



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



PEDRO HENRIQUE FREITAS

**METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE LINHA DE VIDA
HORIZONTAL**

OURO PRETO - MG
2021

PEDRO HENRIQUE FREITAS

**METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE LINHA DE VIDA
HORIZONTAL**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc.Vinícius Carvalho Teles

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F866m Freitas, Pedro Henrique .

Metodologia para dimensionamento de linha de vida horizontal.
[manuscrito] / Pedro Henrique Freitas. - 2021.
63 f.: il.: color., tab.. + Fluxograma .

Orientador: Prof. Dr. VINICIUS CARVALHO TELES.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Projeto - Trabalho em altura. 2. Fios de aço. 3. Normas técnicas
(Engenharia) - NR 35. 4. Ancoragem (Engenharia de estruturas) - Linha
de vida horizontal. I. TELES, VINICIUS CARVALHO. II. Universidade Federal
de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Henrique Freitas

Metodologia para dimensionamento de linha de vida horizontal

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 10 de Dezembro de 2021

Membros da banca

Doutor - Vinícius Carvalho Teles - Universidade Federal de Ouro Preto
Mestre - Rina Mariane Alves Dutra - Universidade Federal de São João Del Rei
Mestre - Túlio Miorini Vieira Alves Rodrigues

Vinícius Carvalho Teles, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/12/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Vinícius Carvalho Teles, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2021, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0257574** e o código CRC **8C32315F**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013135/2021-65

SEI nº 0257574

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

Dedico a Deus, Minha família e a todos
que de alguma forma me apoiaram nessa
caminhada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por mais essa etapa vencida, sempre guiando meus passos e me dando forças para continuar.

Aos meus queridos pais, Elke e Carla que são a origem de tudo e sempre me deram suporte em todos os momentos, com compreensão, sabedoria e esforço para que eu pudesse concretizar os meus sonhos.

Ao meu irmão Carlos, pelo apoio e incentivo para continuar a minha caminhada sempre me auxiliando e sendo o meu ponto de referência. A minha namorada Lívia que esteve ao meu lado, com paciência, apoio, dedicação e compreensão durante todos esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vinicius Carvalho Telles por toda a paciência e tempo despendido em apoio ao trabalho.

Aos meus colegas de trabalho da CSN Mineração, por toda a compreensão durante esse tempo, em especial ao Lébio Martins que me apoiou e ajudou durante a minha inserção ao mercado profissional e que me orientou durante a realização deste estudo.

Aos meus amigos que estiveram sempre presentes e atentos ao meu percurso.

“Somos o que repetidamente fazemos. A excelência, portanto, não é um feito, mas um hábito”.

Aristóteles

RESUMO

A NR 35 exige que as empresas, por meio do Ministério do Trabalho, tomem todas as medidas de proteção para tornar o trabalho em altura mais seguro, mas mesmo assim há muito para melhorar, isso pode ser confirmado através das estatísticas do Ministério do Trabalho (2018), que afirma que 40% de todos acidentes de trabalho entre 2012 e 2018, tem como causa a execução de atividades em altura.

Toda atividade com diferença de nível acima de dois metros de altura é considerada trabalho em altura e deverá seguir as exigências da NR 35. O sistema de linha de vida horizontal é exigido em determinadas atividades para resguardar a saúde do colaborador. E garantir que esse dispositivo atue de maneira segura é um fator essencial. Assim, foi realizado o trabalho de maneira a transparecer os cálculos e análises feitas para determinar os componentes necessários para instalação da linha de vida. No final do trabalho, foram reunidos todos os resultados encontrados, para atender mais de 100 casos e situações distintas, em tabelas padronizadas que servirão como auxílio para o profissional legalmente habilitado.

A busca por esse projeto foi devido a necessidade de adequar os sistemas de linha de vida instalados na CSN Mineração. Havia dezenas de sistemas de proteção instalados e em operação, porém não havia memorial de cálculo confirmando sua segurança. Assim foi elaborado esse presente estudo de maneira a padronizar as linhas de vidas já existentes e facilitar os futuros projetos de maneira rápida, segura e abrangendo diversos casos.

Palavras-chave: Linha de Vida. Ancoragem. Projeto. Trabalho em Altura. NR35.

ABSTRACT

NR 35 requires companies, through the Ministry of Labor, to take all protective measures to make working at height safer, but there is still a lot to improve, this can be confirmed through Ministry of Labor statistics (2018), which states that 40% of all work accidents between 2012 and 2018 are caused by carrying out activities at height.

Any activity with a difference in level above two meters in height is considered work at height and must follow the requirements of NR 35. The horizontal lifeline system is required in certain activities to protect the health of the employee. And ensuring that this device operates securely is critical. Thus, the work was carried out in order to reveal the calculations and analyzes made to determine the components necessary for the installation of the lifeline. At the end of the work, all the results found were gathered, to deal with more than 100 different cases and situations, in standardized tables that will serve as assistance for the legally qualified professional.

The search for this project was due to the need to adapt the lifeline systems installed at CSN Mineração. There were dozens of protection systems installed and in operation, but there was no calculus memorial confirming their safety. Thus, this present study was prepared in order to standardize the existing lifelines and facilitate future projects in a fast, safe way and covering several cases.

Key-words: : Life line. Anchoring. Project. Work at height. NR 35

LISTA DE SIMBOLOS

P: Peso do Colaborador.

H: Distância disponível para queda, ou distância do absorvedor.

FS: Fator de Segurança

K: Constante de rigidez do material

α : Ângulo resultante do tensionamento do cabo de aço;

T: Tensão.

δ : Deformação Elástica sofrida no objeto;

F: Força;

L: Comprimento do cabo;

A: Area da secção;

E: Módulo de elasticidade;

T: Tensão no cabo de aço

Lo: Comprimento Inicial

Am: Área metálica do cabo

f: Flecha

La: Comprimento do absorvedor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha de Vida Horizontal

Figura 2: Linha de vida vertical.

Figura 3: Kit linha de vida, marca Altiseg.

Figura 4 : Diferentes sistemas de ancoragem.

Figura 4a: Olhal para ancoragem, sistema do tipo A

Figura 4b: Dispositivo de ancoragem tipo B

Figura 4c: Dispositivo de ancoragem tipo C

Figura 4d: Ancoragem do tipo D.

Figura 5: Exemplo de cinto de segurança tipo paraquedista.

Figura 6: Exemplos de aplicação para talabarte.

Figura 7: Desenho esquemático do funcionamento do absorvedor.

Figura 8: Ilustração dos fatores de queda

Figura 9. Comportamento de um corpo de prova esquemático submetido a um ensaio de tração

Figura 10- Curva tensão x deformação e limite de elasticidade

Figura 11: Esquema ilustrativo da linha de vida se comportando como um conjunto de molas.

Figura 12: Linha de vida horizontal sujeita a carga concentrada aplicada no meio do vão.

Figura 13: Dimensões de manilhas G-2130

Figura 14: Olhal com anéis de reforço e suas variáveis para distinguir no dimensionamento

Figura 15: Dimensão do olhal para utilizar o cabo de 9,5mm de diâmetro

Figura 16: Validação dos esforços para cada parte do olhal

Figura 17: Fluxograma a respeito da convergência de equações encontrada

Figura 18: Planilha de iterações para o cálculo da linha de vida.

Figura 19: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1.

Figura 20: Projeto Linha de Vida sobre correia transportadora.

Figura 21: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1 – Identificação de cabo de aço.

Figura 22: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1 – Dimensões do olhal de ancoragem.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do cabo de aço da classe 6X19.

Tabela 2: Carga de ruptura dos respectivos cabos de aços.

Tabela 3: Especificações da manilha selecionada para projeto

Tabela 4: Manilhas selecionadas para cada cabo de aço utilizado no projeto

Tabela 5: Dimensões de esticadores tubular

Tabela 6: Esticadores selecionados para cada diâmetro de cabo de aço

Tabela 7: Dimensões da sapatilha conforme catálogo

Tabela 8: Especificação de montagem do grampo pesado

Tabela: 9 Variáveis e Indicadores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	2
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Segurança do Trabalho	5
2.2	Linha de Vida	6
2.3	Sistema de Ancoragem	7
2.4	Classificação de linhas de vida	8
2.5	Classificação de dispositivos de ancoragem.....	9
2.6	Equipamentos de proteção individual (EPI).....	11
2.7	Zona livre de queda	14
2.8	Resistencia dos materiais.....	15
2.9	Ensaio de tração.....	16
2.10	Critério de resistência	18
2.11	Força de Impacto	18
3	METODOLOGIA.....	20
3.1	Tipo de Pesquisa.....	20
3.2	Materiais e Métodos	20
3.2.1	Modelo de Linha de Vida Proposta	20
3.2.2	Componentes	25
3.3	Variáveis e Indicadores	34
3.4	Tabulação de Dados.....	35
3.5	Instrumento de Coleta de Dados.....	35
3.6	Considerações Finais	36
4	RESULTADOS	37
4.1	Como utilizar as tabelas padronizadas.....	1
4.2	Exemplos do dimensionamento de linha de vida de retenção de queda.....	2

5	CONCLUSÃO.....	3
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	4

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Dentro do cenário brasileiro, os acidentes de trabalho relacionados a quedas com diferença de nível, cada vez mais, tem sido umas das principais causas de mortes, de acordo com Instituto Nacional do Seguro Social - INSS - (2016). A falta de procedimentos necessários para a eliminação dos perigos, decorrentes do trabalho em altura, ainda é muito precária. Diante disso, o presente estudo tem como tema a compreensão e elaboração de uma técnica para o dimensionamento de uma linha de vida, ou seja, um dispositivo de segurança para trabalho em altura, pela perspectiva da Engenharia Mecânica e das normas de segurança de trabalho.

O problema analisado diz respeito a necessidade de medidas preventivas para evitar acidentes devido aos riscos que os empregados estão sujeitos no trabalho em altura. Entre 2012 e 2018, no Brasil, foi registrado a cada 3 horas e 40 minutos uma morte por acidente de trabalho, segundo o Observatório Digital de Segurança do Trabalho (2019). Dentro dessas estatísticas, 40% são referentes a quedas de funcionários em altura, de acordo com o Ministério do Trabalho e Emprego (2018), que poderiam ser evitadas ou reduzidas com as devidas medidas preventivas.

Devido aos riscos que os trabalhadores estão expostos, ao exercer sua atividade, torna-se necessários a existência de uma regulamentação acerca do assunto. A função disso fica a cargo das Normas Regulamentadoras, que visam estabelecer orientações sobre os procedimentos técnicos a serem seguidos, no que diz respeito à segurança e à saúde do trabalhador em determinada atividade, função ou área de atuação. No momento atual, existem 36 normas vigentes, relativas à segurança e a medicina do trabalho. Como objeto para este estudo, será analisado a Norma Regulamentadora 35 que estabelece requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, como o planejamento, a organização e a execução de atividades em que haja risco de queda.

A norma regulamentadora NR-35, estabelecida pelo Ministério do Trabalho, apresenta as condições essenciais para o trabalho em altura, como forma de garantir a segurança e saúde dos empregados. Porém, para utilização de equipamentos de segurança, é necessário a realização do dimensionamento e projetos muito bem detalhado para evitar erros de análises.

Desse modo, é importante destacar os equipamentos indispensáveis para os trabalhadores que operam em altura. Sendo eles a ancoragem, dispositivo que tem uma estrutura fixa e que será usada pelo trabalhador como base para ancorar-se, local onde cabos, cordas,

cintos, conectores serão ligados. O cinto de segurança, responsável por envolver a região peitoral, acima dos ombros e entre as coxas do trabalhador, o que distribuirá o impacto em mais de uma região corporal. O absorvedor de energia, importante na dissipação da energia cinética concentrada do trabalhador, durante uma queda.

Diante disso, é muito importante a implementação de um dimensionamento seguro, devido aos riscos de acidente que os colaboradores estão expostos ao realizar o trabalho em altura, que seja capaz de mapear todas as probabilidades existentes e, assim, garantir a proteção dos indivíduos relacionados.

Para direcionar os argumentos futuramente apresentados, faz-se necessário estabelece a pergunta-problema:

Como desenvolver uma linha de vida horizontal que atenda a diversos colaboradores e situações de risco?

1.2 Justificativa

O estudo se justifica diante a necessidade da elaboração de uma linha de vida que contemple as diversas variáveis envolvidas no processo de ancoragem. Sistema que esteja em concordância com a norma trabalhista vigente e que permita a especificação rápida do profissional para a aplicação do sistema em diferentes comprimentos de vãos, número de colaboradores ancorados e todos os fatores de queda. Desse modo, seria possível a diminuição dos acidentes causados devido a variedade de serviços realizados em altura, ademais facilitaria na capacitação dos profissionais envolvidos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Desenvolver um projeto de linha de vida horizontal padronizada que consiga alcançar comprimentos de vãos entre 2 e 25 metros, 4 tipos de diâmetros de cabo de aço e 3 fatores de quedas e, com isso, abarcar um maior número de casos.

1.3.2 Específicos

- Apresentar conceitos sobre a segurança do trabalho;

- Conhecer as responsabilidades do empregado e empregador, quanto as medidas de proteção para o trabalho em altura;
- Apresentar o conceito de linha de vida e suas diferentes classificações;
- Citar os Equipamentos de Proteção Individual obrigatórios para trabalho em altura;
- Expor tópicos de resistência dos materiais essenciais para o entendimento da base do dimensionamento;
- Apresentar as premissas para a realização dos cálculos;
- Apresentar o dimensionamento de ancoragem do projeto;
- Dimensionar os componentes seguindo as normas da NR-35, NR-12 e NBR 16325.
- Especificar a faixa de utilização da linha de vida;
- Montar uma tabela para atender diferentes situações, abrangendo diferentes situações;
- Facilitar a análise do responsável habilitado para o dimensionamento da atividade.

