



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ



**PROJETO CONCEITUAL DE DISPOSITIVO MECÂNICO PARA MELHORIA ERGONÔMICA
EM POSTO DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DE PNEUS**

Pedro Tersiguel Oliveira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Max Suell Dutra, Dr.-Ing

RIO DE JANEIRO, RJ –BRASIL

NOVEMBRO DE 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ



PROJETO CONCEITUAL DE DISPOSITIVO MECÂNICO PARA MELHORIA ERGONÔMICA EM POSTO DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DE PNEUS

Pedro Tersiguel Oliveira

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Max Suell Dutra, Dr.-Ing. (Orientador)

Prof. Silvio Carlos Anibal de Almeida, D.Sc.

Prof. Fábio Luiz Zamberlan, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

NOVEMBRO DE 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Pedro Tersiguel, 1987-

Projeto Conceitual de Dispositivo Mecânico para Melhoria Ergonômica em Posto de Trabalho na Indústria de Pneus / Pedro Tersiguel Oliveira. - 2013.

121 p. : il.; 30 cm

Orientador: Prof. Max Suell Dutra, Dr.-Ing.

Referências Bibliográficas: p. 91-92.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Engenharia Mecânica, 2013.

1. Ergonomia. 2. Biomecânica Ocupacional. 3. Indústria de Pneus.

I. Dutra, Max Suell. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Mecânica. III. Projeto Conceitual de Dispositivo Mecânico para Melhoria Ergonômica em Posto de Trabalho na Indústria de Pneus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me amparado e dado forças durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Max Suell Dutra pela paciência e disponibilidade demonstradas durante toda a elaboração do projeto, assim como os conselhos dispensados durante este período.

Agradeço igualmente aos Professores Fernando Duda, Luiz Carlos Pereira e Juan Garcia Blás pela mesma paciência e orientação obtidas na minha primeira tentativa de elaboração do projeto final, assim como ao CNPq pelo financiamento de minha iniciação científica.

À minha mãe, ao meu irmão e à minha namorada, pela compreensão e pelo sacrifício que também fizeram durante esta caminhada.

Ao meu pai, que continua sendo o meu grande exemplo.

Agradeço a todos os meus amigos que me ajudaram de uma forma ou de outra para que mais essa etapa da minha vida fosse alcançada, em especial àqueles que estiveram junto de mim nesses anos de luta e de conquistas na UFRJ.

E finalmente agradeço ao meu chefe e aos meus colegas de trabalho que sempre me apoiaram.

RESUMO

Desde o início da atividade Industrial, a interação entre o Homem e a máquina se fez necessária. Esta interação evoluiu na mesma proporção dos avanços tecnológicos que surgiram ao longo dos anos.

Porém foi apenas pouco tempo após o término da Segunda Guerra que os olhares se voltaram para a necessidade de se buscar uma metodologia para permitir que o Homem pudesse manipular, operar ou interagir com a máquina de forma que seu conforto físico ou psicológico fosse preservado. Foi o começo do desenvolvimento da ciência Ergonômica.

Atualmente, apesar da Ergonomia já ter se desenvolvido consideravelmente, ainda é grande o número de condições desfavoráveis neste sentido encontradas na Indústria. É o que mostra a pesquisa do SESI-SP, apresentada no presente trabalho.

Para tratar deste assunto, um posto de trabalho na Indústria de Pneus que apresentasse uma criticidade ergonômica desfavorável foi escolhido, e a partir dele uma solução mecânica foi desenvolvida, com o intuito de minimizar estes transtornos.

Neste desenvolvimento foram utilizadas simulações computacionais em SolidWorks e cálculos teóricos para dimensionamento de vigas.

Duas análises ergonômicas do posto foram realizadas, uma antes e outra depois da modificação, com base nos conceitos trazidos por Tirolida, sendo eles a análise de posturas pelo critério OWAS, equação de levantamento de cargas de NIOSH, entre outros. Um comparativo entre elas foi feito para se ter um resultado quantitativo e qualitativo para avaliar o impacto da solução proposta.

O objetivo do trabalho foi de chamar a atenção para a importância do papel da Engenharia, mais especificamente no dimensionamento e na concepção de postos de trabalho, máquinas e equipamentos que tenham uma interação com o Homem, para o desenvolvimento do conforto ergonômico do trabalhador nas Indústrias.

ABSTRACT

Since the beginning of Industrial activity, the man and machine interaction was required. This interaction has evolved at the same rate that technological advances did over the years.

But it was only after World War II that the importance of a method which preserves Man's physical and psychological welfare while handling, operating or interacting with a machine was realized. It was the beginning of Ergonomics science.

Currently, despite considerable Ergonomics development, a big number of adverse situations is found in Industry. That is what the SESI-SP research shows. This research is presented in this work paper.

To treat this subject, a workstation in Tire Industry submitted to a critical Ergonomics situation has been chosen. In order to minimize these disorders, a mechanical solution was developed.

Computational simulations in SolidWorks even as beams dimensioning theoretical calculations were used to model this solution.

Two ergonomic analysis were done: before and after the modification proposed. The concepts brought by Itiro lida were used, including the postures analysis by OWAS criterion and the NIOSH equation for lifting loads. A comparison between those two analysis was made, obtaining qualitative and quantitative results to measure the proposed solution's impact.

Thus, the purpose of this work paper was to evidence the importance of Engineering role, in particular at the conception of workstations, machines and equipments that interact with Man, developing the workers Ergonomic welfare in Industry.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação e objetivo.....	1
1.2 Apresentação do trabalho.....	2
1.2.1 Ergonomia.	2
1.2.2 Antropometria	2
1.2.3 Biomecânica ocupacional	3
1.2.4 Caso ilustrativo	3
1.2.5 Estudo de caso	4
1.3 Solução mecânica	4
1.3.1 Compartimento de transporte.....	5
1.3.2 Talha elétrica	5
1.3.3 Estrutura de suportaçã.....	6
1.3.4 Análise ergonômica	6
2 Ergonomia	7
2.1 Conceitos básicos	7
2.2 Contexto histórico.....	8
2.3 Análise ergonômica do trabalho	10
2.4 Ergonomia na legislação	13
3 Antropometria.....	15
3.1 Contexto histórico.....	15
3.2 Diversidade Humana	17
3.3 Dados Antropométricos	18
3.4 Medição das dimensões corporais	21

4 Biomecânica ocupacional.....	26
4.1 Trabalho muscular.....	26
4.2 Postura laboral	28
4.3 Exemplo de postura inadequada	29
4.4 Registro de posturas	32
4.5 Forças e cargas.....	32
4.5.1 Aplicação de cargas.....	33
4.5.2 Levantamento de cargas.....	34
4.5.3 Equação de NIOSH	36
4.5.4 Transporte de cargas	38
5 Casos práticos	40
5.1 Caso ilustrativo: problemas ergonômicos na indústria gráfica	40
5.1.1 Descrição da pesquisa.....	40
5.1.2 Resultados.....	41
5.2 Estudo de caso: Indústria de pneus.....	43
5.2.1 Descrição do posto a ser estudado	43
5.1.1 Análise ergonômica	46
6 Descrição da melhoria ergonômica	50
6.1 Descrição da solução mecânica	50
6.1.1 Avaliação dimensional	50
6.1.2 Compartimento de transporte.....	52
a) Estrutura principal	53
b) Simulação	57
c) Análise dos filetes de solda	62
d) Portinhola e trava.....	66
a) Rodízios.....	67
6.1.3 Talha elétrica	70
6.1.4 Estrutura de suportação.....	72
a) Posicionamento	72

b) Dimensionamento da viga principal.....	73
c) Dimensionamento das vigas intermediárias	78
d) Dimensionamento das vigas de apoio.....	80
6.2 Avaliação da solução ergonômica apresentada.....	85
6.2.1 Deslocamento do compartimento sobre a plataforma	85
6.2.2 Substituição dos sacos de resíduos.....	86
6.3 Resultados esperados.....	88
7 Conclusão.....	89
7.1 Desenvolvimento da solução.....	89
7.2 Resultados obtidos	89
7.3 Considerações finais	90
BIBLIOGRAFIA.....	91
APÊNDICES	93
APÊNDICE A - MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL	93
APÊNDICE B - MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS INTERMEDIÁRIAS.....	101
APÊNDICE C - MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DE APOIO.....	108
ANEXOS	116
ANEXO A – SISTEMA OWAS PARA REGISTRO DE POSTURAS.....	116
ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DAS POSTURAS REGISTRADAS NO SISTEMA OWAS PELO TEMPO DE DURAÇÃO E PELA COMBINAÇÃO DE SUAS VARIÁVEIS.....	117
ANEXO C – VALORES DE F PARA A EQUAÇÃO DE NIOSH DE ACORDO COM O NÚMERO DE LEVANTAMENTOS POR MINUTO E DURAÇÃO TOTAL DA ATIVIDADE	118
ANEXO D – VALORES DE C PARA A EQUAÇÃO DE NIOSH DE ACORDO COM A QUALIDADE DA PEGA DA CARGA.....	119
ANEXO E – CARACTERÍSTICAS DAS TALHAS ELÉTRICAS DE CABO DE AÇO OFERECIDAS PELA SANSEI	120
ANEXO F – CARACATERÍSTICAS DE VIGAS DE PERFIL I (PADRÃO AMERICANO) FORNECIDO PELA AÇOS GLOBO	121

1 Introdução

A segurança do trabalho tem se desenvolvido de forma crescente nas últimas décadas, principalmente na área de atuação das diversas indústrias instaladas pelo mundo.

Estas últimas, aliás, foram os principais motores que desencadearam tal desenvolvimento, principalmente por conta das condições desfavoráveis encontradas em suas instalações. Dentre as áreas que compõem a segurança no trabalho está a Ergonomia, que ganha cada vez mais destaque na concepção de produtos, máquinas operatrizes e postos de trabalho.

1.1 Motivação e objetivo

Em pesquisa realizada pelo SESI-SP [13] na indústria gráfica, foi apontado um grande número de irregularidades em suas atividades no que diz respeito à segurança do trabalho e ergonomia, seja pelas tarefas inadequadas ou pelo grande número de empresas de pequeno porte atuando neste setor. Este contexto acaba se aplicando também em indústrias de outras áreas de atuação.

