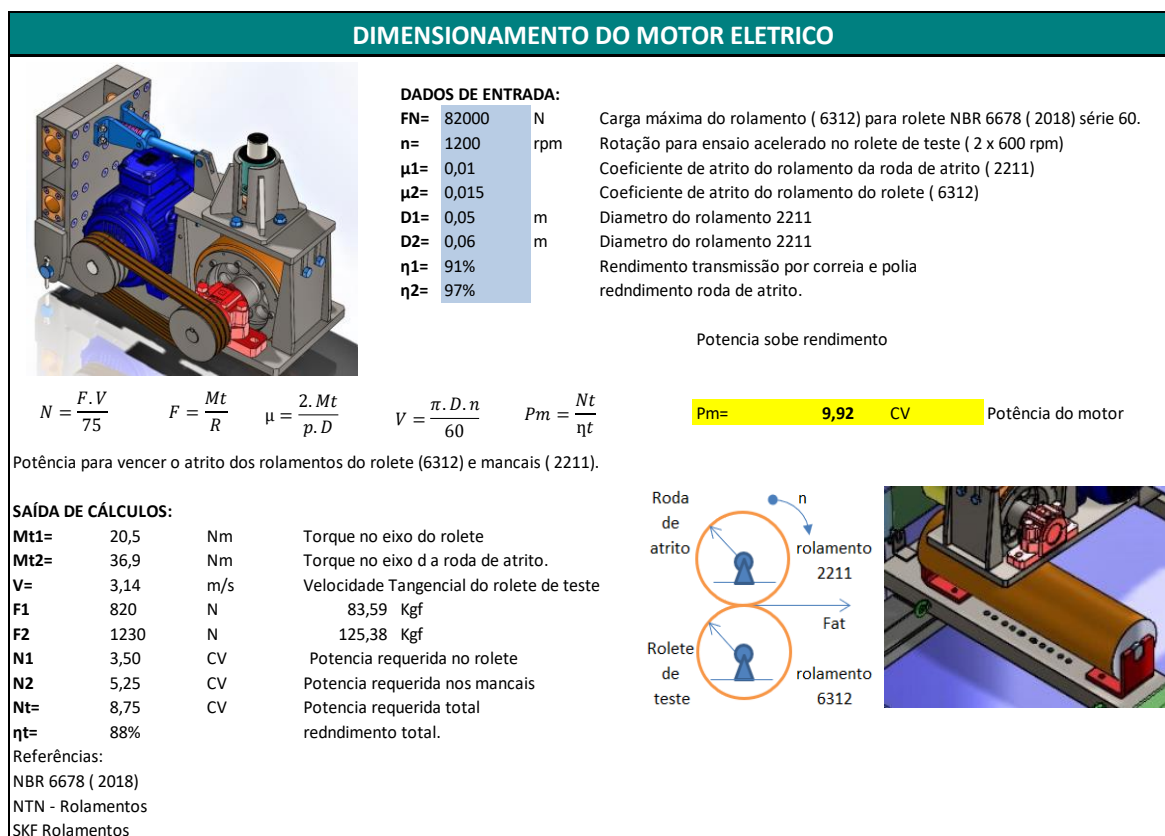


Fonte: Autor, 2020.

4.2.3. Dimensionamento do motor de acionamento.

Para o dimensionamento do motor de acionamento foi calculada a potência necessária para girar o rolete de teste a uma rotação duas vezes a definida pela NBR 6678 (2018), de 2 x 600 RPM, para fins de acelerar o ensaio. Força aplicada de 82.000N, carga máxima do rolamento 6312, maior rolamento serie 60 da NBR 6678, (2018). O atrito considerado, foi para aço oleado sobre aço de 0,01 a 0,015 e o rendimento da transmissão na ordem de 91 a 97% (NTN, 2002). A planilha apresentada na Figura 65 apresenta a planilha de cálculos desenvolvida para o dimensionamento do acionamento do rolete de teste conforme os conceitos definidos por Paladini (2019) e Fevereiro (2019).

Figura 65– Planilha de cálculo dimensionamento do motor de acionamento.



Fonte: Autor, 2020.

4.2.4. Dimensionamento em MEF das estruturas e mecanismos.

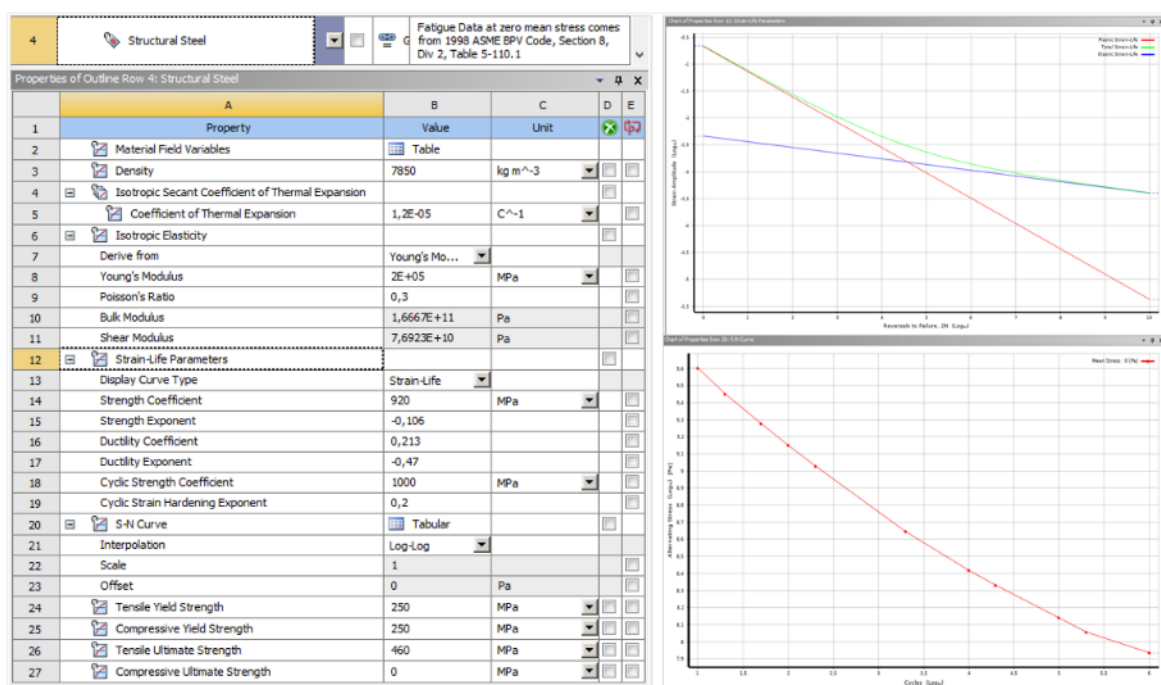
Para o dimensionamento da estrutura e principais mecanismos da bancada foi realizado análises estruturais em elementos finitos com o uso de ferramentas de

simulações numéricas como Ansys® Workbench na versão 2019 R3, para agilidade e assertividade nas soluções conforme exposto por Moaveni (1999).

Os itens a seguir deste capítulo apresentam os resultados das análises estruturais sobre as condições de contorno impostas as respostas de tensão e deformação foram usadas como tomada de descrição para o modelo final de cada subsistema.

O material utilizado para as análises estruturais foi o aço estrutural (structural steel), com propriedades mecânicas similares ao Aço A36. A figura 66 apresenta a tabela com as propriedades mecânicas do structural steel do Ansys.

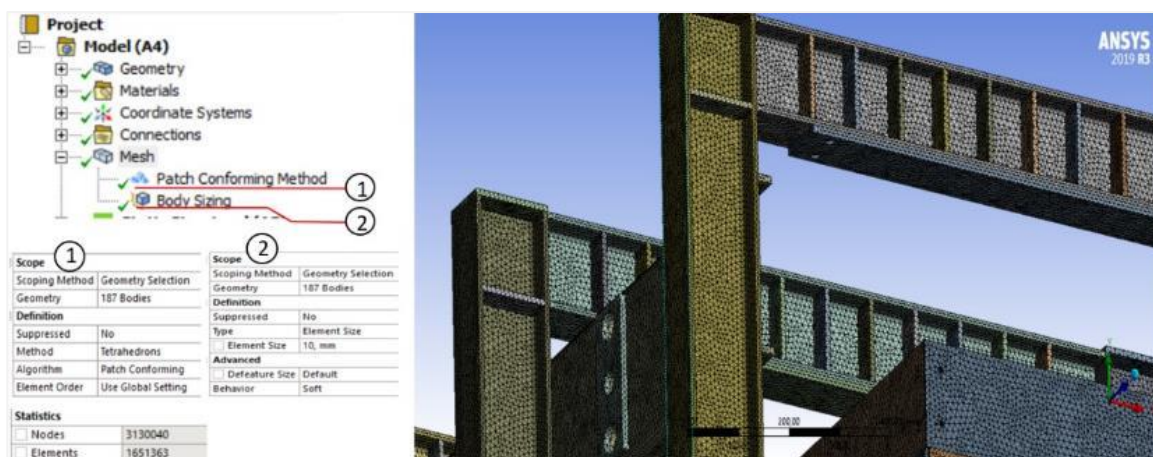
Figura 66– Propriedades do material steel structural do software Ansys e curvas S/N.



Fonte: Autor, 2020.

Para todas as análises foi executado refinamento de malha para aumentar a acurácia dos resultados (AZEVEDO, 2016). A figura 67 apresenta um exemplo da malha de simulação em um ZOOM da estrutura e dados de número de nós e elementos (Nº nós=3.130.040, Nº elementos=1.651.363) bem como o método de refino de malha.

Figura 67 – Exemplo de refinamento de malha de MEF do software Ansys®.

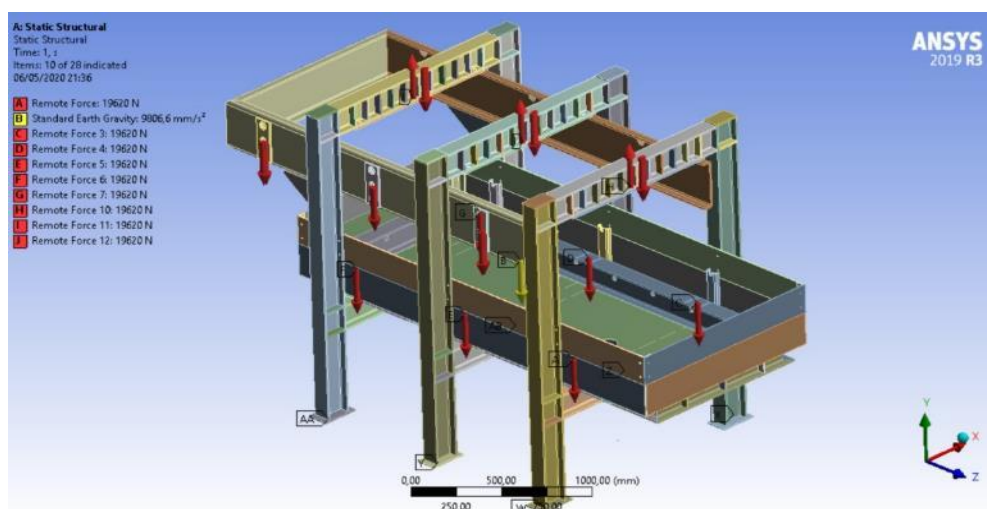


Fonte: Autor, 2020.

4.2.5. Dimensionamento em MEF da estrutura da bancada.

A figura 68 apresenta as condições de contorno da análise estrutural da estrutura da bancada os pontos na base das colunas foram colocados como apoios fixos (fixed support), as forças aplicadas aos furos dos guias lineares, aos dois lados das vias de rolagem das bases dos rolos e da viga de reação superior, foram obtidas através do quociente da carga máxima do cilindro sobre 4. Ou seja, $(8.000\text{kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2)/4 = 19.620\text{N}$. para o peso próprio da estrutura foi ativado a *Standard Earth Gravity*, condição da força da gravidade (MOAVENI, 1999).

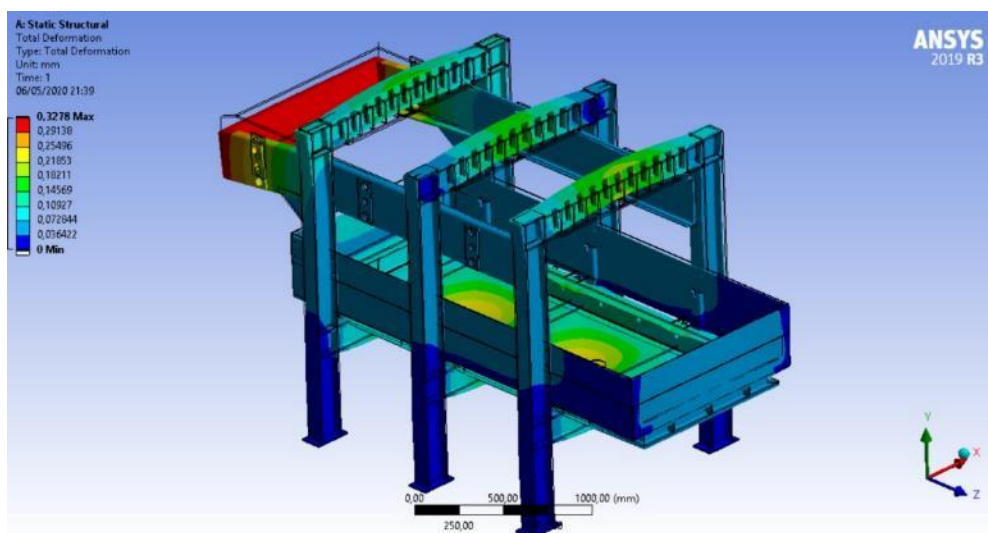
Figura 68– Condições de contorno para análise estrutural da estrutura da bancada.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 69 apresenta a resposta de deformação total da estrutura sobre as condições de contorno aplicadas (ALVES, 2000). O valor máximo de deformação foi de 0,32mm. Valor considerado aceitável pelos critérios de $L/600 = 5\text{mm}$ de deformação máxima (ABNT NBR 8800, 2008).

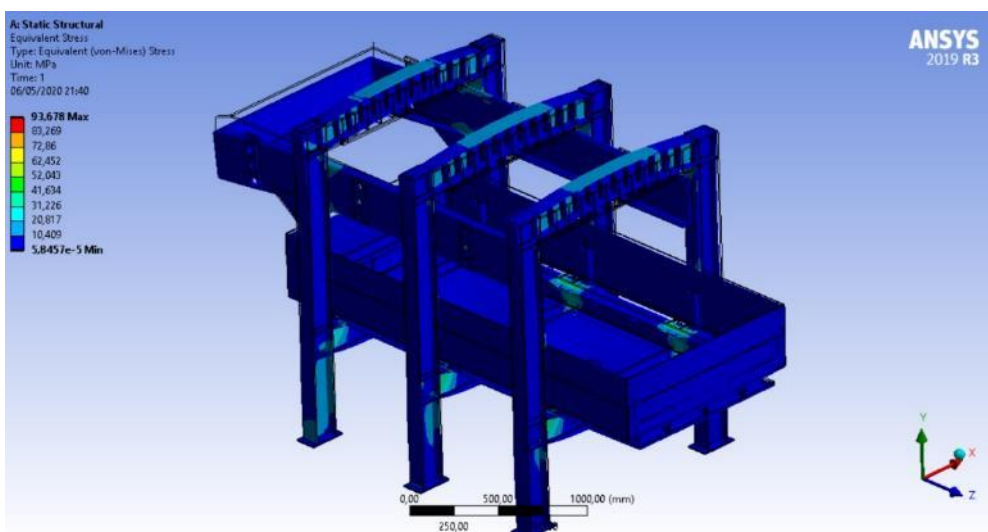
Figura 69– Deformação total da estrutura da bancada.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 70 apresenta tensão equivalente de Von Mises da estrutura sobre as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de tensão foi de 93,678Mpa.

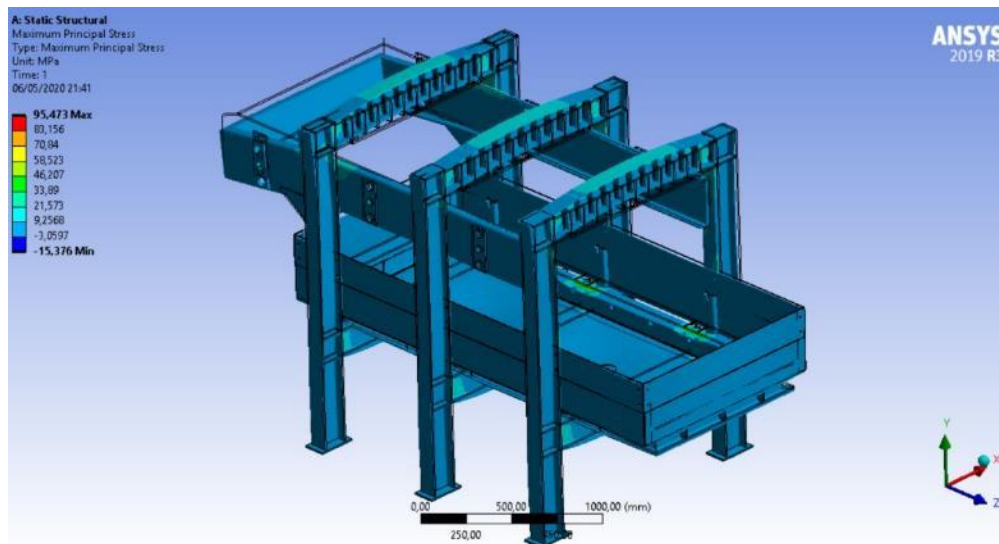
Figura 70 – Tensão de Von Misses da estrutura da bancada.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 71 apresenta tensão máxima principal da estrutura sob as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de tensão foi de 95,473Mpa.

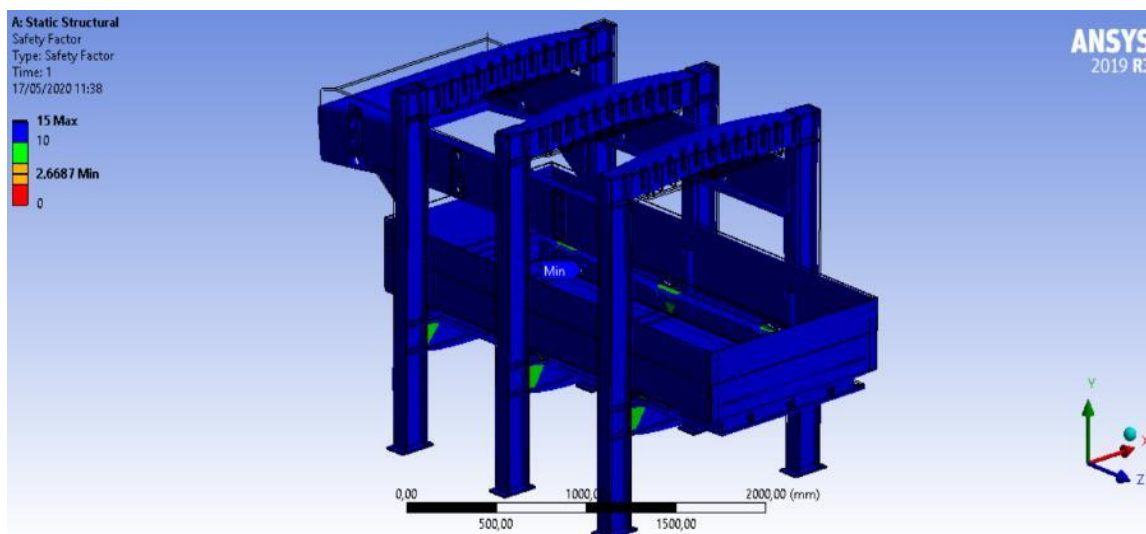
Figura 71 – Tensão máxima principal da estrutura da bancada.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 72 apresenta o *Safety Factor* (coeficiente de segurança) da estrutura tensão máxima obtida dividido pelo limite de escoamento do aço estrutural de 250Mpa. A resposta da estrutura sob as condições de contorno aplicadas. O valor mínimo *Safety Factor* foi de 2,66.

Figura 72– Tensão máxima principal da estrutura da bancada.

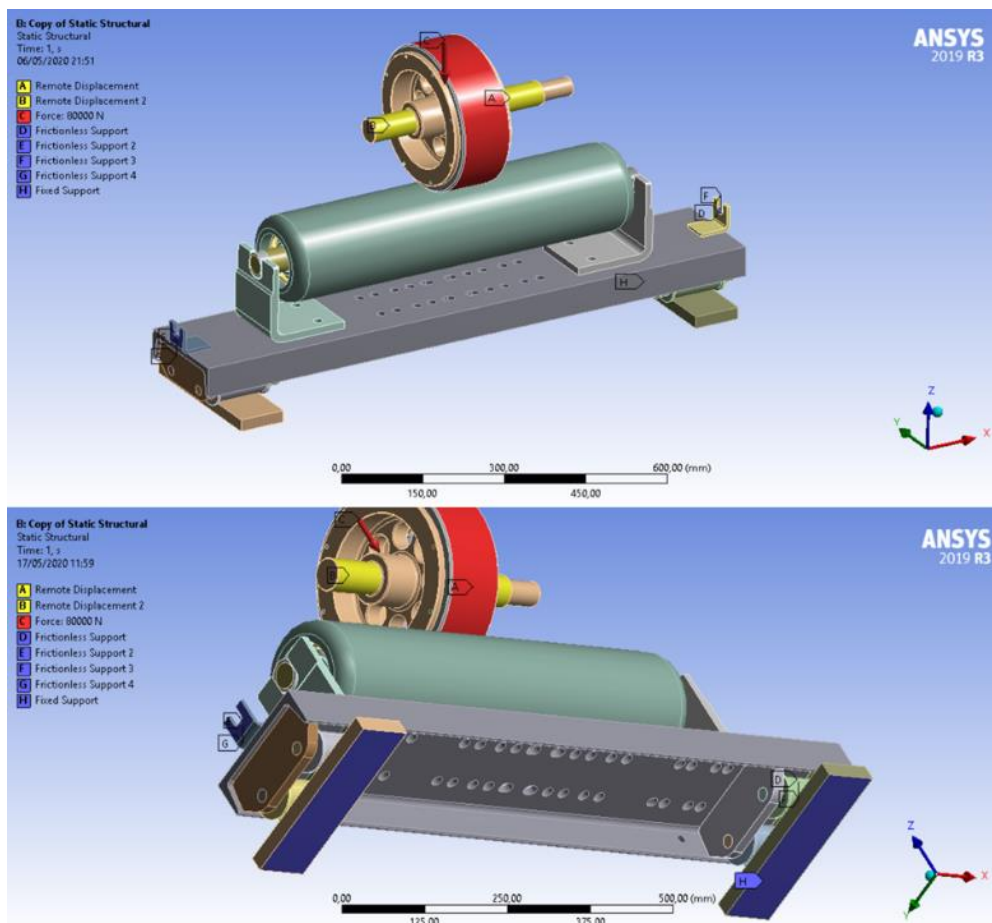


Fonte: Autor, 2020.

4.2.6. Dimensionamento em MEF do apoio e rolete de teste.

A figura 73 apresenta as condições de contorno da análise estrutural da roda guia e um rolete de teste para correia de 2200mm. Para os pontas de eixo a condição imposta foi de *remote displacement*, onde o grau de liberdade de livre foi translação em Z, simulando o movimento da força imposta pelo cilindro. Apoios fixos (fixed support), foram impostos no trecho simulando a via de rolagem, apoios do tipo suporte sem atrito, (*frictionless support*) foram impostos aos pontos de fixação para trava de segurança da base. a forças aplicada a roda guia foi de 8,0 KN, simulando a carga máxima do cilindro, $(8.000\text{kg} \times 10 \text{ m/s}^2) = 8000\text{N}$. (MOAVENI, 1999).

Figura 73 – Condições de contorno para análise estrutural base e rolete de teste.

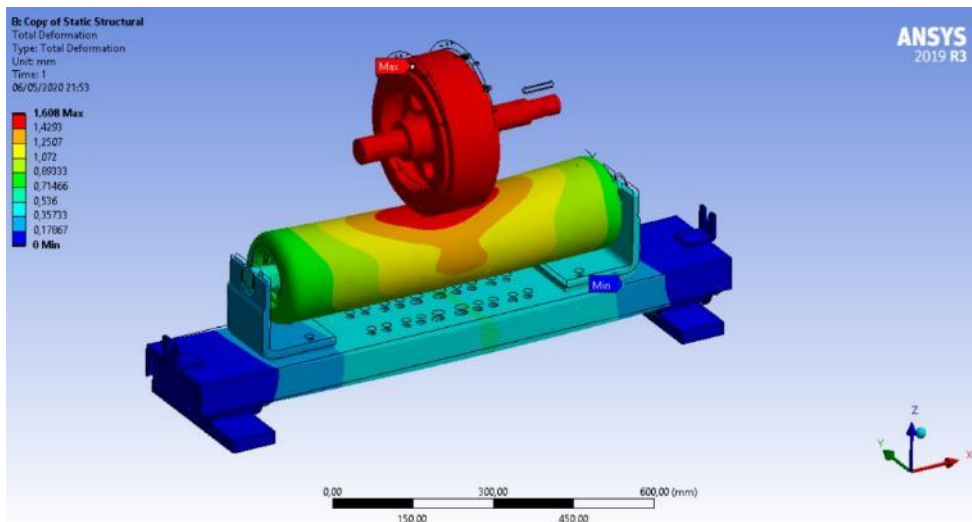


Fonte: Autor, 2020.

A figura 74 apresenta a resposta de deformação do conjunto roda rolete sobre as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de deformação foi de

1,608mm. Valor considerado aceitável pelos critérios de $L/600 = 5\text{mm}$ de deformação máxima (ABNT NBR 8800, 2008).

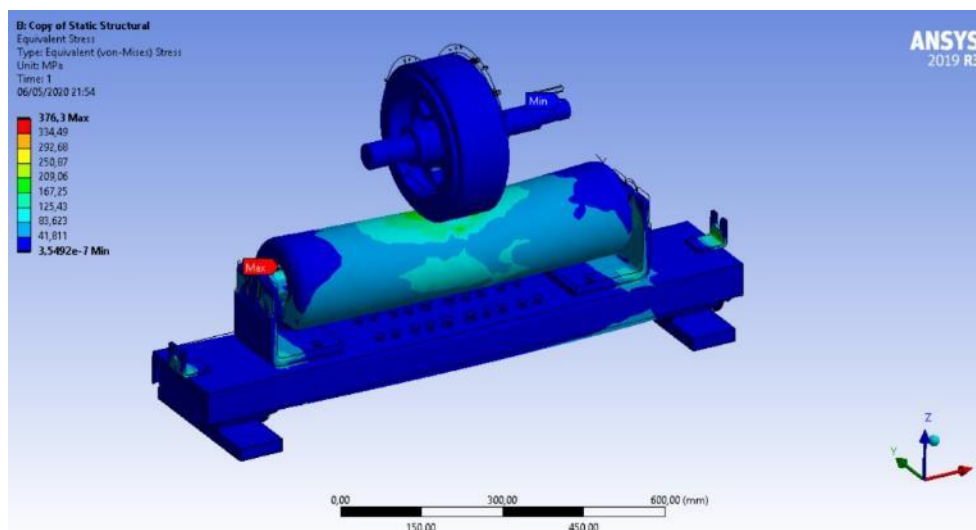
Figura 74– Deformação total da base e rolete de teste.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 75 apresenta tensão equivalente de Von Mises da estrutura sobe as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de tensão foi de 376,3Mpa.

Figura 75 – Tensão de Von Misses da base e rolete de teste.