1.4 Estrutura do Trabalho

Inicialmente, o trabalho será dividido em cinco capítulos. No primeiro apresentou-se a introdução, o problema, a justificativa para a propositura do estudo e a elucidação dos objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo trata-se da revisão bibliográfica, dos fundamentos necessários para a realização do dimensionamento e dos conceitos para entendimento do projeto, além de especificar a ancoragem e a determinação de cada componente.

No terceiro é apresentado a metodologia utilizada para a realização dos fatores considerados para a realização do dimensionamento dos componentes, com o objetivo de abranger a maior quantidade de casos e facilitar a análise do profissional.

No capítulo quatro é feito um levantamento de dados e cálculos necessários para a realização do dimensionamento. Além disso, é demonstrado a existência dos riscos na execução do trabalho em altura, os quais apresentam risco de queda, e, os cálculos detalhados desses na aplicação de um estudo de caso teórico.

E, para finalizar, o último capítulo pretende demonstrar e concluir a importância da utilização dos cálculos, como maneira de garantir uma maior segurança dos colaboradores no trabalho em altura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Segurança do Trabalho

“A segurança do trabalho é a ciência que estuda as possíveis causas dos acidentes e incidentes durante a atividade laboral do trabalhador. Ela atinge sua finalidade quando consegue proporcionar a ambos, empregado e empregador, um ambiente de trabalho saudável e seguro.” (BARSANO; BARBOSA; 2018, p. 19).

Segundo Rossete (2015), conceitua o termo segurança do trabalho como “conjunto de medidas técnicas, médicas e psicológicas relacionadas ao bem-estar do colaborador, que visa a prevenção de acidentes atuando na conscientização e educação do empregado, fornecendo informações e orientações necessárias sobre acidentes.”

Chiavenato (1999) destaca que “os acidentes de trabalho podem ser entendidos como ocorrências imprevistas, evitáveis na maioria das vezes, que sejam do trabalho, os quais provocam, direta ou indiretamente, lesão corporal, perturbação funcional e/ou doença.”

Atualmente existem diversas normas que visam a padronização dos procedimentos de segurança do trabalho. As normas regulamentadoras, mais conhecidas como NR, foram desenvolvidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego com o objetivo de zelar a saúde e a segurança dos colaboradores. A Norma Regulamentadora de número 35 - NR35 (2012), considera trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda. Entretanto, a queda não é o único perigo no trabalho em altura.

Para atender as atividades que envolvem o trabalho em altura, em diferentes setores, a NR 35 (2012), “estabelece requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos”.

A norma ainda estabelece responsabilidades ao empregador e aos trabalhadores, determinando obrigações para aqueles envolvidos na execução da atividade, seja direta ou indiretamente (NR 35, 2012)

35.2 Responsabilidades

35.2.1 Cabe ao empregador: b) assegurar a realização da Análise de Risco - AR e, quando aplicável, a emissão da Permissão de Trabalho - PT; c) desenvolver procedimento operacional para as atividades rotineiras de trabalho em altura; d) assegurar a realização de avaliação prévia das condições no local do trabalho em altura, pelo estudo, planejamento e implementação das ações e das medidas

complementares de segurança aplicáveis; e) adotar as providências necessárias para acompanhar o cumprimento das medidas de proteção estabelecidas nesta Norma pelas empresas contratadas; f) garantir aos trabalhadores informações atualizadas sobre os riscos e as medidas de controle; g) garantir que qualquer trabalho em altura só se inicie depois de adotadas as medidas de proteção definidas nesta Norma; h) assegurar a suspensão dos trabalhos em altura quando verificar situação ou condição de risco não prevista, cuja eliminação ou neutralização imediata não seja possível; i) estabelecer uma sistemática de autorização dos trabalhadores para trabalho em altura; j) assegurar que todo trabalho em altura seja realizado sob supervisão, cuja forma será definida pela análise de riscos de acordo com as peculiaridades da atividade; k) assegurar a organização e o arquivamento da documentação prevista nesta Norma.

35.2.2 Cabe aos Trabalhadores: b) colaborar com o empregador na implementação das disposições contidas nesta Norma; c) interromper suas atividades exercendo o direito de recusa, sempre que constatarem evidências de riscos graves e iminentes para sua segurança e saúde ou a de outras pessoas, comunicando imediatamente o fato a seu superior hierárquico, que diligenciará as medidas cabíveis; d) zelar pela sua segurança e saúde e a de outras pessoas que possam ser afetadas por suas ações ou omissões no trabalho.

A norma ainda restringe a obrigatoriedade de capacitação de trabalho em altura a aquele que for submetido e aprovado em treinamentos teóricos e práticos, com carga horária mínima de oito horas e contendo no edital alguns itens obrigatórios, sendo eles (NR35, 2012):

a) normas e regulamentos aplicáveis ao trabalho em altura; b) análise de Risco e condições impeditivas; c) riscos potenciais inerentes ao trabalho em altura e medidas de prevenção e controle; d) sistemas, equipamentos e procedimentos de proteção coletiva; e) equipamentos de Proteção Individual para trabalho em altura: seleção, inspeção, conservação e limitação de uso; f) acidentes típicos em trabalhos em altura; g) condutas em situações de emergência, incluindo noções de técnicas de resgate e de primeiros socorros.

2.2 Linha de Vida

Sampaio e Simon (2017, p. 3), conceitua esse dispositivo como um sistema composto de um cabo flexível, como um cabo de aço, com conectores em ambas as extremidades, para fixá-lo horizontalmente entre duas ancoragens.

A linha de vida é o termo utilizado para referir a um equipamento de segurança para trabalho em altura. Depois que esse sistema é instalado a atividade é permitida a partir do momento que o cinto de segurança do trabalhador é conectado a linha de vida, possibilitando que seus usuários tenha a liberdade de movimentar em toda sua extensão, protegidos contra uma eventual queda, conforme a figura. 1.



Figura 1: Linha de Vida Horizontal
Fonte: Thommem Engenharia (2021)

As linhas de vidas são equipamentos de segurança indicadas para atividades realizadas em alturas superiores a dois metros, instalados onde há atividades com risco de queda, como visto na figura 1, um colaborador caminhando sobre o telhado, com o cinto de segurança atracado na linha de vida horizontal, possibilitando que o colaborador trabalhe com segurança em toda extensão da linha.

O sistema de ancoragem para esse modelo varia conforme a necessidade e a disponibilidade do local e para isso deve ser bem dimensionado, conforme descrito na NR 35 (2012). É recomendado que em qualquer instalação contenha um estudo descritivo como um memorial de cálculo, em conjunto com o projeto e sua respectiva ART- Anotação de Responsabilidade Técnica – NR 35 (2012).

2.3 Sistema de Ancoragem

O sistema de ancoragem é definido no Anexo II da Norma Regulamentadora 35 (2012), como:

“conjunto de componentes que incorpora um ou mais pontos de ancoragem, aos quais podem ser conectados Equipamentos de Proteção Individual (EPI) contra quedas, diretamente ou por meio de outro componente e projetado para suportar forças aplicáveis”.

Sem dúvidas, quando se cita o trabalho em altura, um dos aspectos mais importante é a ancoragem, que tem como função de suportar toda a energia de uma queda em apenas um ou dois pontos de fixação. É de suma importância, assim como nos EPI's, escolher materiais de

confiança, onde possui referência no mercado de trabalho e principalmente possuir certificado de aprovação (CA). A escolha por materiais paliativos em busca da redução de custos para a execução do projeto pode colocar em risco a vida de muitas pessoas.

2.4 Classificação de linhas de vida

As linhas de vida verticais são empregadas em acessos que necessitam do movimento de subir ou descer de estruturas e escadas, conforme demonstrado na figura 2



Figura 2: Linha de vida vertical

Fonte: Teclogo, 2021

A figura 2, retirada do site da Teclogo, destaca um homem utilizando a escada do tipo marinheiro seguindo os requisitos da NR 35, utilizando o devido cinto de segurança atracado na linha de vida do tipo vertical.

A linha de vida horizontal fixa é um dispositivo de segurança composto por ancoragem permanente que utiliza cabo metálico flexível, permitindo que o trabalhador se locomova por toda extensão do cabo, conforme figura 1. Segundo Sampaio e Simon, (2017) este modelo de linha de vida é o mais utilizado atualmente, devido a sua abrangência em atividades que permite ser dimensionado para grandes extensões de trabalho e suportar diversas pessoas durante a mesma atividade.

A linha de vida móvel pode ser utilizada na vertical e horizontal, desde que seja bem avaliada. Normalmente esse sistema é vendido por empresas de equipamentos de segurança, que

oferecem kits de acessórios para instalação e montagem conforme a necessidade do cliente. A figura 3 ilustra o anúncio de venda do kit da marca Altiseg, o produto é oferecido com todos os componentes necessários para fazer a instalação, além de documentos de ensaio do dispositivo, atestando a segurança do equipamento.



Figura 3: Kit linha de vida, marca Altiseg.

Fonte: Superepi.com.br, 2021

A figura 3 demonstra a foto de um kit de linha de vida móvel, retirado de um site de vendas de equipamentos de segurança (Super EPI). O produto inclui uma corda de 12mm constituído em traçado triplo e alma central, com limite de carga de 20kN e para apenas um trabalhador. O kit é vendido por R\$1.800,00.

O mesmo site destaca algumas vantagens para adesão do equipamento, entre elas a agilidade em montar e desmontar sem a necessidade de ferramentas especiais, basta apenas conectar a linha de vida, amarrar os adaptadores a uma estrutura adequada e tensionar a linha de vida com a catraca integrada.

2.5 Classificação de dispositivos de ancoragem

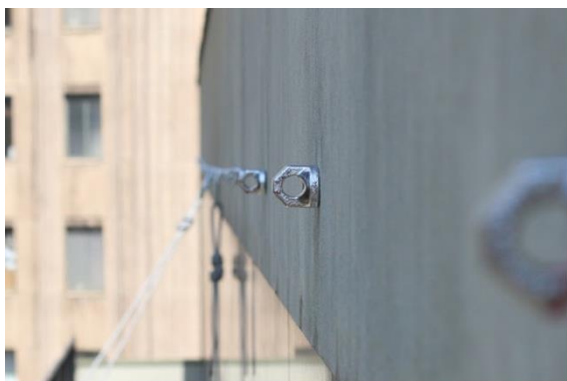
As normas que classificam os pontos de ancoragem são NBR 16325-1 (2014) e a NB16325-2 (2015). Estas normas especificam quatro estilos de ancoragem mais utilizados para sustentação da linha de vida.

A NBR 16325-1 (2014) diz que o sistema de ancoragem tipo A é o dispositivo para ser fixado em uma estrutura por meio de uma ancoragem estrutural, que é fixado de forma permanente na estrutura. O sistema mais comum são os olhais, figura 4a, construídos em material metálico, como aço carbono e aço inox, devido a sua combinação de elevada resistência a cargas e ação do tempo.

O sistema de ancoragem tipo B ou linhas de vidas móveis ou provisórias, como indicado na NBR 16325-1 (2014), tem sua principal característica a fácil remoção e instalação, não dependendo de elementos definitivos em ancoragem estrutural. A figura. 4b mostra um exemplo desse sistema.

A NBR 16325-2 (2015) limita a ancoragem do tipo C para aplicação em linha de vidas flexíveis e horizontais, com limitação de nível de 15° em toda sua extensão. Por ser classificado como um sistema mais complexo, possui uma norma específica para atender esse caso (NBR 16523-2). A figura 4c mostra o dispositivo de fixação para esse sistema.

Por último, o dispositivo tipo D é citado na norma NBR 16325-2 (2015) como uma linha de ancoragem rígida, muito utilizado em atividades de trabalho de carga e descarga, comumente observadas em pontes rolantes, como mostrado na figura 4d.



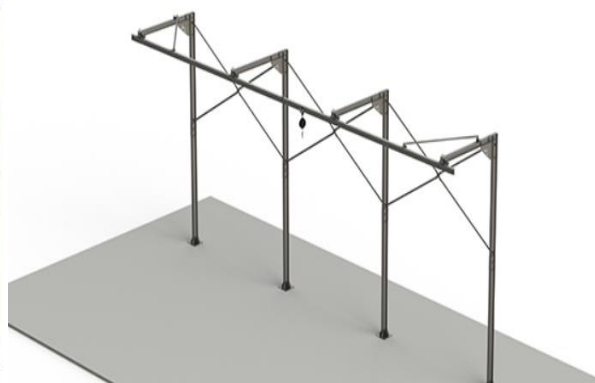
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4: Diferentes sistemas de ancoragem. (a) Olhal para ancoragem, sistema do tipo A; (b) dispositivo de ancoragem tipo B; (c) dispositivo de ancoragem tipo C e (d) ancoragem do tipo D.

Fonte: Dois Dez, 2017; JRV Service, 2020; JRV Service, 2020; JRV Service, 2020.

As figuras acima foram destacadas para demonstrar os diversos tipos de aplicação dos dispositivos de ancoragem.

2.6 Equipamentos de proteção individual (EPI)

Conforme norma regulamentadora NR6 - Equipamento de Proteção Individual - (2018), do Ministério do Trabalho, considera-se EPI todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

Os EPI para trabalho em altura são essenciais para a segurança dos colaboradores, principalmente quando observa-se as estatísticas. Segundo o Ministério do Trabalho (2016), cerca de 40% dos acidentes ocorridos dentro de empresas, em 2016, tinha relação com a altura na qual o trabalhador se encontrava.

Portanto, de modo a minimizar os efeitos dos acidentes, a Norma Regulamentadora 35 (2012) exige que durante as atividades realizadas em alturas sejam utilizados equipamentos de proteção individual, com certificados de aprovação, e selecionados de forma criteriosa, considerando sua eficiência, conforto e o respectivo fator de segurança em caso de eventual queda. Além disso, é necessário ter treinamento de como utilizar o EPI fazendo o uso correto e evitar um acidente com lesão grave.