Visando proporcionar uma condição mais favorável ao colaborador, procurou-se no presente trabalho apresentar uma solução que pudesse melhorar a condição ergonômica de algum posto de trabalho específico. Este posto deveria apresentar uma tarefa que gerasse algum desconforto físico ao colaborador, onde uma análise ergonômica deveria ser feita para apontar o ou os pontos a serem melhorados.

O posto escolhido encontrava-se em uma fábrica de pneus localizada no sudeste brasileiro. A descrição do posto e os inconvenientes ergonômicos gerados pela tarefa desenvolvida nele serão apresentados posteriormente.

A partir desta escolha, procurou-se utilizar os conceitos adquiridos no curso de graduação em Engenharia Mecânica, sobretudo em conceitos de dimensionamento de equipamentos e Mecânica dos Sólidos, para apresentar uma solução capaz de minimizar estes inconvenientes gerados pela tarefa, tendo uma aplicação prática e de baixo custo, onde a sua implantação fosse rentável em comparação aos prejuízos físico, psicológico e financeiro causados ao operador e à sua empresa.

A análise ergonômica foi baseada na bibliografia apresentada pelo ex-professor da COPPE, Itiro lida em seu livro *Ergonomia, Projeto e Produção* [7]. Sendo ela realizada neste

trabalho pelo ponto de vista da Engenharia Mecânica, a sua profundidade é limitada aos conceitos presentes na bibliografia em questão.

Desta forma, boa parte dos conceitos de Ergonomia e Antropometria foi introduzida no corpo do trabalho para uma melhor contextualização do assunto.

1.2 Apresentação do trabalho

1.2.1 Ergonomia

Em um primeiro momento, são abordados os conceitos básicos da Ergonomia, passando pelas suas definições estabelecidas por convenção, as suas aplicações, assim como as ciências que a governam, sejam no âmbito das ciências naturais ou das ciências sociais, dependendo do tipo de abordagem que demanda o problema a ser analisado. São apresentadas as suas diferentes áreas de atuação, sendo elas cognitiva, organizacional ou física, esta última recebendo o enfoque principal do trabalho.

Em seguida é exposto o seu contexto histórico que permite uma melhor compreensão de sua área de atividade. A Análise Ergonômica do Trabalho é também introduzida, explicando como é realizado o processo para a apresentação de melhorias do ponto de vista ergonômico. Finalmente, é apresentada a parte que trata da legislação e mostra como é regulamentada a Ergonomia no Brasil e em outras partes do Mundo.

1.2.2 Antropometria

Para se realizar uma análise ergonômica mais embasada, o conhecimento em Antropometria ganha uma importância relevante. Por esta razão o presente trabalho dedica um capítulo a este assunto.

Além de fundamental para a elaboração de produtos relacionados às dimensões do corpo humano, como calçados e roupas, este estudo também é importante no dimensionamento de um posto de trabalho onde leva em consideração a grande diversidade de dimensões corpóreas dos seres humanos espalhados pelo Mundo.

Além de mostrar o contexto histórico deste ramo de estudo, o capítulo também passa pela diversidade humana apresentando as suas diferenças no âmbito da individualidade, do gênero e das etnias.

São também apresentados os principais dados antropométricos do corpo humano, tanto os estáticos, que representam as dimensões fixas do corpo, quanto os dinâmicos.

Por fim, são apresentadas as diferentes medições das dimensões corporais, no que consistem as densidades médias de cada segmento corporal, as suas massas relativas e os métodos utilizados para estas medições.

1.2.3 Biomecânica ocupacional

Para relacionar estes dados antropométricos do corpo humano com o posto de trabalho e estudar a interação entre os dois, o estudo da biomecânica ocupacional é apresentado de forma a mostrar as forças e movimentos corporais relacionados ao trabalho.

O conceito de trabalho muscular é então introduzido explicando o seu funcionamento perante a demanda do corpo durante uma tarefa laboral e as consequências de um esforço mal executado.

As diferentes posturas adotadas durante uma atividade no trabalho também são abordadas com o objetivo de indicar qual delas é mais confortável para o corpo durante determinada tarefa. Um exemplo de postura inadequada é mostrado, comprovando-se através de deduções de Mecânica Estática que o esforço realizado pela musculatura ao adotá-la é maior que o esforço realizado ao adotar a postura adequada.

Em seguida alguns métodos de registro de posturas são apresentados, com destaque para a introdução ao método OWAS que foi utilizado neste trabalho como ferramenta para a análise ergonômica em questão.

As forças e cargas aplicadas durante a realização de tarefas também são apresentadas, dando ênfase para a aplicação destas forças pelos diferentes músculos do corpo, assim como as reações do corpo ao realizar o levantamento de cargas e a introdução à equação de NIOSH que limita a intensidade da carga a ser levantada e leva em conta os diferentes parâmetros que envolvem esta tarefa. Esta equação também será utilizada para auxiliar na análise ergonômica do presente trabalho. E por fim, é abordado o comportamento ideal a ser executado durante o transporte manual de cargas.

1.2.4 Caso ilustrativo

Em um primeiro momento, é apresentada a pesquisa realizada pelo SESI-SP já citada anteriormente, que aponta os principais problemas ergonômicos encontrados na Indústria Gráfica, mais precisamente em empresas localizadas no estado de São Paulo. Nela diversos fatores são levados em conta, desde o estado de conservação das edificações, o nível de ruído e iluminação nos locais de trabalho até a utilização de equipamentos e dispositivos de proteção. Os resultados desta análise são mostrados nos seus aspectos qualitativos e quantitativos. Os diversos problemas apontados são significativos e servem de motivação para a elaboração de soluções.

1.2.5 Estudo de caso

O posto de trabalho que serve de estudo para o presente trabalho é em seguida descrito de forma detalhada, passando pela apresentação da fábrica de pneus onde ele se encontra assim como a estruturação da equipe responsável pelas melhorias na linha de produção.

As dimensões do local em que ele se encontra são indicadas, seguidas pela descrição da tarefa a ser realizada pelo colaborador. Salienta-se a dificuldade que o operador encontra ao realizar a troca dos sacos plásticos localizados no posto, onde ele é obrigado a carregar um peso excessivo por uma distância considerável.

Uma análise ergonômica do posto é elaborada a partir dos conceitos passados por Itirolida [7]. Os resultados nesta análise apontam para uma situação ergonomicamente irregular que demanda uma modificação na execução da tarefa.

É nesta configuração que a proposta de melhoria é apresentada. O objetivo é elaborar um dispositivo mecânico que permita que a tarefa seja executada de uma forma menos desconfortável ao operador.

1.3 Solução mecânica

Tendo como objetivo eliminar os fatores que causam os inconvenientes encontrados na análise ergonômica, a proposta apresentada busca encontrar um equilíbrio entre a praticidade de sua aplicação e a eficiência na eliminação destes fatores.

Trata-se de um dispositivo formado por um compartimento de transporte capaz de alocar os sacos plásticos a serem trocados, uma talha elétrica que é responsável pelo içamento e pelo

deslocamento deste compartimento e a sua estrutura de sustentação. Este conjunto é posicionado sobre a plataforma em que a troca é realizada e é capaz de levar os sacos plásticos até o ponto de descarte utilizado originalmente antes da modificação, evitando maiores mudanças ao modo operatório da tarefa.

Uma avaliação das dimensões do posto é realizada para se ter conhecimento dos limites físicos aos quais a solução deverá ser submetida.

1.3.1 Compartimento de transporte

O compartimento de transporte é dimensionado, tendo de ser levado em conta o espaço que ele terá sobre a plataforma para ser deslocado, o seu espaço interno para alocar os sacos plásticos e a configuração mecânica de sua estrutura a fim de que ela seja capaz de suportar as cargas a ele aplicadas.

Para este último ponto, o software computacional SolidWorks foi utilizado para criar o modelo do compartimento e simular o seu comportamento diante das cargas aplicadas, mostrando as distribuições das tensões de Von Mises e de deslocamento resultantes. Uma análise dimensional das soldas realizadas na estrutura também foi feita, uma vez que se trata de pontos mais frágeis da estrutura que podem apresentar falhas precocemente.

Assim feito, outros acessórios do compartimento foram modelados, como a portinhola de segurança, a sua trava e os rodízios de apoio.

O modelo foi então incorporado ao desenho da plataforma do posto para que as suas dimensões pudessem ser comparadas entre si e assim verificar que elas eram compatíveis.

1.3.2 Talha elétrica

Com o peso do compartimento já estabelecido, foi possível dimensionar a talha elétrica a ser utilizada, levando em conta o seu modelo, a carga máxima de trabalho, o seu curso de elevação e as dimensões do trole e do moitão.

As dimensões do moitão foram principalmente estudadas a fim de verificar a sua compatibilidade com as dimensões do olhal projetado para o compartimento de transporte.

A distância entre os rolos de apoio da talha também teve de ser considerada para o dimensionamento da largura da viga a ser utilizada, assim como a altura da talha com o moitão

recolhido para estabelecer o espaço livre entre ele e o topo das esteiras transportadoras do posto.

1.3.3 Estrutura de suportaçã

Uma vez com a talha selecionada e o compartimento de transporte dimensionado, foi possível realizar os cálculos para a escolha dos perfis das vigas a serem utilizadas na estrutura de suportaçã.

Primeiramente foi selecionado o perfil da viga principal que faz o papel de trilho para a talha elétrica. O critério utilizado para este dimensionamento foi o cálculo de esforço cortante e momento fletor aplicados sobre a viga na condiçã mais crítica de carga, ou seja, com a talha sustentando o compartimento carregado com a sua capacidade máxima.

As duas vigas de sustentaçã da viga principal, que foram chamadas aqui de vigas intermediárias, também foram dimensionadas pelo critério de momento fletor e esforço cortante.

As vigas de apoio dessas outras duas vigas foram dimensionadas pelo critério de resistênci à flambagem em relaçã à força de compressã aplicada sobre elas.

1.3.4 Análise ergonômica

Uma nova análise ergonômica foi então realizada sobre o posto modificado para efeito de comparaçã com a análise feita para a condiçã inicial do posto.