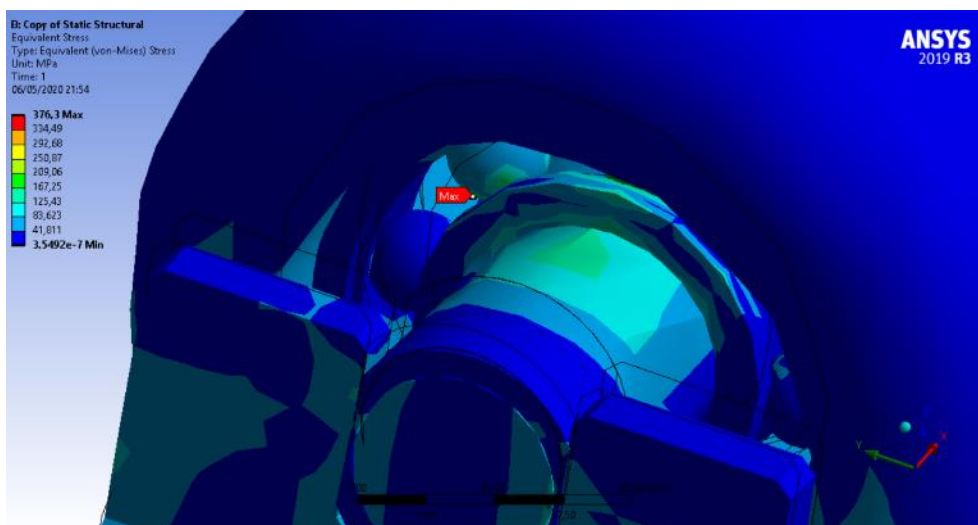
Fonte: Autor, 2019.

Analisando mais atentamente o valor máximo da tensão equivalente de Von Mises de 376,3Mpa pode se notar que este valor está localizado nas esferas de

rolamento do rolete de teste, valor este referente a concentração de tensão devido a pequena área de contato entre as duas geometrias aços para fabricação de rolamento geralmente trabalham de 350 a 600Mpa de limites de escoamento como por exemplo o aço liga SAE 5200, propriedades nos apêndices desta obra. Portanto não representa riscos a integridade estrutural da estrutura analisada (NTN, 2002).

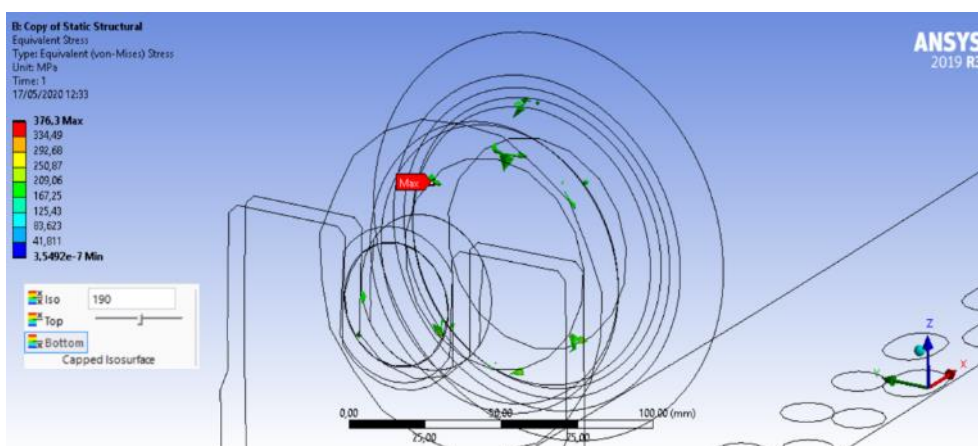
As figuras 76 e 77 apresentam a concentração e tensão identificada na tensão máxima de Von Mises.

Figura 76– Tensão de Von Mises concentração de tensão no rolamento.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 77– Tensão de Von Misses concentração de tensão no rolamento função capped isosurface.



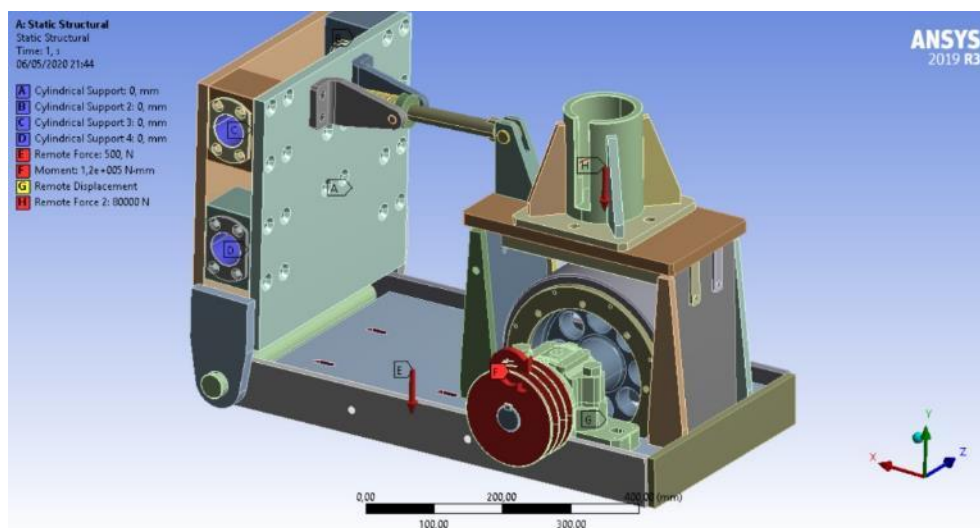
Fonte: Autor, 2020.

4.2.7. Dimensionamento em MEF do mecanismo de roda de atrito.

As condições de contorno da análise estrutural do mecanismo de acionamento do rolete de teste com a roda guia e estruturas de suporte dos guias lineares, fusos e suportes do cilindro hidráulico está apresentado na figura 78.

Nos furos dos suportes das guias lineares foi aplicado um suporte cilíndrico (Cylindrical Support) restringindo apenas a translação deixando livre os graus de liberdade axial e tangencial. Uma força remota de 500N foi aplicada os furos da chapa horizontal para simular o peso do motor, uma força remota de 8000N foi imposta a base da célula de carga para simular a carga máxima do cilindro hidráulico. Considerando-se os contatos entre os eixos e rolamentos nos mancais da roda de atrito, livre no lado acionado e bloqueado no lado oposto foi aplicado um torque de $1,2 \times 10^5$ N.mm para avaliar a torção no eixo de acionamento (MOAVENI, 1999).

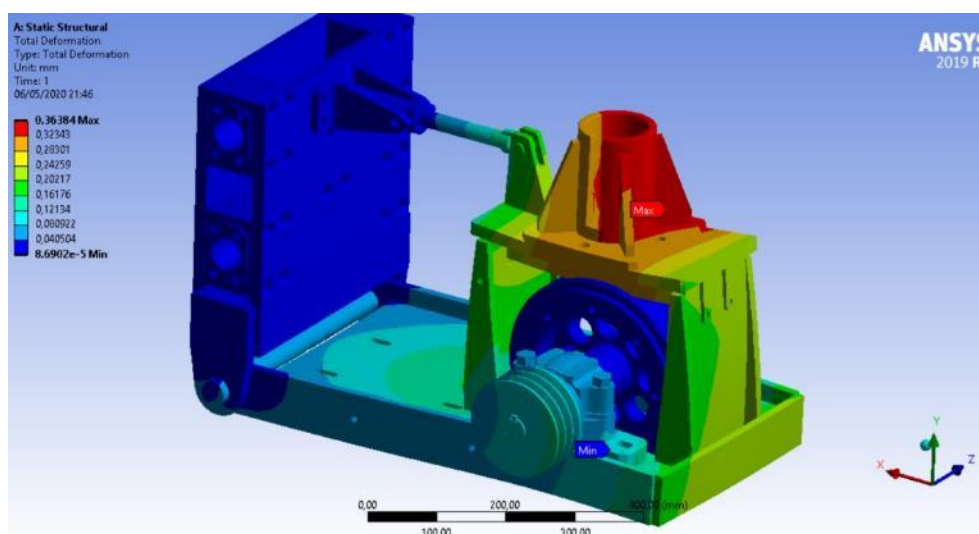
Figura 78– Condições de contorno para análise estrutural do mecanismo de roda de atrito.



Fonte: Autor, 2020.

A figura 79 apresenta a resposta de deformação do conjunto do mecanismo de acionamento do rolete de teste sobe as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de deformação foi de 0,36mm.

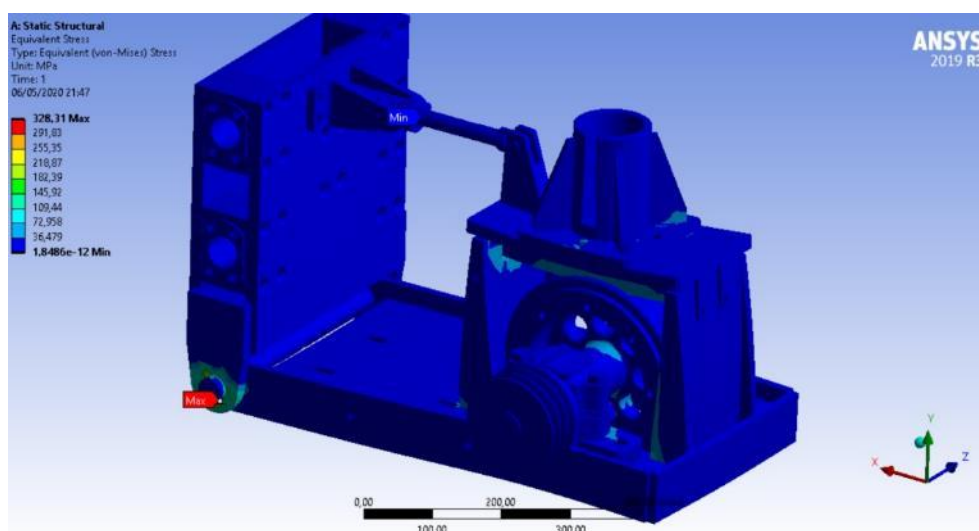
Figura 79– Deformação total do mecanismo de roda de atrito.



Fonte: Autor, 2019.

A figura 80 apresenta tensão equivalente de Von Mises da estrutura sobe as condições de contorno aplicadas. O valor máximo de tensão foi de 328,31Mpa.

Figura 80– Tensão de Von Misses do mecanismo de roda de atrito.



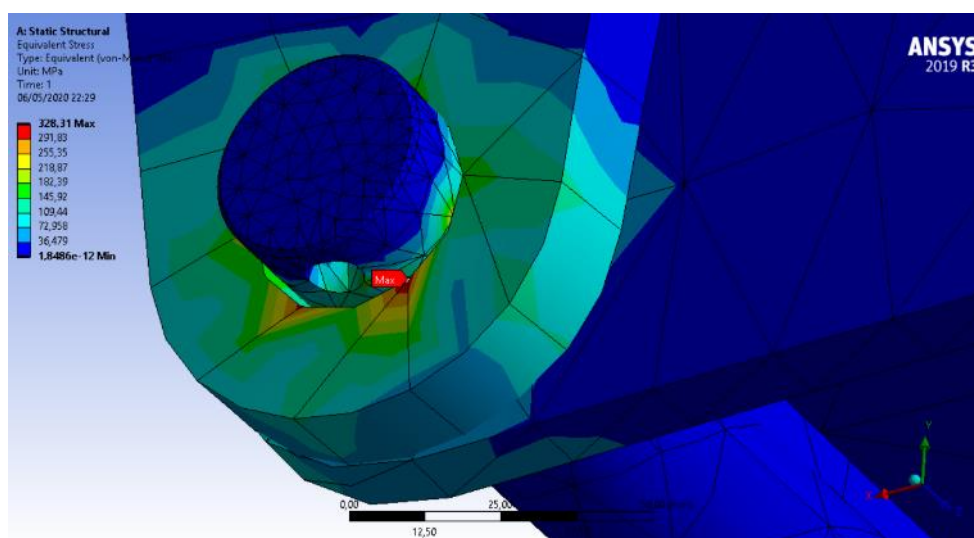
Fonte: Autor, 2019.

Analisando mais atentamente o valor máximo da tensão equivalente de Von Mises de 328,31Mpa pode se notar que este valor está localizado na fronteira do olhal e barra de ligação da base do motor e suporte das guias lineares, valor este de concentração de tenção pode ser explicado pela condição de contato colado (Contact Bonded) que foi escolhido para simplificar a simulação e reduzir o esforço

computacional, visto que um contato do tipo deslizante com atrito mínimo levaria a análise para uma condição de não linear. Logo, este concentrador nesta região pode ser desconsiderado pois na condição real não haverá acúmulo de tensão pois o contato é rotacional, dissipando o esforço de reação.

As figuras 81 apresenta a concentração e tensão identificada na tensão máxima de Von Mises.

Figura 81– Região de tensão máxima de Von Misses do mecanismo de roda de atrito.



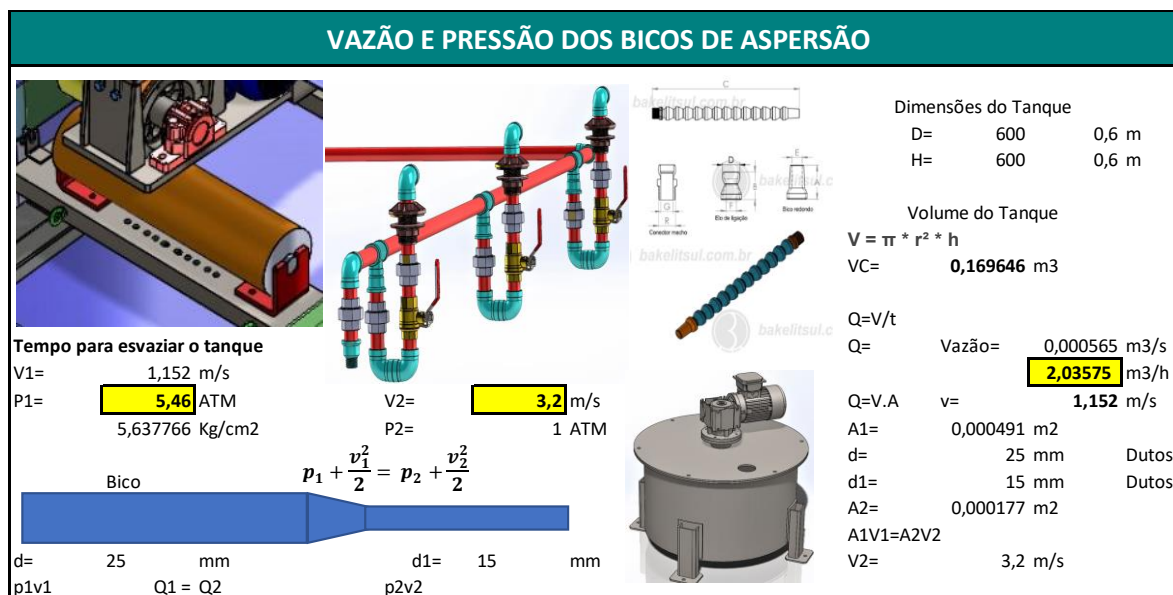
Fonte: Autor, 2020.

4.2.8. Sistema de aspersão para teste de vedação do rolete de teste.

O dimensionamento do sistema de aspersão foi iniciado pela determinação do volume de fluido disponível no tanque do agitador, no qual foi considerado constante, ou seja, a taxa de entrada e saída do fluxo no agitador tem que ser constante para manter o nível de fluido disponível. Foi considerado um tanque com diâmetro de 600mm e altura do fluido em agitação de 600mm. Através da equação de Bernoulli calculou-se a velocidade e pressão necessárias no bico de aspersão.

A planilha apresentada na Figura 82 apresenta os dados e cálculos usados para dimensionamento.

Figura 82– Planilha de cálculos usados para dimensionamento do tanque e sistema de bico de aspersão.



Fonte: Autor, 2020.

4.2.9. Agitador de mistura água minério.

Para que durante o teste de vedação se reproduza as condições mínimas de sujidade do rolete instalado no transportador em campo, o fluido para o sistema de aspersão, deve apresentar uma leve quantidade de partículas sólidas.

Conforme Fernandes (2005) o processo de agitação foi o mais indicado para a formação da polpa de minério de ferro, uma concentração máxima de 35% sólidos com granulometria menor que 150 mesh (0.104mm) foi adotado como o fluido apropriado para o teste. Para se evitar que os sólidos presentes nesta “Polpa de minério de ferro” sedimentem no fundo do tanque, foi projetado então, um sistema de agitação e mistura por ser umas das operações unitárias bastante comuns na indústria (FONSECA E CHAGURI, 2019).

A figura 83 apresenta a planilha de cálculo utilizada no dimensionamento do agitador e misturador de polpa de acordo com as definições e equações de 34 a 38 apresentadas por Dias, (2018), McCabe, (2005) e Pereira (2016).

Figura 83 – Planilha de cálculos usados para dimensionamento do agitador do sistema de bico de aspersão.

DIMENSIONAMENTO DO AGITADOR / MISTURADOR																														
	FORMULAÇÃO PAR AMISTURA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO:																													
	$\frac{P}{g\rho_m V_m} = (1 - \varepsilon_m)^{2/3} \left(\frac{D_t}{D_a}\right)^{1/2} e^{4,35\beta}$ $P = K_L \frac{n^2 D_a^3 \mu}{g_c}, Re < 10$ $Re = D_a^2 n \rho / \mu$ Onde: $\beta = \frac{Z_s - E}{D_t} - 0,1$; $u_t = \frac{g D_t^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu}$ $P = K_T \frac{n^3 D_a^3 \rho}{g_c}, Re > 10000.$																													
	FATORES DE FORMA		Valores de KT e KL para vários tipos de impulsos																											
	S1= Dt/Da= 3	<table><tr><th>Tipo de Impulsor</th><th>K_L</th><th>K_T</th></tr><tr><td>Hélice, passo quadrado, 3 lâminas</td><td>41,0</td><td>0,32</td></tr><tr><td>Hélice, passo 2, 3 lâminas</td><td>43,5</td><td>1,00</td></tr><tr><td>Turbina, 6 lâminas planas</td><td>71,0</td><td>6,30</td></tr><tr><td>Turbina, 6 lâminas curvas</td><td>70,0</td><td>4,80</td></tr><tr><td>Ventilador turbina, 6 lâminas</td><td>70,0</td><td>1,65</td></tr><tr><td>Pás planas, 2 lâminas, W/Da=1/5</td><td>36,5</td><td>1,70</td></tr><tr><td>Turbina, 6 lâminas curvas</td><td>97,5</td><td>1,08</td></tr><tr><td>Turbina com estator e sem chicanas</td><td>172,5</td><td>1,12</td></tr></table>		Tipo de Impulsor	K _L	K _T	Hélice, passo quadrado, 3 lâminas	41,0	0,32	Hélice, passo 2, 3 lâminas	43,5	1,00	Turbina, 6 lâminas planas	71,0	6,30	Turbina, 6 lâminas curvas	70,0	4,80	Ventilador turbina, 6 lâminas	70,0	1,65	Pás planas, 2 lâminas, W/Da=1/5	36,5	1,70	Turbina, 6 lâminas curvas	97,5	1,08	Turbina com estator e sem chicanas	172,5	1,12
	Tipo de Impulsor	K _L	K _T																											
Hélice, passo quadrado, 3 lâminas	41,0	0,32																												
Hélice, passo 2, 3 lâminas	43,5	1,00																												
Turbina, 6 lâminas planas	71,0	6,30																												
Turbina, 6 lâminas curvas	70,0	4,80																												
Ventilador turbina, 6 lâminas	70,0	1,65																												
Pás planas, 2 lâminas, W/Da=1/5	36,5	1,70																												
Turbina, 6 lâminas curvas	97,5	1,08																												
Turbina com estator e sem chicanas	172,5	1,12																												
S2= E/Da= 1	Fonte: McCabe, 1985.																													
S3= L/Da= 1/4																														
S4= W/Da= 1/5																														
S5= J/Dt= 1/12																														
S6= H/Dt= 1																														
DADOS DE ENTRADA		DADOS DE SAÍDA																												
Dt= 600,00 mm	Diâmetro do tanque	E= 200,00 mm	Dist. da turb. ao fundo do tanque																											
m(H2O)= 169,137 Kg	Massa da parte líquida	Da= 200,000 mm	Largura da turbina																											
p(H2O)= 997,000 kg/m3	Densidade da parte líquida	L= 200,000 mm	Largura da Pá																											
p(FeO3)= 2500,000 Kg/m3	Densidade da parte sólida	W= 40,000 mm	Altura da Pá																											
μ(H2O)= 0,001 Pa.s	Viscosidade da parte líquida	J= 50,000 mm	Largura das chicanas																											
m(FeO3)= 127,235 Kg	Massa da parte Sólida	ms/ps= 0,051 m3	Vol. Solid em susp.																											
Vm= 0,170 m3	Volume em Suspensão	VL= 0,119 m3	Vol. Liquid. Em susp.																											
Zs= 600,00 mm	Altura máxima das partículas em suspensão	mL= 118,396 Kg	Massa liquid em susp																											
g= 9,810 m/s2	Aceleração da gravidade	pm= 1447,900 Kg/m3	Massa esp.susp.																											
Dp= 150,00 mesh	0,104 mm tamanho da partícula sólida	ξm= 0,700	Fração Vol. De líquido																											
η= 92%	Rendimento	ut= 0,009 m/s	Velocidade da suspensão																											
Kt= 6,3	Impelidor Turbina 6 lamina planas - Turbulento	β= 0,567	Admensional																											
Conclusão:		P= 194,93 W	Potência requerida																											
Misturador tipo turbina com 6 pás retas		Pm= 211,88 W	Potencia do Motor																											
Potencia do Motor		n= 9,84 rps	Rotação do Impelidor (Turbulento)																											
Potm= 211.88 W	590.12 rpm	Re= 9.493.72	Re>10000 Número de Reynolds																											
10.36 rpm	Re=10.000		Válido																											

Fonte: Autor, 2020.

4.2.10. Simulação de CFD do agitador utilizando o Ansys Fluent®

Para verificar o dimensionamento da potência de acionamento e dispersão de sólidos da mistura de polpa de minério do agitador / misturador foi realizada análises de CFD (*Computational fluid dynamics*), através do software Ansys Fluent® (DIAS, 2018).

Para aplicação de misturador de polpa de minério de ferro (Água / Minério) um modelo granular euleriano é o mais adequado para modelar o processo de suspensão de partículas (GOHEL ET. AL. ,2012).

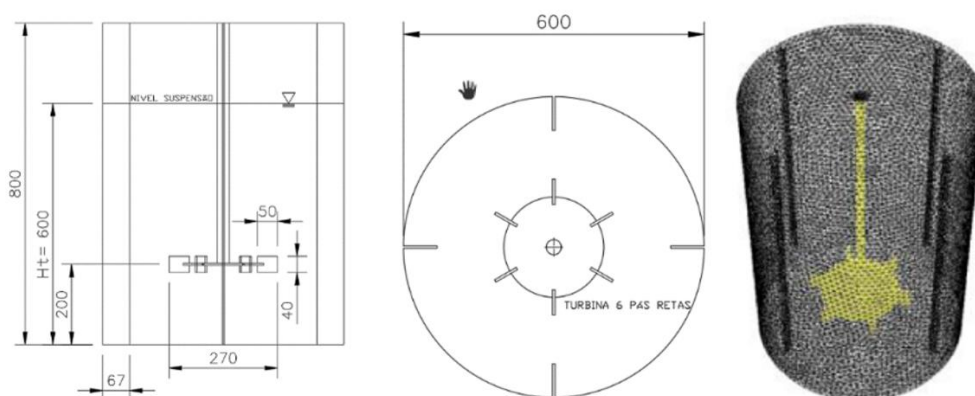
A fase sólida foi composta por partículas de minério de ferro com diâmetro médio nominal de 104 μm e densidade de 2.500 kg / m3. A fase líquida foi água com densidade de 997 kg / m3 e viscosidade de 0,001 Pa-s. Foi simulado concentrações de sólidos de 30% em volume do tanque. Foram impostas três velocidades de rotação ao impelidor com 10, 100 e 400 rpm's em cada analise.

A seguir são apresentadas as premissas para análise de CFD conforme definições apresentadas por: Gohel et. al. (2012), Ding e Gidaspow (1990), (Deutsch e Simonin ,1991) e Dias (2018) para projeto de agitadores e misturadores bifásicos.

1. Análise Transiente;
1. Análise Multifásica granular Euleriano;
 - a. Fase 1 – Água Líquida;
 - b. Fase 2 – Iron Ore;
2. Modelo de viscosidade k e ϵ (Maliska, 2004);
3. Interação entre as fases líquida e sólida;
 - a. Modelo de Arrasto – Gidaspow;
 - b. Dispersão turbulenta – Simonion;
 - c. Interação turbulenta – Simonion et al.

A figura 81 apresenta a geometria do tanque utilizado como modelo para a análise de CFD e malha de volumes finitos divididas em duas áreas uma estática e outra rotacional, bem como o refinamento de malha conforme indicado por Versteeg e Malalasekera, (2007).

Figura 84– Representação esquemática tanque misturador e malha de CFD.

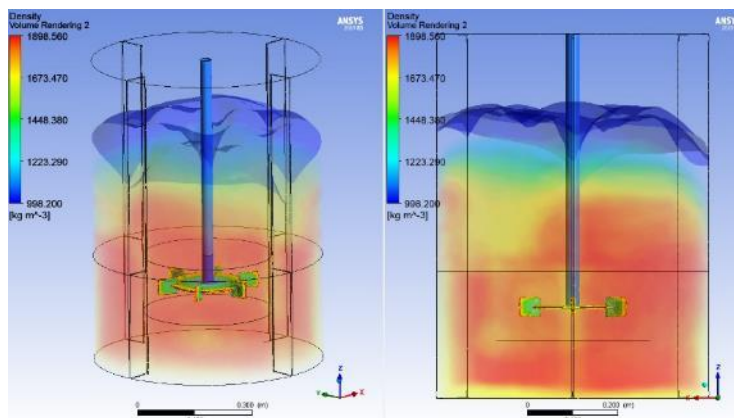


Fonte: Autor, 2020.

As figuras 85, a 87 apresentam as imagens dos resultados da simulação de CFD – Fluent® para o impelidor a 10 rpm's tais como, densidade da mistura, fração

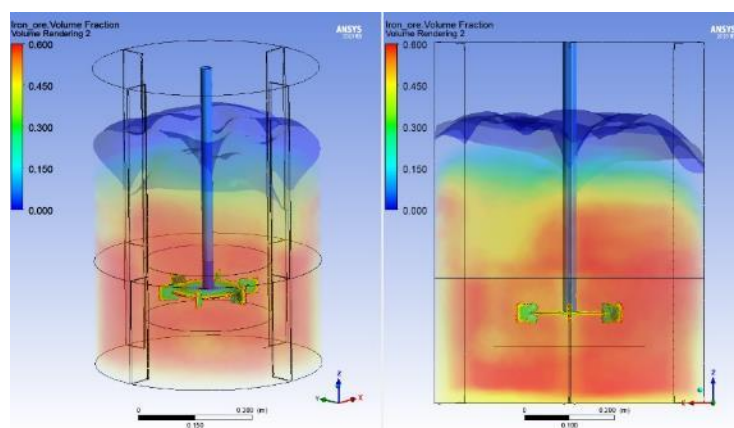
de volume de sólidos e distribuição de velocidades seguindo-se as etapas do processo indicadas por Torotwa e Ji ,(2018).

Figura 85– Densidade da Mistura – 10rpm.