Para sistemas de restrição de movimento, é exigido o cinto de segurança do tipo paraquedista, conforme pode ser visto na Fig. 5. Este equipamento é constituído de sustentação

na parte inferior do peitoral, acima dos ombros e envolto nas coxas. Ideal para suportar a carga do corpo e distribuir proporcionalmente a força de impacto gerada no momento da queda.

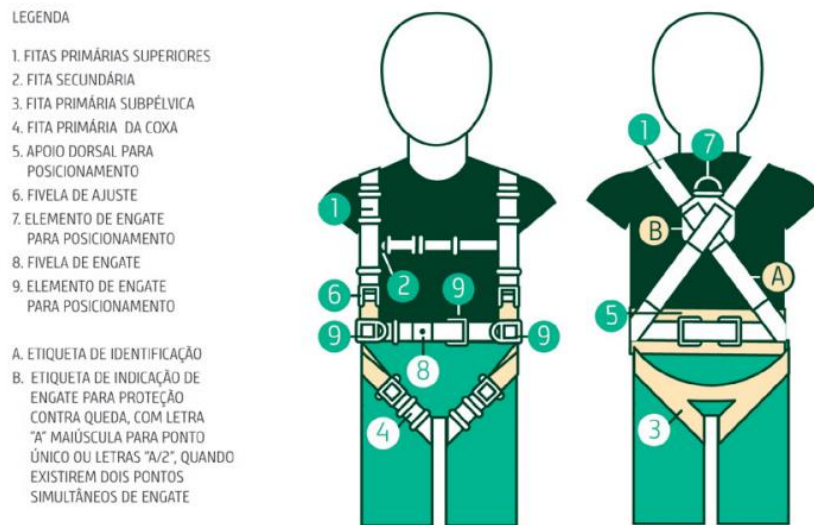


Figura 5: Exemplo de cinto de segurança tipo paraquedista.

Fonte: Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida, 2017.

A figura anterior, figura 5, demonstra todos os pré-requisitos para o cinto de segurança ser considerado do tipo paraquedista.

Na revista SESI/DN Gerência Executiva de Saúde e Segurança na Indústria (2016), talabarte é definido como um dispositivo de conexão de um sistema de segurança regulável ou não, para sustentar, posicionar e/ou limitar a movimentação do trabalhador, composto de uma ou duas pernas (dois talabartes conectados na mesma extremidade), como indicado na figura 6.

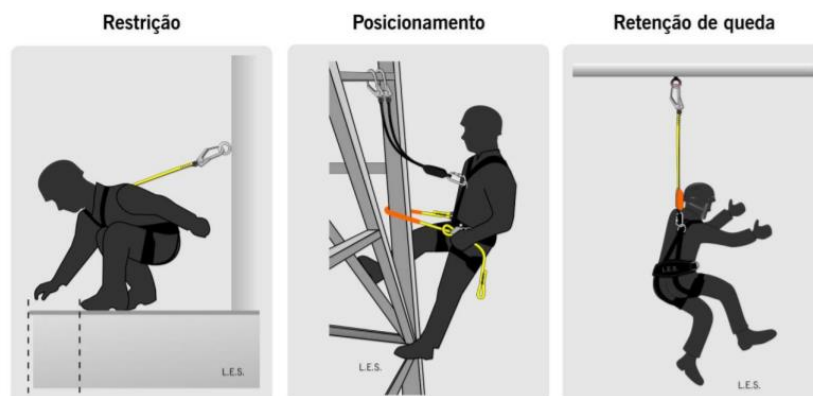


Figura 6: Exemplos de aplicação para talabarte.

Fonte: ANIMASEG, 2017.

Segundo Spinelli (2017), “o talabarte é conectado ao cinturão do trabalhador e a um ponto de ancoragem que impedem ou controlam a queda do trabalhador”. A NR 35 (2012) menciona que é possível classificar o talabarte em três categorias: Retenção de queda, Restrição e Posicionamento, na figura 6 podemos observar o exemplo de cada categoria. Quando o talabarte exerce a função de Retenção de queda deverá atender a NBR 15834 (2020) e em sistemas do tipo Posicionamento deverá cumprir a NBR 15835 (2020). Vale ressaltar que em ambas as normas, NBR 15834 (2020) e NBR 15835 (2020), o comprimento do talabarte é limitado em 2 metros.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Material de Segurança e Proteção ao Trabalho – ANIMASEG (2017), o talabarte para retenção de quedas é um componente que visa proteger o trabalhador numa eventual queda, oferecendo mobilidade e segurança ao usuário, com a resistência necessária para suportar as forças envolvidas na retenção de uma queda.

Junto ao talabarte existe o absorvedor dinâmico. Segundo Spinelli (2016), o absorvedor de energia como um dispositivo que compõe o sistema de retenção de quedas e que tem a função de “amortecer” a queda. O mesmo, afirma que a dinâmica de retenção de uma queda está na aceleração. Durante a queda de uma pessoa o corpo dela será afetado pela aceleração, que é a alteração da velocidade, seja pela força gravitacional ou pelo absorvedor de energia.

Spinelli (2017) cita que o “Absorvedor é um dispositivo de segurança que tem a responsabilidade de desacelerar a queda do trabalhador, sem deixar que a energia causada pela queda se transfira para o corpo da pessoa e diminuindo a força exercida”.

Spinelli (2016) descreve a construção e o funcionamento do dispositivo como uma fita de poliamida ou poliéster dobrada e costurada, como ilustrado na figura 7. A partir de uma determinada força (entre 200 kgf e 300 kgf) as costuras cedem e a fita se alonga.

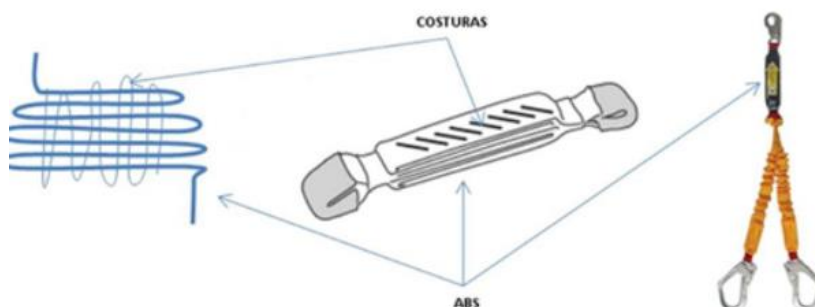


Figura 7: Desenho esquemático do funcionamento do absorvedor.

Fonte: Consultoria Engenharia, 2018.

2.7 Zona livre de queda

A Zona livre de queda é o primeiro estudo a ser analisado antes de iniciar o projeto de instalação de linha de vida. Segundo a revista publicada pela SESI Departamento Nacional (2017), a zona livre de queda é a região compreendida entre o ponto de ancoragem e o obstáculo inferior mais próximo contra o qual o trabalhador possa colidir em caso de queda, tal como o nível do chão ou o piso inferior. Dependendo da altura disponível para queda não é possível a instalação da linha de vida flexível.

Segundo a NR 35 (2012), o fator de queda trata-se da relação entre altura de queda e o comprimento da corda disponível para suportar a força choque da queda, equação 1 e figura 8.

$$\text{Fator de queda} = \frac{\text{Altura da queda disponível}}{\text{Comprimento da corda do sistema}} \quad (1)$$

- Fator de Queda < 1: Nesse caso o deslocamento de queda será inferior ao tamanho do talabarte.
- Fator de Queda = 1: A queda corresponde ao tamanho total do talabarte.
- Fator de Queda = 2: O deslocamento de queda será o dobro do tamanho do talabarte.

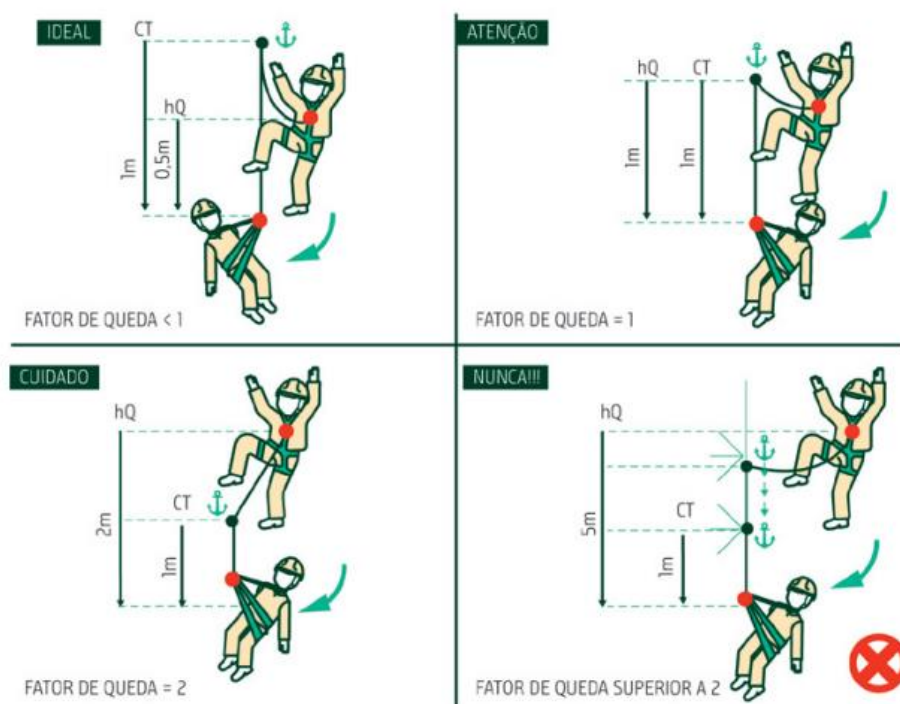


Figura 8: Ilustração dos fatores de queda

Fonte :Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida, 2017.

Logo, quanto mais baixo estiver a ancoragem em relação ao corpo do trabalhador, maior será a distância de queda livre e conseqüentemente maior será o fator de queda. A figura 8 apresenta exemplos de instalação do ponto de ancoragem e conseqüências.

2.8 Resistencia dos materiais

Este tópico visa fixar os conceitos da estática, que julga ser imprescindível para a boa compreensão das forças envolvidas quando um elemento está sujeito a esforços externos, seja eles de tração, compressão, cisalhamento, torção flexão e flambagem.

Segundo Kaio Dutra (2006), a estática considera os efeitos externos das forças que atuam em um corpo e a Resistências dos Materiais, por sua vez, fornece uma explicação do comportamento dos sólidos submetidos à esforços externos considerando os efeitos das tensões e deformações internas.

Para Callister (2000), muitos materiais, quando em serviço, estão sujeitos a forças ou cargas. Em tais situações, torna-se necessário conhecer as características do material e projetar o membro a partir do que ele é feito, de tal maneira que qualquer deformação resultante não seja excessiva e não ocorra fratura. O comportamento de um material reflete a relação entre sua resposta ou deformação a uma carga ou força que esteja sendo aplicada. Algumas propriedades mecânicas são o módulo de elasticidade, limite de escoamento, limite de resistência a tração, a dureza, a ductilidade e a rigidez.

“A metodologia e procedimentos de projeto definidos nas normas da engenharia, usados na prática, baseiam-se nos fundamentos das resistências dos materiais e, por essa razão, compreender os princípios dessa área é muito importante” (HIBBELER, R.C, 2004, p, 1). O estudo das tensões e as destruições de tensão dentro do material que estão sujeitos a carga pode ser obtido mediante técnica experimentais de ensaio, através de análise teórica ou até mesmo análise de elementos finitos.

Ainda segundo Callister (2000), as propriedades mecânicas dos materiais são verificadas pela execução de experimentos de laboratório. Dentre os fatores a serem considerados incluem-se a natureza da carga aplicada e a duração da sua aplicação. A carga pode ser de tração, compressiva ou de cisalhamento e a sua magnitude pode ser constante ao longo do tempo ou pode ser apenas uma fração de segundo.

Segundo Callister (2000) o comportamento mecânico pode ser verificado mediante um simples ensaio de tensão-deformação e a carga pode ser aplicada de três maneiras principais: tração, compressão e cisalhamento.

Para este trabalho, é analisado apenas os esforços de tração e cisalhamento, que são os principais esforços presentes no dimensionamento de linhas de vida.

2.9 Ensaio de tração

Segundo Callister (2000), o ensaio de tração é usado para avaliar as propriedades mecânicas dos materiais que são importantes em projetos. Nesse ensaio, a amostra é deformada, geralmente até a sua fratura, mediante uma carga de tração crescente que é aplicada uniaxialmente ao longo do eixo mais comprido do corpo de prova. A figura 9 mostra um resultado típico de um ensaio de tração até a fratura.

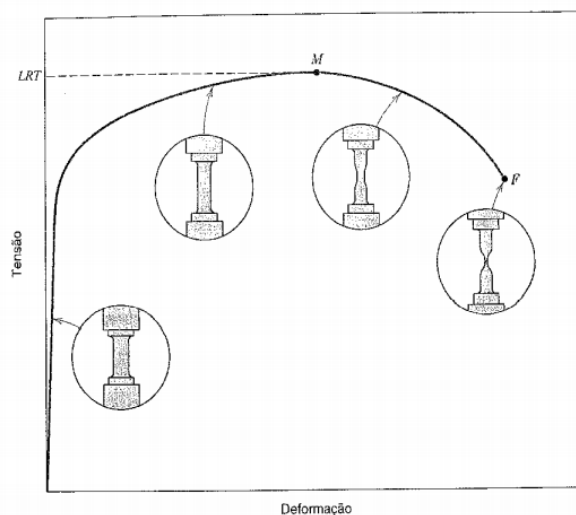


Figura 9. Comportamento de um corpo de prova esquemático submetido a um ensaio de tração

Fonte: Callister (2000)

Budynas e Nisbet (2011), define elasticidade como “propriedade do material que permite retornar sua forma e suas dimensões originais quando se remove a carga”. Algo semelhante é afirmado por Beer e Johnston (1995) quando descreve que “o material tem um comportamento elástico quando as deformações causadas por certo carregamento desaparecem com a retirada do carregamento”.