Para que a comparaçã fosse aproveitada da melhor forma, os mesmos critérios utilizados na primeira foram utilizados na segunda, onde foram consideradas as tarefas adicionais geradas pela modificaçã, assim como as tarefas que se tornaram desnecessárias foram descartadas.

2 Ergonomia

2.1 Conceitos Básicos

Tendo como origem as palavras gregas *Ergon* (trabalho) e *Nomos* (leis, normas ou regras) [1], a Ergonomia vem sendo um assunto cada vez mais frequente nos diversos setores da sociedade, principalmente no ambiente laboral, onde podemos destacar mais especificamente as Indústrias como fortes alavancas para o desenvolvimento do conhecimento neste campo de estudo, tanto pelos ergonomistas quanto pelos indivíduos beneficiados. Será apresentado neste capítulo do que se trata a Ergonomia e como ela é aplicada.

Diversos autores divergiram quanto ao seu conceito. Enquanto uns a consideram uma ciência, já que faz o papel de geradora de conhecimento, outros a consideram uma tecnologia por seu caráter de aplicabilidade e transformação [2].

A fim de estabelecer uma descrição comum, a *Associação Internacional de Ergonomia* (IEA), em agosto de 2000, adotou a definição oficial de Ergonomia (ou Fatores Humanos) como sendo uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos do sistema, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de aperfeiçoar o bem estar humano e o desempenho global do sistema [3]. Os ergonomistas contribuem então para o planejamento, projeto e a avaliação de tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas com o objetivo de torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas [4].

Tendo como base o sistema Homem-Máquina-Ambiente, a Ergonomia é governada, em uma parte pelas ciências naturais como a biologia, fisiologia, física e química e em outra pelas ciências sociais como a psicologia, sociologia e antropologia. Dependendo da natureza do problema a ser estudado, utiliza-se um ou outro tipo de abordagem. Se o problema for relacionado à máquina, funcionamento do organismo humano ou ambiente, predominam os métodos das ciências naturais. Se for relacionado aos relacionamentos humanos predominam aqueles das ciências sociais. Segundo Itiro Iida [7], a escolha do método e técnica mais adequados vai depender da experiência e habilidades do pesquisador e de restrições como limite de tempo, verba e efetivo disponíveis para a conclusão do projeto.

De uma forma geral, a ergonomia se especializa em três áreas:

a) **ERGONOMIA COGNITIVA:** Relacionada aos processos mentais e intelectuais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora à tarefa exigida envolvidos nas interações entre os indivíduos e os outros elementos de um sistema. Tendo como principais pontos o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem – computador, stress, treinamento, etc;

b) **ERGONOMIA ORGANIZACIONAL:** Consiste na otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processos. Os principais pontos de estudo incluem comunicações, gerenciamento de controle de cabine (*CRM – CrewResource Management* – na comunidade aeronáutica), projeto de trabalho, organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, projeto participativo, novos paradigmas do trabalho, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede, tele trabalho e gestão de qualidade;

c) **ERGONOMIA FÍSICA:** Relacionada às características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica referentes à atividade física. Os principais pontos estudados consistem no estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde.

Esta última especialização receberá enfoque especial para o presente trabalho, uma vez que o problema a ser abordado está relacionado à integridade física do colaborador.

Contudo, para compreender melhor esta disciplina é necessário conhecer a sua história e o que levou ao despertar do interesse da sociedade por este assunto.

2.2 Contexto histórico

Em 1857, foi publicado por JASTREZEBOWISKY [2] um artigo intitulado “Ensaio de ergonomia ou ciência do trabalho”. Quase cem anos depois, em 1949, pouco tempo após o término de Segunda Guerra, o tema é retomado como forma de procurar solucionar problemas envolvendo a relação entre homem e máquinas, já que os métodos tradicionais de seleção e treino não eram tão eficazes.

Com o desenvolvimento tecnológico da época (aviões mais velozes, radares e submarinos, por exemplo), ficou evidente que o desenvolvimento das habilidades humanas para responder às situações críticas exigidas por estas novas tecnologias não tinha evoluído na mesma proporção. Sendo assim, as novas e complexas máquinas produzidas para a Segunda

Guerra não atendiam inteiramente às expectativas em torno delas, já que não haviam sido consideradas as características e capacidades humanas. Como disse CHAPANIS, Alphonse (1947): “As máquinas não lutam sozinhas.”.

Uma prova de que a Ergonomia teve como grande auxiliar para o seu desenvolvimento os meios militares, foi a fundação no começo do século XX, na Inglaterra, do Health of Munitions Workers Committee (Comitê de Saúde dos Trabalhadores de Munição). No artigo que anuncia a sua fundação, seus objetivos são descritos como: “*considerar e advertir nas questões de fadiga industrial, horas de trabalho e outros assuntos que afetem a saúde pessoal e eficiência física de trabalhadores das fábricas e oficinas de munição*” [5].

Um grupo de cientistas e pesquisadores se reúnem então, interessados em formalizar a existência desse novo ramo interdisciplinar da ciência. Em 1950, adota-se o neologismo “Ergonomia”. É fundada assim, na Inglaterra do início da década de 50, a *Ergonomics Research Society* (Sociedade de Pesquisas sobre Ergonomia, em tradução livre).

Segundo GÜERIN et al. (2001 apud PIZO e MENEGON, 2010) [6], a partir da publicação do livro “Análise do Trabalho” de Ombrebane e Faverge, em 1955, adicionado ao trabalho de diversos outros pesquisadores ao longo do século, a ergonomia centrada na análise de atividades foi desenvolvida *tendo suas bases teóricas aprofundadas, seus métodos enriquecidos e suas aplicações às transformações das condições de trabalho mais elaboradas*. Nesta publicação, é apresentada de forma clara a importância da observação das situações reais de trabalho para melhoria dos meios, métodos e ambiente de trabalho.

Entre as obras que contribuíram para a propagação dos conhecimentos em Ergonomia no meio do século passado, podemos citar a aplicação da Psicologia Experimental (ALPHONSE, C., 1949), *Prática da Filosofia do Trabalho* (LEHMAN, G. A., 1953) e *Fadiga e Fatores Humanos no Desenho de Equipamentos* (FLOYD et WELFORD, 1955) [2].

Entre as décadas de 60 e 80 houve um rápido crescimento da Ergonomia para além das fronteiras da Indústria Bélica uma vez que o restante das Indústrias despertava para a importância da Análise Ergonômica na concepção dos produtos e sistemas de trabalho. Mais tarde, a Ergonomia foi aplicada com o objetivo de otimizar o trabalho humano.

Se nos primeiros estudos, o foco era o aperfeiçoamento da máquina, às quais os operadores tinham que se adaptar através de um difícil treinamento, à medida que as máquinas se tornavam mais complexas e caras e o valor da vida humana foi se impondo, surgiu

apreocupação em conceber máquinas e condições de trabalho mais adaptadas ao homem e às características humanas no que compete à visão antropométrica, biomecânica, fisiológica, psicológica e de competência.

Seguindo esta onda de evolução, alguns países europeus fundaram a IEA para reunir as várias Sociedades de Fatores Humanos e de Ergonomia que foram surgindo.

A partir dos anos 80, com o surgimento de novas tecnologias informatizadas, a Ergonomia se viu num crescimento acelerado e desafiador, já que elas apresentaram uma nova maneira de trabalhar, com novos dispositivos de controle, apresentação de informações por monitor e outras mudanças que constituíram áreas de análise e de intervenção para os ergonomistas [1].

No Brasil, a Ergonomia começou a ser mencionada na década de 60, pelo professor Sergio Penna Khel, da USP, que orientou seu aluno Itiro Lida a redigir a primeira tese brasileira sobre o assunto, a *Ergonomia do Manejo* (ITIRO, I., 1971). Pela USP de Ribeirão Preto, Paul Stephaneek introduziu o tema na Psicologia.

No Rio de Janeiro, a disciplina foi apresentada aos estudantes de Medicina pelo professor Alberto Mibielli de Carvalho nas faculdades mais importantes da cidade, a Nacional (atual UFRJ) e a de Ciências Médicas, na Universidade Estadual da Guanabara (atual UERJ). No curso de Psicologia da UFRJ, o assunto era lecionado pelo professor Franco Seminário. Porém o grande impulso se deu quando o já professor Itiro Lida veio para a COPPE, no início dos anos 70, no Programa de Engenharia de Produção. Com a ajuda de Collin Palmer, organizou um curso que deu origem ao primeiro livro editado em português [2]. Itiro foi também um dos fundadores e presidente da Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO), em 1983, e autor de diversos livros sobre o assunto sendo um dos principais divulgadores do assunto no meio acadêmico [7].

Cada etapa desta evolução histórica teve o seu importante papel para o desenvolvimento desta disciplina que hoje tem uma posição de destaque nos estudos e projetos que compõem o ambiente humano.

2.3 Análise Ergonômica do Trabalho

A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) tem como objetivo aplicar os conhecimentos gerados e reconhecidos cientificamente da ergonomia a fim de analisar, diagnosticar e corrigir

uma situação real de trabalho [6]. Desenvolvida por pesquisadores através de seus estudos e publicações a partir da metade do século passado, ela constitui um exemplo de ergonomia de correção.