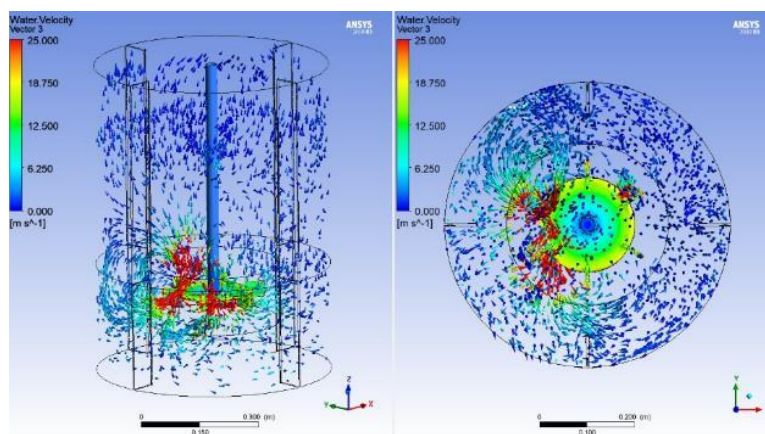
Fonte: Autor, 2020.

Figura 86 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 10rpm.



Fonte: Autor, 2020.

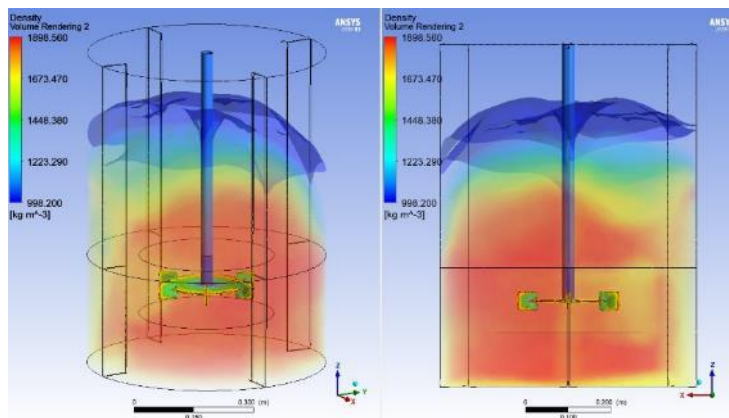
Figura 87– Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 10rpm.



Fonte: Autor, 2020.

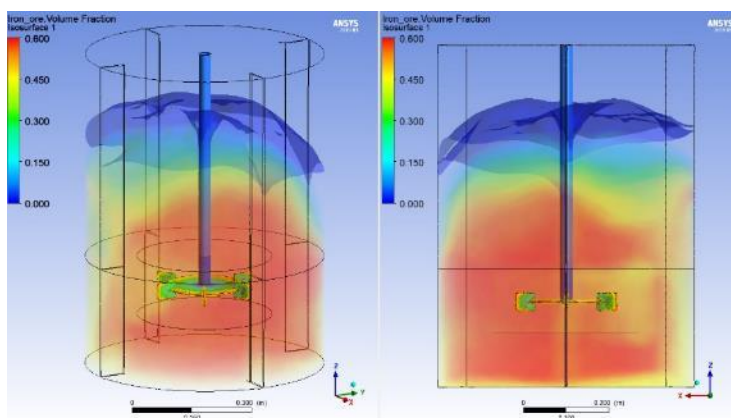
As figuras 88, a 90 apresentam as imagens dos resultados da simulação de CFD – Fluent® para o impelidor a 100 rpm's tais como, densidade da mistura, fração de volume de sólidos e distribuição de velocidades Torotwa e Ji ,(2018).

Figura 88 – Densidade da Mistura – 100rpm.



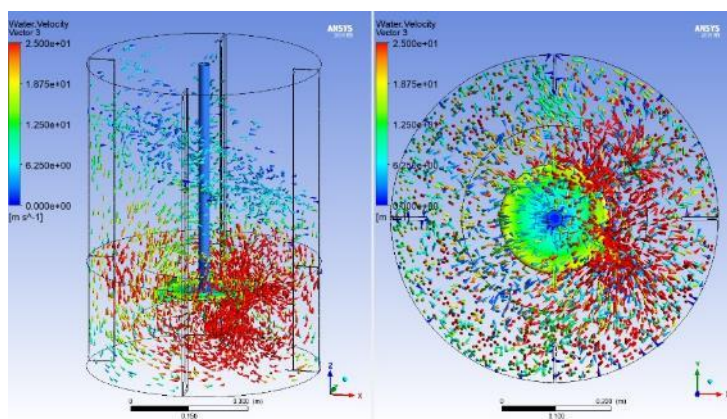
Fonte: Autor, 2020.

Figura 89 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 100rpm.



Fonte: Autor, 2020.

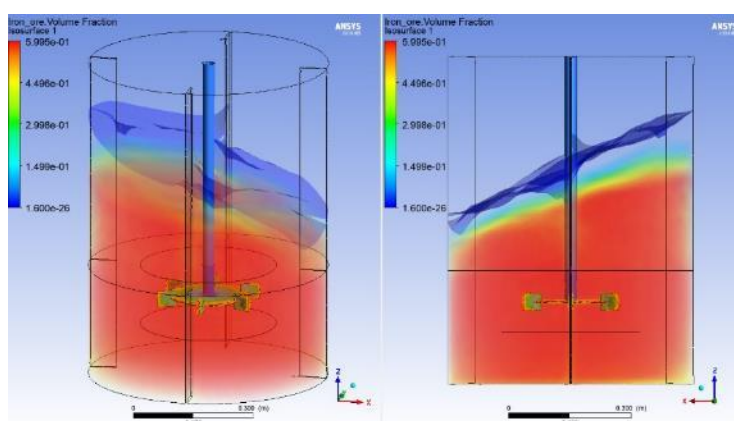
Figura 90 – Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 100rpm.



Fonte: Autor, 2020.

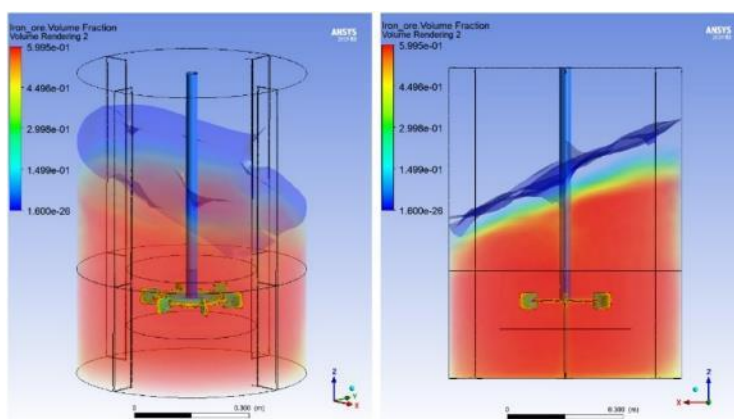
As figuras 91, a 93 apresentam as imagens dos resultados da simulação de CFD – Fluent® para o impelidor a 400 rpm's tais como, densidade da mistura, fração de volume de sólidos e distribuição de velocidades Torotwa e Ji ,(2018).

Figura 91– Densidade da Mistura – 400rpm.



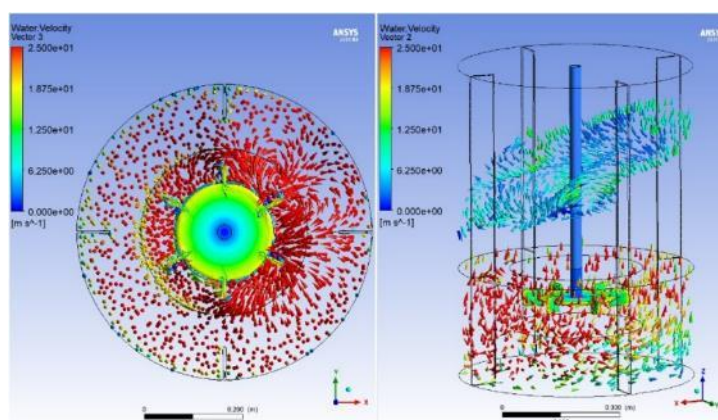
Fonte: Autor, 2020.

Figura 92 – Fração de volume fase 2 (sólidos) – 400rpm.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 93 – Distribuição de velocidades fase 1 (Água) – 400rpm.



Fonte: Autor, 2020.

Após cada análise de CFD fluent foi obtida através da calculadora do software os valores de torque no eixo do impelidor para o cálculo da potência requerida pelo processo de mistura. A tabela 14 apresenta os cálculos de potência, a partir dos troques obtidos.

Tabela 13– Potência, a partir dos troques obtidos em cada análise de CFD.

Potência Impeller 10 rpm			Potência Impeller 100 rpm		
Torque	2,92	Nm	Torque	3,50	Nm
Potência	3,05	W	Potência	36,64	W
Rotação	10,00	rpm	Rotação	100,00	rpm

Potência Impeller 400 rpm		
Torque	3,56	Nm
Potência	149,27	W
Rotação	400,00	rpm

Fonte: Autor, 2020.

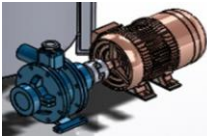
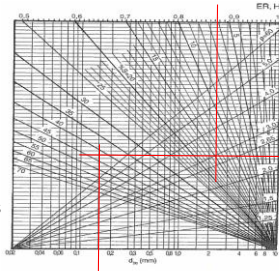
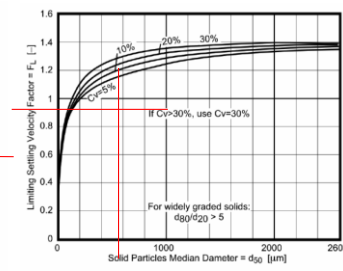
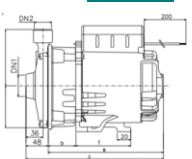
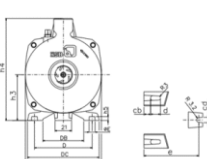
Analisando-se o resultado dos valores obtidos no método analítico pode-se observar que os valores de potência estão bem próximos aos obtido em CFD, comparando-se os resultados com rotação de 400 rpm, a potência requerida pelo método analítico foi de 211 W, pela simulação de CFD o valor obtido foi de 149 W. As alturas de dispersão de sólidos os casos analisados nas rotações de 10, 100 e 400 rpm, foram de 550mm, 598mm e 667mm respectivamente, contra 600mm calculado a uma rotação de 590rpm resultados semelhantes foram observados por Gohel et. al., (2012) em seus estudos.

Utilizando-se a equação 38, o valor de 10,36 rpm foi obtido que mantém o regime de mistura turbulento ($Re > 10.000$) (PEREIRA, 2016).

4.2.11. Bomba para sistema de aspersão

Para a avaliação do sistema de vedação do rolete de teste é necessário que o sistema de aspersão de fluido possua uma vazão constante nos bicos que direcionam os jatos para os rolamentos afim avaliar a integridade de tais vedações, para tanto, foi dimensionado um sistema de bombeamento e dutos entre o tanque de mistura e os bicos de aspersão. A metodologia adotada foi baseada no dimensionamento de bombas de polpa apresentados no Slurry pumping manual da Weir / Warmman (SILVA, 2011). A figura 94 apresenta a planilha de cálculo com o dimensionamento da bomba de polpa. A revisão bibliográfica presente no capítulo 2 desta obra apresenta as equações e demais referencias que foram usadas no devido dimensionamento da bomba do sistema de aspersão.

Figura 94– Planilha de cálculos - dimensionamento bomba centrífuga.

DIMENSIONAMENTO BOMBA DE POLPA							
FORMULÁRIO - FONTE WARMAN							
GRAVIDADE ESPECÍFICA (DENSIDADE) DA POLPA $S_m = SL + \frac{C_v}{100} (S - SL)$ $S_m = \frac{SL}{1 - \left[\frac{C_w}{100} (S - SL) / S \right]}$		POTENCIA DA BOMBA $P = \frac{Q \cdot H_m \cdot S_m}{100 \cdot \text{em}} (KW)$ $P = \frac{Q \cdot H_m \cdot S_m}{100 \cdot \text{ew}} (KW) - (\text{quando } HR=ER)$			PERDA DE CARGA $H_f = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g}$ ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL $HM = H_f + HL + H$		
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS $C_v = \frac{(S_m - SL)}{(S - SL)} \cdot 100 (\%)$ $C_w = \frac{C_v \cdot S}{(S_m)} (\%)$ $C_w = \frac{C}{S_m \cdot 10} (\%)$		VELOCIDADE DE ASSENTAMENTO $V_L = F_L \sqrt{2gD \frac{(S - S_L)}{S_L}}$			RAZÃO DE ALTURA E EFICIÊNCIA $HR = \frac{H_m}{H_w} \text{ OU } ER = \frac{E_m}{E_w}$		
VAZÃO DA POLPA $Q = \frac{M \cdot 1000}{3,6 \cdot C} (l/s)$		LEGENDA: Sm=Peso Específico da Polpa SL=Peso específico líquido S=Peso Específico do sólido Cv Concentração por volume Cw Concentração por peso M= Massa de sólidos bombeada C=Concentração de sólidos D=Diâmetro da tubulação VL = velocidade de assentamento em m/s FL = fator tamanho e concentração dos sólidos g = aceleração da gravidade – m/s2 d=Diâmetro da partícula Q = vazão em l/s Hm = altura manométrica total (polpa) - m Em = eficiência - polpa Ew = eficiência - água Hw = altura manométrica total - água HR = razão de altura ER = razão de eficiência Vt= Volume do Tanque f=Fator de atrito de Darcy					
VELOCIDADE MÉDIA DE FLUXO $V = \frac{1273 \cdot Q}{d^2} (l/s)$							
DADOS DE ENTRADA							
Vt=	169,646	Cm3	Volume do tanque	 			
Cw=	15	%	Concentração por peso				
H=	1	m	Altura geométrica				
S=	2,5	g/Cm3	Peso Específico do sólido				
SL=	1	g/Cm3	Peso específico líquido				
C=	0,417065	%	Concentração de sólidos				
Q=	0,57	l/s	Vazão				
D=	21	mm	Diâmetro interno da tubulação				
FL	0,9		fator tamanho e conc. dos sólidos				
g=	9,81	m/s2	Aceleração da gravidade				
f=	0,02		Fator de atrito				
L=	8	m	Comp tubulação				
η=	90%		Rendimento do motor elétrico da bomba				
DADOS DE SAÍDA							
Sm=	1,099	g/Cm3	Peso Específico da Polpa	BOMBA SELECIONADA - VER CATÁLOGO - APÊNDICES FABRICANTE: KSB HM=23 A 31 MCA MODELO : Hydrobloc C 1000 N/I Q= 11,0 A 0,5 M3/H POTÊNCIA: 1 CV Corpo e Rotor em Ferro Fundido  			
CV=	6,593	%	Concentração por volume				
V=	1,632	m/s	Velocidade da polpa				
VL	0,708	m/s	Velocidade de assentamento, VL<V				
HF	2,069	m	Perda de Carga				
HL=	3,743		Perda de Carga localizadas				
Hm=	6,812	m	Altura manométrica total				
HR=ER=	0,87						
Hw=	7,83	m	Altura manométrica total água				
EM=	6,81	m	Altura manométrica total água				
Pm=	7,1824	W	0,0058 CV	Bomba afogada NPSH - Não avaliado.			
PERDAS LOCALIZADAS							
	0,02	fator de atrito - consulte acima - [f laminar ou f turbulento]					
	1,632	velocidade m/s					
TIPO DE ACESSÓRIO	Le/D	D - m	m equiv	qtd	total - m	m/s	HL
válvula gaveta aberta	8	0,025	0,2		0	1,6323	0,000
válvula globo aberta	340	0,025	8,5		0	1,6323	0,000
válvula angular aberta	150	0,025	3,75		0	1,6323	0,000
válvula de esfera aberta	3	0,025	0,075	6	0,45	1,6323	0,049
valv. retenção - tipo globo - aberta	600	0,025	15	1	15	1,6323	1,630
valv. retenção - angular - aberta	55	0,025	1,375		0	1,6323	0,000
valv. De pé com crivo disco móvel	420	0,025	10,5		0	1,6323	0,000
valv. De pé crivo disco articulado	75	0,025	1,875		0	1,6323	0,000
cotovelo padronizado - 90º	30	0,025	0,75	22	16,5	1,6323	1,793
cotovelo padronizado - 45º	16	0,025	0,4		0	1,6323	0,000
curva em U apertada	50	0,025	1,25		0	1,6323	0,000
tê padronizado - fluxo direto	20	0,025	0,5	5	2,5	1,6323	0,272
tê padronizado - ramal	60	0,025	1,5		0	1,6323	0,000
totais			m linear equivalente		34,5	mc	3,7

Fonte: Autor, 2020.

Após dimensionamento apresentado na planilha da figura 94 verificou-se que os valores de vazão e altura manométrica total eram bem abaixo dos padrões de bombas de polpa industriais, não sendo necessário uma bomba tão robusta conforme indicado por Estevam (2017), apresentando rotores de NiHard e ou revestidos com borrachas. Desta forma foi escolhida a bomba Hydrobloc C 1000 do fabricante KSB, com corpo e rotor aberto em ferro fundido, rotor aberto. Os dados desta bomba podem ser observados no anexo A desta obra.

4.3 PROJETO DETALHADO PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM.

O Detalhamento dos desenhos/ documentos do projeto da bancada foi dividido em disciplinas/áreas do conhecimento e numerados conforme procedimentos internos da engenharia de projetos da mineradora alvo deste trabalho, foram gerados 56 documentos entre desenhos, cronogramas, lista de materiais e especificações técnicas, divididos nas disciplinas de:

1. Planejamento e controle;
2. Mecânica;
3. Metálica;
4. Elétrica;
5. Instrumentação.

As tabelas de 15 a 19 apresentam a lista de documentos do projeto detalhado da bancada.

Tabela 14– Lista de documentos da disciplina planejamento e controle.

PROJETO DETALHADO BANCADA DE TESTE DE ROLOS LISTA DE DESENHOS E DOCUMENTOS		
TE - TIPO DE EMISSÃO: A - PRELIMINAR C - PARA E - PARA CONSTRUÇÃO B - PARA APROVAÇÃO D - PARA F - CONFORME COMPRADO		
Nº CONTRATADA	CÓDIGO DE ATIVIDADE	TÍTULO
		PLANEJAMENTO E CONTROLE
VM2401-S-K-LD-1200-0001		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALLISTA DE DOCUMENTOS
VM2401-S-K-CR-1200-0001		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTECRONOGRAMA FÍSICO DO PROJETO

Fonte: Autor, 2020

Tabela 15 – Lista de documentos da disciplina mecânica.

PROJETO DETALHADO BANCADA DE TESTE DE ROLOS LISTA DE DESENHOS E DOCUMENTOS		
TE - TIPO DE EMISSÃO: A - PRELIMINAR C - PARA E - PARA CONSTRUÇÃO B - PARA APROVAÇÃO D - PARA F - CONFORME COMPRADO		
Nº CONTRATADA	CÓDIGO DE ATIVIDADE	TÍTULO
		MECÂNICA
VM2401-5-M-MD-1200-0001	A.1	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALFUNCIONAMENTO E OPERAÇÃO DO SISTEMAMEMORIAL DESCRITIVO
VM2401-5-M-DE-1200-0001	A.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTEDIAGRAMA DE MONTAGEM
VM2401-5-M-DE-1200-0002	A.3	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALACIONAMENTO RODA BORRACHA - SUBCONJUNTO DE MONTAGEMDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0003	A.4	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBASE DO ACIONAMENTO 1DETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0004	A.4	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBASE DO ACIONAMENTO 2DETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0005	A.5	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALSUPORTE CUBO GUIADETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0006	A.6	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALCUBO GUIADETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0007	A.7	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALRODA DE BORRACHA - SUBCONJUNTO DE MONTAGEMDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0008	A.8	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALRODADETALHES
VM2401-5-M-DE-1200-0009	A.9	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALEIXO FIXODETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0010	A.10	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALPOLIADETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0011	A.11	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALCÉLULA DO CILINDRO - SUBCONJUNTO DE MONTAGEMDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0012	A.12	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALSUPORTE CILINDRO 1DETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0013	A.12	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALSUPORTE CILINDRO 2DETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0014	A.13	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERMESA APOIO BASE MÓVEL DETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0015	A.14	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBASE ROLO MÓVEL- CONJUNTO DE MONTAGEMDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0016	A.15	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBASE PRINCIPALDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0017	A.16	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALSUPORTE ROLO DE CARGA E ROLO MÓVELDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0018	A.17	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALVOLANTE E CUBO GUIADETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0019	A.18	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALPROTEÇÃO DA CORREIADETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0020	A.19	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALTANQUE AGITADOR - CONJUNTO DE MONTAGEMDETALHE
VM2401-5-M-DE-1200-0021	A.20	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALTANQUE AGITADOR - DETALHES 1
VM2401-5-M-DE-1200-0022	A.20	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALTANQUE AGITADOR - DETALHES 2
VM2401-5-M-LM-1200-0001	A.21	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTELISTA DE MATERIAIS
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDOCUMENTO RESERVA
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO RESERVA 1
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO RESERVA 2

Fonte: Autor, 2020

Tabela 16 – Lista de documentos da disciplina metálica.

PROJETO DETALHADO BANCADA DE TESTE DE ROLOS LISTA DE DESENHOS E DOCUMENTOS		
TE - TIPO DE EMISSÃO: A - PRELIMINAR C - PARA E - PARA CONSTRUÇÃO B - PARA APROVAÇÃO D - PARA F - CONFORME COMPRADO		
Nº CONTRATADA	CÓDIGO DE ATIVIDADE	TÍTULO
		METÁLICA
VM2401-5-S-DE-1200-0001	B.1	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTEDIAGRAMA DE MONTAGEM
VM2401-5-S-DE-1200-0002	B.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHOS DE DETALHAMENTO 1DETALHE
VM2401-5-S-DE-1200-0003	B.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHOS DE DETALHAMENTO 2DETALHE
VM2401-5-S-DE-1200-0004	B.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHOS DE DETALHAMENTO 3DETALHE
VM2401-5-S-LM-1200-0001	B.3	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTELISTA DE MATERIAIS
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHOS RESERVA

Fonte: Autor, 2020

Tabela 17 – Lista de documentos da disciplina elétrica.

PROJETO DETALHADO		
BANCADA DE TESTE DE ROLOS		
LISTA DE DESENHOS E DOCUMENTOS		
TE - TIPO DE EMISSÃO: A - PRELIMINAR C - PARA E - PARA CONSTRUÇÃO B - PARA APROVAÇÃO D - PARA F - CONFORME COMPRADO		
Nº CONTRATADA	CÓDIGO DE ATIVIDADE	TÍTULO
		ELÉTRICA
VM2401-5-E-MD-1200-0001	C.1	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALFUNCIONAMENTO E OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTOMEMORIAL DESCRITIVO
VM2401-5-E-DG-1200-0001	C.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHOS DE DETALHAMENTODETALHE
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBANCADA DE TESTE DE ROLOS DOCUMENTO RESERVA
VM2401-5-E-MC-1200-0001	C.4	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALLISTA DE CARGAMEMÓRIA DE CALCULO
VM2401-5-E-ET-1200-0001	C.5	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALPAINEIS ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
VM2401-5-E-ET-1200-0002	C.6	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALMOTORES ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
VM2401-5-E-ET-1200-0003	C.7	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINVERSOSESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
VM2401-5-E-FD-1200-0001	C.8	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINVERSOSESFOLHA DE DADOS
VM2401-5-E-FD-1200-0002	C.9	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALPAINEISFOLHA DE DADOS
VM2401-5-E-FD-1200-0003	C.10	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALMOTORESFOLHA DE DADOS
VM2401-5-E-DG-1200-0002	C.11	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO DE INSTALAÇÃO DE ELÉTRICAPLANTA
VM2401-5-E-DG-1200-0003	C.12	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO DE INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTOSPLANTA
VM2401-5-E-DG-1200-0004	C.13	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO DE INSTALAÇÃO DE ATERRAMENTOPLANTA
VM2401-5-E-DG-1200-0005	C.14	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDESENHO DE INSTALAÇÃO DE ILUMINAÇÃOPLANTA
VM2401-5-E-DT-1200-0001	C.15	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTALAÇÃO ELÉTRICADETALHES TÍPICOS
VM2401-5-E-DT-1200-0002	C.16	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTALAÇÃO DE INSTRUMENTOS DETALHES TÍPICOS
VM2401-5-E-DT-1200-0003	C.17	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTALAÇÃO DE ATERRAMENTODETALHES TÍPICOS
VM2401-5-E-DT-1200-0004	C.18	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTALAÇÃO DE ILUMINAÇÃODETALHES TÍPICOS
VM2401-5-E-LM-1200-0001	C.19	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALATERRAMENTOLISTA DE MATERIAL
VM2401-5-E-LM-1200-0002	C.20	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALILUMINAÇÃOOLISTA DE MATERIAL
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBANCADA DE TESTE DE ROLOS DOCUMENTO RESERVA
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBANCADA DE TESTE DE ROLOS DESENHO RESERVA

Fonte: Autor, 2020

Tabela 18 – Lista de documentos da disciplina instrumentação.

PROJETO DETALHADO		
BANCADA DE TESTE DE ROLOS		
LISTA DE DESENHOS E DOCUMENTOS		
TE - TIPO DE EMISSÃO: A - PRELIMINAR C - PARA E - PARA CONSTRUÇÃO B - PARA APROVAÇÃO D - PARA F - CONFORME COMPRADO		
Nº CONTRATADA	CÓDIGO DE ATIVIDADE	TÍTULO
		INSTRUMENTAÇÃO
VM2401-5-I-MD-1200-0001	D.1	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALFUNCIONAMENTO E OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTOMEMORIAL DESCRITIVO
VM2401-5-I-LI-1200-0001	D.2	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTELISTA DE INSTRUMENTOS
VM2401-5-I-FD-1200-0001	D.3	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTRUMENTOSFOLHA DE DADOS
VM2401-5-I-LCA-1200-0001	D.4	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTELISTA DE CABOS
VM2401-5-I-LM-1200-0001	D.5	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALINSTRUMENTAÇÃO E CONTROLELISTA DE MATERIAL
VM2401-5-I-DI-1200-0001	D.6	PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALDETALHAMENTO DA BANCADA DE TESTEDIAGRAMA DE INTERLIGAÇÃO
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBANCADA DE TESTE DE ROLOS DOCUMENTO RESERVA
		PROJETO DETALHADOBRITAGEM - GERALBANCADA DE TESTE DE ROLOS DESENHO RESERVA

Fonte: Autor, 2020

Os desenhos de projetos detalhado para fabricação e montagem estão disponíveis nos anexos desta obra.

4.4 DESCRITIVO OPERACIONAL DA BANCADA DE TESTE DE ROLETES

Após a fabricação e montagem da bancada de teste, a mesma será instalada no laboratório de testes e ensaios, da engenharia de manutenção, onde serão realizados os ensaios de vida acelerada e testes de vedação. Para a validação do projeto da bancada. Serão reproduzidos os esforços dinâmicos baseados nas aplicações mais agressivas de carga e sujidade das áreas de mineração, tais como, transportadores de mina, britagens, peneiramentos e pátios de estocagem / expedição, afim de reproduzir os modos de falha conhecidos e então calibrar a bancada. A bancada foi projetada para testar três roletes de carga simultaneamente o procedimento operacional e funcionamento serão descritos a seguir baseados no procedimento da bancada da (ABNT NBR 16139, 2013).