O limite da carga para que o comportamento elástico é chamado de limite de elasticidade do material. Beer e Johnston (1995) ainda afirma que se um material tem o início de escoamento bem definido então o limite de elasticidade e o limite de proporcionalidade coincidem com a tensão de escoamento. Assim o material se comporta como elástico enquanto as tensões se mantêm abaixo do valor de escoamento.

Muitas estruturas são projetadas para sofrerem pequenas deformações que não ultrapassem o limite de elasticidade do material, correspondente pela relação de proporção da tensão e deformação. Esse comportamento é fundamentado pela Lei de Hooke e identificada pela reta do gráfico de tensão x deformação, conforme indicado na Fig. 10.

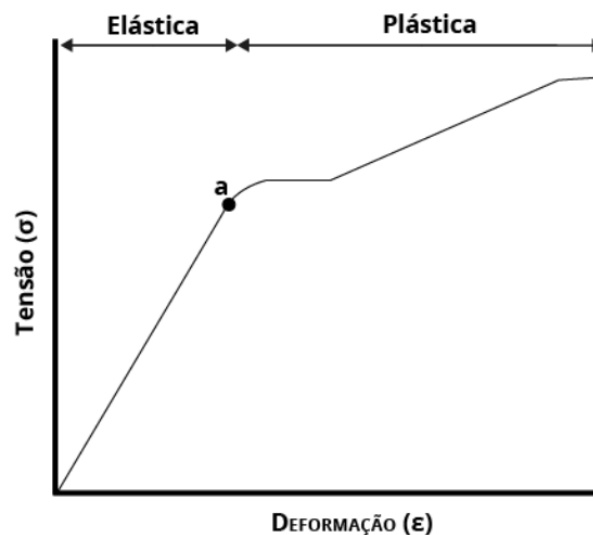


Figura 10- Curva tensão x deformação e limite de elasticidade

Fonte: Revistamauntenção.com.br

A Lei de Hooke, ilustrada na figura 10, estabelece que, dentro de certos limites, a tensão em um material é proporcional à deformação nela produzida, descrita pela equação 2.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2)$$

Onde E e ϵ são respectivamente Módulo de elasticidade do material e a deformação elástica. Este módulo é a medida considerada como rigidez do material à deformação plástica, conseqüentemente, quanto maior o módulo de elasticidade mais rígido e mais esforço necessário para deformar o material.

“À medida que o material é deformado além do ponto de escoamento, a tensão não é mais proporcional à deformação (lei de Hooke), ocorrendo então uma deformação permanente e não recuperável, ou deformação plástica”. (CALLISTER; 2000, p. 86)

Beer e Johnston (1995) ressaltam que se, por qualquer razão, a tensão de escoamento do material é excedida em qualquer ponto da peça em estudo, ocorrem deformações plásticas e se isso ocorrer, todas as razões de proporcionalidade deixam de ter validade e deve-se realizar uma análise mais minuciosa em relação não lineares entre tensões e deformações.

2.10 Critério de resistência

Um dos maiores desafios encontrados pelos projetistas é determinar, com segurança, o critério de resistência para o componente a ser dimensionando. Este critério estabelece um estado limite de tensão no material de modo a precaver os esforços na estrutura.

Schiel (1984), afirma que:

A finalidade conceitual de resistência é a interpretação de solicitações combinadas, quanto à eventual ruptura. O critério estabelecido é definido a partir de uma hipótese de trabalho, classificado a partir de uma análise arbitrária, mas plausível, o fenômeno responsável pela ruptura, depois tiram-se às conclusões a respeito das combinações possíveis de solicitação e finalmente se verifica a veracidade do critério pela comparação com o comportamento real do material nos casos de solicitações combinadas.

Pinto (2000) diz que, “critérios de resistência são formulações que procuram refletir as condições em termos de tensões em que ocorre a ruptura dos materiais. Existem critérios que estabelecem máximas tensões de compressão, de tração ou de cisalhamento”.

2.11 Força de Impacto

Segundo Sampaio e Simon (2017), a força de choque, força máxima ou força de parada é medida durante a etapa de parada do ensaio de comportamento dinâmico. A normativa europeia fixa o valor de 600 kgf como força de impacto máxima permitida a ser transmitida ao trabalhador. A norma de absorvedor de energia e as de todos os modelos de trava-quedas testam os produtos dentro da pior situação possível.

A norma brasileira também estabelece os mesmos padrões da norma europeia, frisando que o SPIQ (Sistema de Proteção Individual Contra Quedas) deve ser selecionado de forma que a força de impacto transmitida ao trabalhador seja de no máximo 6kN quando de uma eventual queda.

A partir do conhecimento da força de impacto, adotamos ela como referência para a análise do projeto. que pode ser obtida a partir da teoria proposta por Shigley(2011), considerando o sistema como impacto sobre uma mola, segundo a Eq.3.

$$F_{\text{impacto}} = P + P \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot H \cdot FS \cdot k}{P}} \quad (3)$$

Sendo:

P: Peso do Colaborador.

H: Distância disponível para queda, ou distância do absorvedor.

FS: Fator de Segurança.

k: Constante de rigidez do material.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

Para Lakatos e Marconi (1990, p 188) “pesquisa exploratória são investigações cujo objetivo é a formulação de questões, e uma das finalidades, é aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente para a realização de uma pesquisa futura”. O mesmo vale para a pesquisa desenvolvida, com caráter exploratório devido ao estudo aprofundado no assunto, com o objetivo de melhor entendimento, e assim, desenvolver um dimensionamento seguro.

O autor Fonseca (2002, p 20), classifica a pesquisa quantitativa como resultados que podem ser quantificados, e conceitua como “pesquisa que se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com auxílio de instrumento padronizado e neutro. ” A pesquisa no foco desse estudo, tem a forma de abordagem como quantitativa, baseada em modelagem matemática e análise de dados.

Quanto aos procedimentos técnicos, o estudo é considerado uma pesquisa documental e bibliográfica.

Segundo Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa documental “é a coleta de dados em fontes primárias, como documentos escritos ou não, pertencentes a arquivos públicos; arquivos particulares de instituições e domicílios, e fontes estatísticas. ”

A pesquisa bibliográfica, considerada uma fonte de coleta de dados secundária, pode ser definida como: contribuições culturais ou científicas realizadas no passado sobre um determinado assunto, tema ou problema que possa ser estudado (LAKATOS & MARCONI, 2001; CERVO & BERVIAN, 2002).

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Modelo de Linha de Vida Proposta

O modelo proposto é constituído por um cabo ligado a dois pontos de ancoragem através de componentes como manilha, sapatilha, grampo e tensionador. Também foi empregado em conjunto um talabarte de comprimento de 1270 mm e um absorvedor com o comprimento de 730mm após aberto (CA:35082/36384), presos na parte traseira do cinto de segurança. Esse equipamento tem por finalidade absorver o impacto da queda limitando o impacto no corpo do trabalhador a no máximo 6 KN, conforme prescrições da norma NBR 16325.

Cada linha de vida constitui-se de um caso particular, ficando na responsabilidade do profissional, legalmente habilitado, executar uma avaliação do local de trabalho e implementar a situação que mais se adapta. Além disso, caberá a ele verificar os pontos de ancoragem utilizados de acordo com as cargas aplicadas em cada ponto conforme informações nomemorial de cálculo.

Para desenvolver esse projeto, o sistema foi considerado como uma somatória de molas atuando em conjunto, de forma que quando o cabo é carregado elas se deformam proporcionalmente à força, dentro dos limites de elasticidade do material, permitindo que o cabo de aço se deforme como uma mola absorvendo o impacto sofrido pela queda do operador. Ver representação na figura 11.

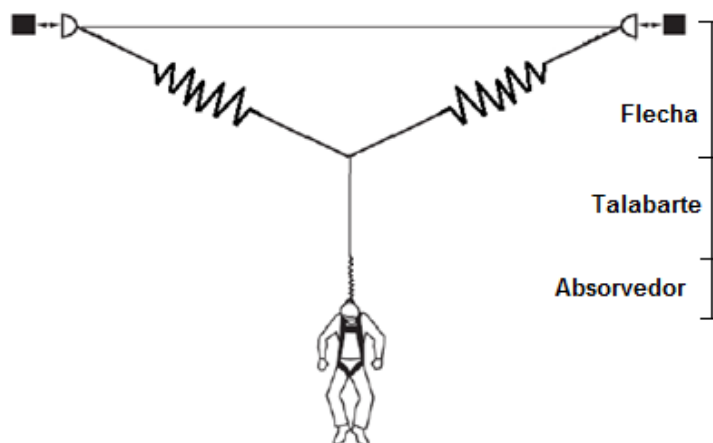


Figura 11: Esquema ilustrativo da linha de vida se comportando como um conjunto de molas.
Fonte: Adaptado de Debarba (2021).

O primeiro fator considerado foi a carga concentrada no centro do vão entre os apoios. Assumindo que no evento da queda, o trabalhador irá se propagar para o meio da linha de vida admitindo o pior caso para a situação.

Assim, o cabo foi seccionado na metade do seu comprimento, conforme a figura 12, para facilitar os cálculos e permitir que o somatório de forças esteja em equilíbrio.

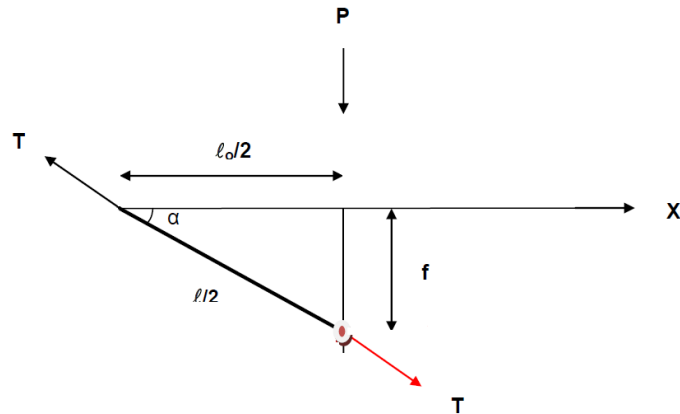


Figura 12: Linha de vida horizontal sujeita a carga concentrada aplicada no meio do vão.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

I - Força de tração no cabo

A tração sofrida no cabo de aço é calculada a partir de relação de seno da trigonometria, obtido através do desenvolvimento da equação 4 e aplicado conforme a ilustração da figura 12.

$$\text{Sen } \alpha = \frac{F_{\text{impacto}}}{T} \quad (4)$$

α : Ângulo resultante do tensionamento do cabo de aço;

T: Tensão.

II - Determinação do Comprimento do cabo

Para obter o valor do comprimento do cabo de aço tensionado, foram feitas duas análises de maneiras distintas, possibilitando uma menor margem de erro.

A primeira, seguiu a teoria da elasticidade. Inicialmente foi calculado a deformação elástica sofrida no cabo, utilizando a fórmula de alongamento de uma barra uniforme, Shigley (2011), conforme representado na equação 5

$$\delta = \frac{FL}{AE} \quad (5)$$

Onde:

δ : Deformação Elástica sofrida no objeto;

F: Força;

L: Comprimento do cabo;

A: Área da secção;

E: Módulo de elasticidade;

Combinando a equação 5 com as variáveis do sistema a ser projetado, obtemos:

$$\delta = \frac{T \cdot L_o / 2}{E \cdot A_m} \quad (6)$$

Onde:

T: Tensão no cabo de aço

L_o: Comprimento Inicial

A_m: Área metálica do cabo

Após encontrado a deformação elástica sofrida no cabo, é possível encontrar o comprimento do cabo tensionado (L_f), através da Eq. 7, sendo o resultado do somatório da deformação com o comprimento inicial.

$$L_f = \delta + L_o \quad (7)$$

A outra maneira de calcular o comprimento do cabo tensionado (L_f) é a partir da relação de cosseno da trigonometria envolvendo o comprimento do vão (L_o) e o ângulo α , através do desenvolvimento da Eq. 8, conforme indicado na ilustração da Fig. 12.

$$\cos \alpha = \frac{L_o / 2}{L} \quad (8)$$

III - Determinação Da Flecha

A flecha sofrida pelo impacto da carga é obtida através do desenvolvimento da relação do seno na figura 12, usando como premissas o comprimento do cabo tensionado obtido na equação 7 do ângulo resultante do cabo tensionado.

$$\text{sen } \alpha = \frac{f}{L} \quad (9)$$

Onde f é a flecha.

IV - Determinação da força de impacto

O conhecimento da carga de impacto no trabalhador durante uma queda em altura é fundamental para o dimensionamento da linha de vida. Este parâmetro serve para determinar as reações que surgirão no cabo e nos pontos de ancoragem.

A norma NBR-14627 que determina condições de trabalho em altura, estipula que para uma massa rígida de 100 kg, durante a queda sua carga de impacto não pode exceder 6 kN. O fator de segurança igual a 2 foi considerado de acordo com a norma NBR 16325.

A carga de impacto é obtida através da teoria proposta por Shigley (2011), considerando o sistema como um impacto sobre uma mola, segundo a já mencionada equação 3.

V - Determinação da constante da mola

A constante de mola (K) é encontrada a partir da razão da mola proposta por Shigley (2011), sendo divisão da força aplicada pelo comprimento deformado.

$$K = \frac{F}{y} \quad (10)$$

Alterando as variáveis da equação 10, conforme a equação 10 o nosso sistema analisado, obtemos:

$$K = \frac{F_{\text{impacto}}}{\text{sen } \alpha \cdot L_o + L_a} \quad (12)$$

Onde L_a é o comprimento do absorvedor.