Segundo Guérin et al. (2001 apud Lida, 2005), a AET desdobra-se em cinco etapas: análise da demanda, análise da tarefa, análise da atividade, diagnóstico e recomendações:

a) **ANÁLISE DA DEMANDA:** Demanda é a descrição de uma situação problemática que justifique a necessidade de uma ação ergonômica. A análise da demanda irá procurar compreender a natureza e a dimensão dos problemas apresentados. Por existir uma pluralidade de atores sociais envolvidos (gerentes, supervisores, trabalhadores, ergonomistas), faz-se necessário criar um processo de negociação entre as partes para delimitar o problema e definir outros aspectos como prazos e custos para apresentação da solução [7].

b) **ANÁLISE DA TAREFA:** Tarefa é um conjunto de objetivos prescritos que devem ser cumpridos pelos trabalhadores. Corresponde a um planejamento do trabalho e pode estar apresentada em um documento formal com um descritivo do cargo. Informalmente, pode corresponder a certas expectativas gerenciais. Por isso a AET verifica as discrepâncias entre o que está previsto e o que realmente é executado. Isso pode se dar porque algumas condições de trabalho (máquinas desajustadas, ferramentas inadequadas) são diferentes daquelas prescritas ou então alguns trabalhadores não seguem à risca o método estabelecido. Sendo assim, a AET não pode basear-se apenas na tarefa, devendo também analisar como a mesma distancia-se da realidade [7].

c) **ANÁLISE DA ATIVIDADE:** Atividade consiste no comportamento do trabalhador na execução da tarefa. É a maneira como o operador trabalha para alcançar o objetivo estabelecido, sendo o resultado da influência de vários fatores envolvidos no trabalho e a adaptação do trabalhador, como mostra o fluxograma da figura 2.1. Estes fatores que influenciam na atividade podem ser internos ou externos. Os internos são os aspectos característicos ao trabalhador tais quais idade, sexo, formação, experiência, estresse, entre outros. Os externos são aqueles referentes às condições na qual a atividade é realizada e podem ser divididos em três tipos principais: conteúdo do trabalho (regras e normas), organização do trabalho (horários, turnos) e meios técnicos (máquinas, ferramentas, posto de trabalho).

d) **FORMULAÇÃO DO DIAGNÓSTICO:** O diagnóstico é o resultado da busca pelas causas que provocam os problemas apresentados na demanda. São fatores inerentes ao trabalho ou à empresa, apresentados na figura 2.1. Por exemplo, um problema de absenteísmo

pode ser causado pelo forte ruído ou a baixa iluminação no posto de trabalho, uma alta rotatividade pode ter como origem um treinamento insuficiente do trabalhador ou a alta carga de estresse do ambiente. Acidentes podem ser causados pela falta de manutenção em uma máquina ou pela falta de sinalização em uma oficina [7].

e) RECOMENDAÇÕES ERGONÔMICAS: As recomendações são as sugestões apresentadas a fim de eliminar os fatores causadores dos problemas sendo estudados. Elas devem ser claramente especificadas com todas as etapas necessárias para a resolução do problema devidamente descritas. Os responsáveis por cada ação devem ser nitidamente apontados com a indicação do prazo para a realização da mesma [7].

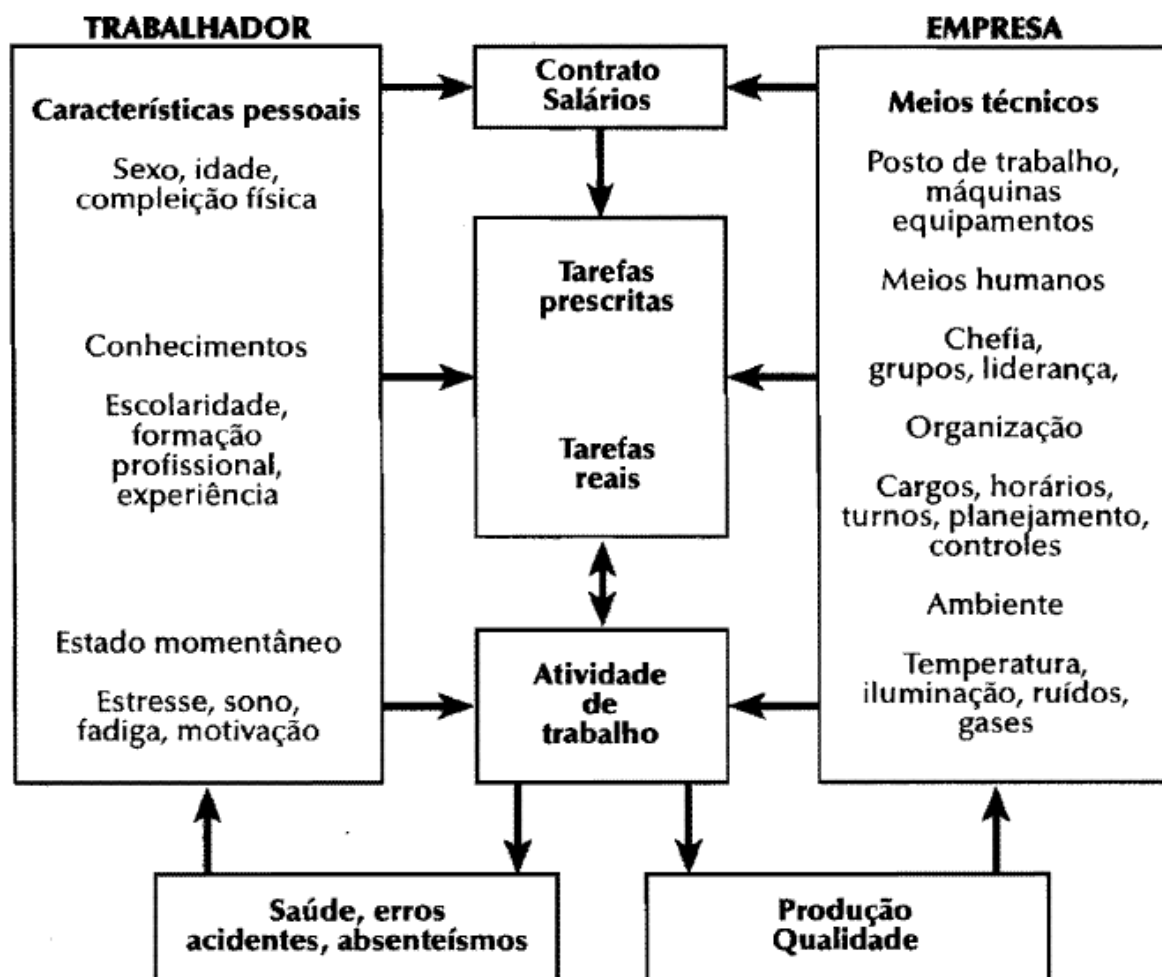


Figura 2.1 – A atividade de trabalho como elemento estrutural e organizacional da situação de trabalho [7]

2.4 Ergonomia na Legislação

Temos atualmente incorporadas à Legislação Trabalhista Brasileira as Normas Regulamentadoras (NRs) que ditam as normas e procedimentos a serem respeitados voltando-se para a segurança de cada atividade profissional específica.

Aquela que diz respeito à Ergonomia é a NR 17, e teve a sua última atualização realizada em junho de 2007. Por definição, ela *visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação de trabalho às condições psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente* [8].

Já a NR 12 trata de Máquinas e Equipamentos e apresenta requisitos mínimos para a instalação dos mesmos nas empresas. A norma diz ainda que os dispositivos de acionamento e parada devem ser posicionados de tal modo que possam ser acionados pelo operador na sua posição de trabalho, ou por outra pessoa, e que não possam ser acionados de forma involuntária ou acidental [13].

No que consiste o trabalho da mulher, a Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), em seu Capítulo II, Título III Artigo 390 diz que é vedado ao empregador submeter à mulher *“serviço que demande o emprego de força muscular superior a 20 (vinte) quilos para o trabalho contínuo, ou 25 (vinte e cinco) quilos para o trabalho ocasional”* [13].

Em outros países, a prática ergonômica também é evidenciada na legislação, como se pode ver no Decreto-Lei nº 441/91, parágrafo 1º de Portugal: *“A realização pessoal e profissional encontra na qualidade de vida do trabalho, particularmente a que é favorecida pelas condições de segurança, higiene e saúde, uma matriz fundamental para o seu desenvolvimento”* [1].

A *International Organization for Standardization* (ISO, Organização Internacional de Normalização) possui em torno de 134 normas técnicas a respeito de Ergonomia subdivididas em quatro Subcomitês:

- a) Princípios ergonômicos gerais;
- b) Antropometria e biomecânica;
- c) Ergonomia da interação Homem-Sistema;
- d) Ergonomia do ambiente físico.

Estes fatos mostram que a preocupação com o *conforto, segurança e desempenho eficiente* no sistema em que o homem é inserido é uma realidade na sociedade no âmbito global, ao menos no que diz respeito às normas e leis [9].

3 Antropometria

Segundo definição da NASA (1978, apud Santos e Fujão, 2003), antropometria é a ciência de medida do tamanho corporal. Sobral (1985, apud Santos e Fujão, 2003) diz que elase baseia *na mensuração sistemática e na análise quantitativa das variações dimensionais do corpo humano*. As dimensões físicas de uma população podem ser determinadas pelas medições da estatura, dos comprimentos, das profundidades e das circunferências corporais dos indivíduos [10].

Nas indústrias de produtos diretamente relacionados ao corpo humano este estudo se torna cada vez mais importante no sentido de otimizar a produção e diminuir os gastos com matéria-prima. Por exemplo, em uma fábrica de calçados o conhecimento aprofundado das dimensões do pé humano pode evitar uma utilização exagerada de material, além de proporcionar um conforto maior ao cliente. Considerando-se uma produção em larga escala, se trata de uma economia considerável. Esta situação também é aplicável a diversas outras indústrias, como a automobilística e aeroespacial [7].

Além disso, a elaboração de um estudo antropométrico também é de grande importância no projeto de dimensionamento de um posto de trabalho, considerando o desenvolvimento das tarefas cada vez mais complexas dos colaboradores e os fatores que contribuem para a diversidade das medidas antropométricas nos diferentes grupos de indivíduos.

A antropometria se divide em cinco áreas [10]:

- a) Somatometria: avaliação das dimensões corporais;
- b) Cefalometria: estudo das medidas da cabeça;
- c) Osteometria: estudo dos ossos cranianos;
- d) Pelvimetria: avaliação das medidas pélvicas;
- e) Odontometria: estudo das dimensões dos dentes e das áreas dentárias;

3.1 Contexto histórico

Na Roma Antiga, a arquitetura estava de certa forma relacionada à antropometria. O célebre arquiteto e teórico romano Vitruvius afirmou que o design de edifícios deveria ser baseado em certos princípios estéticos do corpo humano. Foi de Vitruvius o sistema mais detalhado das proporções humanas já elaborado da era clássica [10].

No final do século XV, deu-se início à ciência antropométrica com Albrecht Dürer que tentou categorizar os diferentes tipos físicos humanos através de uma visão sistemática e da medição de uma grande quantidade de pessoas. Contudo, o foco daquele período renascentista era o ponto de vista estético e a análise científica ficava em segundo plano. O desenho do “Homem Vitruviano” de Leonardo da Vinci, em que um homem é retratado em duas posturas diferentes inscrito em um quadrado e um círculo (Figura 3.1), é uma das imagens mais celebres do artista e ilustra este estudo. Este desenho deriva diretamente das pesquisas de Vitruvius.