Antes do início dos testes deve-se:

1. Verificar os instrumentos e sistemas elétricos antes da execução dos ensaios realizar teste em vazio (sem o rolo de teste), para verificar o funcionamento dos sistemas;
 - a. Ajustar inversores de frequências para rotação de 600 rpm e ligar os motores, verificar rotação;
 - b. Ligar o agitador para verificar estado de funcionamento;
 - c. Verificar válvulas e bicos injetores do sistema de aspersão:
 - i. Abrir todas as válvulas do sistema de vedação;
 - ii. Direcionar os bicos injetores para o lado oposto ao normal de funcionamento, afim de evitar respingos nos suportes dos roletes;
 - iii. Acionar bomba do sistema de aspersão, ajustar válvulas para vazão mínima.
 - d. Girar os volantes das guias e fuso individualmente para checar estado de deslizamento livre;
 - e. Testar cilindros hidráulicos,
 - i. Atuar na bomba hidráulica e verificar deslocamento do embolo, após teste manter embolo na posição retraído.

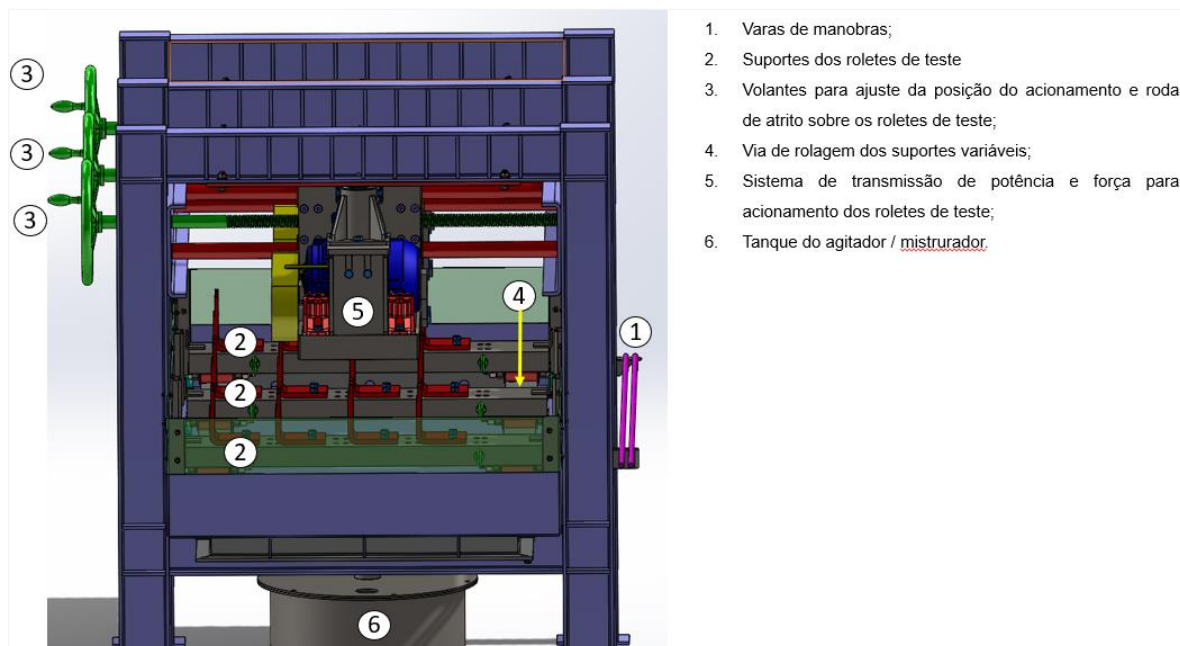
Após os testes em vazio para início dos testes deve-se:

1. Através da parte frontal da bancada puxar o suporte móvel do primeiro rolete de com uso de vara de manobra e olhais dos suportes (a vara de manobra fica posicionada na lateral direita da bancada a partir da posição frontal (Ver figura 4.9);
2. Retirar os dois primeiros suportes dos roletes de teste, um após o outro deslocando-os sobre a viga da via de rolagem da bancada;
3. Manter terceiro suporte do rolete de teste na via de rolagem e colocar um rolete de teste previamente selecionado;
4. Substituir, se necessário, o encaixe do suporte de acordo o rolete selecionado para o teste;
5. Ajustar posição distância entre centros de encaixe, nos suportes de acordo com o rolete a ser testado;
6. Após posicionar o rolete nos encaixes utilizar vara de manobra para empurrar o suporte, com o rolete de teste montado, até sua posição abaixo da roda do mecanismo de acionamento posição 3 (há um encaixe na via de rolagem para o posicionamento de cada suporte abaixo de cada acionamento), ver figura 4.10;
7. Colocar parafuso de trava nos suportes de teste para evitar que o mesmo se desloque durante a aplicação do carregamento e rotações;
8. Utilizar o passo anterior para carregar o segundo e primeiro suportes, posicionando-os em suas respectivas posições nos acionamentos 2 e 1, colocar os parafusos de trava;
9. Aplicar leve pressão nas bombas hidráulicas dos cilindros para vencer a força das molas dos mecanismos dos acionamentos, fazendo a roda de atrito pressionar o corpo do rolete de teste;
10. Mover os volantes dos fusos dos guias lineares para posicionar axialmente a roda de atrito do rolete de teste, caso o teste seja para verificar os efeitos do desalinhamento de carga posicionar o mecanismo de acordo com plano de teste. Caso não manter mecanismo na posição central do rolete de teste;
11. Ligar os inversoras para ligar os motores dos roletes de teste;
12. Verificar rotação dos roletes (600 rpm);

13. Aplicar carga aos roletes de teste através dos cilindros hidráulicos, acompanhar valor pelas células de carga e painel de leitura (balança), manter valor de acordo com plano de teste;
14. Ligar agitador e carregar o tanque com uma mistura de polpa de minério de ferro com 15% de pellet feed (minério de ferro menor que 0,105mm);
15. Direcionar bicos injetores do sistema de aspersão para as vedações dos rolamentos dos roletes de teste;
16. Ligar bomba do sistema de aspersão;
17. Ajustar válvulas mantendo o fluxo de polpa direcionado para a vedação com vazão adequada para não gerar respingos em todas as direções, velocidade do fluxo sugerido entorno de 1m/s.
18. Executar a leitura de vibração, rotação, força, temperatura, vazão através do sistema e plotar gráficos de acordo com plano de teste.
19. Após tempo de teste realizado, desligar a bomba, o agitador, desligar os motores, retirar a carga dos cilindros hidráulicos.
20. Retirar os roletes na sequência inversa do procedimento dos passos 6 e 7;
21. Desligar o quadro geral;
22. Executar a limpeza de toda a bancada.

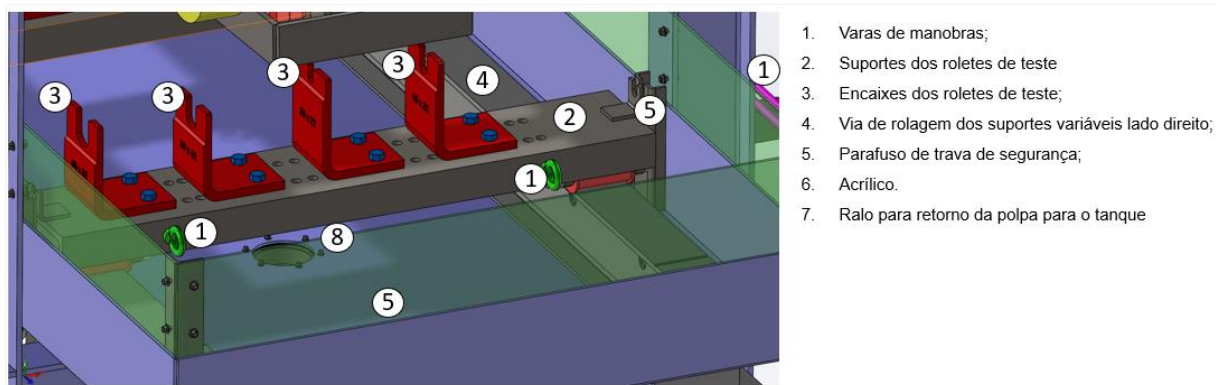
Fim do procedimento.

Figura 95– Imagem da parte frontal da bancada posição de entrada e saída dos roletes de teste.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 96 – suporte de rolete e seus componentes.



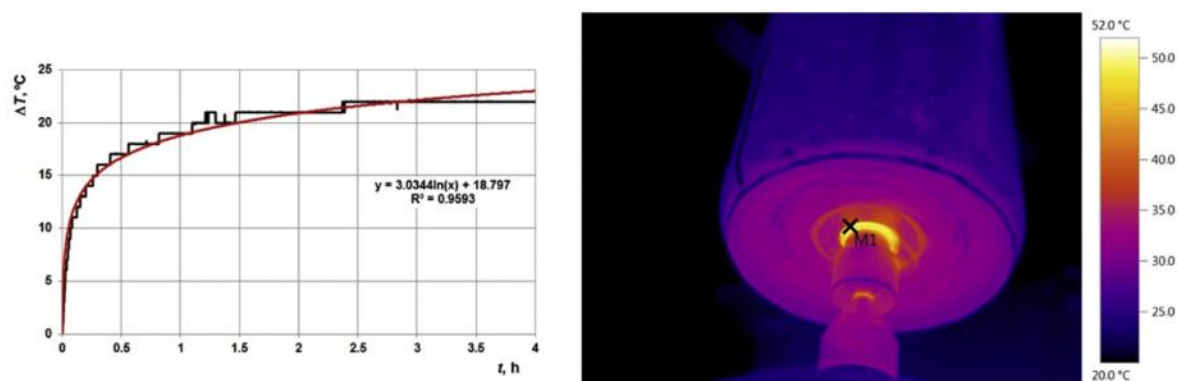
Fonte: Autor, 2020.

4.5 DADOS DE SAÍDA ESPERADOS COM O USO DA BANCADA

O principal resultado a ser obtido com o uso da bancada será a vida média dos roletes testados, com base no ensaio acelerada, pela resposta das análises estatísticas dos dados de saída da bancada e imputados so Weibull ++ ALTA da Reliasoft. Porém as análises de vibração, temperatura e rotação servirão de base para a predição da falha dos rolamentos dos rolos. De acordo Andrzej Pytlik et al

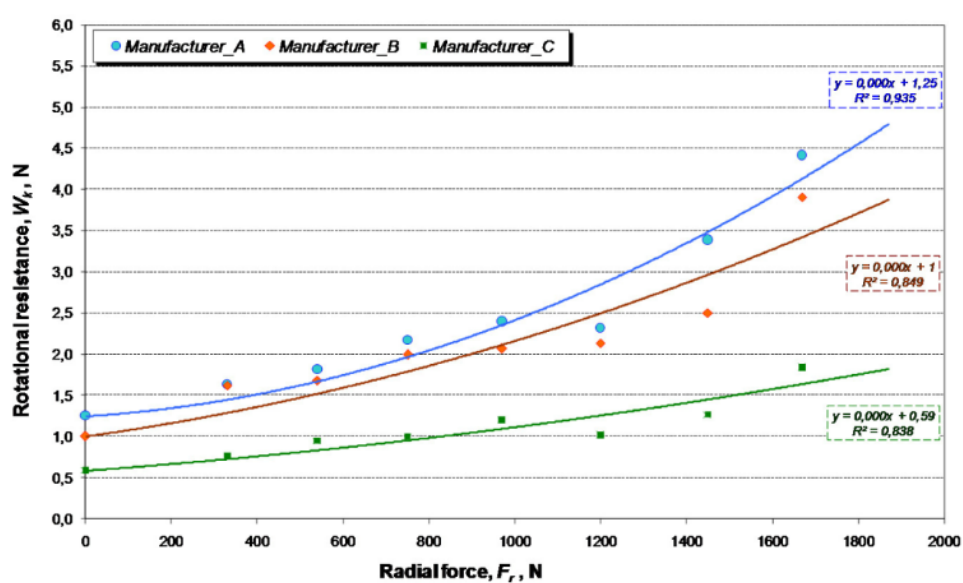
(2016) e Yan Lu, Qing Li, (2019) é possível obter resultados, como apresentado nas imagens de 97 a 100.

Figura 97 – Exemplo: Curva de temperatura no labirinto do rolamento de um rolete Ø133 x 465 submetido a uma força de $F = 1.5 \text{ kN}$.



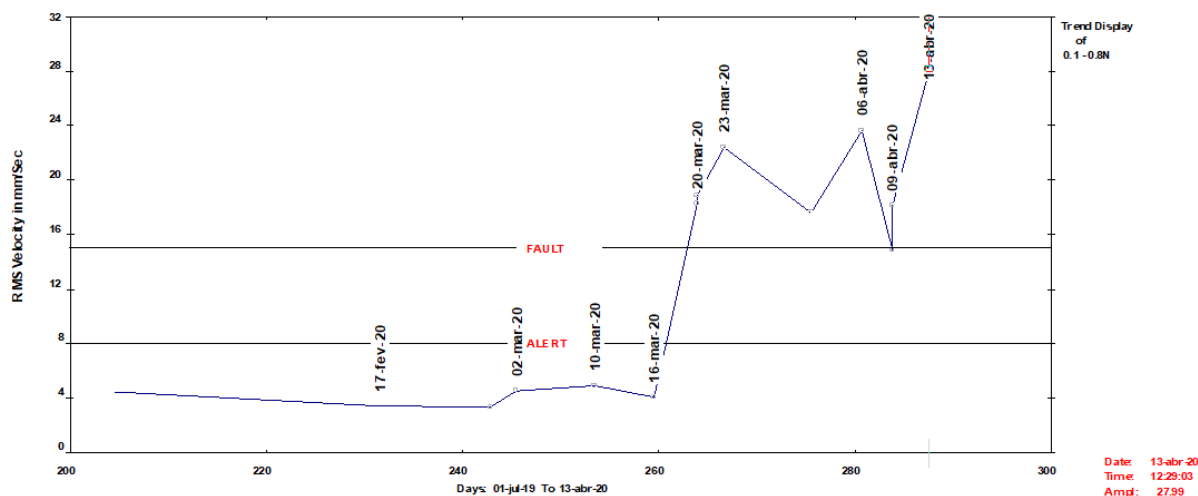
Fonte: Andrzej Pytlik et al (2016).

Figura 98– Exemplo: Curva de resistência rotacional pela força radial aplicada aos roletes de três fabricantes.



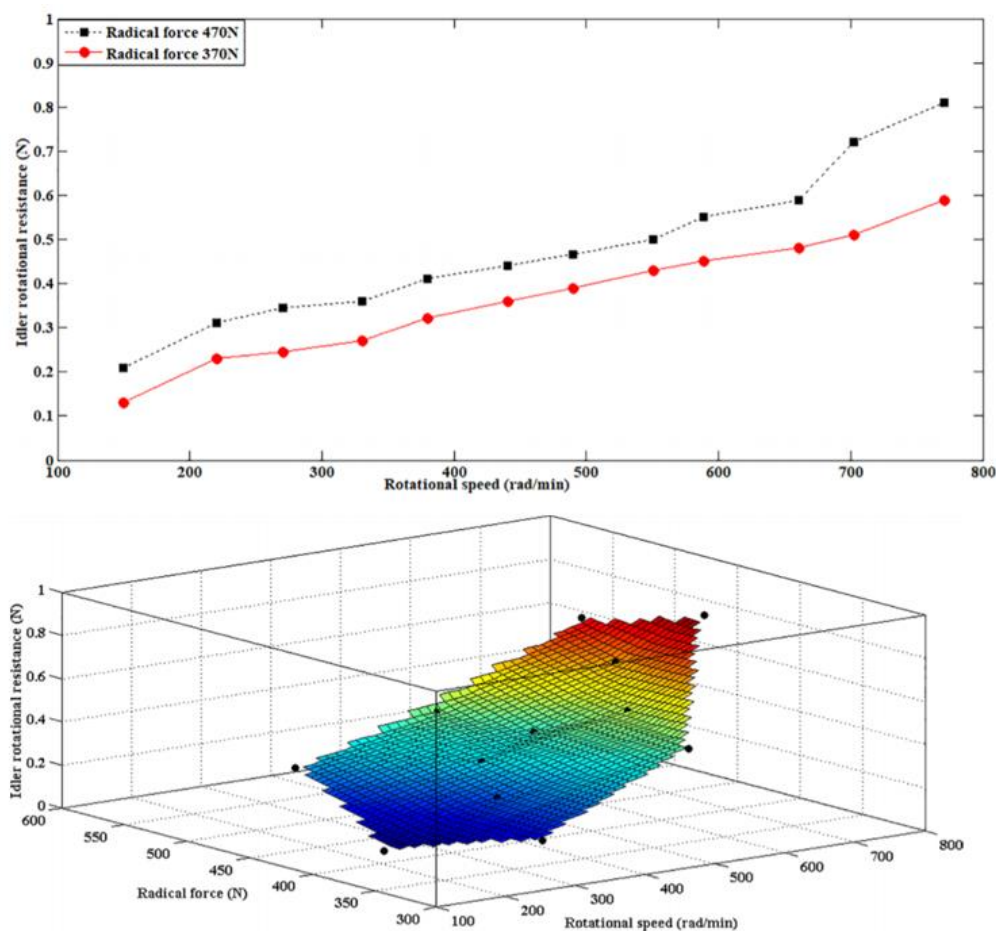
Fonte: Andrzej Pytlik et al (2016).

Figura 99– Exemplo: Curva de análise de vibração em rolamentos apresentando níveis de falha na frequência de 7,2Hz.



Fonte: Autor, 2019

Figura 100– Exemplo: Curva de Resistência rotacional do rolete de teste sobre velocidade de rotação e força radical.



Fonte: Yan Lu, Qing Li, 2019.

5 CONCLUSÕES

Concluo que este trabalho atingiu o proposito definido nos objetivos gerais apresentados no capítulo 1 item 1.1, que foi desenvolver o projeto de uma bancada de teste para roletes de carga de correias transportadoras a fim de determinar, por meio de ensaios acelerados, a vida média, qualidade das vedações dos rolamentos e resistência mecânica da carcaça dos roletes em teste. Os objetivos específicos foram atendidos como premissas e podem ser vistos no capítulo 3 e 4 desta obra.

Foi dimensionado, projetado e detalhado para fabricação os seguintes sistemas:

1. Estrutura em forma de bancada com suportes para instalação de três roletes de carga de transportadoras de correias para larguras de 1000, 1200, 1600, 1800 e 2200mm.
2. Sistema de acionamento para aplicar rotação, através de motores elétricos com uma roda de atrito capaz de acoplar a rotação do motor aos roletes de teste;
3. Dispositivos/mecanismos para aplicar carga/força em cada rolete individualmente com variação de posição axial para simular desalinhamento da correia em campo;
4. Sistema de aspersão com agitador/misturador de uma mistura de água com minério de ferro (polpa de minério com), para teste da vedação dos roletes;
5. Sistema elétrico e instrumentação alimentação elétrica, medição e controle de valores a serem medidos durante os testes tais como, vibração com acelerômetros e ou analisador de vibração (preditiva da engenharia de manutenção), rotação, carga / força através de cilindro hidráulico e temperatura dos roletes em teste.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros para melhoria continua dos processos, projetos e funcionalidades da bancada de teste e ensaios de rolos sugere-se:

Reproduzir o efeito de falha em rolamentos em um dos lados dos roletes de teste para validar o modo de falha desalinhamento da correia durante serviço. Para validar/ calibrar a funcionalidade da carga descentralizada sobre o rolete de teste. Escrever artigo com a validação;

Desenvolver softwares supervisor e sistema de aquisição de dados (monitoramento on line), para automatização da coleta de dados dos ensaios;

Instalar nos encaixes das pontas de eixo dos roletes de teste, células de carga e sensores do tipo stain gage, capazes de realizar a medição do torque no eixo do rolete e consequentemente a resistência a rotação conforme pesquisa da bancada dos artigos dos autores Gładysiewicz et al, (2011); Robert Król et al, (2015) e Yan Lu et al ,(2019)

7 REFERÊNCIAS

7.1 REFERÊNCIAS NOMINAIS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6177 - Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Terminologia. São Paulo, 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6678 - Transportadores contínuos - Transportadores de correia – Roletes-Projeto, Seleção e Padronização São Paulo, 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto São Paulo, 2008. pp117.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 61139 - Transportadores de correias — Procedimento para ensaio dinâmico para rolos de carga — Método de ensaio. São Paulo, 2013.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos Finitos: A base da tecnologia CAE**. 1. ed. São Paulo, SP: Érica, 2000.

AZEVEDO, Flávio de Oliveira Domingos. **Análise estrutural com Ansys Workbench: Static Structural**. Mogi das Cruzes - SP, 2015.

ANSYS **Fluent User Guide**. 2017, Available online: http://www.ansys.fem.ir/ansys_fluent (acessado em abril de 2020).

7º Anuário Mineral do Pará. Sindicato das industriais minerais do estado do Pará. SIMINERAL, 2018.

8º Anuário Mineral do Pará. Sindicato das industriais minerais do estado do Pará. SIMINERAL, 2019.

BATHE, K. J. **Finite Element Procedures**. Cambridge, MA: Klaus-Jürgen Bathe, 2006.

CARLESSO, Jean Leonel. **Análise Estrutural de um Chassi de Protótipo de Eficiência Energética Pelo Método dos Elementos Finitos**. Pato Branco - PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

CAMPOS, André Luiz. **Dimensionamento de um transportador contínuo para o transporte de minério de bauxita considerando aspectos estáticos e dinâmicos**. - Brasília: Universidade de Brasília – UnB, 2013.

ÇENGEL Y.A; Cimbala, J.M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 3.ed. Porto Alegre - RS: AMGH Editora, 2015.

CEMA – **Conveyor Equipment Manufacturers Association**, 2007, “Belt Conveyors for Bulk Materials”, Vol. 1, Flórida, Estados Unidos da América, pp. 2, 95-104.

Dias, Ederlan Fim. **Estudo de Otimização Geométrica de Pás de um Reator CSTR em seu Processo de Agitação Mecânica da Mistura Reacional**. Ponta Grossa-PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

ESTEVAM, Marcelo Almeida. **Análise de desempenho de bombas Hidráulicas Operando com Rotores de Disco para Diferentes Concentrações de polpa**. Uberlândia – MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

E. Deutsch ; O. Simonin, “Large eddy simulation applied to the motion of particles in stationary homogeneous fluid turbulence,” in **Turbulence Modifications in Multiphase Flows**, vol. 110, pp. 35–42, ASME Fluids Engineering Division, 1991.

FEVEREIRO, José Luiz. **Como calcular a potência do motor e selecionar o redutor no acionamento de maquinas e equipamentos**. São Paulo: ASSESSOTEC, 2019.

FIGUEIRA JÚNIOR, Edson Alves. **Estudo e concepção de rotores de disco para bombeamento de fluidos abrasivos**. Uberlândia – MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

FONSECA, V.F.M.L.; Chaguri, L. **Apostila de Operações Unitárias I - Agitação e Mistura**. Lorena-SP: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de Lorena, 2019.

GAVI, Jones. **Manual de Inspeção e Manutenção de Correias Transportadoras e seus periféricos**. Vitória: GSA Gráfica e Editora, 2011.

GOHEL, S.; Joshi, S.; Azhar, M.; Horner M.; Padron. G. **CFD Modeling of Solid Suspension in a Stirred Tank: Effect of Drag Models and Turbulent Dispersion on Cloud Height**. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering, Volume 2012, Article ID 956975, 9 p.

GOMES, h.p; Carvalho, P.S. **Manual de Sistemas de Bombeamento Eficiência energética**. João Pessoa - PB: Editora Universitária UFPB, 2012.

GŁADYSIEWICZ, Lech; KRÓL, Robert; BUKOWSKI, Jędrzej. **Tests of Belt Conveyor Resistance to Motion**. Wrocław – Polónia: Faculty of Geoengineering, Mining and Geology, Wroclaw University of Science and Technology, 2011.

HIETALA, J. and Ojala. **‘Development of process for adaptive lifetime estimation of mechanical assemblies using accelerated testing methods’**. IPMA, 2017.

HICKMANN, Guilherme Scheffer. **Dimensionamento de um Transportador de Correia Para o Transporte de Britagem**. Lajeado - RS: Centro Universitário Univates, 2017.

HUTTON, David V. **Fundamentals of Finite Element Analysis**. New York, NY: McGraw-Hill, 2004.

J. Ding and D. Gidaspow, **“Bubbling fluidization model using kinetic theory of granular flow,”** AIChE Journal, vol. 36, no. 4, pp. 523–538, 1990.

KRÓL, Robert. **Studies of The Durability of Belt Conveyor Idlers with Working Loads. Taken into Account**. Wrocław – Polónia: Faculty of Geoengineering, Mining and Geology, Wroclaw University of Science and Technology, 2017.

MAITELLI, Carla Wilza Souza de Paula. **Simulação do escoamento monofásico em um estágio de uma bomba centrífuga utilizando técnicas de fluidodinâmica computacional**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN. 2010.

MALISKA, C. R., **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 420p.

MAMBO, Ivo Fernando. **Simulação da operação de Carregamento e Transporte Numa Mina à Céu Aberto de Carvão**. Ouro Preto – MG: Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, 2017

McCABE, W.L. et al. **Unit operations of chemical engineering**. 7 ed. New York: Ed. McGraw-Hill, 2005.

MERCÚRIO. **Manual Técnico de Correias Transportadoras**. Itu: Schoba, 2015.

MOAVENI, Saeed. **Finit Element Analysis. Theory and Application with ANSYS**. 1. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1999.

NASCIMENTO, G. H., Pimenta, A. S., de Faria, M. T. C., and Colosimo, E. A. Procedimentos para avaliação de desempenho de roletes em correias transportadoras utilizando uma bancada de testes em condições de operação. 61º CONGRESSO ANUAL DA ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006.

NTN Corporation. Catalog Ball and Roller Bearing. 2002. A71 p. Disponível em: <http://bearingfinder.ntnamerica.com/>.(acessado em abril de 2020).

RELIASOFT, Corporation. **Accelerated Life Testing Reference. Reliasoft ALTA 11**, 2015.

OLEFEMI, Ademola S e et al. **CFD Simulation od Mixing Effecr on a Continuous Stirred Tank Reactor**. Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies. Vol2. 2016.

PALADINI, Carlos. **Projeto de Máquinas**. Santo André – SP: CP.AUT Projetos Industriais Treinamento e Consultoria Técnica, 2011.

PALLEROSI, C. A. **Confiabilidade, a Quarta Dimensão da Qualidade Ensaio Acelerados**. 1st edn, 2007.

PATANKAR, S. V. **Numerical heat transfer and fluid flow**. Washington: Hemisphere, 1980. 179p.

PEREIRA, Félix Monteiro. **Apostila de Operações Unitárias II - Agitação e Mistura**. Lorena-SP: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de Lorena, 2016.

PYTLIK, Andrzej; TRELA, Klaudiusz. **Research on tightness loss of belt conveyor's idlers and its impact on the temperature increase of the bearing assemblies.** Journal of Sustainable Mining 15, 2016, pp.57- 65.

SACRAMENTO, R. C. F. **Apostila de Transportadores de Correia.** Salvador – BA : Universidade Federal da Bahia – UFBA, 2010.

SILVA, Vera Dimar. **Bombas Centrífugas de Polpa.** Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

STEWART, I. **17 Equações que mudaram o mundo.** São Paulo: Jorge Zahar Editores. 2013.