Após apresentado as equações é de se perceber que todas elas dependem do conhecimento da força de impacto no trabalhador. E assim, usando a teoria de carga de impacto apresentado por Shigley (2011) chega-se à conclusão que para encontrar a força de impacto é necessário saber o ângulo que a linha de vida faz ao sofrer a carga de impacto e vice-versa. Assim, a uma condição de convergência das equações, sendo necessário criar um conjunto de fórmulas que permita a resolução desse sistema.

Para resolver esse problema de forma prática, foi desenvolvida uma planilha no Excel que por meio das equações listadas acima foram feitas iterações sucessivas que se iniciam arbitrando valores aleatórios para a força de impacto e para o ângulo da linha de vida. Esse procedimento foi repetido até que os valores calculados pelas equações da carga de impacto, pela teoria da elasticidade e pelas relações trigonométricas convergissem.

Essa diferença foi calculada através do desvio padrão dos valores, não podendo ultrapassar de 1,0 do desvio padrão.

3.2.2 Componentes

I - Cabo de Aço 6X19 – Alma de Fibra

De modo atender diversas situações conforme o projeto, foram selecionados quatro diâmetros de cabo de aço, diferenciando pela carga de ruptura, quanto maior o diâmetro do cabo de aço, maior será sua resistência e sua capacidade de carga. Para nosso projeto foram escolhidos os cabos de aços que a CSN Mineração haviam cadastrados no almoxarifado do sistema SAP.

O cabo de aço selecionado foi da classe 6x19, ou seja, a característica de agrupamento do cabo são 6 pernas e 19 arames. As pernas são constituídas por um conjunto de arames torcidos em forma de hélice, que por sua vez são torcidos no arame central do cabo de aço. A Tabela 2 apresenta as características da classe do cabo de aço selecionado, retirado do catálogo da CIMAF.

Tabela 1: Especificações do cabo de aço da classe 6X19.

Nome básico	Cabo
Nome modificador	Aço
Material	Aço carbono
Tratamento superficial	Galvanizado
Construção	Filler

Torção	Regular a direita
Preformação	Preformado
Alma	Fibra
Lubrificação	Normal
Formação da perna	1+9+9
Formação do cabo	6x19+af
Referência comercial	Cimaf

Fonte: CIMAF (2021)

A tabela 1 apresenta todas as características de construção do cabo de aço da classe selecionada: 6x19. “A construção é um termo empregado para indicar o número de pernas, o número de arames de cada perna e sua composição” CIMAF (2008), por exemplo, o cabo 6 x 19 possui 6 pernas com 19 arames cada.

A Partir da figura 14, retirada do catálogo da CIMAF, foram escolhidos os cabos de aços para o projeto. A análise foi realizada a partir da carga de ruptura e selecionando o que mais se adaptava no resultado do dimensionamento, a partir da Tabela 2.

Tabela 2: Carga de ruptura dos respectivos cabos de aços.

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

Fonte: CIMAF – Arcelor Mittal (2008)

Na tabela da parte superior é possível identificar a cargas de rupturas de todos os diâmetros de cabo de aço, assim, comparando com a força de impacto retirada a partir da equação 3 é possível pré-selecionar os diâmetros de cabo de aço. Foram selecionados os seguintes diâmetros:

- Diâmetro 9,5mm - 61000 kgf;

- Diâmetro 13mm – 10800 kgf;
- Diâmetro 16 mm – 168000;
- Diâmetro 19 mm – 24000 kgf.

II - Manilha G-2130

O modelo proposto para a manilha foi o G-2130, suas características estão descritas na Tabela 3, retirados do catálogo da Carbostorm.

Tabela 3: Especificações da manilha selecionada para projeto

Nome básico	Manilha
Tipo	Curva
Pino	Porca/cupilha
Material	Aço inoxidável
Revestimento	Galvanizado a fogo e pintura epóxi no pino
Referência comercial	Carbostorm

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Na tabela acima estão descritas as características de fabricação da manilha.

Para selecionar as manilhas é necessário realizar uma análise comparativa entre o somatório das capacidades de carga das manilhas eo limite de ruptura do cabo de aço.

Como o sistema de linha de vida se constitui de duas manilhas, sendo uma em cada extremidade do cabo de aço, então o sistema deverá atender a seguinte relação: $2 \times \text{Capacidade da Manilha} > \text{Carga de Ruptura do Cabo de Aço}$.

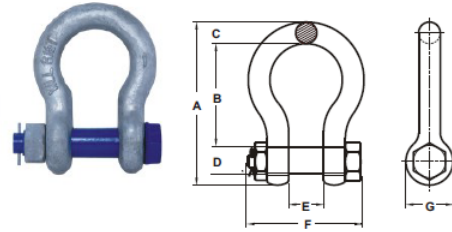
Portanto, após o entendimento dessa equação foi possível identificar cada manilha para o respectivo cabo de aço, selecionado diretamente no catálogo da Carbostorm, conforme a figura 13.

Manilha Curva G-2130

US.FED.RR-C271D, Tipo IV-A, Grau A, Classe III

Corpo forjado em aço 1045, pino reforçado forjado em aço liga, porca e cupilha.

Galvanizada a fogo e pintura epóxi no pino.



Código	Medida do Corpo (pol)	Dimensões (mm)							Medida do pino (pol)	Carga de Trabalho (Kgf)	Peso (Kg)
012362612	1/4"	45	25	6	8	13	42	17	5/16"	500	0,050
012362712	5/16"	50	27	8	10	14	50	21	3/8"	750	0,090
012362812	3/8"	60	30	10	13	17	58	27	7/16"	1000	0,160
012362912	1/2"	77	42	13	16	22	77	31	5/8"	2000	0,350
012363012	5/8"	99	53	16	19	28	94	39	3/4"	3250	0,680
012363112	3/4"	115	60	19	22	33	110	47	7/8"	4750	1,140
012363212	7/8"	133	72	22	25	37	119	55	1"	6500	1,700
012363312	1"	151	82	25	29	44	135	60	1 1/8"	8500	2,540
012363412	1 1/8"	169	83	29	32	48	150	69	1 1/4"	9500	3,550
012363512	1 1/4"	184	97	32	35	52	168	75	1 3/8"	12000	4,800
012363612	1 3/8"	213	119	35	38	59	185	84	1 1/2"	13500	6,330
012363712	1 1/2"	225	123	38	41	62	196	90	1 5/8"	17000	8,230
012363812	1 3/4"	271	150	44	51	75	236	109	2"	25000	13,460
012363912	2"	337	165	51	54	86	258	126	2 1/4"	35000	19,230
012364012	2 1/2"	395	203	64	70	110	340	148	2 3/4"	55000	47,300
012420012	3"	405	222	76	86	139	400	170	3 1/4"	85000	66,360
012420112	3 1/2"	455	243	89	92	141	438	200	3 3/4"	120000	104,000
012420212	4"	553	293	102	108	145	475	226	4 1/2"	150000	145,350

Figura 13: Dimensões de manilhas G-2130

Fonte: Catálogo CARBOSTORM

Assim, as manilhas foram selecionadas e destacadas com suas principais características na Tabela 4.

Tabela 4: Manilhas selecionadas para cada cabo de aço utilizado no projeto

Diâmetro do cabo de aço	9,5 mm	13,0 mm	16,0 mm	19,0 mm
Medida do corpo	5/8"	7/8"	1 1/8"	1 1/4"
Diâmetro do pino	3/4"	1"	1"	1 3/8"
Capacidade	3250 kgf	6500 kgf	8500 kgf	12000 kgf

Fonte: Pesquisa direta (2021).

III - Especificação do esticador

O esticador tem como objetivo de garantir o tensionamento do sistema de linha de vida. Para o projeto foi selecionada o esticador do tipo Tubular, do material Inox da empresa Comcabo.

Para a seleção do esticador a mesma análise da manilha deverá ser feita. Porém nesse caso apenas uma unidade do componente deverá ser considerada.

A Tabela 5 foi retirada do catálogo da Carbostorm com as especificações de variados tamanhos de esticadores.

Tabela 5 : Dimensões de esticadores tubular

ESTICADOR TUBULAR (ESTT)						
REF.	COMPRIMENTO DA CAIXA EXTERNA	DIÂMETRO DA ROSCA	FURO DO OLHAL	ABERTURA DA MANILHA	DIÂMETRO DO PINO DA MANILHA	CARGA DE TRABALHO
	A	B	C	D	E	
	POLEGADA	POLEGADA	MM	MM	MM	KGF
ESTT-13	6	1/2	18	17	10	850
ESTT-16	12	5/8	22	19	13	1.250
ESTT-19	12	3/4	28	22	16	1.900
ESTT-22	12	7/8	32	28	19	2.700
ESTT-25	12	1	36	30	22	3.500
ESTT-29	12 / 18 / 24 / 32	1.1/8	46	42	28,50	4.000
ESTT-32	12 / 18 / 24 / 32	1.1/4	46	42	31,75	5.500
ESTT-38	12 / 18 / 24 / 32	1.1/2	54	52	38,10	8.500
ESTT-44	18 / 24 / 32	1.3/4	62	65	44,50	11.000
ESTT-51	18 / 24 / 32	2	77	65	50,80	15.000
ESTT-57	18 / 24 / 32	2.1/4	83	76	57	19.000
ESTT-63	18 / 24 / 32	2.1/2	87	76	63	23.000
ESTT-70	18 / 24 / 32	2.3/4	100	128	69	27.000
ESTT-76	18 / 24 / 32	3	110	128	76	31.000

Fonte: Catálogo CARBOSTORM (2008)

A partir da tabela acima, foram selecionados os esticadores conforme os que mais se adaptavam ao nosso projeto e elaborado a tabela 6 referenciando o devido esticador com o respectivo diâmetro do cabo de aço.

Tabela 6: Esticadores selecionados para cada diâmetro de cabo de aço

Diâmetro do cabo de aço	9,5 mm	13 mm	16 mm	19 mm
Referência do esticador	Estt-25	Estt-32	Estt-38	Estt-51

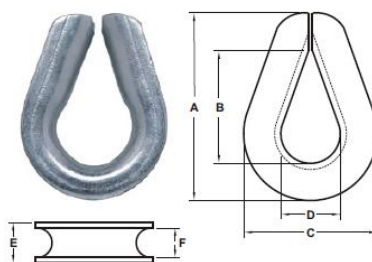
Fonte: Pesquisa direta (2021).

IV - Especificação da sapatilha

A principal função da sapatilha é proteger as cordas e cabos de aço do desgaste e atrito que estão expostos durante a atividade. Sua seleção é simples, deve-se analisar se o tamanho da manilha atende o diâmetro do cabo de aço.

Segue a tabela 7 referentes aos tamanhos padronizadas da sapatilha segundo o catálogo da Carbostorm.

Tabela 7: Dimensões da sapatilha conforme catálogo



Código	Medida (pol)	Dimensões (mm)						Peso (Kg)
		A	B	C	D	E	F	
012420512	1/4"	55	42	37	22	10	8	0,030
012420612	5/16"	62	48	47	27	14	10	0,050
012299912	3/8"	73	55	52	28	18	13	0,110
012300012	1/2"	92	66	70	38	23	17	0,230
012300112	5/8"	109	83	79	45	26	18	0,340
012300212	3/4"	127	92	96	53	31	21	0,670
012300312	7/8"	140	100	106	55	36	26	0,800
012300412	1"	153	105	118	63	42	29	1,250
012300512	1 1/8"	182	140	145	80	45	34	1,810
012300612	1 1/4"	182	140	146	82	49	41	3,700
012387612	1 1/2"	230	162	181	90	67	47	4,884
012420712	1 3/4"	302	225	210	120	75	49	6,870
012420812	2"	375	290	255	160	86	62	9,150

Fonte: Catálogo CARBOSTORM (2008).

V - Grampo para cabo de aço

O grampo selecionado foi o Grampo Pesado Inox AISI 316. Para a seleção desse componente deverá ser verificado apenas se o tamanho dele atende o diâmetro do respectivo cabo de aço. Na tabela 8, retirado do catálogo do Intercabos é possível identificar os grampos recomendados para cada diâmetro de cabo de aço.

Tabela 8: Especificação de montagem do grampo pesado

Ø CABO	Nº MÍNIMO DE GRAMPOS	ESPAÇAMENTO MÍNIMO	TORQUE - TRABALHO	
			Nm	kgfm
1/4"	2	38	20	2,0
5/16"	2	48	40	4,0
3/8"	2	57	40	4,0
1/2"	3	76	75	7,5
5/8"	3	95	120	12,0
3/4"	4	114	180	18,0
7/8"	4	133	310	31,0
1"	5	152	310	31,0
1.1/8"	6	172	310	31,0
1.1/4"	7	191	450	45,0
1.3/8"	7	210	450	45,0
1.1/2"	8	229	450	45,0
1.5/8"	8	248	580	58,0
1.3/4"	8	267	820	82,0
2"	8	305	1040	104,0
2.1/4"	8	343	1040	104,0

Fonte: Referência: intercabos CPI316-5/16 (2009)

Assim foram selecionados os grampos conforme os diâmetros de cabo de aço para o projeto, sendo eles 9,5mm, 13mm, 16mm e 19mm.

VI - Dimensionamento dos olhais

Os olhais foram projetados seguindo a norma PETROBRAS N-2683 REV A. A norma estabelece um procedimento para dimensionamento de olhal fabricado de chapa de aço a ser usado para içamento e sustentação de estruturas de aço e equipamentos.

Cada olhal para sustentação foi projetado particularmente para atender os diâmetros de 9,5mm, 13mm, 16mm e 19mm dos cabos de aço utilizado no projeto. As chapas do olhal e dos anéis de reforço devem ser de aço ASTM A 36.