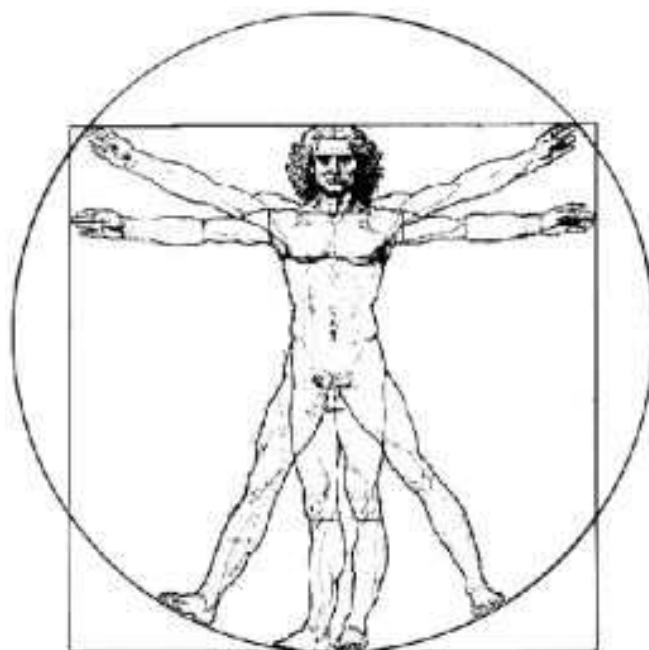


Figura 3.1 – O Homem Vitruviano de Leonardo da Vinci.

O grande salto do desenvolvimento da ciência antropométrica ocorreu no século XIX e no início do século XX. Neste período, tentava-se subdividir e classificar a raça humana de acordo com as dimensões físicas [10]. No entanto, até a década de 1940, as medidas antropométricas se limitavam apenas a valores médios da população, como massa e estatura. Em seguida, deu-se início à determinação das variações e do alcance dos movimentos [7].

Com os últimos avanços tecnológicos, como as viagens espaciais, e a necessidade cada vez mais flagrante de se otimizar os espaços ocupados pelo ser humano tanto na indústria, como na vida corrente, este estudo se torna mais importante tanto em termos técnicos como em termos econômicos.

3.2 Diversidade humana

Atualmente, o estudo antropométrico está mais completo e leva em consideração as condições nas quais as medidas são realizadas, as características físicas dos indivíduos, a região onde vive a população, etnias, alimentação entre outros fatores importantes para se obter valores representativos e assim permite realizar uma análise mais consistente [7].

Em resumo, as principais diferenças que devem ser consideradas no dimensionamento de um posto de trabalho ou de um produto baseado em um estudo antropométrico são:

a) **DIVERSIDADE INDIVIDUAL:** consiste nas diferenças entre os tipos físicos ou biótipos de cada indivíduo, onde pequenas diferenças aparecem desde o nascimento e vão se acentuando até a idade adulta. Tais discrepâncias podem se apresentar na concentração de gordura subcutânea, largura dos ombros, circunferência abdominal, formação da musculatura, entre outras formas [7];

b) **DIVERSIDADE DE GÊNERO:** trata-se da diferença antropométrica evidente que existe entre homens e mulheres. O sexo masculino apresenta uma proporção maior de músculos, enquanto o feminino possui uma distribuição maior de gordura entre a bacia e as coxas. Apesar de as meninas apresentarem um crescimento avançado durante a pré-adolescência, é na adolescência que os meninos se desenvolvem atingindo a sua estatura final entre os 20 e 23 anos, assim como as meninas [7].

c) **DIVERSIDADE ÉTNICA:** são as diferenças físicas encontradas entre os diferentes povos do Mundo. Segundo Itirolida [7], na África podemos encontrar os dois extremos em se tratando de estatura, com os pigmeus da África Central medindo em média 1,44 m e os habitantes do sul do Sudão chegando a uma média de 1,83 m. Este tipo de diferença gera inconvenientes na exportação de um produto dimensionado para a população de um local em direção a outra população. Com a globalização cada vez mais presente e o comércio internacional facilitado, as empresas exportadoras devem encontrar soluções para que cada população consumidora de seus produtos seja beneficiada da forma equilibrada, sendo talvez necessária a realização de produtos exclusivos para cada povo. A figura 3.2 mostra as diferentes proporções corporais características a cada etnia. Itirolida [7] ainda cita que mesmo que a estatura média de uma população tenda a evoluir, as suas proporções permanecem inalteradas.

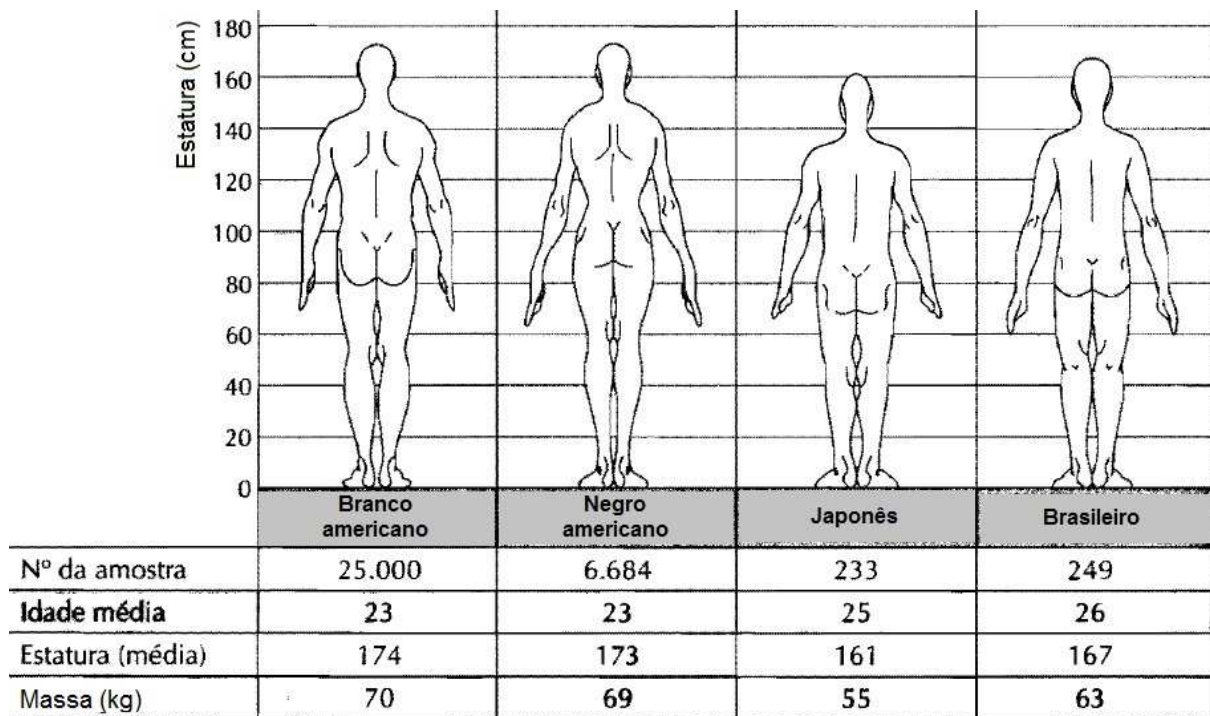


Figura 3.2–Proporções corporais típicas de cada etnia(Newman e White,1951; Ishii1957; Siqueira, 1976) [7].

Tendo em vista esta grande variabilidade humana, a seguinte questão deve ser estudada: como garantir uma adequação ideal dos produtos de uma sociedade ou os postos de trabalho de uma indústria, já que existem tantas características antropométricas diferentes? Obviamente não é viável nem em termos práticos quanto econômicos que cada produto ou posto de trabalho seja concebido individualmente. Sendo assim, é necessário desenvolver uma análise considerando cada caso como tempo de utilização ou função do produto para se conceber um padrão, seja ele regulável ou não.

3.3 Dados antropométricos

Os dados antropométricos de uma população utilizadora podem ser classificados como estáticos (ou estruturais) ou dinâmicos (ou funcionais).

Os dados antropométricos estáticos são medidas de dimensões fixas do corpo humano. Segundo a NASA, em 1978 (apud Santos e Fujão, 2003) foram registradas 973 medidas deste tipo até aquele ano. Entre elas estão a própria estatura, altura dos ombros (ou altura acromial) e a altura dos olhos, utilizada, por exemplo, para a definição de postos de trabalho que incluam

tarefas visuais [10]. Alguns exemplos deste tipo de medida estão ilustrados na figura 3.3. Entre as diversas aplicações estão o dimensionamento de capacetes, com a cefalometria, dimensionamento de luvas ou mouses para computador com a tomada de dimensões e formato das mãos, entre outras.

Contudo, estas medidas apresentam limitações na sua aplicação, pois não levam em conta outros fatores importantes, como os diferentes movimentos realizados pelo corpo humano.

Por esta razão, os dados antropométricos dinâmicos são importantes na concepção de ambientes ou produtos nos quais o utilizador tenha que alcançar um componente ou realizar um movimento. Estes dados são obtidos através de medidas tomadas enquanto o corpo realiza tal ação.

Quando o corpo é utilizado com o objetivo de alcançar determinado objeto, por exemplo, ele se beneficia do resultado da soma de movimentos de suas partes individuais, ou unidades funcionais, que, agindo simultaneamente, realizam o movimento desejado.