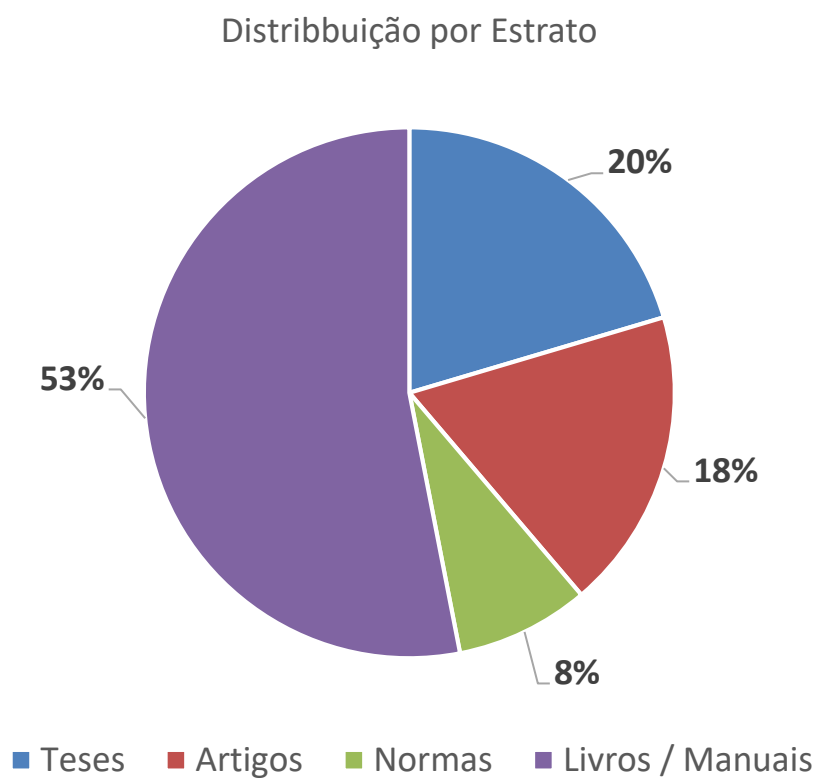
TOROTWA, Ian ; JI, Changying. **Mixing Performance of Counter-Axial Flow Impeller using Computational Fluid Dynamics.** Publishing Corporation International Journal of Current Engineering and Technology, 2018, E-ISSN 2277 – 4106, P-ISSN 2347 – 5161.

VELOSO, Ricardo Campos. **Modelagem de curvas de degradação de correias transportadoras com base em covariáveis inerentes ao processo de mineração.** Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FURG, 2014.

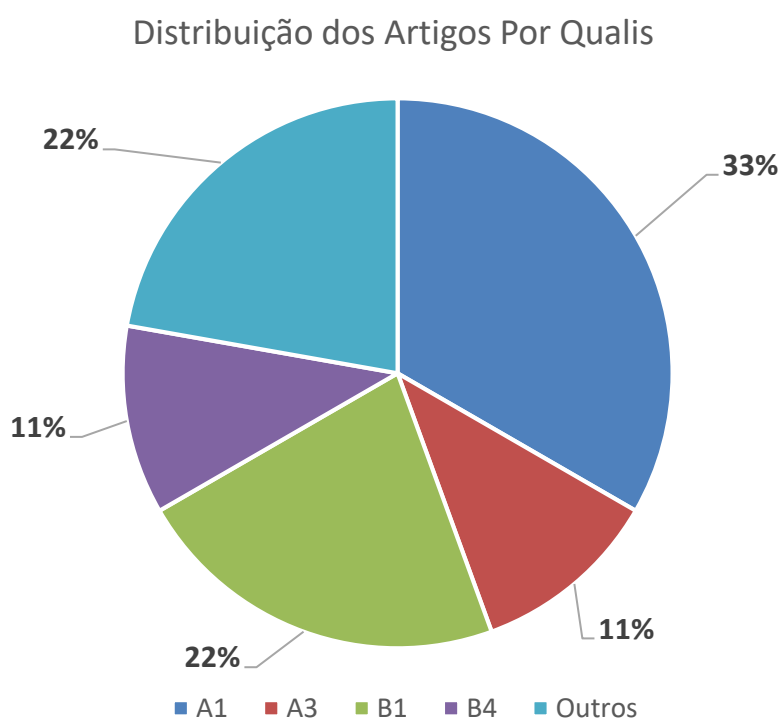
VERSTEEG, H.K.; Malalasekera, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics. In The Finite Volume Method**, 2nd ed.; Pearson Education: New York, NY, USA, 2007

WENDT, J. F. **Computational Fluid Dynamics: An introduction.** 3ª Edição. Springer-Verlag, Berlin, 2009.

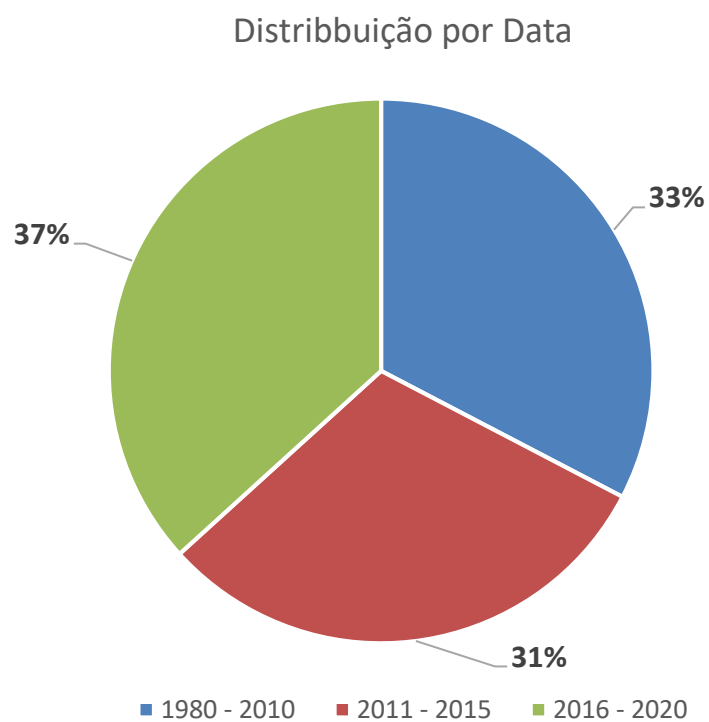
7.2 REFERÊNCIAS POR ESTRATO



7.3 REFERÊNCIAS POR QUALIS



7.4 REFERÊNCIAS POR QUALIS



ANEXO A - GRÁFICOS E TABELAS PARA SELEÇÃO DE BOMBAS.

Gráficos para seleção de Bombas.

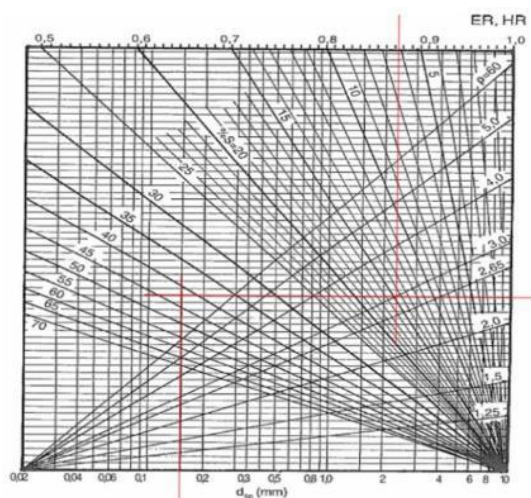
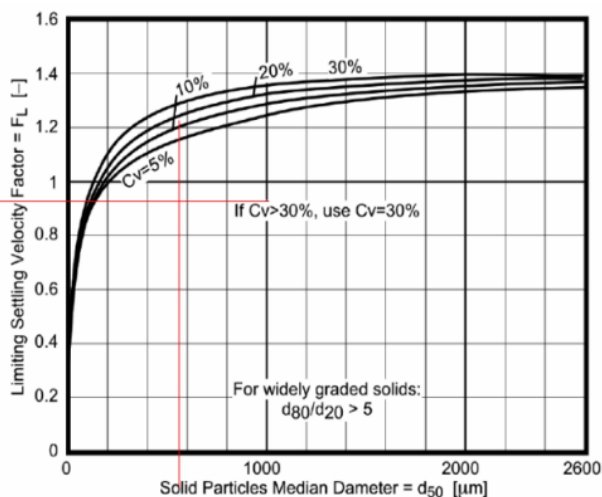


Figura 3.34: Ábaco de CAVE (Apud CHAVES, 2002).



Ábaco de CAVE (Apud CHAVES, 2002). & Gráfico com valores de FL para $d_{80}/d_{20} > 5$ (WEIR, 2002).

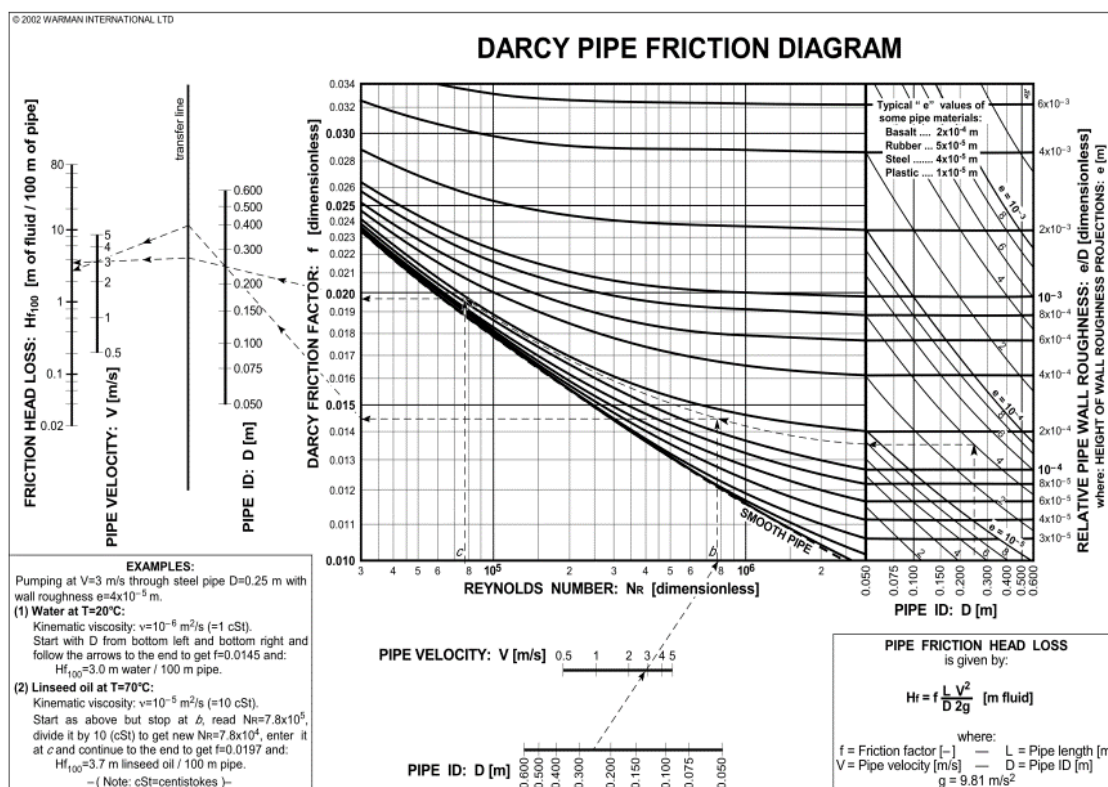


Diagrama para calcular o fator de atrito de Darcy

Fonte: Viana (2011)

Tabelas para seleção de Bombas KSB.



Hydrobloc CN
Motobomba centrífuga

1 Aplicações

Indicadas para bombeamento de água limpa e líquidos quimicamente não agressivos.

- Indústria em geral;
- Construção civil;
- Irrigação;
- Uso doméstico;
- Bombeamento para reservatórios e tanques;
- Pequenas lavagens e jardins;
- Aumento de pressão na rede;
- Outras aplicações residenciais e industriais.

2 Descrição geral

- Corpo e rotor da bomba em ferro fundido, tipo fechado.
- Selo mecânico de cerâmica e grafite;
- Motor de indução aberto, grau de proteção IP21 e isolamento classe F.

3 Denominação

KSB Hydrobloc CN 1000

Marca

Modelo

Potência motor

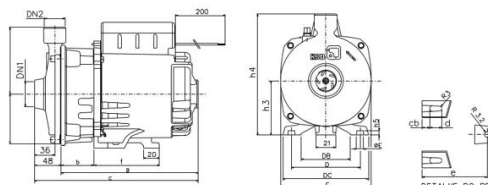
4 Dados de operação

Vazões	até 15,0 m³/h
Altura manométrica	até 46,2 m
Temperatura de operação	até 70°C
Pressão de sucção	até 0,7 bar
Motor	Monofásico 127 ou 220 V
	Trifásico 220/380 V
Rotação	3500 rpm
Grau de proteção do motor	IP21

5 Tabela de seleção

Modelo	cv	Bocais (*)		Altura Manométrica (mca)																	Altura máxima		
		Sucção	Refluxo	9	10	12	15	18	20	22	23	24	26	28	30	31	32	34	36	38		40	45
				Vazão (m³/h)																			
C 500 NNT	0,5	1"	3/4"			8,0	7,0	5,5	3,9	2,5	0,5											22,5	
C 750 NNT	0,75	1"	3/4"			8,5	7,6	6,4	5,3	4,3	2,6	2,0	0,5									25,2	
C 1000 NNT	1,0	1 1/4"	1"								11,0	9,8	8,4	5,3	3,0	0,5						31,1	
C 1500 NNT	1,5	1 1/4"	1"								11,0	10,5	10,0	9,0	8,0	6,4	5,2	3,4				32,1	
C 2000 NNT	2,0	1 1/4"	1"										12,5	11,5	10,4	9,9	9,3	8,0	6,0	2,0		37,1	
C 3000 NNT	3,0	1 1/4"	1"														15,0	13,8	12,3	11,0	9,9	30,0	

(*) Rosca BSP



Catálogo KSB – Seleção de bombas

Fonte: KSB (2020).

1. Mangueira – bico flexível para sistema de aspersão.

flexível-refrigeração				NCM 3917.31.00	
codigo	rosca NPT	compr.	Ø bico	qtde elementos plasticos	peso(KG)
1.7301	1/4"	34	6,00	21	0,05
1.7302	3/8"		9,50	16	0,07
1.7303	1/2"		12,50	14	0,09
>bico redondo					
>acompanha válvula abre-fecha					
>aplicação: fluido e AR					

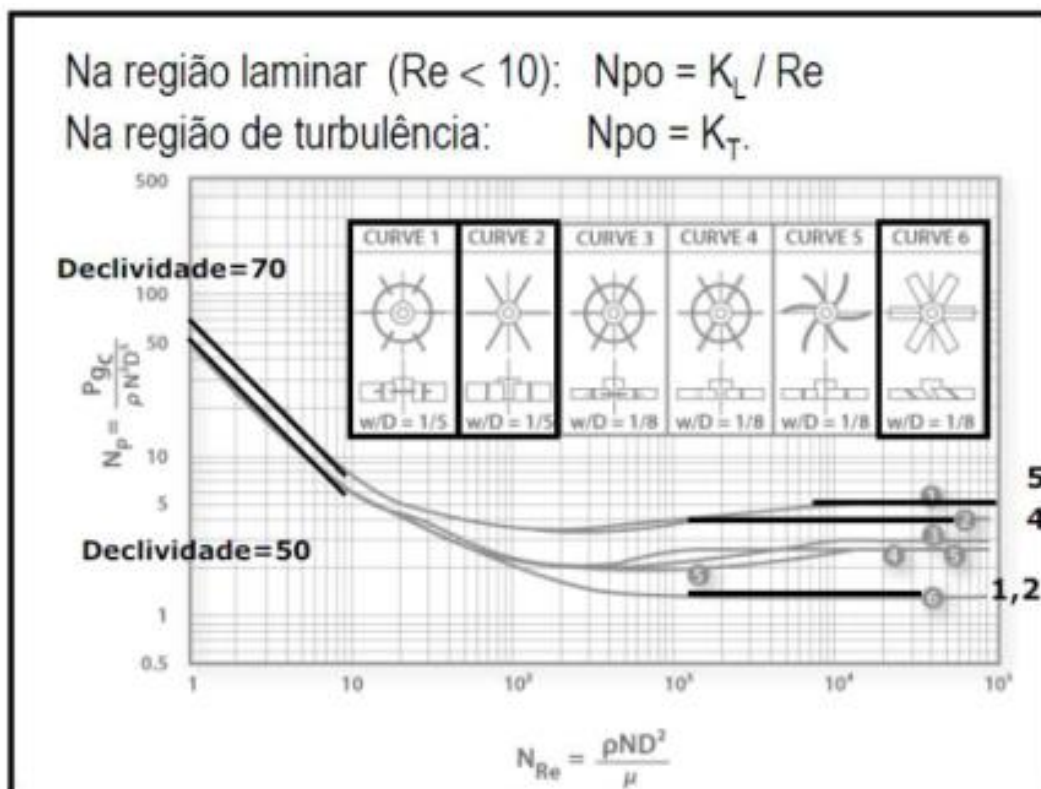
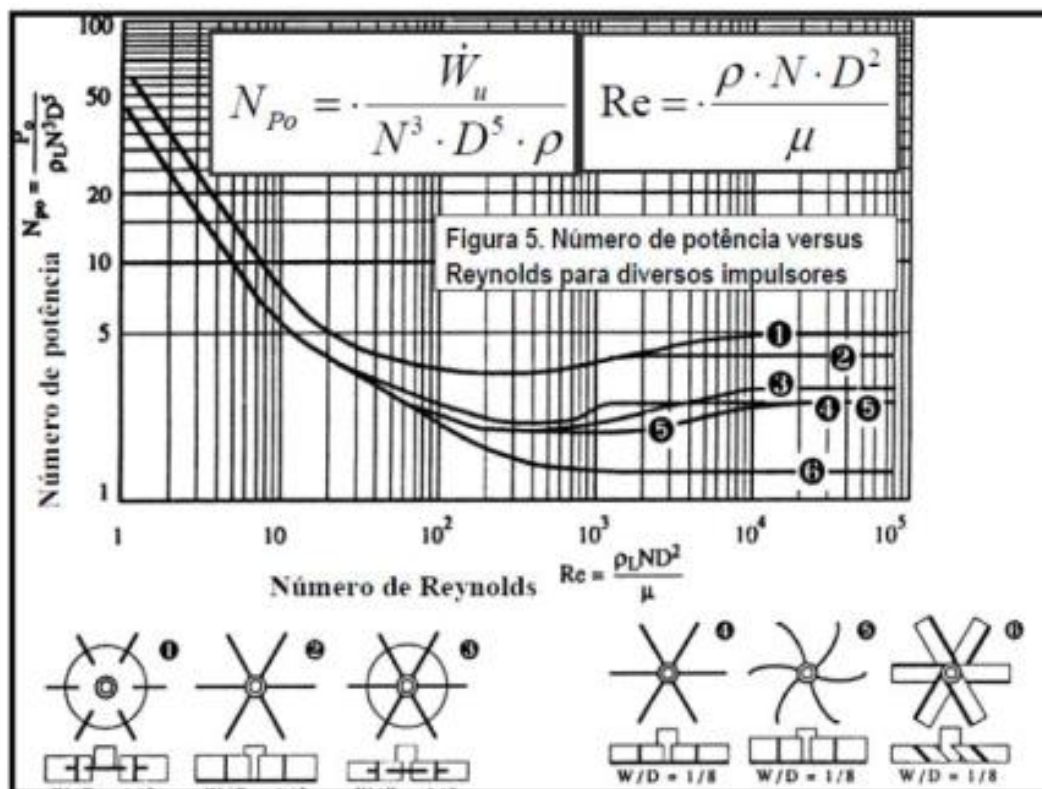
A blue flexible refrigeration hose with a red handle and a red nozzle. The hose is coiled and has a series of blue plastic connectors along its length. The handle and nozzle are made of red plastic.

Bico flexível para fluido de corte.

Fonte: Autor (2020).

ANEXO B - GRÁFICOS DO NÚMERO DE POTÊNCIA X REYNOLDS

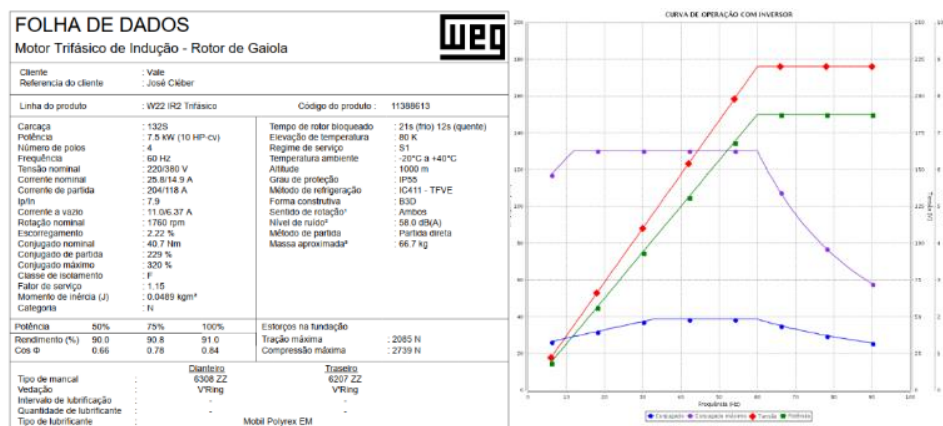
Gráficos do Número de potência x Reynolds agitador / misturador.



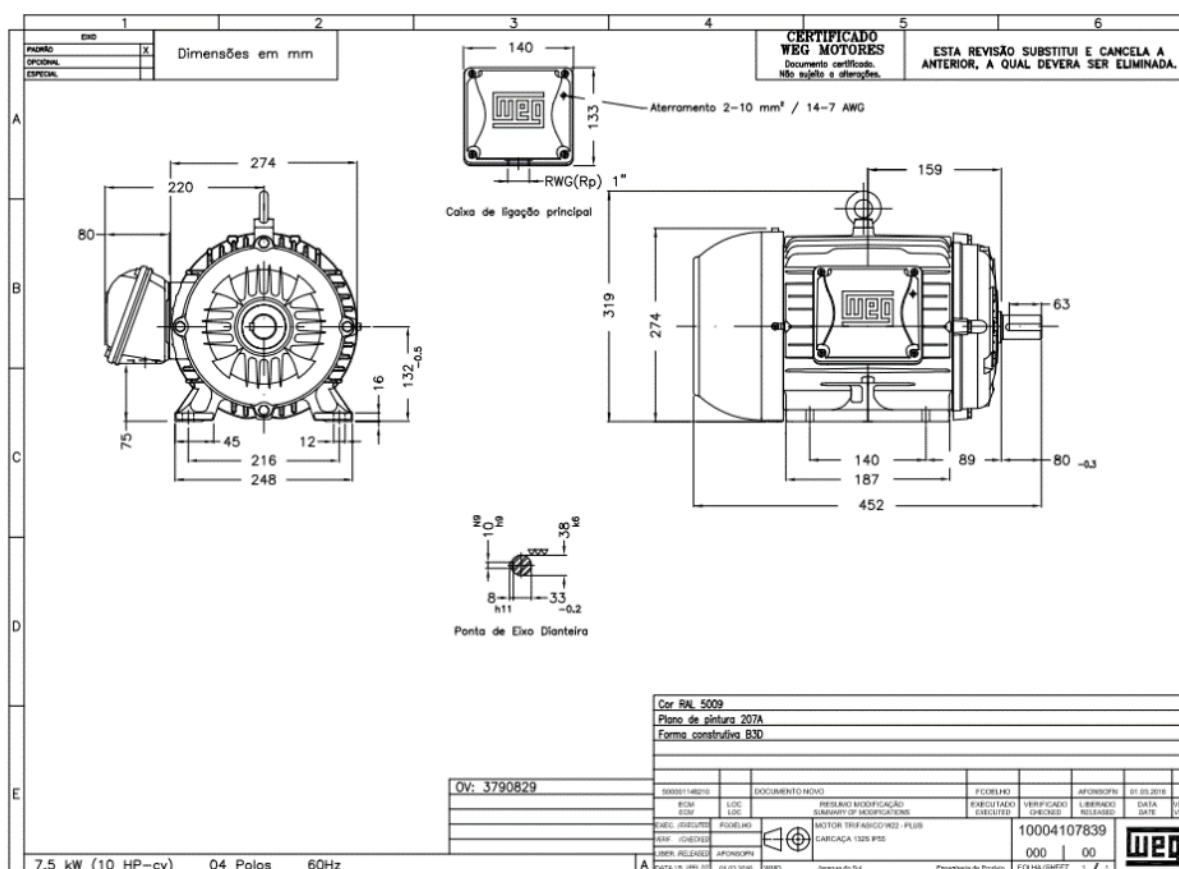
Fonte: Pereira (2016).

ANEXO C- DADOS TÉCNICOS DO MOTOR ELÉTRICO.

Dados técnicos do Motor Elétrico.



Desempenho		: 220/380 V 60 Hz 4P			
Corrente nominal	: 25.8/14.9 A	Momento de inércia (J)	: 0.0489 kgm²		
Ip/In	: 7.9	Regime de serviço	: S1		
Conjugado nominal	: 40.7 Nm	Classe de isolamento	: F		
Conjugado de partida	: 229 %	Fator de serviço	: 1.15		
Conjugado máximo	: 320 %	Elevação de temperatura	: 80 K		
Rotação nominal	: 1760 rpm	Categoria	: N		
Rev.	Resumo das modificações		Executado	Verificado	Data
Executor					
Verificador					
Data	30/08/2019				
				Página	Revisão
				5 / 5	



Fonte: WEG (2020).

ANEXO C - VOLANTE, CILINDRO, FUSOS, MOLAS, CORREIA, MANCAIS.

Volante, Cilindro, Fusos.

06271 Volantes DIN 950, de ferro fundido cinzento

Descrição
Materiais:
 Volante em ferro fundido cinzento.
 Cubo anelônico em aço.
Versão:
 Aço forjado a quente.
 Concentricidade e excentricidade axial do eixo abaixo de IT 12.
Sub consulta:
 Cubos com furo quadrado ou volante com revestimento plástica.