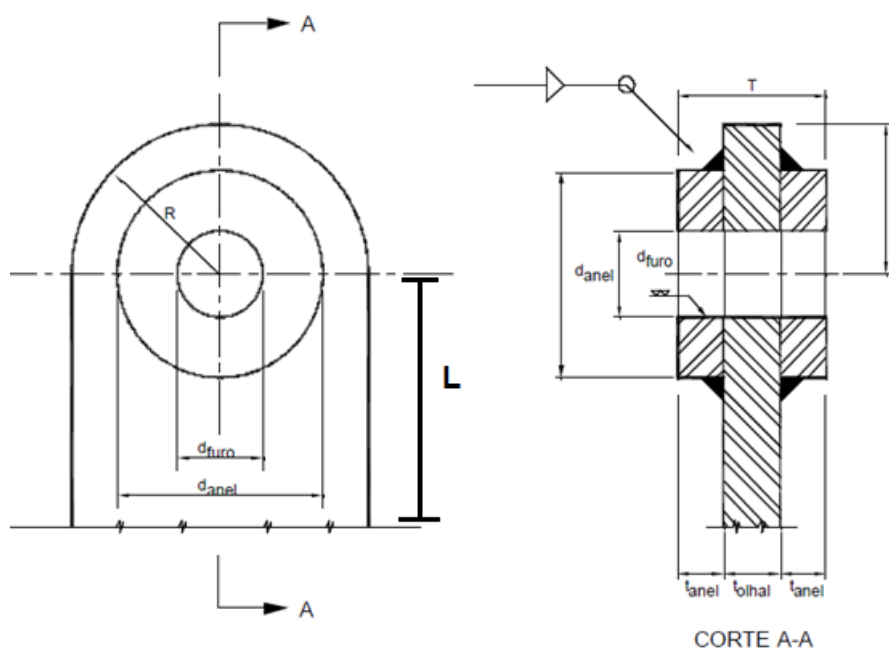


Figura 14: Olhal com anéis de reforço e suas variáveis para distinguir no dimensionamento

Fonte: PETROBRAS N-2683 REV A

Os anéis de reforço devem ser aplicados aos pares, em ambas as faces do olhal, conforme indicado na figura 14.

Como seria necessário realizar o mesmo procedimento mais de uma vez com a finalidade de atender a carga suportada do respectivo cabo de aço, foi então necessário construir uma base de cálculos no Excel e assim basta modificar apenas alguns valores para atender a nossa demanda.

As figuras 15 e 16 demonstra o dimensionamento dos olhais, realizado em planilha em excel.

DIMENSÃO DO OLHAL PARA UTILIZAÇÃO COM CABO DE 9,5 mm

tolhal	9,5	mm	MATERIAL:	ASTM A	36
tanel	0	mm			
T	9,5	mm	Fy	250	Mpa
R	23	mm	E	210000	Mpa
dfuro	20	mm	Fu	400	Mpa
dpino	19	mm	y	0,3	Mpa
danel	0	mm			
L	60	mm			
L+R	83	mm			

Carga a ser suportada: 3050 Kg

Fator de desvio de carga: 1,25

Fator de contingência de peso: 1,1

Fator de amplificação dinâm: 1,1

1,1 - Içamento normal
1,3 - Içamento Marítimo
2,0 - Cargas de impacto

Força no pino da manilha: 38857 N

B1 = 20 mm

B2 = 15 mm

B3 = 47 mm

Figura 15: Dimensão do olhal para utilizar o cabo de 9,5mm de diâmetro

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A figura acima é demonstrada o início do dimensionamento, onde é necessário colocar os *inputs* das dimensões do olhal nas células de coloração mais escura. As medidas são escolhidas conforme a sua necessidade, assim como a material a ser fabricado do dispositivo (tensão de escoamento).

Após a seleção das medidas, é necessário colocar a carga a ser suportada pelo dispositivo de ancoragem. Nesse estudo, a carga será a metade da Força de Impacto (equação 3), devido ser um conjunto de olhal para o sistema de linha de vida.

As validações se as dimensões do olhal irão suportar a carga estipulada é verificada na figura 16.

VERIFICAÇÕES				
Relação abertura da manilha e espessura do olhal	9,5	<	28	OK
Contato Pino Olhal	215,3	<=	225	OK
Tração no olhal na região do furo	102,255	<=	112,5	OK
Tração na chapa principal do olhal, logo após furo	16,3608	<=	150	OK
Arrancamento conjunto do anel e da chapa principal do olhal	38857	<=	43700	OK
VERIFICAÇÃO DA BASE CONFORME AISI				
Força axial (Mpa)	33,7997	<	150	OK
Momento no plano do olhal	13,2054	<	150	OK
Momento fora do plano do olhal:	64,5823	<	175	OK
Tensões combinadas:	0,68241	<	1	OK
Verificação do cisalhamento na base do olhal	6,60271	<	100	OK
RESULTADOS				
Força em um anel de reforço	0	N		
Tensão admissível para dimensionar o filete	141,421	Mpa	(no metal base)	
	124,5	Mpa	(no eletrodo E6018)	
Fw	124,5	Mpa		
Garganta da solda	0,00	mm		
Area da base (de apoio do olhal)	1140	mm²		
Módulo de resistência para momento no plano do olhal	22800	mm³		
Módulo de resistência para momento fora do plano do olhal	1805	mm³		

Figura 16: Validação dos esforços para cada parte do olhal

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Uma vez realiza os cálculos da figura 15, as verificações descritas na figura 16 devem ser realizadas, sendo que todas as condições devem ser atendidas. Caso contrário, os cálculos devem ser refeitos, alterando-se as dimensões do olhal, como espessura da chapa, diâmetro do pino ou o material.

3.3 Variáveis e Indicadores

Gil (2008) define o termo variável como uma medida ou classificação, uma quantidade que varia em função de indicadores. Variável é um conceito operacional que apresenta propriedade, aspecto, fator ou valores. Elas podem ser classificadas do ponto de vista qualitativo ou quantitativo.

O conceito variável provém da Matemática que naturalmente é de essência quantitativa, fazendo com que as variáveis usualmente sejam classificadas como contínuas e discretas (GIL, 2008).

Os indicadores podem ser utilizados para controle e melhoria da qualidade dos processos ao longo do tempo. Assim, segundo Tadachi e Flores (1997), as características do

produto estão ligadas à qualidade deles, relacionando os indicadores à demanda de gestão de desempenho.

O trabalho em questão possuiu a grande maioria das variáveis classificadas como quantitativas, e os indicadores utilizados para defini-las podem ser vistos na tabela 9.

Tabela: 9 Variáveis e Indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
SEGURANÇA DO TRABALHO EM ALTURA	Total de acidentes de trabalho Número de inspeções Avarias nos equipamentos Normas Regulamentadoras de Segurança Conhecimento de EPI e EPC
DIMENSIONAMENTO MECÂNICO	Softwares Domínio das normas Domínio no assunto

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Tabulação de Dados

A partir dos dados de entrada de projeto serão realizados cálculos no software Microsoft Excel, o que permite rápida interação e maior facilidade para dimensionar as linhas de vida. Além disso, é utilizado o software Microsoft Word para apresentar e discutir os resultados obtidos.

3.5 Instrumento de Coleta de Dados

Para o desdobramento do projeto de modo a garantir segurança e dados reais, informações foram coletadas a partir de catálogos de fabricantes dos componentes utilizados no projeto.

3.6 Considerações Finais

Os cálculos e especificações listados ao longo do capítulo permite o conhecimento necessário para a aplicação e análise crítica desse dispositivo de segurança. Porém, deixando a responsabilidade para o profissional legalmente habilitado de analisar o local para trabalho em altura e escolher no projeto a que mais se adapta para determinado serviço. Também é sua responsabilidade, verificar as estruturas existentes nas quais a linha de vida será ancorada, ou projetar a sua estrutura de ancoragem com resistência adequada.

No capítulo seguinte será apresentado as tabelas padronizadas que facilitará a análise do profissional de modo a atender o local desejado, além de descrever o procedimento para a aplicação.

4 RESULTADOS

Os dados apresentados a seguir são referentes aos resultados das equações desenvolvidas durante o presente estudo. Com o objetivo de agrupar o máximo de variáveis possíveis e poder atender diversas situações, foram elaboradas três tabelas, sendo uma para cada Fator de Queda.

Ao solucionar as equações com a finalidade de dimensionar o sistema de proteção para um caso qualquer foi possível perceber uma convergência entre equações. Todas as expressões matemáticas dependem do conhecimento da força de impacto no trabalhador, que por sua vez, a equação da força de impacto, equação 3, necessita do ângulo que a linha de vida faz ao existir a força da queda do operador, como pode ser observado no diagrama apresentado pela figura 17.

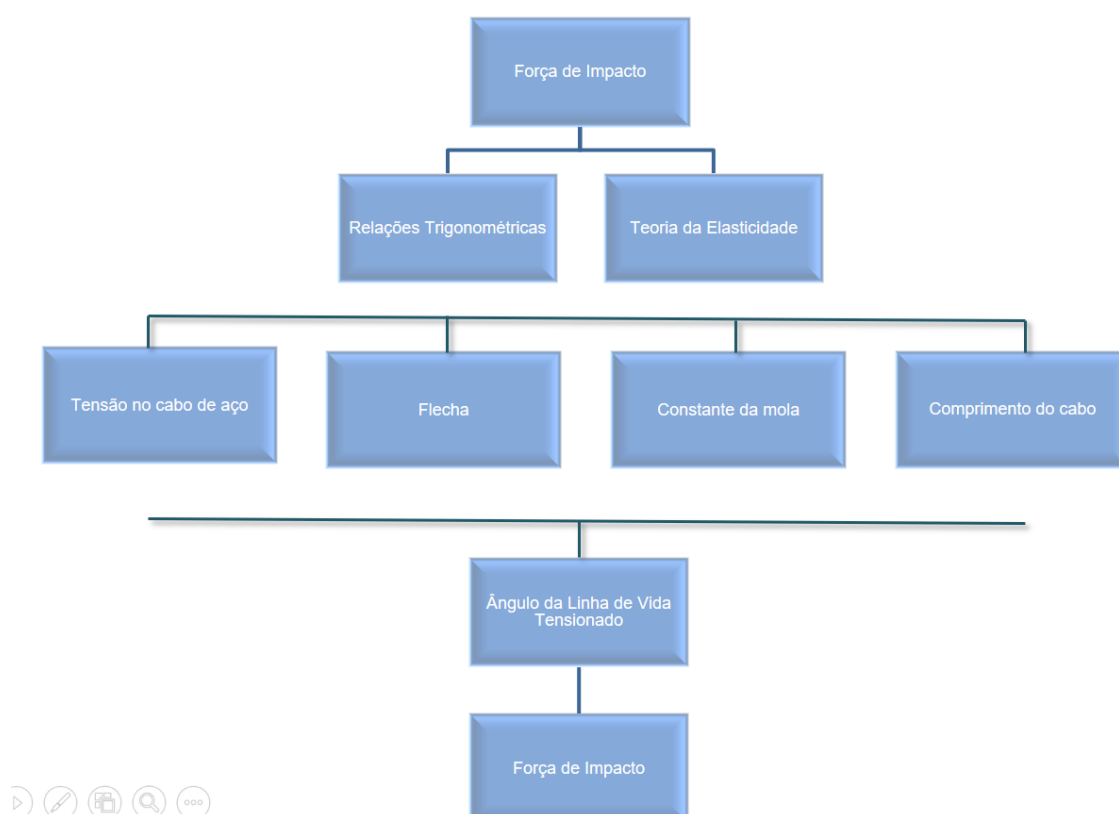


Figura 17: Fluxograma a respeito da convergência de equações encontrada.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Para resolver o problema encontrado, conforme apresentado na figura 17, forma prática, foram adicionadas todas as equações em uma planilha no Excel, a Figura 18 apresenta o layout

da planilha. Para encontrar o valor foram feitas iterações sucessivas empregando, inicialmente, valores arbitrários para a força de impacto e para o ângulo da linha de vida até que os valores calculados pelas equações da carga de impacto, pela teoria da elasticidade e pelas relações trigonométricas se convergissem alcançando a uma diferença menor que 0,5 entre elas.

LINHA DE VIDA COM ABSORVEDOR DE IMPACTO				
DADOS DE ENTRADA		CÁLCULOS		RESULTADOS FINAIS:
DADOS DO CABO:		CONSIDERANDO A TEORIA DA ELASTICIDADE		Along. do cabo tensionado (mm) 6,29 mm
<i>Cabo 6x19, Seale, AF, INOX</i>		Força de impacto por pessoa	501,67 kgf	Comprimento do cabo (mm) 1006,30 mm
Diâmetro (mm)	9,5 mm	Tensão no cabo de aço	2243,29 kg	Flecha (mm) 112,52 mm
Modulo de elasticidade	9500 kgf/mm ²	Comprimento do cabo	1006,29 mm	Força de impacto (kgf) 501,61 kgf
Fator de multiplicação	0,416	CONSIDERANDO AS RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS		Tensão no cabo de aço (kg) 2243,02 kgf
Área metálica	37,54 m ²	Comprimento do cabo	1006,31 mm	Número máximo de pessoas 1
Carga de ruptura mínima	6100 kgf	Flecha	112,52 mm	NORMAS:
Fator de segurança	2	Constante da mola	0,60	FORÇA DE IMPACTO: APROVADO
Carga de trabalho	3050 kgf	Força de impacto sofrida por pessoa	501,55 kgf	<i>Força de impacto no operador deve ser inferior a 600kgf</i>
DADOS DO SISTEMA:		Tensão no cabo de aço	2242,75 kg	CABO DE AÇO: APROVADO
Número de pessoas	1	VERIFICAÇÕES		<i>A carga de ruptura deve ser no mínimo 2x a carga máxima de trabalho sujeitos à tração.</i>
Peso do corpo (kg)	100 kg	DESVIO PADRÃO (+/-)		
Vão (mm)	2000 mm	Comprimento do cabo	(+/-) 0,007	
Comprimento do talabarte	1270 mm	Tensão no cabo	(+/-) 0,122	
Comprimento de abertura do absorvedor	730 mm	Força de impacto	(+/-) 0,023	
Fator de queda	1	<i>Aceitável até (+/- 1,0)</i>		
Deslocamento de queda	1270 mm			
INTERAÇÕES:				
Ângulo	6,42 °			
Força de impacto estimada por pessoa	501,7			

Figura 18: Planilha de iterações para o cálculo da linha de vida.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A planilha foi dividida em três colunas. A primeira contém as variáveis de entrada no sistema a ser calculado: especificações do cabo de aço, número de pessoas atacadados na linha da vida, comprimento de vão e entre outros. A segunda coluna foi destinada para os resultados das equações considerando as duas análises distintas: relações trigonométricas e a teoria de elasticidade. A terceira coluna da planilha mostra os resultados e as verificações de critérios, com as possíveis conclusões: aprovando ou não.