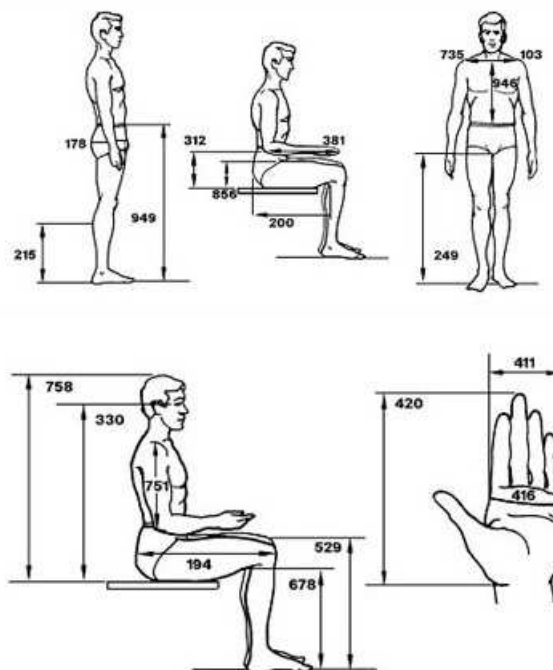


Figura 3.3 – Alguns exemplos de dimensões antropométricas estáticas

Define-se como zona de alcance conveniente a área na qual o objeto possa ser alcançado sem esforço excessivo. Ela é descrita pelo raio de ação dos membros superiores e inferiores e gera uma forma semiesférica, conforme mostra a figura 3.4 [10].

Ao inserir na zona de alcance conveniente um plano horizontal representando uma bancada de trabalho ou uma linha de produção, por exemplo, obtêm-se as áreas de trabalho normal e máxima que determinam a melhor distância do objeto para o corpo do operador, sem gerar danos à sua postura de trabalho (Figura 3.5) [10].

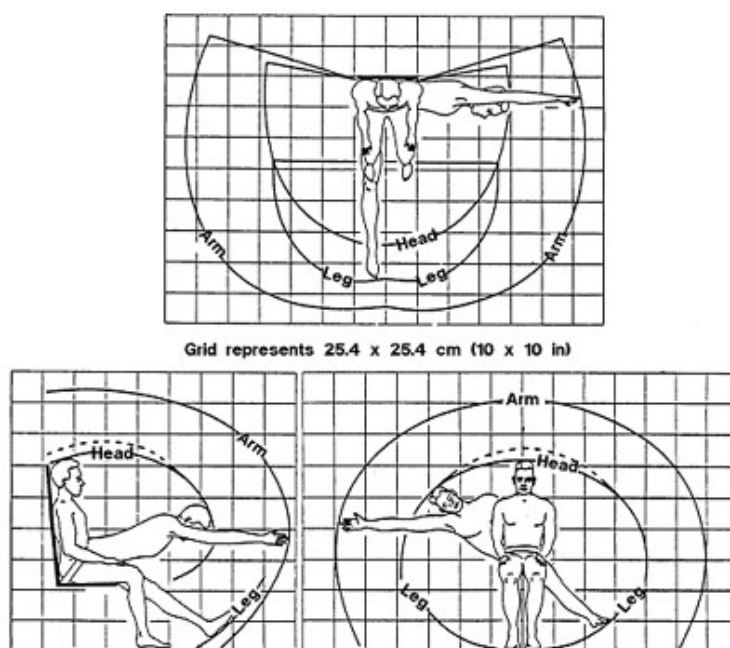


Figura 3.4 – Zona de alcance conveniente do corpo humano

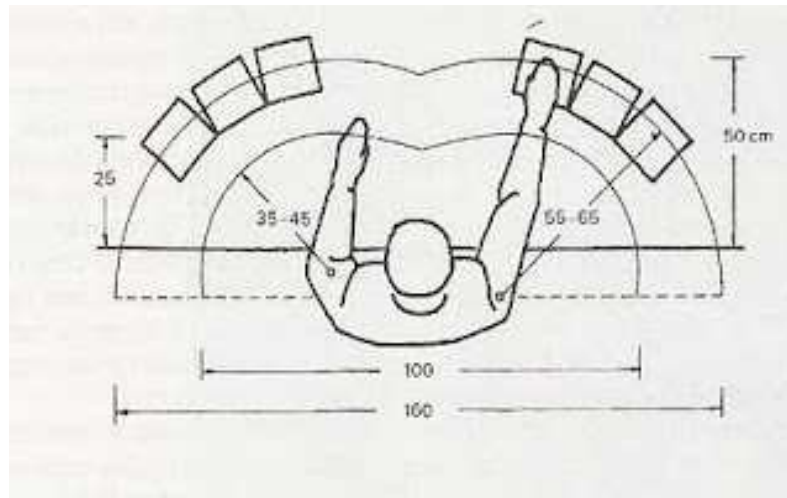


Figura 3.5–Área de trabalho normal

Estas observações devem ser levadas em consideração na elaboração do posto de trabalho. No entanto, é importante ressaltar que estes são modelos simplistas utilizados para facilitar a visualização da concepção do posto e não consideram que o corpo humano não se sente confortável permanecendo um longo tempo sem se mover, por mais que a posição seja confortável para ele [10].

Mais adiante serão apresentadas as consequências geradas pelas posturas ou movimentos inadequadas do corpo.

3.4 Medição das dimensões corporais

As medidas utilizadas para realização de um estudo antropométrico foram realizadas durante os últimos séculos e com o passar do tempo os seus métodos foram se desenvolvendo de modo a aumentar a precisão dos resultados obtidos.

Podemos modelar o corpo como sendo um sistema mecânico dividido em diversos segmentos rígidos ou flexíveis de dimensões e formas definidas, interligados por articulações que podem ser pivotadas ou esféricas.

A figura 3.6 mostra alguns pontos de referência para a determinação dos comprimentos corporais e na figura 3.7 pode-se ver uma representação do sistema de ligações dos segmentos corporais [11].

Outra dimensão importante para as considerações antropométricas é a massa de cada segmento. Segundo estudos de HARLESS e DEMPSTER (apud RODACKI) as densidades mássicas relativas dos diversos segmentos corporais são semelhantes (Tabela 3.1) [11].

Tabela 3.1 – Densidade média dos segmentos corporais [11]

Segmento	Harless	Dempster
Cabeça e pescoço	1,11	1,11
Tronco	-	1,03
Braço	1,08	1,07
Antebraço	1,10	1,13
Mão	1,11	1,16
Coxa	1,07	1,05
Perna	1,10	1,09
Pé	1,09	1,10

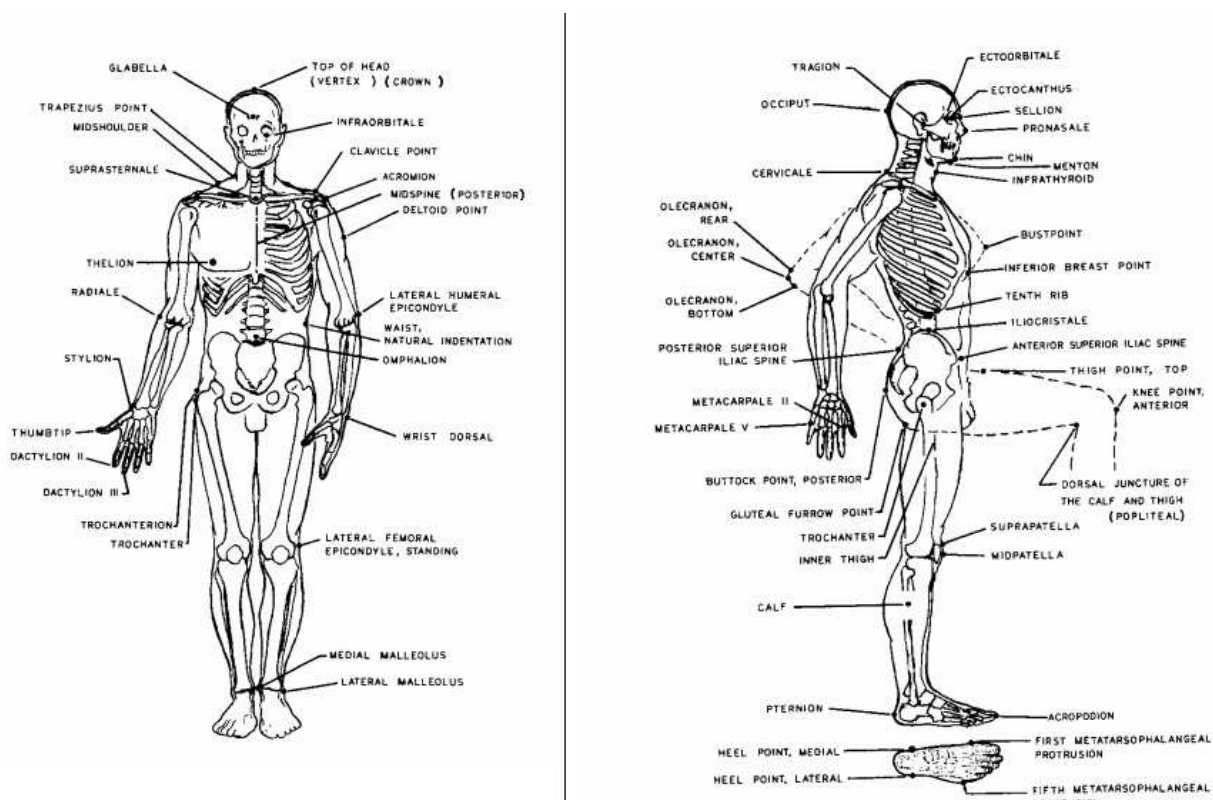


Figura 3.6 – Pontos de referência para determinação dos comprimentos corporais (Adaptado de GORDONet al., 1989, apud RODACKI) [11].

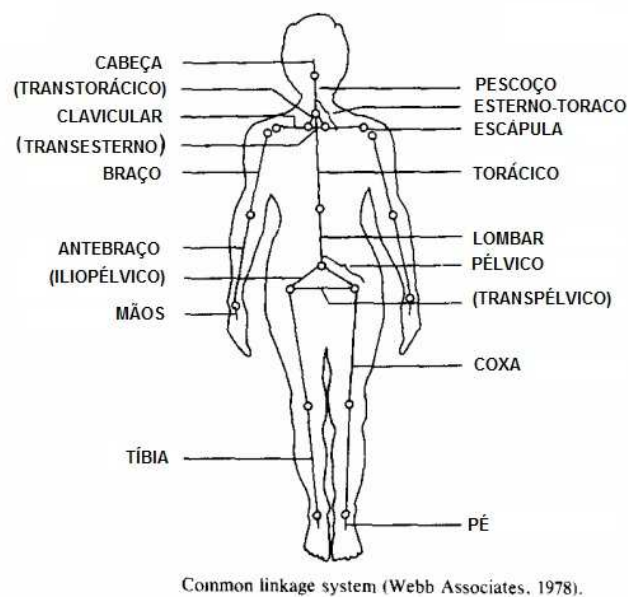


Figura 3.7–Representação do sistema de ligação dos sistemas corporais [11]

Portanto é correto dizer que o corpo tem uma distribuição da densidade mássica uniforme. Sendo assim as massas dos diferentes segmentos corporais podem ser expressas como porcentagens da massa total do corpo.