Volantes DIN 950 de ferro fundido cinzento, sem cubo anelônico

Volante	06271-100x12	06271-120x12	06271-140x12	06271-160x12	06271-180x12	06271-200x12	06271-220x12	06271-240x12	06271-260x12	06271-280x12	06271-300x12	06271-320x12	06271-340x12	06271-360x12	06271-380x12	06271-400x12	06271-420x12	06271-440x12	06271-460x12	06271-480x12	06271-500x12	06271-520x12	06271-540x12	06271-560x12	06271-580x12	06271-600x12	06271-620x12	06271-640x12	06271-660x12	06271-680x12	06271-700x12	06271-720x12	06271-740x12	06271-760x12	06271-780x12	06271-800x12	06271-820x12	06271-840x12	06271-860x12	06271-880x12	06271-900x12	06271-920x12	06271-940x12	06271-960x12	06271-980x12	06271-1000x12		
Ø	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980	1000		
L	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Ø	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980	1000		

Lifting Gear Hire
 Lifting Equipment Rental Specialists
 North American Rental Headquarters
 T: 800.878.7305 | F: 708.430.3530 | www.RentGH.com | Rental@RentGH.com

Hydraulic Cylinders | 10 – 100 Ton | RLS Series | Single Acting - Spring Return - Low Profile

Specifications

Model	Capacity (ton)	A Stroke (in.)	B Min. RL (in.)	C Ext. RL (in.)	Bar End Dia. (in.)	Effect Area (sq. in.)	Press. (psi)	Oil Cap. (gal.)	D Body I.D. (in.)	E Flange I.D. (in.)	F Flange O.D. (in.)	Weight (lbs.)	Length (in.)
RLS101	10	15	15	45	1.5	2.24	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS201	20	15	15	45	2.5	4.41	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS301	30	15	15	45	2.5	6.09	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS401	40	15	15	45	2.5	8.01	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS501	50	15	15	45	2.5	10.00	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS601	60	15	15	45	2.5	12.00	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS801	80	15	15	45	2.5	16.00	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70
RLS1001	100	15	15	45	2.5	20.00	3,000	3.0	2.5	1.5	1.5	11	70

dimensões normalmente não variáveis						
rosca trapecial	comprimento padrão da porca	número de filetes presos à porca	superfície de contato de um filete	superfície de contato em todo o perfil da porca	superfície de contato linear de um filete em toda a porca	eficiência (f=0,10) com boa lubrificação
TR x Ø x PITCH	mm	n.	mm²	mm²	mm	-
TR 10x2	20	10	28,3	283	28,3	0,40
TR 10x3	20	6,7	40	268	26,7	0,51
TR 12x3	22	7,3	49,5	361	33	0,46
TR 14x3	25	8,3	58,9	489	39,2	0,42
TR 14x4	25	6,3	75,4	475	37,7	0,50
TR 16x4	30	7,5	88	660	44	0,46
TR 18x4	35	8,7	100,4	873	50,2	0,43
TR 20x4	40	10	113	1.130	56,5	0,40
TR 22x5	40	8	153	1.224	61,2	0,44
TR 24x5	45	9	168	1.512	67,5	0,41
TR 25x5	45	9	177	1.593	70,7	0,40
TR 26x5	45	9	185	1.665	73,8	0,39
TR 28x5	50	10	200	2.000	80	0,37
TR 30x6	50	8,3	255	2.116	84,8	0,40
TR 32x6	50	8,3	273	2.266	91	0,39
TR 35x6	60	10	300	3.000	100	0,36
TR 36x6	60	10	312	3.120	104	0,36
TR 40x7	65	9,3	403	3.748	115	0,37
TR 45x8	80	10	516	5.160	129	0,37
TR 46x8	80	10	528	5.280	132	0,37
TR 50x8	80	10	580	5.800	145	0,35
TR 55x9	95	10,6	714	7.568	159	0,35
TR 60x9	95	10,6	784	8.310	175	0,33
TR 65x10	95	9,5	940	8.930	188	0,34
TR 70x10	120	12	1.020	12.240	204	0,32
TR 75x10	120	12	1.100	13.200	220	0,30
TR 80x10	120	12	1.175	14.100	235	0,29
TR 90x12	150	12,5	1.584	19.800	264	0,30
TR 100x12	150	12,5	22.125	22.125	295	0,28

Tabela retirada do catálogo da Bimeccanica
 Fuso de Rosca Trapezoidal

valores decrescentes proporcionais			valores crescentes proporcionais		
VELOCIDADE MAXIMA calculada sobre a superfície de contato linear de um filete para o número de rotações com base em 0,10m/s	VELOCIDADE DE CONTATO calculada sobre a superfície de contato linear de um filete para o número de rotações com base em 0,10m/s	max. carga a ser levantada a uma velocidade máxima (75% da carga max 100 vezes a)	pressão média distribuída nos filetes da rosca	pressão sobre a primeira rosca (1/3 de toda a carga)	torque necessário para o levantamento (fator de serviço FS 2,5)
RPM	mm (linear) por min.	mm² por minuto	Kg	Kg/mm²	Kg/mm²
883	1.766	25	30	0,11	0,36
936	2.808	25	40	0,15	0,95
757	2.271	25	51	0,15	1,33
637	1.911	25	63	0,13	1,80
663	2.652	25	76	0,16	2,43
568	2.272	25	91	0,14	3,15
498	1.992	25	107	0,13	3,98
442	1.768	25	122	0,11	4,83
408	2.040	25	162	0,14	7,40
370	1.850	25	181	0,12	8,73
353	1.765	25	190	0,12	9,40
338	1.690	25	200	0,13	10,15
312	1.560	25	219	0,11	11,68
295	1.770	25	274	0,13	16,25
275	1.650	25	297	0,14	18,38
250	1.500	25	331	0,12	21,78
240	1.440	25	343	0,11	23,00
217	1.519	25	440	0,12	33,28
194	1.552	25	564	0,11	48,20
190	1.520	25	579	0,11	50,25
172	1.376	25	640	0,12	58,83
157	1.413	25	788	0,11	80,20
143	1.287	25	874	0,11	94,60
133	1.330	25	1.048	0,12	123,78
123	1.230	25	1.143	0,10	142,38
114	1.140	25	1.218	0,10	159,60
106	1.060	25	1.333	0,10	183,28
95	1.140	25	1.782	0,10	273,12
85	1.020	25	2.011	0,10	335,82
A	B	C	D	E	F

A = velocidade (RPM)
 B = carga em elevação guiada
 C = torque requerido Nm

Fonte: Autor (2020).

Molas, Correia, Mancais,

Mola Carga Pesada Série "R" polimold

Legenda:
 D_d = Diâmetro do Furo
 D_e = Diâmetro do Eixo
 $b \times h$ = Seção do Arame
 L_g = Comprimento Livre de Carga
 D = Valor aproximado para Deflexão Sólida

D_H	D_d	$b \times h$	L_g mm	Referência	Rígido N/mm	20 %	25 %	30 %	D Agm.				
					N/mm	mm	N	mm	N				
10	5	1,9 x 1,5	20	8.10-25	22.1	5.0	111	6.3	139	7.5	166	9.3	203
			21	8.10-32	27.5	6.4	122	8.0	140	9.6	169	11.1	212
			22	8.10-38	37.1	7.6	130	9.5	162	11.4	185	13.2	226
			23	8.10-44	55.0	8.8	132	11.0	165	13.2	198	15.1	227
			24	8.10-51	72.8	10.1	135	12.8	164	15.3	206	17.5	250
			25	8.10-64	107.7	12.9	137	16.0	171	19.2	205	21.8	233
			26	8.10-76	135	15.2	134	20.0	143	23.8	211	27.0	269
			27	8.10-105	211	21.1	128	26.3	160	31.5	192	37.7	297
			28	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			29	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
12.5	6.3	2.4 x 1.9	30	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			31	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
			32	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			33	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
			34	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			35	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
			36	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			37	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
			38	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			39	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
16	8	3.1 x 2.5	40	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			41	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
			42	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			43	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
			44	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			45	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
			46	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			47	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
			48	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			49	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
20	10	4.0 x 3.3	50	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			51	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
			52	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			53	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
			54	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			55	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
			56	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			57	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
			58	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			59	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
25	12.5	5.0 x 4.0	60	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			61	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
			62	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			63	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
			64	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			65	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
			66	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			67	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
			68	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			69	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
30	15	6.3 x 5.0	70	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			71	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527
			72	8.11-25	42.1	5.0	211	6.3	265	7.5	316	9.3	413
			73	8.11-32	53.2	6.4	222	8.0	266	9.6	320	11.6	432
			74	8.11-38	59.3	7.6	223	9.5	278	11.4	334	14.6	426
			75	8.11-44	72.8	8.8	226	11.0	271	13.2	325	16.1	445
			76	8.11-51	106.5	10.1	220	12.8	261	15.3	300	17.5	457
			77	8.11-64	155.0	12.9	192	16.0	240	19.2	288	21.8	430
			78	8.11-76	192	15.2	190	20.0	251	23.8	281	27.0	497
			79	8.11-105	311	21.1	184	26.3	240	31.5	272	37.7	527

Para Solicitar Orçamentos e Produtos:
 Especifique o item com o prefixo, diâmetro D_d e comprimento L_g .
 Nota: 1N = 0,102 Kg (força)

Exemplo:
 Prefixo D_d L_g R 10 44

Correia Multi V 3T
Correia Multi V 3T
3T Multi V Belt

Produtos de Transmissão de Potência
 Productos de Transmisión de Potencia
 Power Transmission Products

Dimensões nominais
Dimensiones nominales
Nominal dimensions

SEÇÃO B
SECTION B
SECTION B

Perfil B Profile B	Comprimento efetivo Effective Length		Comprimento efetivo Effective Length		Perfil B Profile B	Comprimento efetivo Effective Length		Comprimento efetivo Effective Length	
	mm	in	mm	in		mm	in	mm	in
26	27.8	706	29	735	72	73.8	1875	75	1905
27	28.8	730	30	760	73	74.8	1900	76	1930
30	31.8	810	33	840	74	75.8	1925	77	1955
32	33.8	860	35	890	75	76.8	1950	78	1980
34	35.8	910	37	940	76	77.8	1975	79	2005
36	36.8	935	38	965	77	78.8	2000	80	2030
38	38.8	985	40	1015	80	81.8	2080	83	2110
39	39.8	1010	41	1040	81	82.8	2105	84	2135
40	40.8	1035	42	1065	83	84.8	2155	86	2185
41	41.8	1060	43	1090	84	85.8	2180	87	2210
42	42.8	1085	44	1120	85	86.8	2205	88	2235
43	43.8	1110	45	1145	88	89.8	2280	91	2310
44	44.8	1140	46	1170	89	90.8	2305	92	2335
45	45.8	1165	47	1195	90	91.8	2330	93	2360
46	46.8	1190	48	1220	92	93.8	2385	95	2415
47	47.8	1215	49	1245	93	94.8	2410	96	2440
48	48.8	1240	50	1270	95	96.8	2465	98	2495
49	49.8	1265	51	1295	96	97.8	2490	99	2525
50	50.8	1290	52	1320	97	98.8	2515	100	2550
51	51.8	1315	53	1345	100	101.8	2585	103	2615
52	52.8	1340	54	1370	103	104.8	2640	106	2690
53	53.8	1365	55	1395	105	106.8	2715	108	2745
54	54.8	1390	56	1420	111	112.8	2865	114	2895
55	55.8	1415	57	1450	112	113.8	2900	115	2930
56	56.8	1440	58	1475	119	120.8	3070	122	3100
57	57.8	1470	59	1500	120	121.8	3085	123	3125
58	58.8	1495	60	1525	122	123.8	3145	125	3175
59	59.8	1520	61	1550	123	124.8	3170	126	3200
60	60.8	1545	62	1575	124	125.8	3195	127	3225
61	61.8	1570	63	1600	126	127.8	3245	129	3275
62	62.8	1600	64	1630	128	129.8	3295	131	3325
63	63.8	1645	66	1675	130	131.8	3350	133	3380
64	64.8	1670	67	1700	131	132.8	3375	134	3405
65	65.8	1695	68	1725	132	133.8	3400	135	3430
66	66.8	1730	70	1780	133	134.8	3425	136	3455
67	67.8	1775	71	1805	134	135.8	3450	137	3480
68	68.8	1820	73	1865	136	137.8	3500	139	3530
69	69.8	1865	74	1885	138	139.8	3550	141	3580

Observações: as correias Multi V A, B, C, e D têm similitude com as correias Torque Flex 13A, 17B, 22C e 32D, respectivamente.
 Observación: Las correias Multi V A, B, C y D tienen similitud con las correias Torque Flex 13A, 17B, 22C y 32D, respectivamente.
 Notes: A, B, C, and D Multi V belts are similar to 13A, 17B, 22C, and 32D Torque Flex belts, respectively.

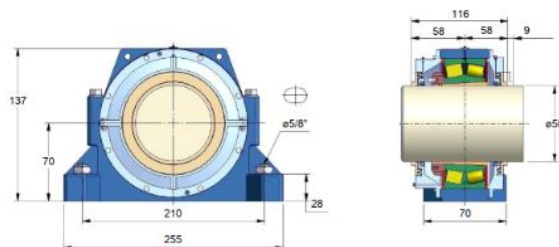
GOODYEAR
INDUSTRIAL PRODUCTS

10



EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001:2008

HSBM11 - BP - ASR - ø50 - 22211K



Eixo ø50
 Rolamento 22211K
 Bucha H311
 Peso (kg) 5,50



ANEXO D - CÉLULA DE CARGA, SISTEMA DE PESAGEM E SENSORES.

Célula de carga RTN, Sistema de pesagem DIS2116, Sensores e transmissores de temperatura e vibração e velocidades respectivamente.



RTN...
Load cells

Special features

- Low construction
- Max. capacities: 1 t ... 470 t
- Legal for trade according to OIML
- Protection class IP 68
- High output signal of 2.55 mV/V
- Input resistance > 4300 Ω
- Explosion proof version according to ATEX (Option)

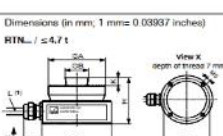
Data Sheet



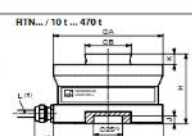



Dimensions (in mm, 1 mm = 0.03937 inches)

RTN... / ≤ 4.7 t



RTN... / 10 t ... 470 t



RTN...	1 t	2.2 t	4.7 t	10 t	15 t	22 t	33 t	47 t	66 t	100 t	150 t	220 t	330 t	470 t
ØA	48	48	48	74	75	75	80	130	130	130	150	205	205	270
ØB	20	20	20	30	30	30	40	80	80	80	70	100	100	120
ØC	90	90	90	78	78	78	88	130	130	130	180	228	228	270
H	43	43	43	80	80	80	88	78	88	80	100	130	148	170
h	-	-	-	7	7	7	7	7	7	7	10	10	10	10
K	7.5	7.5	7.5	6.5	6.5	6.5	10	14	14	16	18	24	24	28
L	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	12.0	12.0	12.0	12.0	5.0	5.0	5.0	5.0

1) L: Cable length

D0990-0.0 en



DIS2116 – Ease of use and functionality

The DIS2116 control unit is designed for easy use and functionality. It features a large LCD display and a numeric keypad for easy operation. The unit is compact and robust, suitable for industrial environments.

Key features:

- Large LCD display (128 x 64 pixels)
- Numeric keypad (12 keys)
- Compact and robust design
- Easy installation and maintenance

DIS2116 – Data transmission and functions

The DIS2116 control unit offers a wide range of data transmission options and functions. It can be connected to various sensors and actuators, providing real-time data and control.

Key features:

- Multiple data transmission options (RS-485, RS-232, etc.)
- Wide range of functions (weighing, sorting, etc.)
- Easy integration with existing systems

DXB0N2X6S-P6

ESTABLISHED ON HBM PERFORMANCE SERIES GATEWAYS AND NODES

Sure Cross® Performance P6 Node



Datasheet

The Sure Cross® wireless system is a radio frequency network with integrated I/O that operates in most environments to eliminate the need for wiring runs.



Integrated battery model

- Wireless industrial I/O device with a 1-wire serial interface
- Selectable transmit power levels of 250 mW or 1 Watt for 900 MHz models and 65 mW for 2.4 GHz models
- DIP switches for user configuration
- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) technology ensures reliable data delivery within the unlicensed Industrial, Scientific, and Medical (ISM) band
- Transceivers provide bidirectional communication between the Gateway and Node, including fully acknowledged data transmission
- Lost RF links are detected and relevant outputs set to user-defined conditions

10 to 30 V DC power model

Um Sistema de Monitoramento de Vibração, dotado de sensores de vibração QM42VT conectados a Nodes sem fio DX80 são montados em motores das máquinas e coletam valores de vibração contínua. Os dados são transmitidos sem fio para um Controlador DXM contendo regras da ação que definem limites. Se os limites forem excedidos, os dados de monitoramento de terceiros notificam os clientes sobre uma ação corretiva imediata.



PRODUCT SEARCH

SENSORS

IDENTIFICATION

CONNECTIVITY

LIGHTING AND INDICATORS

FIELDBUS TECHNOLOGY

INTERFACE TECHNOLOGY

MACHINE SAFETY

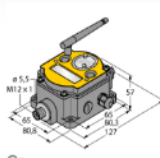
INDUSTRIAL CONTROLS

POWER SUPPLIES

CLOUD SOLUTIONS

INDUSTRIAL WIRELESS

Product DX80N2X6S-P6



Radio Transceiver System
Star Topology
Nodes
Order number: 305567

- External antenna (RG58 RP-SMA connection)
- Integrated signal strength indicator
- Configuration via DIP switch
- Deterministic data transfer
- Frequency hopping FHSS
- Time Division Multiplex Access TDMA
- Transmission power: 65 mW, 10 dBm conducted, < 20 dBm ERP
- M12 x 1 female connector for connecting a sensor with serial interface
- Power consumption: < 60 mA at 24 VDC

General data

BIU-EM18-AP6X-H1141

Inductive sensor

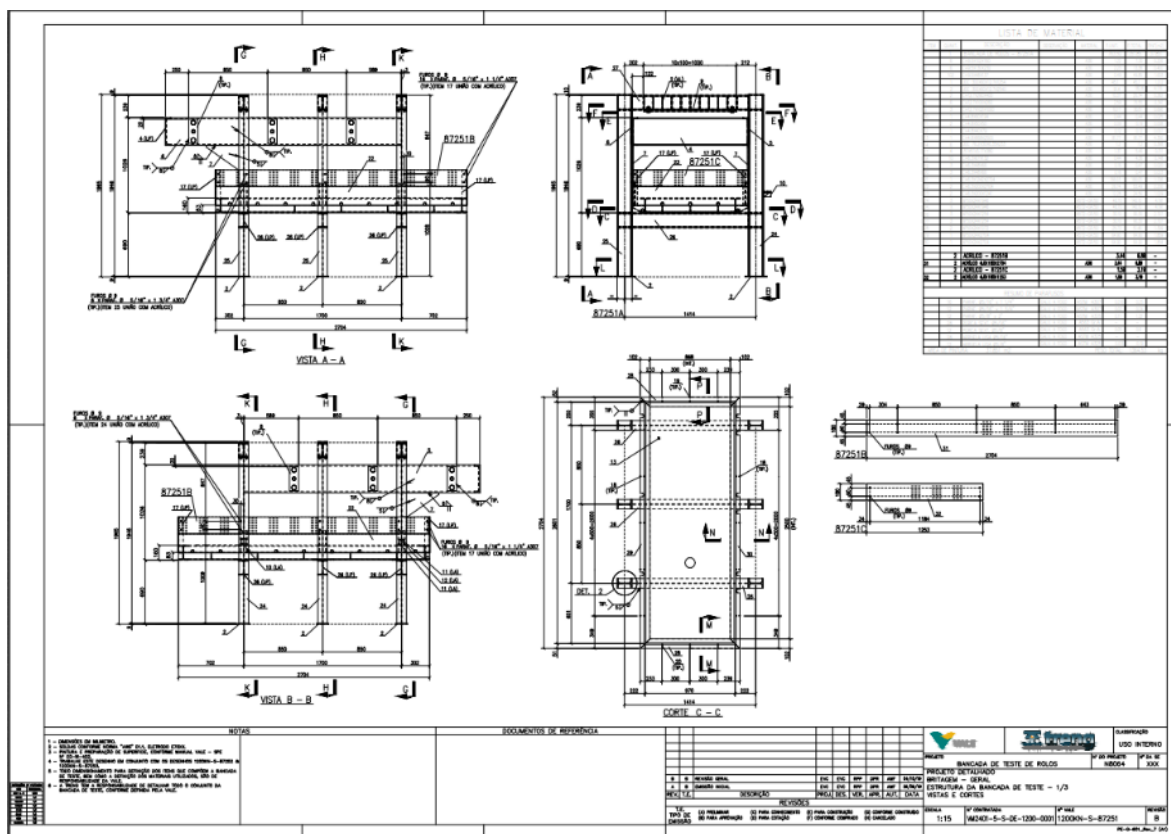
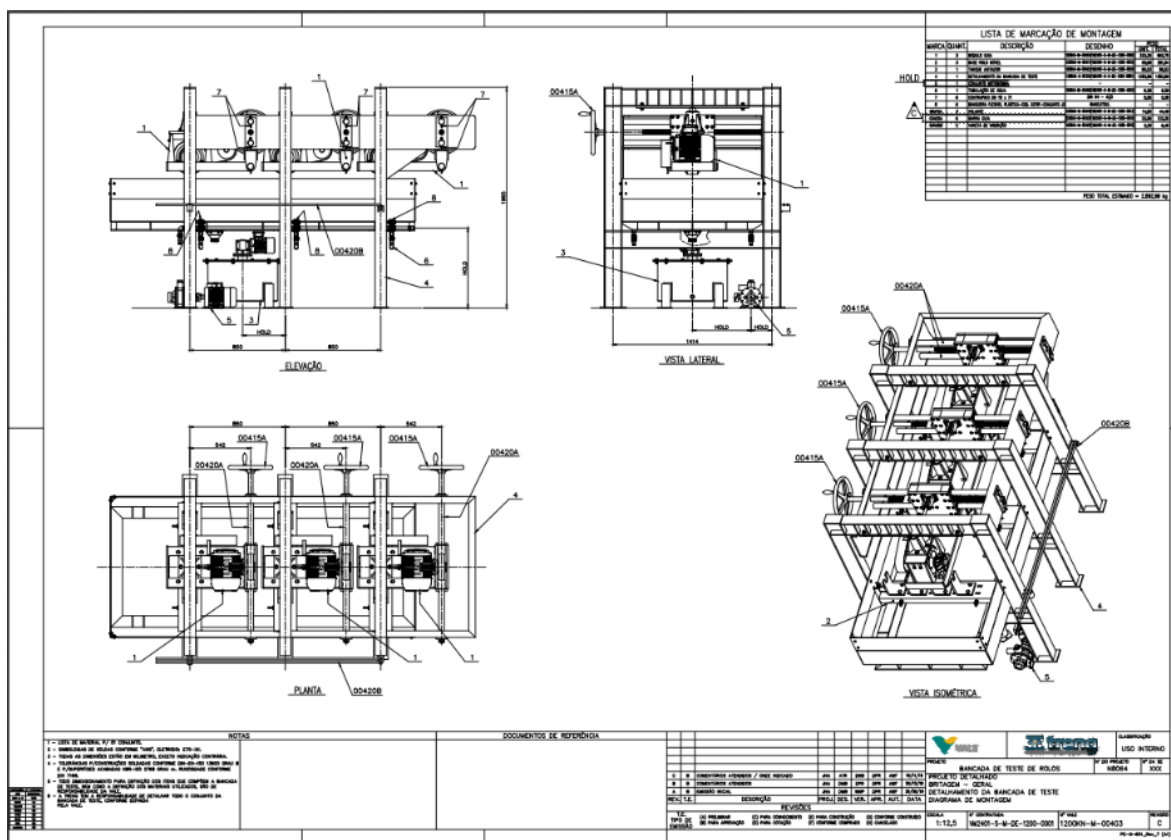


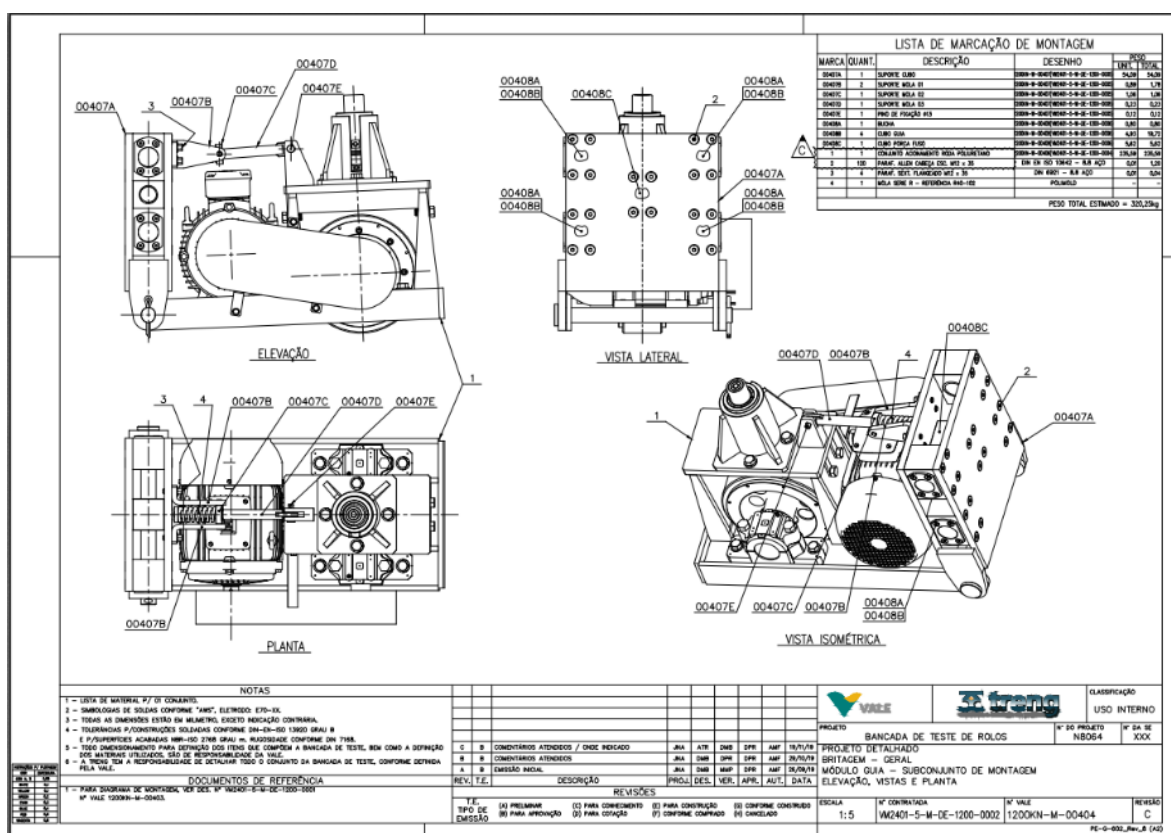
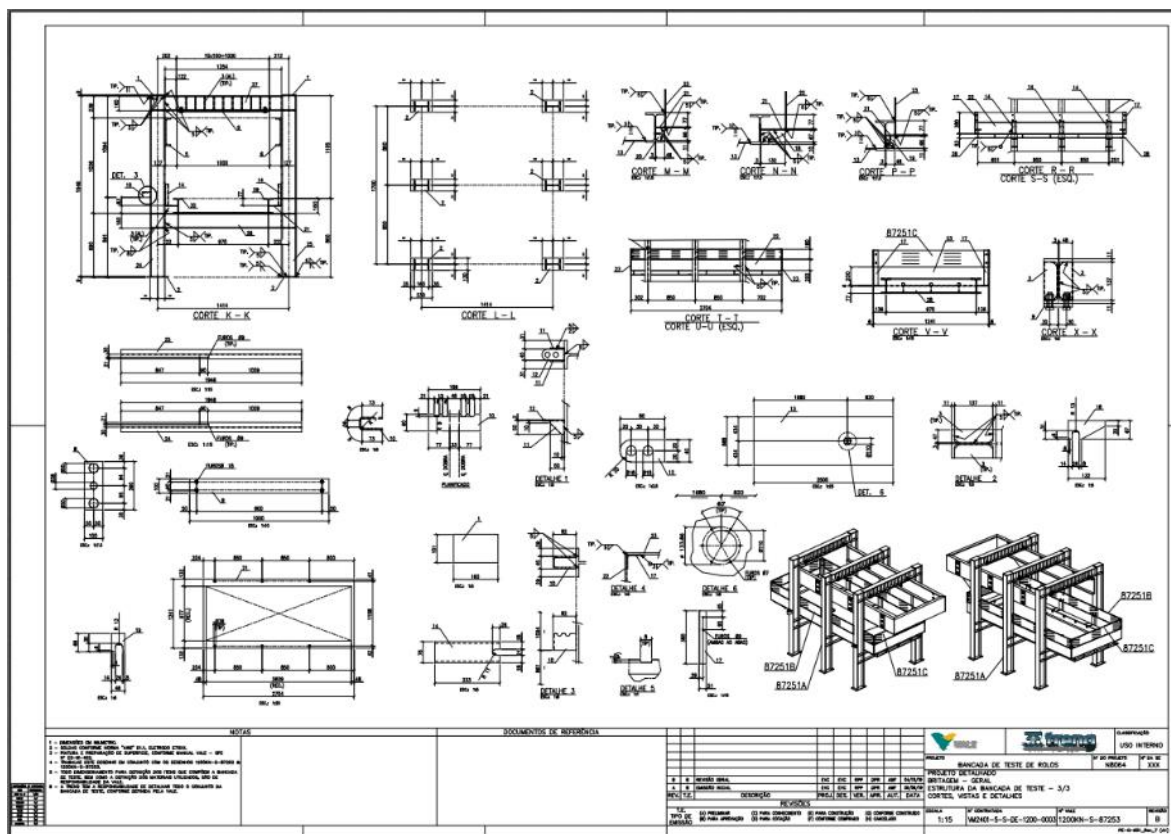
Technical data