Após a elaboração da planilha e feito a revisão dos cálculos, o método do dimensionado de linha de vida se tornou fácil e prático. Foi realizado o mesmo procedimento inúmero vezes com o objetivo de agrupar o máximo de casos possíveis.

Os resultados foram reunidos em três documentos distintos, cada um foi reservado para atender um respectivo fator de queda (0, 1 e 2), conforme apresentado na Figura 19. Para cada documento também foram feitas ramificações de cálculos alterando o comprimento de vão e o diâmetro do cabo de aço de modo a abranger o máximo de casos possíveis. À medida que o

diâmetro do cabo aumenta é possível suportar mais pessoas no mesmo sistema de linha de vida (com o mesmo comprimento de vão e fator de queda, isso ocorre devido ao aumento da resistência de ruptura.

DADOS DO CABO		CLIPAGEM DO CABO		Diâmetro do cabo		VÃO														
Diâmetro do cabo (mm)	9,5	Nº Mín. Cliques	2	Fator de Queda	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25						
Carga de Ruptura (Kgf)	6100	Espaçam. Entre Cliques	57	Comprim. Talabarte	1270 mm	6,29	9,12	11,89	14,56	19,82	41,68	59,17	75,5	91,37						
Carga de Trabalho (Kgf)	3050	Torque N.m	40	Comprim. Absorvedor	730 mm	1006,3	1509,25	2012,06	2514,78	3519,91	5041,95	7559,22	10075,62	12591,28						
Fator	0,416	MANILHA RECOMENDADA		Peso do Corpo	100 kg	112,52	167,96	221,47	274,19	374,64	651,09	944,8	1233,13	1512,69						
E (kg/mm²)	9500	Manilha Curva G-2130		Along. Cabo Tensionado		501,61	482,89	466,98	452,94	429,95	381,97	351,68	329,5	313,22						
Área metálica (mm²)	34,54	Medida do Corpo	5/8"	Comprim. Cabo Carregado (mm)		2243,02	2169,39	2112,06	2076,95	2019,74	2979,22	2813,73	2692,21	2607,20						
Fator de Segurança	2	Medida do Pino	3/4"	Flecha (mm)		1									1	1	2	2	2	2
		Carga de Trabalho	3250 kgf	Força de Impacto (kg)																
				Tensão no cabo (kg)																
				Nº Máxima de Pessoas																

DADOS DO CABO		CLIPAGEM DO CABO		Diâmetro do cabo		VÃO														
Diâmetro do cabo (mm)	13	Nº Mín. Cliques	3	Fator de Queda	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25						
Carga de Ruptura (Kgf)	10800	Espaçam. Entre Cliques	76	Comprim. Talabarte	1270 mm	6,58	9,56	12,48	19,53	26,58	36,17	51,58	78,65	94,88						
Carga de Trabalho (Kgf)	5400	Torque N.m	75	Comprim. Absorvedor	730 mm	1006,58	1509,63	2012,55	2519,98	3526,81	5036,59	7551,65	10078,73	12595,19						
Fator	0,416	MANILHA RECOMENDADA		Peso do Corpo	100 kg	114,99	170,89	225,03	320,14	435,89	609,39	882,36	1257,95	1548,02						
E (kg/mm²)	9500	Manilha Curva G-2130		Along. Cabo Tensionado		500,7	481,98	456,99	441,92	417,92	389,67	357,71	327,79	311,574						
Área metálica (mm²)	70,3	Medida do Corpo	7/8"	Comprim. Cabo Carregado (mm)		4382,75	4257,66	4167,44	5219,83	5071,74	4830,55	4592,11	4592,11	5069,4						
Fator de Segurança	2	Medida do Pino	1"	Flecha (mm)		2									2	2	3	3	4	4
		Carga de Trabalho	6500 kgf	Força de Impacto (kg)																
				Tensão no cabo (kg)																
				Nº Máxima de Pessoas																

DADOS DO CABO		CLIPAGEM DO CABO		Diâmetro do cabo		VÃO																
Diâmetro do cabo (mm)	16	Nº Mín. Cliques	3	Fator de Queda	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25								
Carga de Ruptura (Kgf)	16800	Espaçam. Entre Cliques	95	Comprim. Talabarte	1270 mm	4,86	9,5	12,42	18,29	24,67	38,7	54,69	77,8	94,3								
Carga de Trabalho (Kgf)	8400	Torque N.m	120	Comprim. Absorvedor	730 mm	1005,09	1509,57	2012,48	2518,32	3524,69	5038,72	7554,78	10078,35	12594,63								
Fator	0,416	MANILHA RECOMENDADA		Peso do Corpo	100 kg	103,12	170,36	223,97	303,41	416,72	623,66	908,9	1257,86	1543,59								
E (kg/mm²)	9500	Manilha Curva G-2130		Along. Cabo Tensionado		504,96	482,17	466,31	445,82	421,5	387,69	354,99	327,79	311,77								
Área metálica (mm²)	106,5	Medida do Corpo	1 1/8"	Comprim. Cabo Carregado (mm)		4920,7	6408,63	6284,69	7400	7130,13	7830,48	7376,62	7878,76	7631,26								
Fator de Segurança	2	Medida do Pino	1 1/4"	Flecha (mm)		2									3	3	4	4	5	5	6	6
		Carga de Trabalho	8500 kgf	Força de Impacto (kg)																		
				Tensão no cabo (kg)																		
				Nº Máxima de Pessoas																		

DADOS DO CABO		CLIPAGEM DO CABO		Diâmetro do cabo		VÃO																
Diâmetro do cabo (mm)	19	Nº Mín. Cliques	4	Fator de Queda	1	2	3	4	5	7	10	15	20	25								
Carga de Ruptura (Kgf)	24000	Espaçam. Entre Cliques	114	Comprim. Talabarte	1270 mm	4,13	7,91	12,33	14,86	26,01	38,61	59,48	81,57	104,93								
Carga de Trabalho (Kgf)	12000	Torque N.m	80	Comprim. Absorvedor	730 mm	1003,95	1507,55	2011,9	2514,66	3525,55	5038,52	7559,13	10081,19	12604,81								
Fator	0,416	MANILHA RECOMENDADA		Peso do Corpo	100 kg	86,99	147,15	214,54	269,42	419,94	621,03	940,91	1274,03	1621,81								
E (kg/mm²)	9500	Manilha Curva G-2130		Along. Cabo Tensionado		510,97	489,67	468,98	454,16	420,93	388,01	352,04	326,78	306,05								
Área metálica (mm²)	150,2	Medida do Corpo	1 1/4"	Comprim. Cabo Carregado (mm)		5898,04	7526,96	8797,98	8478,52	10603,14	11018,06	11313,48	11636,43	11975,13								
Fator de Segurança	2	Medida do Pino	1 3/8"	Flecha (mm)		2									3	4	4	6	7	8	9	10
		Carga de Trabalho	12000	Força de Impacto (kg)																		
				Tensão no cabo (kg)																		
				Nº Máxima de Pessoas																		

Figura 19: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A Figura 18 exibe o dimensionamento de diversos casos para sistemas com fator de queda igual a 1, ou seja, o sistema deve estar ancorado no mesmo nível em que a altura dos ombros do trabalhador. Além de atender comprimento de vãos de 2 a 25 metros, os sistemas também se diferenciam pelos diâmetros de cabo de aço, aumentando ou reduzindo a resistência da linha.

4.1 Como utilizar as tabelas padronizadas

Cada linha de vida constitui de um caso particular. Qualquer instalação deve ser executada seguindo os passos abaixo:

1 – Determinar o comprimento do vão a ser trabalhado. É muito importante que o comprimento seja medido com o instrumento correto e devidamente calibrado. A sua extensão será o tamanho do cabo de aço da linha de vida.

2 – Garantir, na montagem da linha de vida, a altura do furo do olhal de no mínimo 5 metros acima do piso ou de estrutura existente abaixo do local de trabalho.

3 – Definir os pontos de ancoragem em relação ao nível de execução da atividade, ou seja, determinar o fator de queda sendo:

- Para pontos de ancoragem localizados 500 mm acima do nível do ombro do trabalhador, equivale ao fator de queda 0.
- Pontos de ancoragem que se encontram no nível do ombro do trabalhador, equivale ao fator de queda 1.
- Para pontos de ancoragem localizados no nível de trabalho, corresponde ao fator de queda 2.

4 – Selecionar o diâmetro do cabo de aço que atende a quantidade de pessoas para executar a atividade em conjunto no seu comprimento de vão no documento do respectivo fator de queda pré-selecionado no passo anterior. Lembre-se que os maiores diâmetros de cabo de aço garantem uma maior resistência, comportando mais pessoas no mesmo comprimento de vão.

5 – Após a seleção do cabo de aço, o documento indica todos os componentes de ancoragem recomendados para a instalação da linha de vida. Os itens de ancoragem

selecionados para atender cada respectivo diâmetro de cabo de aço e fator de queda são: Manilha, Clipagem do Cabo e Olhal de Ancoragem.

Algumas observações importantes antes de iniciar a atividade:

- Os materiais devem possuir certificado de qualidade de matérias primas com garantia de propriedades mecânicas/carga de ruptura.
- Deve ser feita uma análise de risco da zona livre de queda por um profissional qualificado antes da utilização da linha de vida.
- Após a instalação da linha de vida, constatar que o cabo de aço está devidamente estendido.
- É obrigatório uma inspeção técnica de toda linha de vida após sua instalação por profissional devidamente qualificado.
-

4.2 Exemplos do dimensionamento de linha de vida de retenção de queda

Exemplo 1 – Projeto de Linha de Vida Sobre Correia Transportadora

Um dos métodos de linha de vida mais utilizados para manutenção de correias transportadoras são os pórticos. Esse tipo de linha de vida proporciona um fator de queda igual a um, conforme demonstrado na Figura 20.

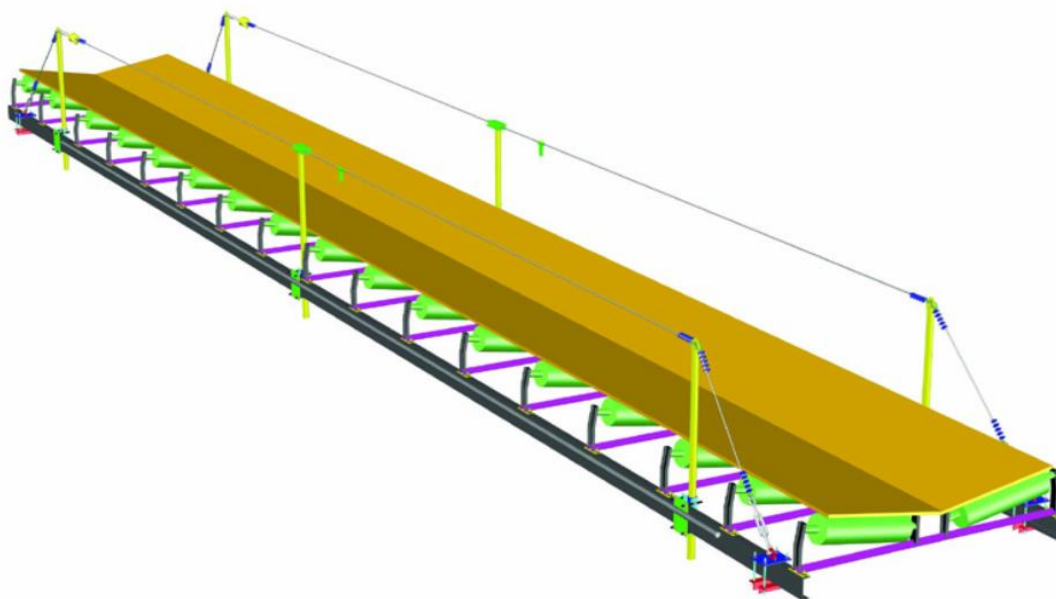


Figura 20: Projeto Linha de Vida sobre correia transportadora.
Fonte: 2AJ Equipamentos de Segurança (2021).

Os vãos das linhas de vida sobre a extensão da correia transportadora serão espaçados a cada sete metros e terá que suportar até duas pessoas simultaneamente, quantidade de pessoas necessárias para executar as atividades de manutenção.

Fatores a considerar:

- Comprimento: 7 metros.
- Quantidade de usuários simultaneamente: 2.
- Estudo do espaço abaixo, se não tem riscos de choques com equipamentos, anteparos, estruturas, efeito pêndulo.
- Ancoragem no mesmo nível do ombro do trabalhador, equivalente ao fator de segurança igual a um.

Para determinar todos os parâmetros necessários ao projeto, será preciso seguir passo a passo as etapas descritas anteriormente. Como alguns critérios já foram definidos, iremos para o passo número 4, definir o diâmetro do cabo de aço para atender um sistema de 7 metros de comprimento, fator de queda igual a 1 e suportar duas pessoas simultaneamente.

A Figura 21 mostra os dados para fator de queda igual a 1, seguindo o passo de número 4, de modo a identificar qual diâmetro de cabo de aço mais se adapta aos critérios do projeto.