Segundo SANTOS e FUJÃO (2003), os diversos segmentos tem suas massas distribuídas de acordo com a tabela 3.2 [10].

Tabela 3.2 – Distribuição mássica dos segmentos corporais

Segmento corporal	Massa (% kg) (Total=100%)
Cabeça	7,3
Tronco	50,7
Braço	2,6
Antebraço	1,6
Mão	0,7
Coxa	10,3
Perna	4,3
Pé	1,5
Outros	21,0

Porém, esta dimensão sozinha pode não ser suficiente. Torna-se necessário a determinação da posição do Centro de Massa (CM) – ou Centro de Gravidade (CG) - destes

segmentos. A localização do CM também pode ser expressa como a porcentagem do comprimento do segmento a partir do extremo proximal e distal de cada membro.

A figura 3.8 mostra uma ilustração da posição do CM da cabeça assim como a representação do equilíbrio mecânico de forças neste segmento, onde CG é o Centro de Gravidade da cabeça, PA é o ponto de apoio da cabeça no pescoço, PM é o ponto de aplicação da força da musculatura cervical, mg é o braço de alavanca do momento da força gravitacional em torno do ponto de apoio PA, pm é o braço de alavanca da potência da musculatura cervical que equilibra a cabeça e EGC é o eixo gravitacional do corpo [12].

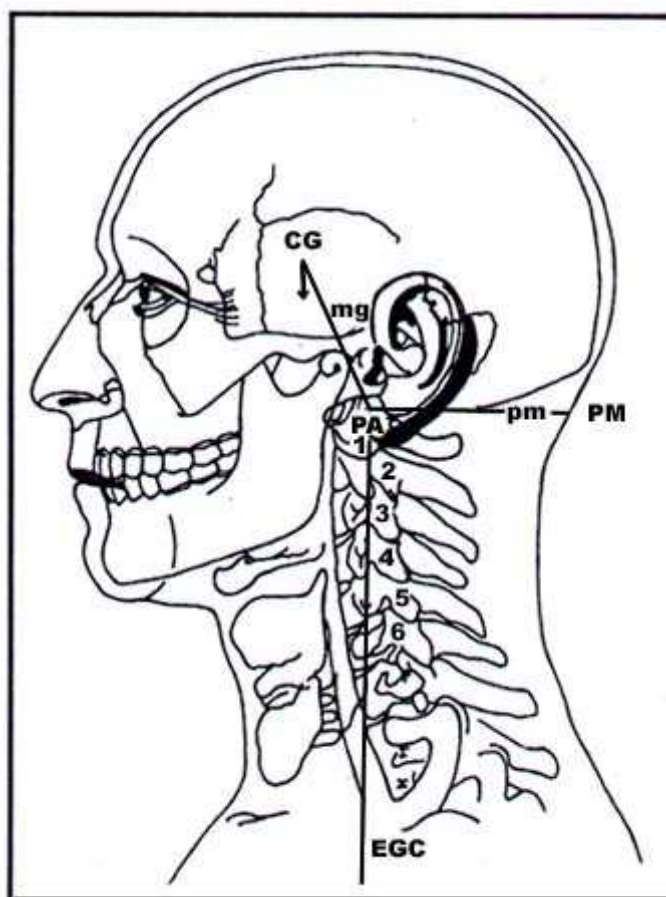


Figura 3.8 – Posicionamento do Centro de Gravidade da cabeça humana [12]

A escolha do método da medição antropométrica é também uma etapa importante do estudo realizado e ele deve ser relativo ao objetivo a ser atingido pelo estudo em questão assim como os resultados esperados. Eles podem ser tanto bidimensionais como tridimensionais e variam de acordo com a sua precisão e conseqüentemente com o custo empregado.

De uma forma geral, é importante ressaltar que o estudo antropométrico é de grande importância no desenvolvimento dos conhecimentos a serem adquiridos a respeito da biomecânica e da dinâmica corporal de um indivíduo. Este estudo serve então como referência para as observações a serem levadas em conta pelos ergonomistas que, por sua vez, poderão realizar uma análise embasada a respeito da concepção e da avaliação de um posto de trabalho beneficiando a saúde física e psicológica do colaborador.

4 Biomecânica ocupacional

A biomecânica ocupacional é um braço da biomecânica geral, que é voltado ao estudo das forças e movimentos corporais relacionados ao trabalho. A partir deste estudo é feita a análise das posturas corporais, a aplicação de forças e suas consequências, ou seja, tudo o que envolve a interação física do trabalhador com o seu posto de trabalho, máquinas ou ferramentas com o objetivo de reduzir os riscos de distúrbios músculo-esqueléticos [7].

4.1 Trabalho muscular

No que consiste o trabalho muscular do nosso organismo, Itiolida diz que os músculos demandam uma quantidade equilibrada de oxigênio fornecida pelo corpo ao executar-se determinada atividade física. Um grande esforço realizado repentinamente provoca uma demanda alta de oxigênio em um curto espaço de tempo o que provoca um desequilíbrio entre o oxigênio fornecido pelo sangue e aquele consumido pelos músculos, aumentando a acidez no interior das fibras musculares e tornando assim a região dolorida. Portanto, recomenda-se que antes de qualquer atividade física de maior intensidade se realize um pré-aquecimento muscular de aproximadamente dois ou três minutos, ou iniciar a atividade com menos intensidade, para reduzir este desequilíbrio na musculatura [7].

Algumas vezes os nossos músculos são obrigados a realizar um trabalho estático, ou seja, eles são obrigados a se contraírem continuamente a fim de manter determinada posição do corpo. Este tipo de contração, que não produz movimentos corporais, se chama contração isométrica. Para manter a posição de pé, por exemplo, os músculos dorsais e da perna precisam estar contraídos, assim como os músculos dos ombros e do pescoço precisam se contrair para manter a cabeça inclinada. Ao realizar um trabalho estático utilizando 50% da força máxima, por exemplo, o músculo pode aguentar no máximo 1 minuto. Ao se aplicar uma carga de 20% este tempo será maior, e assim por diante. Segundo Grandjean (1998, apud Lida, 2005), a carga estática não deve superar 8% da força máxima do músculo, se o esforço for realizado diariamente, por diversas horas [7].

Quando os músculos devem se contrair e relaxar alternadamente, ocorre o trabalho dinâmico. É o tipo de trabalho que ocorre quando o indivíduo deve martelar, serrar, girar um volante ou caminhar. Tal atividade funciona como uma bomba hidráulica que estimula a circulação sanguínea nos capilares aumentando-a em até 20 vezes em relação à situação de

repouso [7]. Desta forma mais oxigênio é fornecido ao músculo aumentando a sua resistência à fadiga.

Desta forma, o trabalho estático deve ser evitado ao máximo por ser altamente fatigante. Quando não for possível eliminá-lo, pode-se reduzir a fadiga causada por ele mudando a postura, melhorando o posicionamento de peças e ferramentas (conforme visto no segundo capítulo, relacionado à Antropometria) ou fornecendo apoios para partes do corpo com o intuito de reduzir as contrações estáticas dos músculos. O emprego de um carrinho é útil no transporte de cargas em uma fábrica em substituição ao transporte manual, por exemplo (Figura 4.1) [7].



Figura 4.1 – Trabalhador utilizando um carrinho para transporte de carga

Ao se manusear cargas pesadas ou executar uma atividade com uma postura inadequada, como a torção da coluna, por exemplo, as dores musculares começam a aparecer. Elas também podem ser causadas por outras atividades como empurrar ou puxar uma carga. O alongamento excessivo e inflamação dos músculos, tendões e articulações também são causas das dores musculares, que geralmente estão associadas a forças, posturas e repetições excessivas dos movimentos [7].

O trauma por esforço excessivo é causado por uma atividade física no trabalho, principalmente se associada a altas cargas. Tal trauma pode decorrer de uma atividade eventual que exija forças e movimentos inadequados do corpo. Movimentos repetitivos, como

na linha de montagem de uma oficina ou no descarregamento de peças pesadas também ocasiona este tipo de trauma. Tendinites, tenossinovites, compressões nervosas ou distúrbios lombares podem ser gerados. Tais lesões também são conhecidas como DORT (Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho). Elas incluem ainda as LTC (Lesões por Traumas Cumulativos) e as LER (Lesões por Esforços Repetitivos). Este tipo de trauma é responsável pela maior parte dos afastamentos dos trabalhadores [7].

Assim como o esforço inadequado é prejudicial à integridade física do trabalhador, a adoção de uma postura equivocada também pode gerar transtornos. Este assunto será tratado a seguir.

4.2 Postura laboral

Posturas inadequadas durante a realização de uma determinada tarefa muitas vezes são causadas por projetos deficientes das máquinas, equipamentos ou postos de trabalho ou pelas exigências da própria tarefa. O redesenho de um posto de trabalho ou a realização de adaptações na máquina ou equipamento, com o objetivo de favorecer a melhor postura do trabalhador, são medidas corretivas que podem diminuir a fadiga e doenças relacionadas ao trabalho, e assim reduzir o número de afastamentos [7].

Três situações principais são suscetíveis de gerar uma postura incorreta. São elas:

- Tarefas que demandem uma posição estática por um longo período de tempo;
- Tarefas que exijam a utilização de força excessiva;
- Tarefas que provoquem necessariamente uma postura desfavorável como, por exemplo, a torção do tronco [7].