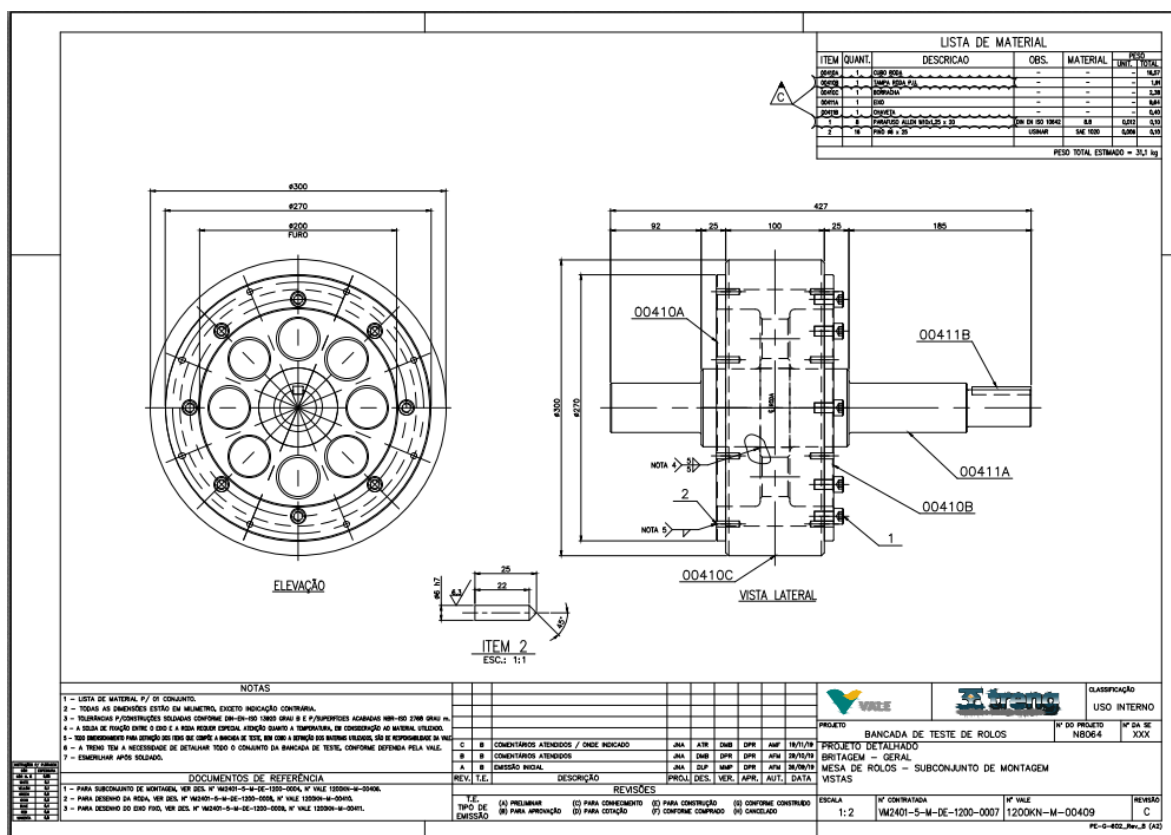
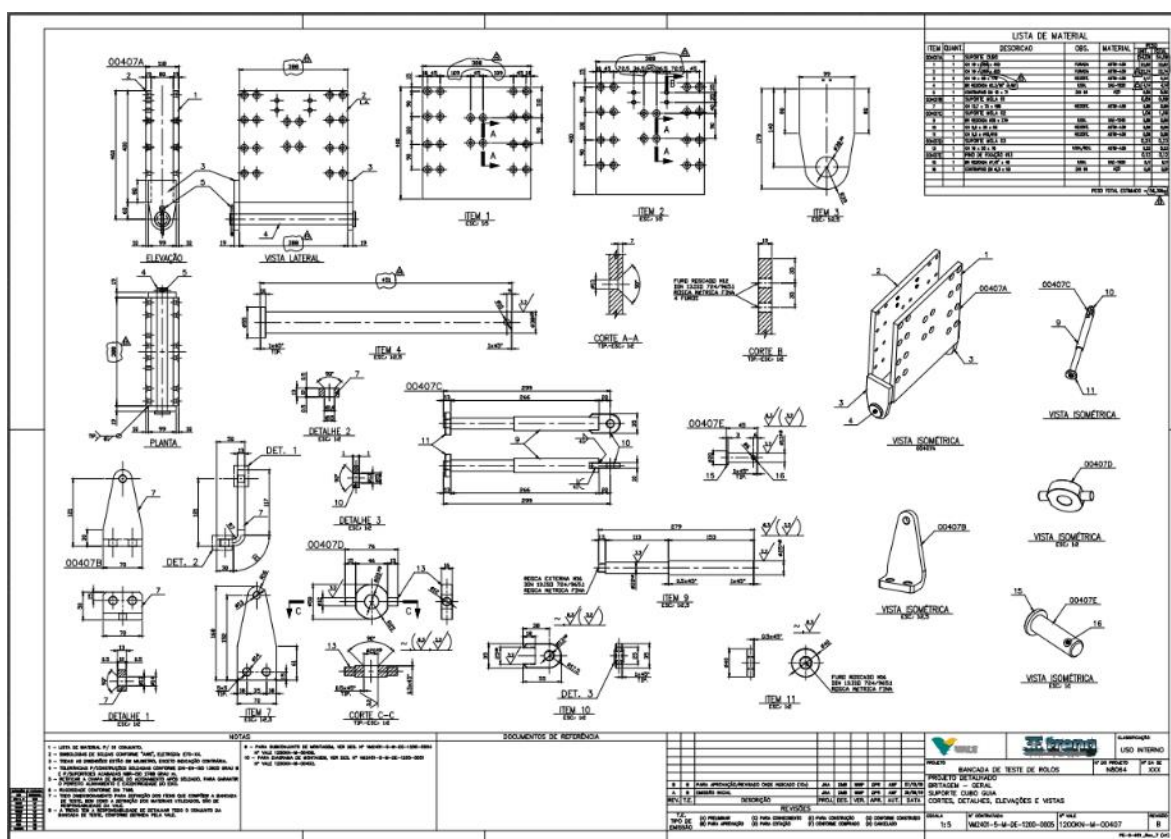
Parameter	Value
Type	Inductive sensor
Mounting	Panel
Material	Aluminum
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black
Mounting	Panel
Weight	0.15 kg
Operating voltage	12 VDC
Operating current	0.1 A
Operating power	1.2 W
Operating temperature	-20 ... 70 °C
Storage temperature	-40 ... 125 °C
Relative humidity	5 ... 95% RH
IP rating	IP67
Material	Aluminum
Finish	Black

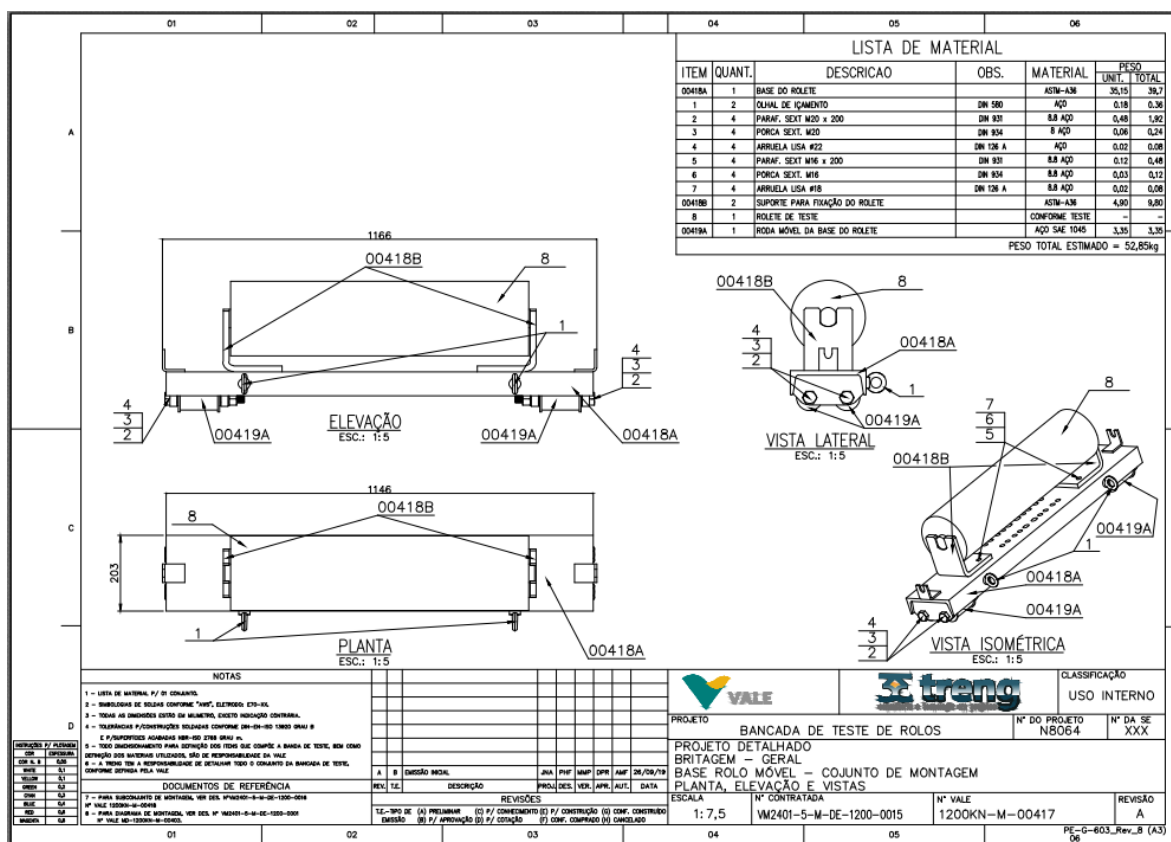
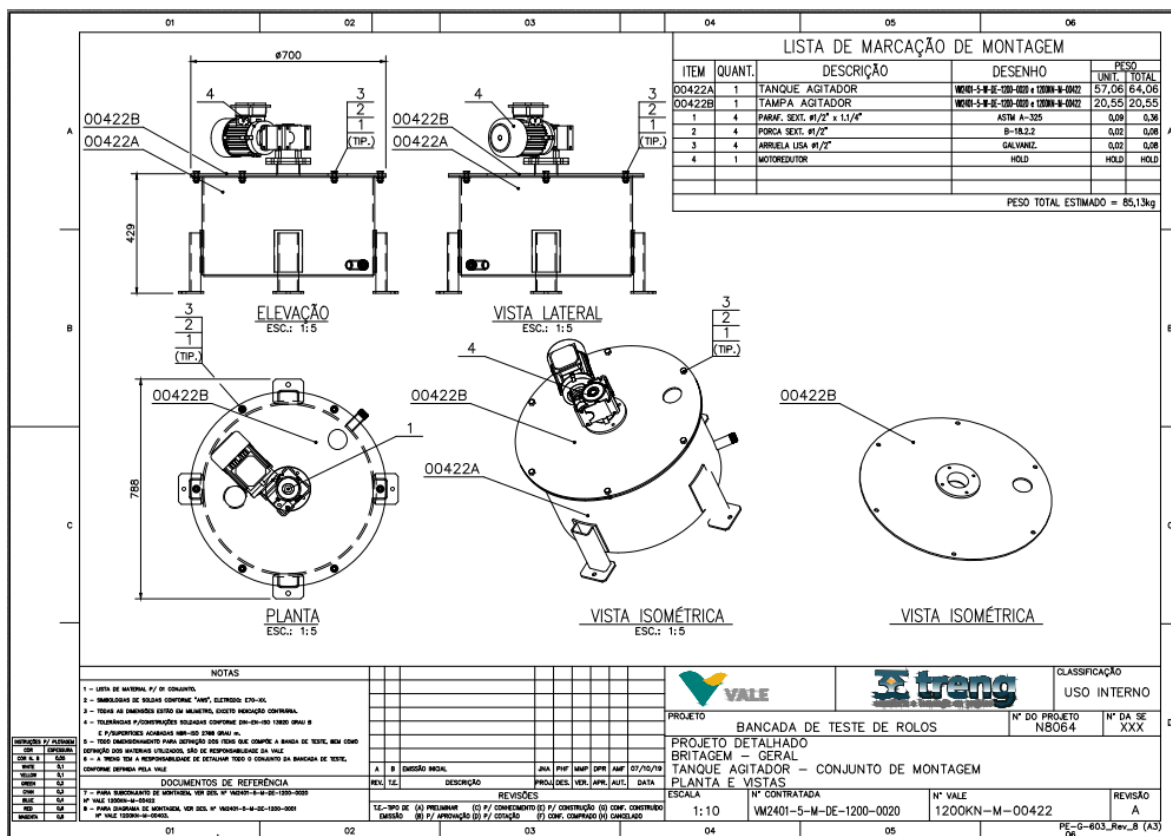
ANEXO E - PROJETOS DETALHADOS PARA FABRICAÇÃO.

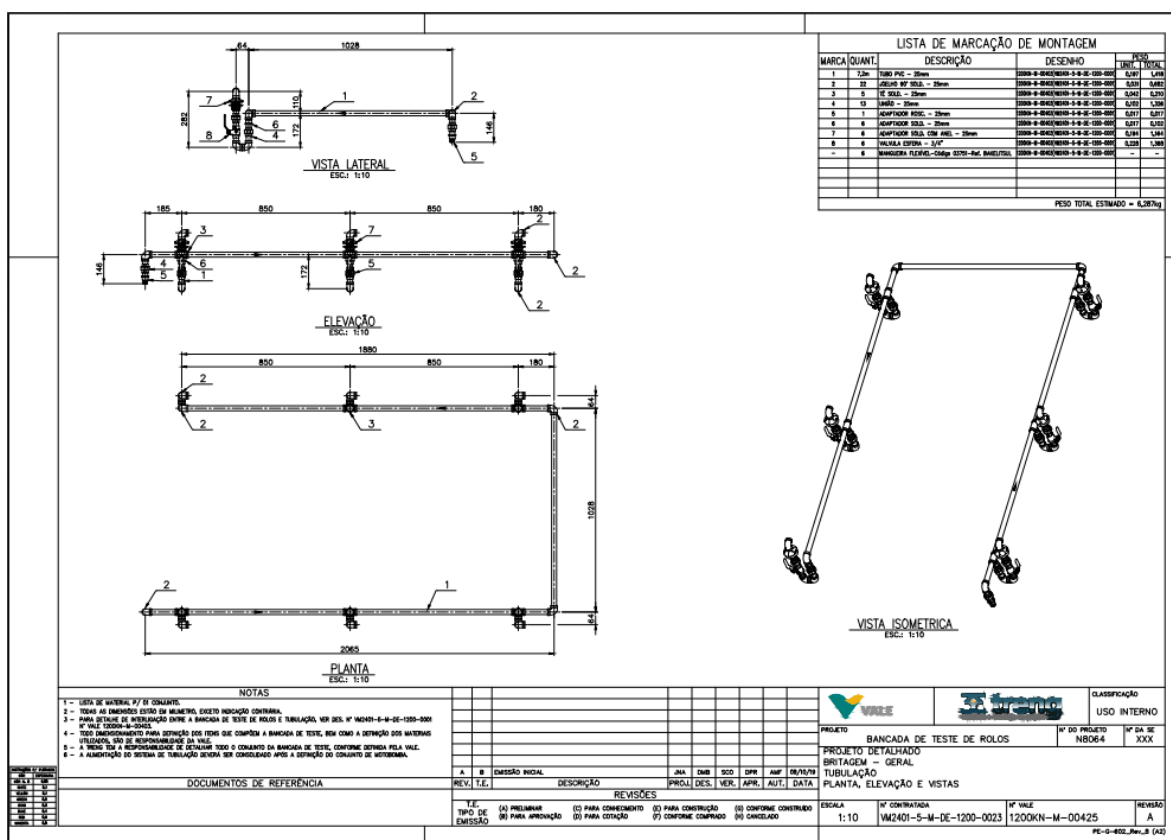
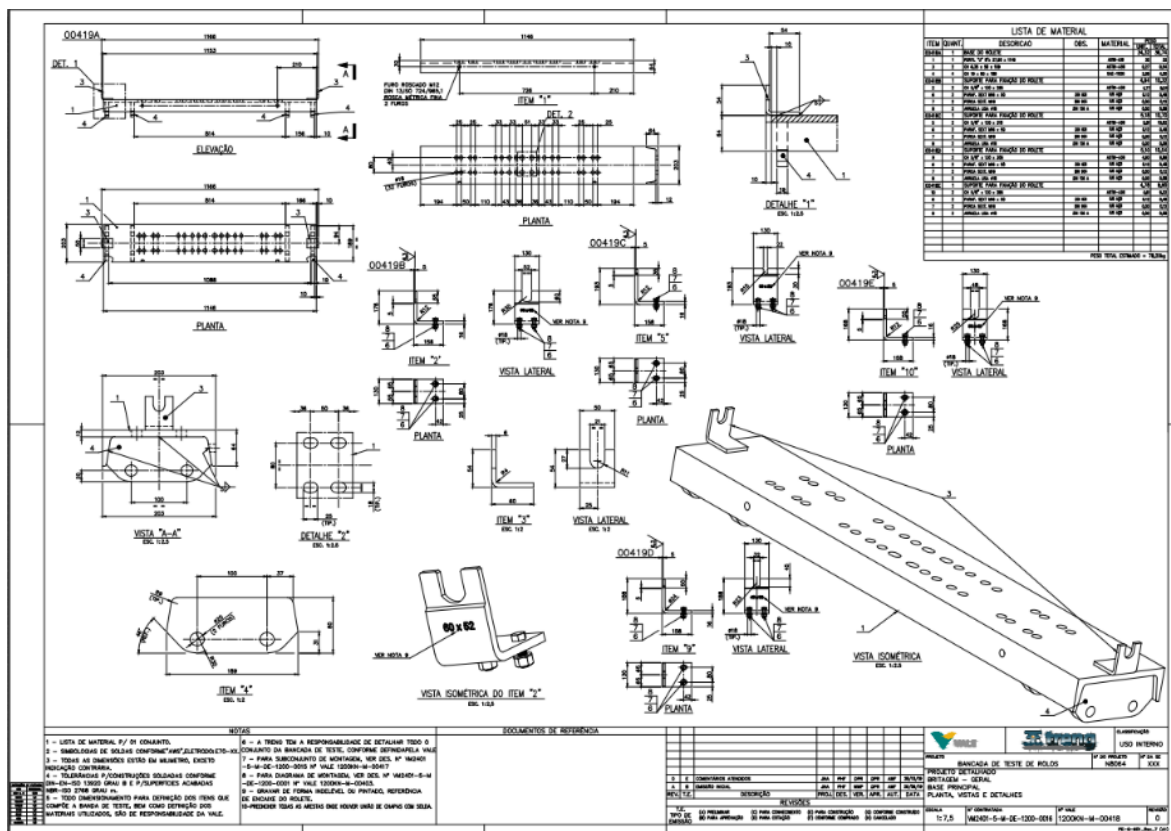
Projetos detalhados para fabricação das estruturas, mecanismos, instrumentação e elétrica.

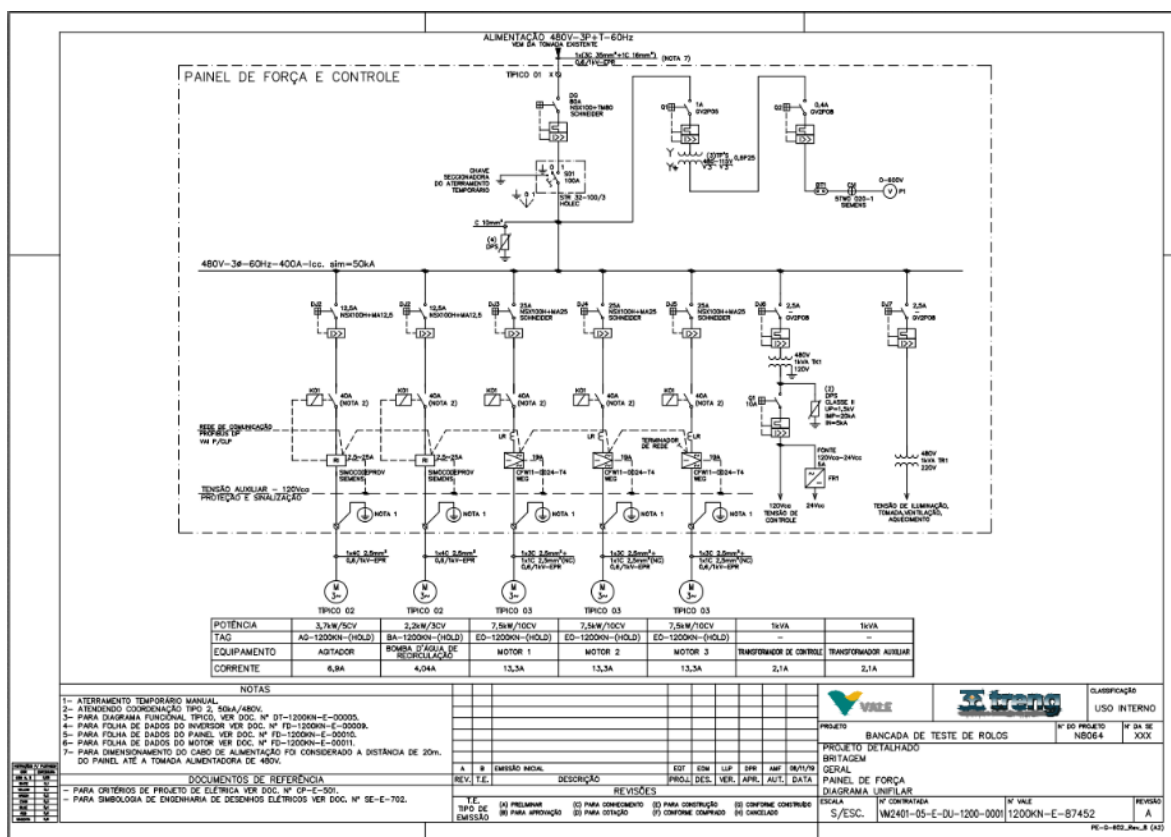
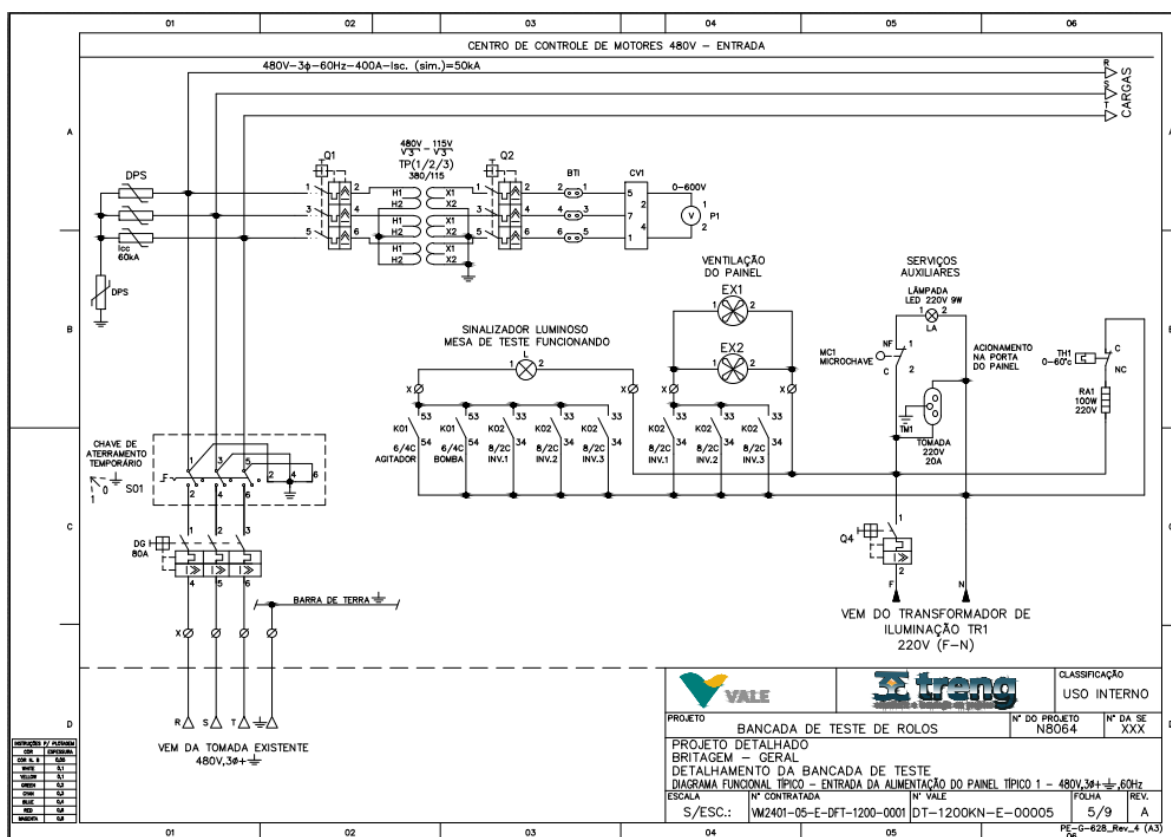