DADOS DO CABO Diâmetro do cabo (mm) 9,5 Carga de Ruptura (Kgf) 6100 Carga de Trabalho (Kgf) 3050 Fator 0,416 E (kg/mm²) 9500 Área metálica (mm²) 34,54 Fator de Segurança 2	CLIPAGEM DO CABO N° Mín. Clíps 2 Espaço. Entre Clíps 57 Torque N.m 40 MANILHA RECOMENDADA Manilha Curva G-2130 Medida do Corpo 5/8" Medida do Pino 3/4" Carga de Trabalho 3250 kgf	VÃO Diâmetro do cabo 3/8" Fator de Queda 1 Comprim. Talabarte 1270 mm Comprim. Absorvedor 730 mm Peso do Corpo 100 kg Along. Cabo Tensionado 6,29 9,12 11,89 14,56 19,82 41,68 59,17 75,5 91,37 Comprim. Cabo Carregado (mm) 1006,3 1509,25 2012,06 2514,78 3519,91 5041,95 7559,22 10075,62 12591,28 Flecha (mm) 112,52 167,96 221,47 274,19 374,64 651,09 944,8 1233,13 1512,69 Força de Impacto (kg) 501,61 482,89 466,98 452,94 429,95 383,97 351,68 329,5 313,22 Tensão no cabo (kg) 2243,02 2169,39 2112,06 2076,95 2019,74 2979,22 2813,73 2692,21 2607,20 N° Máxima de Pessoas 1 1 1 1 1 2 2 2 2
DADOS DO CABO Diâmetro do cabo (mm) 13 Carga de Ruptura (Kgf) 10800 Carga de Trabalho (Kgf) 5400 Fator 0,416 E (kg/mm²) 9500 Área metálica (mm²) 70,3 Fator de Segurança 2	CLIPAGEM DO CABO N° Mín. Clíps 3 Espaço. Entre Clíps 76 Torque N.m 75 MANILHA RECOMENDADA Manilha Curva G-2130 Medida do Corpo 7/8" Medida do Pino 1" Carga de Trabalho 6500 kgf	VÃO Diâmetro do cabo 1/2" Fator de Queda 1 Comprim. Talabarte 1270 mm Comprim. Absorvedor 730 mm Peso do Corpo 100 kg Along. Cabo Tensionado 6,56 9,56 12,48 19,53 26,58 36,17 51,58 78,65 94,88 Comprim. Cabo Carregado (mm) 1006,58 1509,63 2012,55 2519,98 3526,81 5036,59 7551,85 10078,73 12595,19 Flecha (mm) 114,99 170,89 225,03 320,14 435,89 609,39 882,36 1257,95 1548,02 Força de Impacto (kg) 500,7 481,98 456,99 441,92 417,92 389,67 357,71 327,79 311,574 Tensão no cabo (kg) 4382,75 4257,66 4167,44 5219,83 5071,74 4830,55 4592,11 4592,11 5069,4 N° Máxima de Pessoas 2 2 2 3 3 3 3 4 4
DADOS DO CABO Diâmetro do cabo (mm) 16 Carga de Ruptura (Kgf) 16800 Carga de Trabalho (Kgf) 8400 Fator 0,416 E (kg/mm²) 9500 Área metálica (mm²) 106,5 Fator de Segurança 2	CLIPAGEM DO CABO N° Mín. Clíps 3 Espaço. Entre Clíps 95 Torque N.m 120 MANILHA RECOMENDADA Manilha Curva G-2130 Medida do Corpo 1 1/8" Medida do Pino 1 1/4" Carga de Trabalho 8500 kgf	VÃO Diâmetro do cabo 5/8" Fator de Queda 1 Comprim. Talabarte 1270 mm Comprim. Absorvedor 730 mm Peso do Corpo 100 kg Along. Cabo Tensionado 4,86 9,5 12,42 18,29 24,67 38,7 54,69 77,5 94,3 Comprim. Cabo Carregado (mm) 1005,09 1509,57 2012,46 2518,32 3524,69 5038,72 7554,78 10078,35 12594,63 Flecha (mm) 103,12 170,36 223,97 303,41 416,72 623,66 908,9 1257,86 1543,69 Força de Impacto (kg) 504,96 482,17 466,31 445,82 421,5 387,69 354,99 327,79 311,77 Tensão no cabo (kg) 4920,7 6408,63 6284,69 7400 7130,13 7830,48 7376,62 7878,76 7631,26 N° Máxima de Pessoas 2 3 3 4 4 5 5 6 6
DADOS DO CABO Diâmetro do cabo (mm) 19 Carga de Ruptura (Kgf) 24000 Carga de Trabalho (Kgf) 12000 Fator 0,416 E (kg/mm²) 9500 Área metálica (mm²) 150,2 Fator de Segurança 2	CLIPAGEM DO CABO N° Mín. Clíps 4 Espaço. Entre Clíps 114 Torque N.m 80 MANILHA RECOMENDADA Manilha Curva G-2130 Medida do Corpo 1 1/4" Medida do Pino 1 3/8" Carga de Trabalho 12000	VÃO Diâmetro do cabo 3/4" Fator de Queda 1 Comprim. Talabarte 1270 mm Comprim. Absorvedor 730 mm Peso do Corpo 100 kg Along. Cabo Tensionado 4,13 7,91 12,33 14,86 26,01 38,61 59,48 81,57 104,93 Comprim. Cabo Carregado (mm) 1003,95 1507,55 2011,9 2514,66 3525,55 5038,52 7559,13 10081,19 12604,81 Flecha (mm) 86,99 147,15 214,64 269,42 419,94 621,03 940,91 1274,03 1621,81 Força de Impacto (kg) 510,97 489,67 468,98 454,16 420,93 388,01 352,04 326,78 308,05 Tensão no cabo (kg) 5895,04 7526,96 8797,98 8478,52 10603,14 11018,06 1313,48 11636,43 11975,13 N° Máxima de Pessoas 2 3 4 4 6 7 8 9 10

Figura 21: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1 – Identificação de cabo de aço.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Foi realizado quatro marcações de coloração vermelho na Figura 21 de modo a destacar os dados para um vão de 7 m. Na primeira tabela, representado pelo cabo de aço de diâmetro 9,5 mm, cruzamos os dados do comprimento de vão, com a linha que representa o número máximo de pessoas, o resultado da análise matricial irá configurar quantas pessoas o respectivo cabo de aço suporta.

Para o exemplo prático, foi analisado para qual dimensão do cabo de aço é possível suportar no mínimo duas pessoas no comprimento de 7 metros de vão. Logo, pode se concluir os seguintes resultados para cada respectivo diâmetro do cabo de aço: Diâmetro 3/8” - 1 Pessoa; Diâmetro 1/2” – 3 Pessoas; Diâmetro 5/8” – 4 Pessoas; Diâmetro 3/4” – 6 Pessoas.

Portanto, para meios práticos e financeiros, a dimensão do cabo que mais se adapta para esse determinado projeto de linha de vida, sobre uma ponte rolante, é o de diâmetro igual a meia polegada.

Na mesma figura, nota-se que no lado esquerdo da tabela analisada existem especificações de equipamentos que compõe a ancoragem do sistema. Para o caso a ser dimensionado é recomendado a utilização dos seguintes componentes: Manilha Curva G-2130: Corpo 7/8”; Pino 1”; Número de Clips para Clipagem: 3; Espaçamento entre Clips 76 mm.

Ainda no documento do respectivo Fator de Queda, é possível determinar as dimensões do olhal de ancoragem para o devido cabo de aço, conforme apresenta a Figura 22.

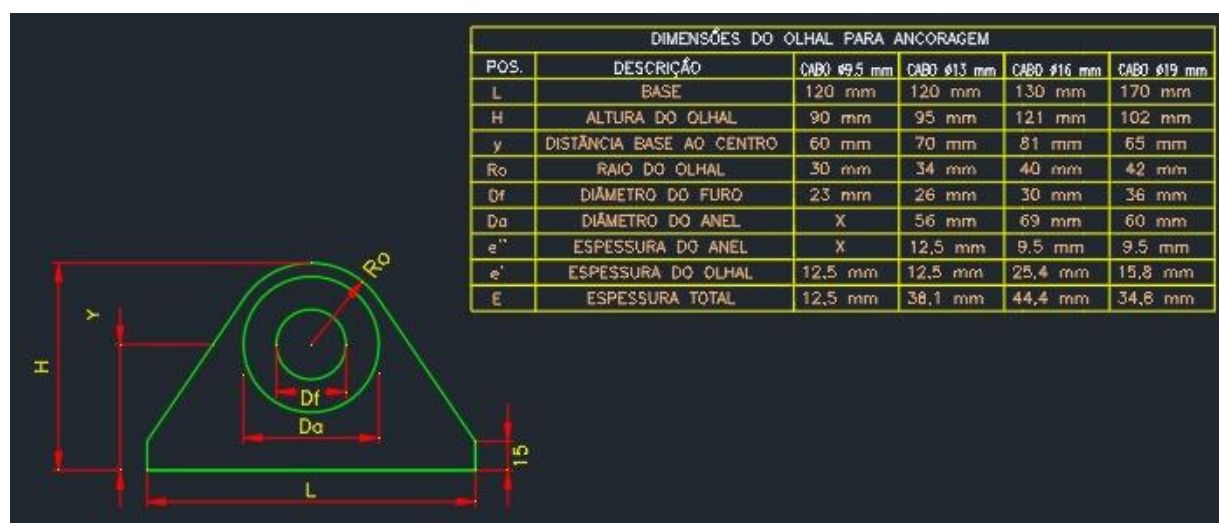


Figura 22: Planilha de linha de vidas para fator de queda 1 – Dimensões do olhal de ancoragem.

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A tabela mostrada na Figura 22 são resultados referentes aos cálculos apresentados pelas Figuras 15 e 16, utilizando como base a norma da Petrobras N-2683 REV A.

5 CONCLUSÃO

Os acidentes de trabalho em altura são cada vez mais frequentes e as consequências que provocam são um agravante. Qualquer atividade, acima de 2 metros de altura do nível abaixo, deve ser supervisionada por profissional que conheça a técnica e as atividades são realizadas de acordo com a previsão feita na análise de risco.

Para dar suporte à empresa para a qual o projeto foi implantado, procurou-se adequar sua estrutura (utilizando os equipamentos existentes) à legislação trabalhista, atendendo aos requisitos da norma regulamentadora NR35. Portanto, este trabalho teve como objetivo aprimorar as atividades que estão associadas aos riscos associados à realização de trabalhos em altura.

Desta forma, a execução dos cálculos possibilitou dimensionar adequadamente o cabo de segurança em questão, de acordo com os padrões exigidos pela legislação aplicável, de forma a garantir a segurança e integridade dos trabalhadores.

A planilha desenvolvida possibilita dimensionar os componentes da linha de vida horizontal para diferentes situações, porém deixando a responsabilidade para o profissional legalmente habilitado analisar o local para trabalho em altura e escolher no projeto a situação que mais se adapta para o local desejado. Também é de responsabilidade verificar as estruturas existentes nas quais a linha de vida será ancorada, ou projetar a sua estrutura com a resistência adequada.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA BRASIL (Brasil). A cada 3 horas e 40 minutos uma pessoa morre por acidente de trabalho. *In*: FRANCO, Nádia. A cada 3 horas e 40 minutos uma pessoa morre por acidente de trabalho. [S. l.], 2004. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2019-04/cada-3-horas-e-40-minutos-uma-pessoa-morre-por-acidente-de-trabalho>. Acesso em: 7 jul. 2021.

AGÊNCIA FIEP (Brasil). No Brasil, 40% dos acidentes de trabalho estão relacionados a quedas de funcionários em altura. *In*: SISTEMA FIEP. A cada 3 horas e 40 minutos uma pessoa morre por acidente de trabalho. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://agenciafiiep.com.br/2019/03/20/no-brasil-40-dos-acidentes-de-trabalho-estao-relacionados-quedas-de-funcionarios-em-altura/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Pereira. **Segurança do Trabalho: Guia Prático e Didático**. 5. ed. [S. l.]: SARAIVA, 2004.

BEER, F.P. e JOHNSTON, JR., E.R. Resistência dos Materiais, 3.^a Ed., Makron Books, 1995.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**: Projeto de Engenharia Mecânica. 8. ed. [S. l.]: ABDR, 2011.

CHIAVENATO, I. **Gestão de Pessoas**. 12^a Edição, 1999. Rio de Janeiro: Editora Campus.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL. Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6 ed São Paulo; Atlas. 2019.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5. ed. [S. l.]: ABDR, 2004.

MASCIA, Nilson Tadeu. **Resistencia dos Materiais**. UNICAMP: [s. n.], 2006.

PROMETAL EPIS. Talabarte: o que é e para que serve?. *In*: Talabarte: o que é e para que serve?. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.prometalepis.com.br/blog/talabarte-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 5 jul. 2021.

PIZA, Fábio de Toledo. Conhecendo e eliminando riscos no trabalho. São Paulo: CNI/SESI/SENAI/IEL, 2000.

ROSSETE, Celso Augusto. **Segurança e higiene do trabalho**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

SESI DEPARTAMENTO NACIONAL. **Guia Prático para Cálculo de Linha de Vida e Restrição para Indústria da Construção**. Serviço Social da Indústria, [s. l.], 5 maio 2017.

SPINNELI, Luiz E. ANIMASEG. **Talabartes de Segurança para retenção de quedas e absorvedores de energia**, [s. l.], 7 jul. 2021.

SOUZA, Oclair José de. NR35-uma breve análise. 2015.

SCHIEL, F. **Introdução à resistência dos materiais**. São Paulo: Editora Harper & Row, 1984

Ministério do Trabalho e Emprego. NR 35 – Trabalho em Altura. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014.

SISTEMA FIEP. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-04/acidentes-com-quedas-levaram-161-trabalhadores-morte-em-2017>. [S. l.], 2018. Disponível em: Acidentes com queda levaram 161 trabalhadores à morte em 2017. Acesso em: 7 jul. 2021.

TADACHI, N.T., e FLORES, M.C.X. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho.** 1^a.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.