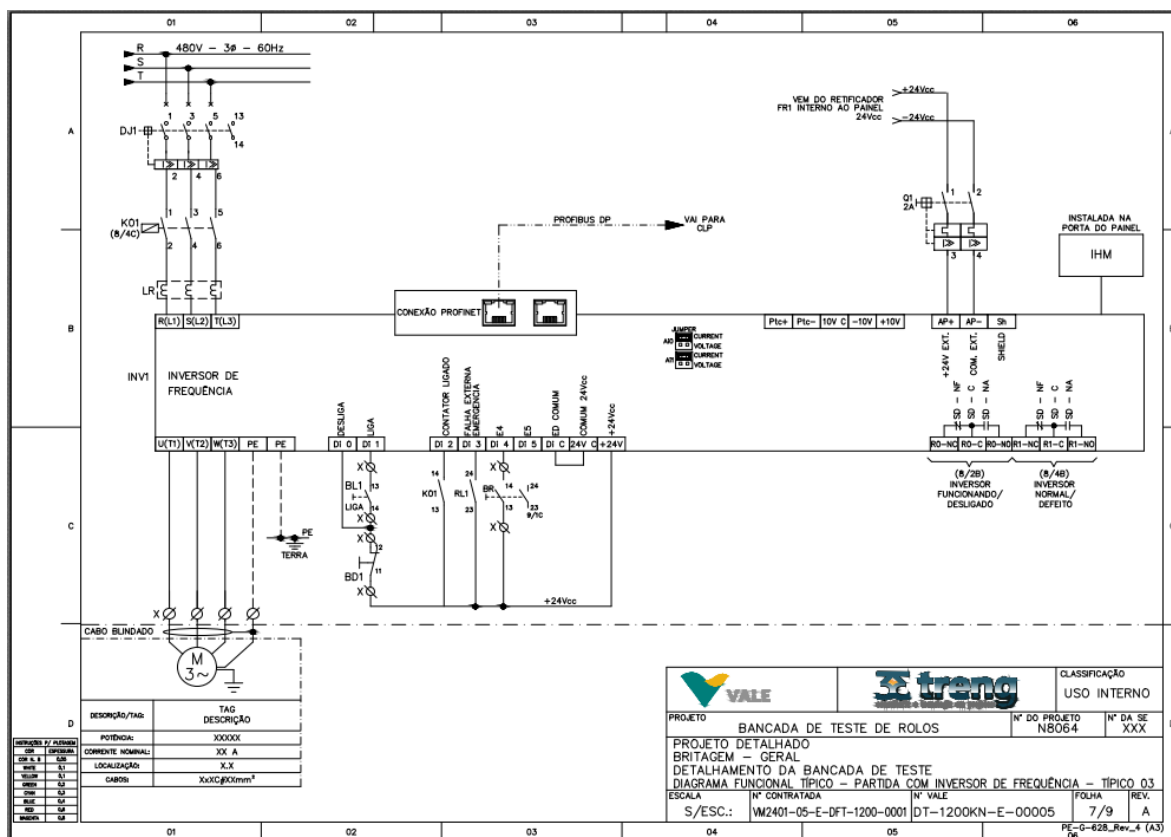
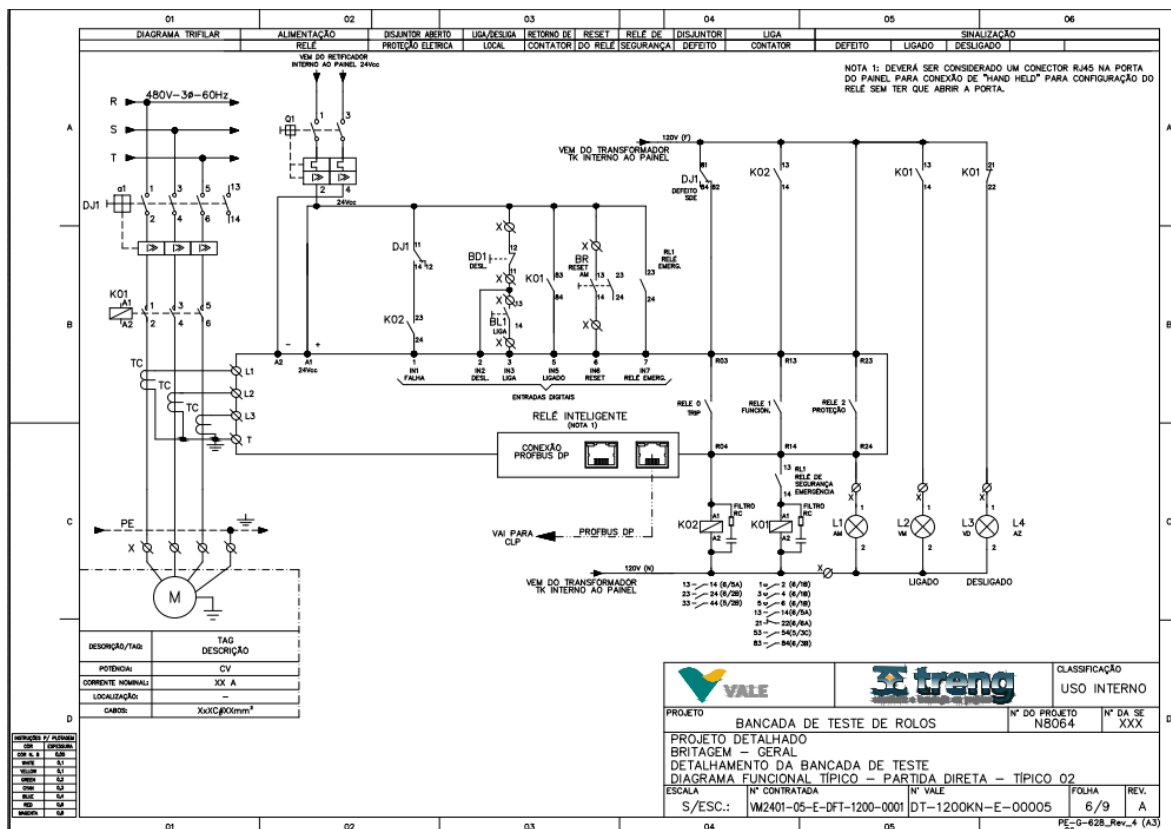


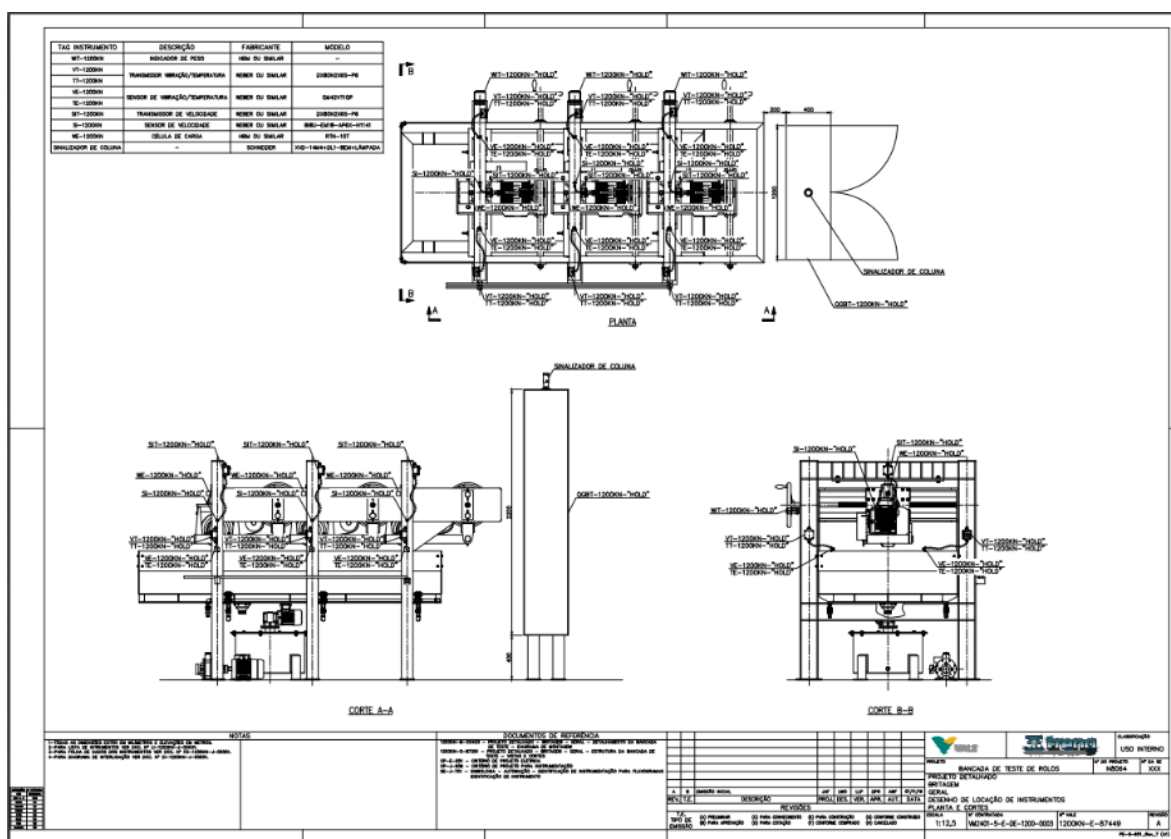








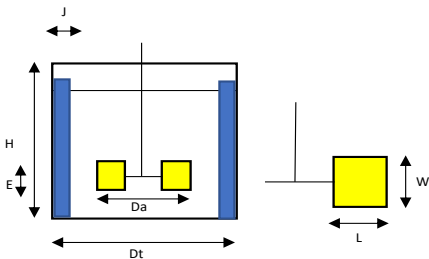


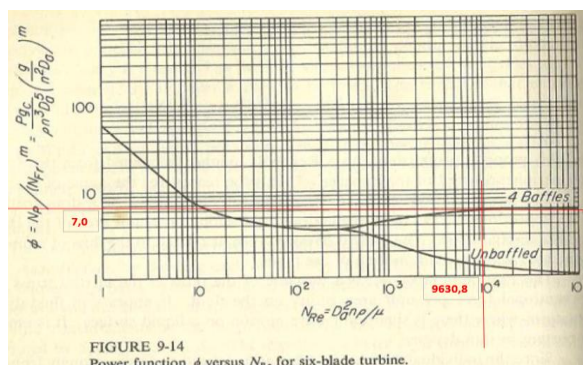


APÊNDICE - PLANILHAS E IMAGENS DE SIMULAÇÕES DE MEF E CFD

Este espaço estão os estudos correlacionados a esta obra executados pelo auto nas etapas de dimensionamento do projeto da bancada de teste.

Planilha de cálculo para agitador.

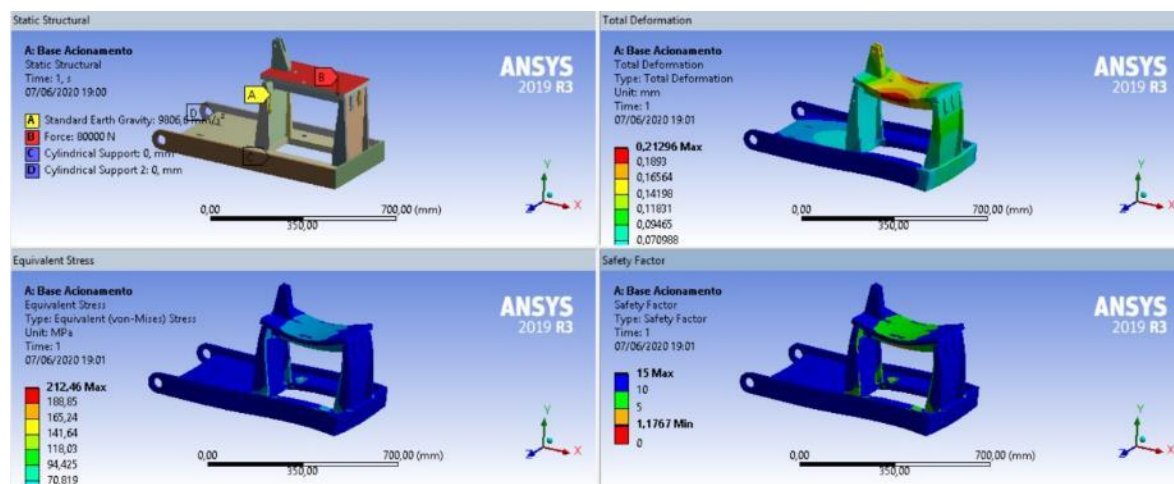
DIMENSIONAMENTO DO AGITADOR / MISTURADOR			
		Dados de Entrada	
		H= 800,0 mm	Altura do líquido no Tanque
		Dt= 800,0 mm	Diâmetro do Tanque
		Npas= 6,0	Número de pás
		Ndef= 4,0	Número de defletoras
		$\mu(\text{polpa})= 0,0106 \text{ kg/(m.s)}$	Viscosidade polpa de minério 15% FeO3
		$\rho(\text{polpa})= 1538,1 \text{ kg/m}^3$	Densidade da polpa de minério 15% FeO3
		n= 100,0 rpm	Rotação do impelidor
		$\mu(\text{H}_2\text{O})= 997,0 \text{ kg/m}^3$	Densidade H2O
		$\mu(\text{FeO}_3)= 2500,0 \text{ kg/m}^3$	Densidade FeO3
		Vol(v1+v2)= 0,4 m3	Volume do Tanque
		$\eta= 82\%$	Rendimento do motor
Fatores de forma de um tanque padrão			
S1= Dt/Da= 3	S3= L/Da= 1/4	S5= J/Dt= 1/12	
S2= E/Da= 1	S4= W/Da= 1/5	S6= H/Dt= 1	
Formulação: $R_e = D_a^2 n \rho / \mu$ Número de Reynolds $N_p = P / (\rho n^3 D_a^5)$ Número de potência $\mu = \frac{m_1 + m_2}{v_1 + v_2}$			
Dados de Saída			
Da= 200 mm	Largura da turbina		
E= 200 mm	Dist. Turbina ao fundo		
L= 50 mm	Largura da Pá		
W= 40 mm	Altura da Pá		
J= 66,66667 mm	Largura das chicanas		
$\phi = N_p$	Aprox. Gráfico 9-14		
Re= 9630,757			
m(H2O)= 256,59 Kg	Massa de água		
m(FeO3)= 361,91 Kg	Massa de FeO3a 36% concentr.		
P= 15,95 W	Potencia requerida pelo agitador		
Pm= 19,45 W	Potencia do motor		



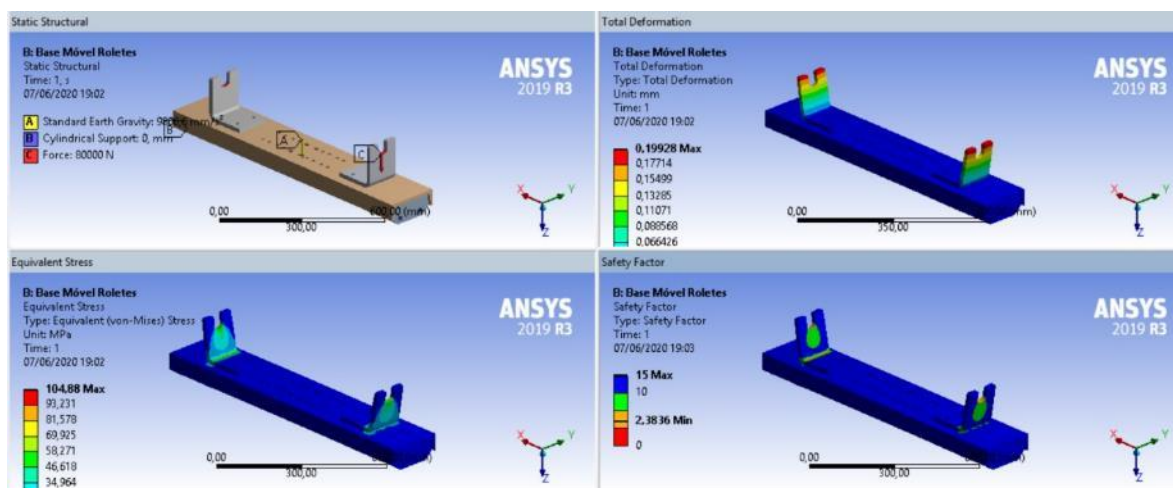
Fonte: Autor (2020).

Análise estrutural das peças em separado.

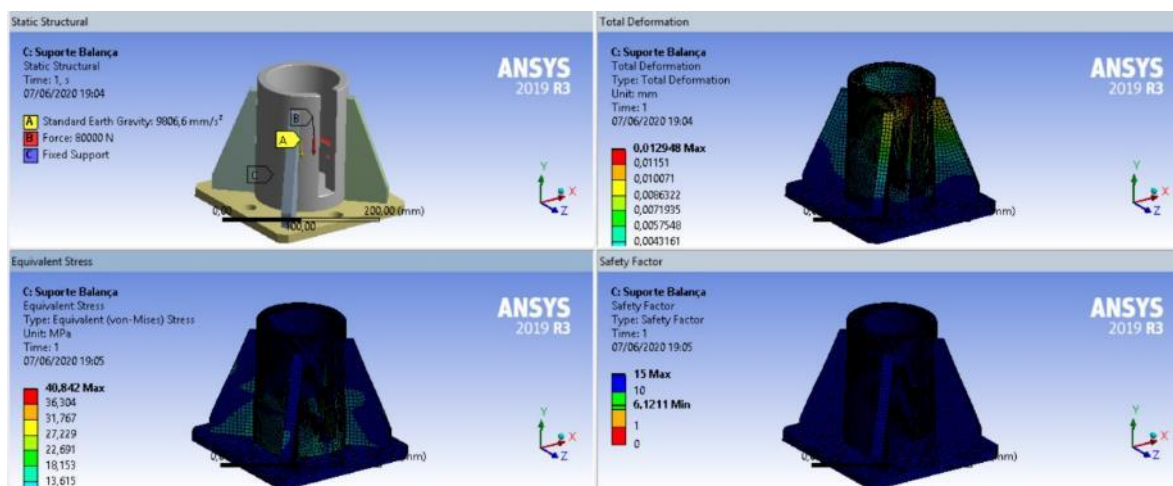
Base do cilindro



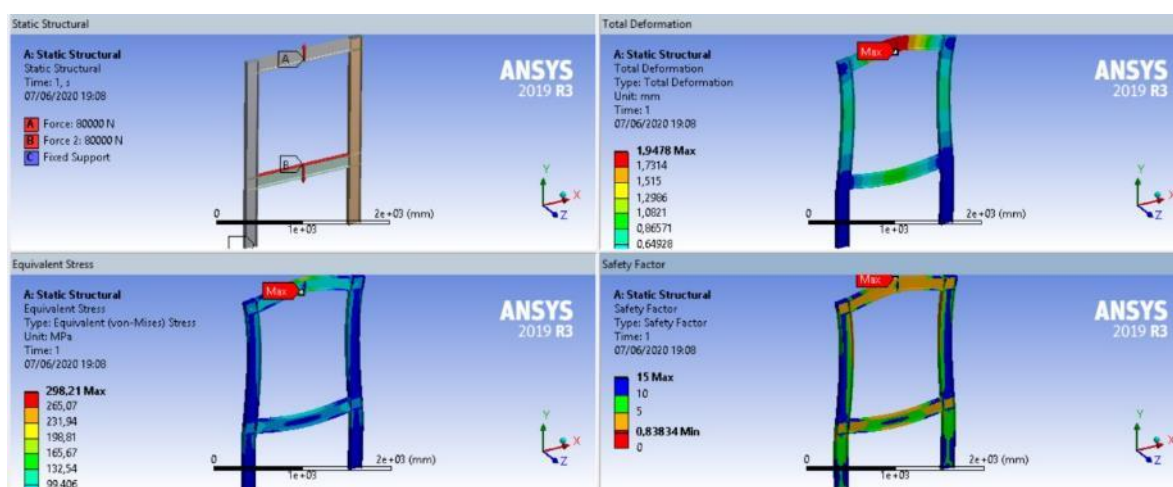
Base do Roleta de teste



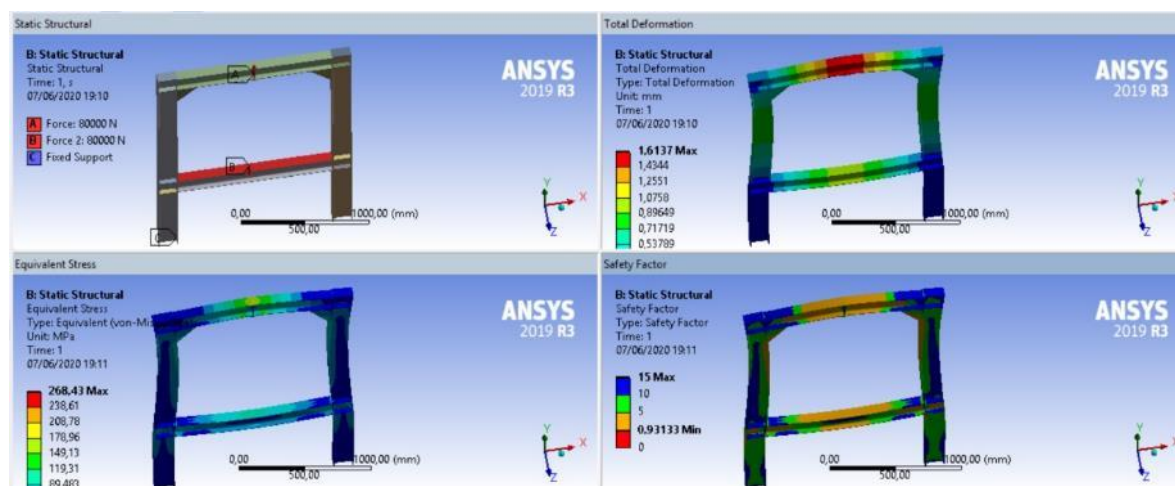
Base da célula de carga e apoio de cilindro hidráulico.



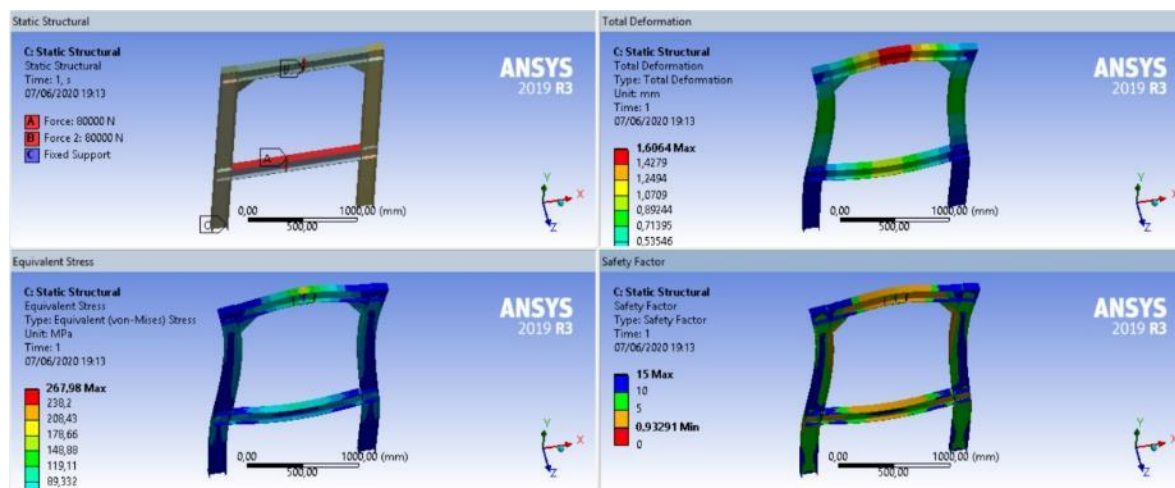
Análise estrutural estrutura – prova de carga 16 toneladas(Reprovada).



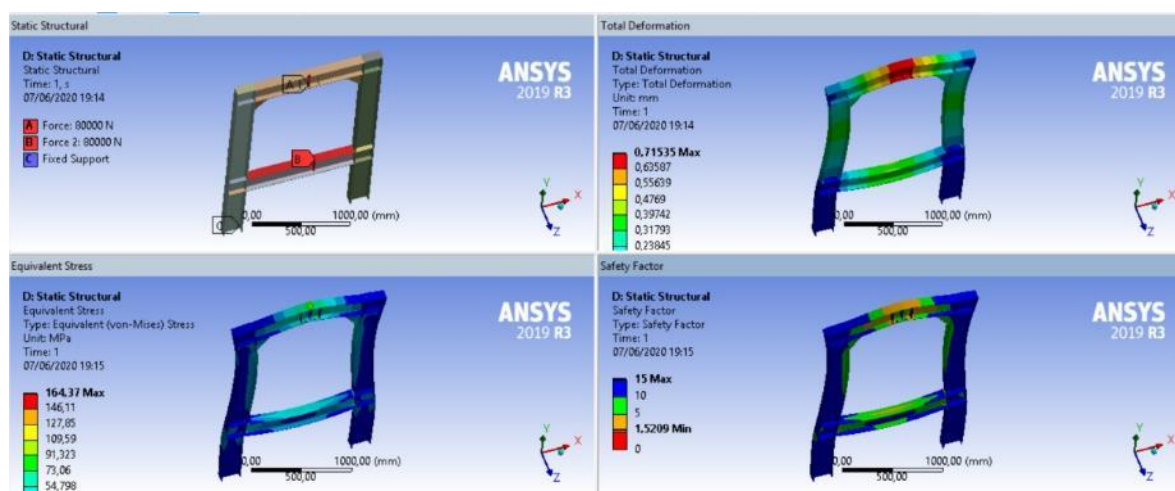
Análise estrutural da estrutura reforços— prova de carga 16 toneladas (Reprovada).



Análise estrutural da estrutura reforços 2— prova de carga 16 toneladas(Reprovada).

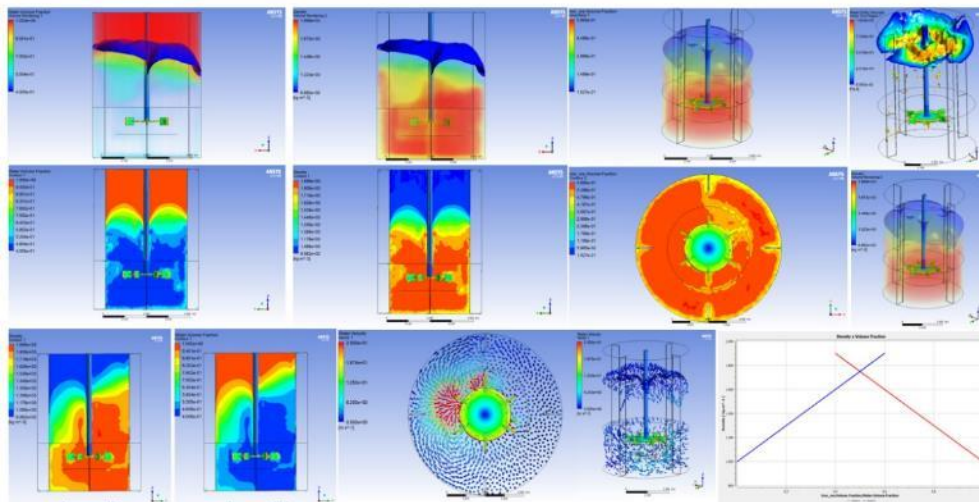


Análise estrutural da estrutura reforços 3— prova de carga 16 toneladas. (Aprovada)

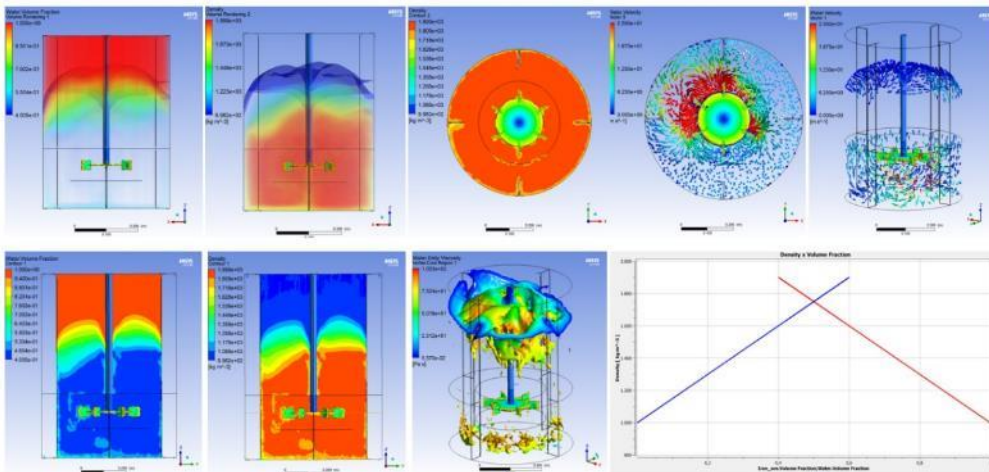


Analises de CFD usadas no apoio a solução do misturador.

Analise de CFD – FLUENT 10 RPM



Analise de CFD – FLUENT 100 RPM



Analise de CFD – FLUENT 400 RPM