Para cada tarefa existe, portanto, determinada postura que é mais compatível com a sua execução. Para o repouso, a posição ideal é a deitada. Nela não há concentração de tensão muscular em nenhuma parte do corpo. O sangue flui mais facilmente pelo organismo ajudando assim a eliminar as toxinas dos músculos e os resíduos do metabolismo, além do consumo energético se aproximar daquele necessário apenas para manter as funções vitais. Sendo assim, a execução de qualquer tarefa nesta posição se torna penosa ao corpo já que a mobilidade dos segmentos corporais fica limitada. A situação em que o mecânico de automóveis deve se deitar em baixo do veículo para fazer a manutenção não é recomendada, sendo o ideal içar o carro com a ajuda de uma plataforma apropriada e a manutenção ser realizada de pé [7].

A posição de pé proporciona ao indivíduo uma grande mobilidade corporal. Os braços e pernas ganham uma grande liberdade de movimento para alcançar os diferentes comandos de uma máquina, além de permitir o deslocamento mais facilmente. Contudo, se permanecer de pé e parado, o indivíduo rapidamente se sente desconfortável, já que a musculatura utilizada para manter esta posição deve realizar um grande trabalho estático, gerando a fadiga da mesma. Além disso, o coração encontra mais dificuldade em bombear o sangue para as extremidades do corpo. Na realidade, o corpo não permanece completamente estático, mas mantém pequenas oscilações o que atrapalha na execução de movimentos precisos. O ideal é que o corpo mantenha um ponto de apoio ou um ponto de referência.

Tal ponto de referência pode ser proporcionado pelo encosto de um assento que mantém o corpo na posição sentada e facilita a realização de trabalhos mais delicados. Esta posição apresenta, em relação à posição de pé, a vantagem de liberar as pernas para também executar tarefas produtivas, como por exemplo, a utilização de pedais. A posição sentada exige um trabalho muscular do dorso e do ventre para mantê-la e o consumo de energia é de 3 a 10% maior do que aquele necessário à posição deitada. Nesta posição, manter o tronco ligeiramente inclinado para frente é mais confortável do que a posição completamente ereta e o assento deve permitir mudanças frequentes de posturas para retardar o aparecimento da fadiga [7].

4.3 Exemplo de postura inadequada

Um exemplo comum, porém ao qual é dada pouca atenção, é quando o operador deve fixar a visão sobre determinado ponto e assim é obrigado a inclinar a cabeça para frente, como na operação de um torno mecânico ou durante a leitura em uma superfície horizontal. Nesta situação, a cabeça, que chega a pesar mais de 7% da massa total do corpo (Tabela 3.2), gera um momento de força elevado em relação ao seu ponto de apoio e que deve ser compensado pela musculatura dos ombros e do pescoço. As dores nessa região começam a aparecer quando a cabeça está inclinada a mais de 30° em relação à horizontal.

A figura 4.2 ilustra o equilíbrio de forças existente na cabeça na posição vertical (a) e na posição inclinada em 30° (b), onde CG é o centro de gravidade da cabeça, PA é o ponto de apoio da cabeça no pescoço, PM é o ponto de aplicação da força da musculatura do pescoço, D é a distância entre PA e PM, β é o ângulo entre ela e a horizontal, d é a distância entre PA e CG, α é o ângulo entre ela e a horizontal, P é o peso da cabeça, F é a força da musculatura do pescoço, F_v é a sua componente vertical, γ é o ângulo entre elas e N é a força de reação às outras forças.

No caso (a), realizando o equilíbrio de momentos em torno de PA obtém-se:

$$|P|d \cdot \cos \alpha = |F| \cos \gamma \cdot D \cdot \cos \beta$$

$$|F| = |P| \frac{d \cdot \cos \alpha}{D \cdot \cos \gamma \cdot \cos \beta} \quad (1)$$

Inclinando a cabeça em 30° (b), temos uma nova força exercida pela musculatura F' e o equilíbrio de momentos em torno de PA torna-se o seguinte:

$$|P|d \cdot \cos(\alpha - 30^\circ) = |F'| \cos(30^\circ - \gamma) \cdot D \cdot \sin(\beta + 60^\circ)$$

$$|F'| = |P| \frac{d \cdot \cos(\alpha - 30^\circ)}{D \cdot \sin(\beta + 60^\circ) \cdot \cos(30^\circ - \gamma)} \quad (2)$$

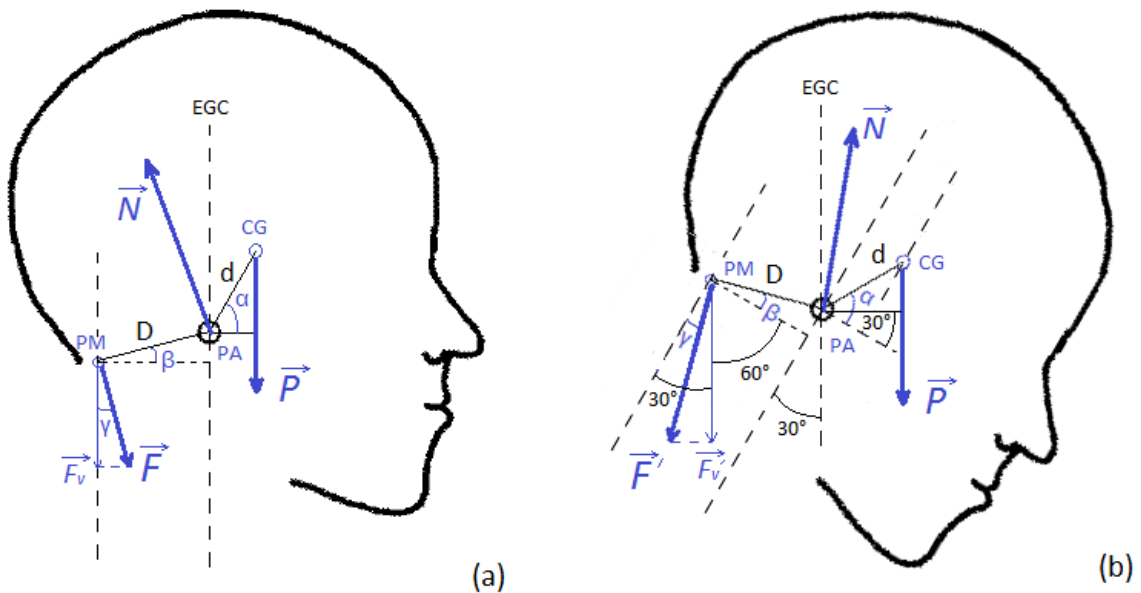


Figura 4.2 – Esquema ilustrativo do equilíbrio de forças da cabeça (a) na posição vertical e (b) na posição inclinada em 30° (fora de escala).

Ora, as propriedades de adição e subtração de ângulos dizem que:

$$\cos(a + b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b$$

Aplicando-as nos senos e cossenos da equação (2):

$$\cos(\alpha - 30^\circ) = \cos\alpha \cdot \cos(-30^\circ) - \sin\alpha \cdot \sin(-30^\circ)$$

$$\cos(\alpha - 30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\alpha + \frac{1}{2} \sin\alpha \quad (3)$$

$$\sin(\beta + 60^\circ) = \sin\beta \cdot \cos(60^\circ) + \cos\beta \cdot \sin(60^\circ)$$

$$\sin(\beta + 60^\circ) = \frac{1}{2} \sin\beta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\beta \quad (4)$$

$$\cos(30^\circ - \gamma) = \cos(30^\circ) \cdot \cos(-\gamma) - \sin(30^\circ) \cdot \sin(-\gamma)$$

$$\cos(30^\circ - \gamma) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\gamma + \frac{1}{2} \sin\gamma \quad (5)$$

Agora inserindo as equações (3), (4) e (5) na equação (2):

$$|F'| = |P| \frac{d}{D} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cos\alpha + \frac{1}{2} \sin\alpha}{\left(\frac{1}{2} \sin\beta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\beta\right) \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cos\gamma + \frac{1}{2} \sin\gamma\right)}$$

$$|F'| = |P| \frac{d}{D} \frac{2(\sqrt{3} \cos\alpha + \sin\alpha)}{(\sin\beta + \sqrt{3} \cos\beta)(\sqrt{3} \cos\gamma + \sin\gamma)} \quad (6)$$

Baseando-se na figura 4.2, é possível deduzir superficialmente os ângulos α , β e γ a fim de permitir um comparativo entre os dois casos. A tabela 3.1 mostra os valores que podem ser estabelecidos para estes ângulos:

Tabela 4.1 – Valores dos ângulos para aplicação das forças na cabeça.

Ângulo	Valor (°)
α	70
β	15
γ	20

Aplicando estes valores nas equações (1) e (6):

$$|F| = |P| \frac{d}{D} \cdot 0,377 \quad (7)$$

$$|F'| = |P| \frac{d}{D} \cdot 0,805 \quad (8)$$

$$|F'| = 2,13 \cdot |F| \quad (9)$$

Desta forma, chega-se ao resultado de que com a cabeça inclinada em 30° , a musculatura do pescoço deve exercer uma força em trabalho estático aproximadamente duas vezes maior do que aquela em que a cabeça encontra-se na posição vertical, o que justifica o

aparecimento de dores. É necessário, portanto, adaptar o posto de trabalho ou o equipamento que está sendo utilizado por esta pessoa a fim de reduzir a inclinação e assim tornar a atividade mais confortável e sem gerar maiores danos à sua integridade física.

4.4 Registro de posturas

Ao longo de um dia de trabalho, o trabalhador pode executar centenas de posturas diferentes, além de ele precisar mudar de posição rapidamente, dependendo da atividade. Uma simples observação visual se torna, portanto, insuficiente para realizar uma análise confiável. Por este motivo foram criados diferentes métodos de observação para o registro destas posturas [7].

Um destes métodos é o registro eletrônico, realizado através de eletrodos fixados à musculatura do indivíduo a fim de monitorar a atividade elétrica. É o chamado eletromiograma, ou EMG. A desvantagem deste método é a necessidade da utilização de um aparelho eletrônico, o que torna o procedimento mais dispendioso [7].

Outro método foi criado e desenvolvido por pesquisadores finlandeses (Karku, Kansu e Kuorinka, 1977). Ele é chamado de OWAS (*Ovako Working Posture Analyzing System*) e teve o seu início com o registro e análise fotográficos de diversas posturas normalmente encontradas na indústria pesada. A partir daí chegaram a um conjunto de 72 posturas diferentes combinando as posições do dorso, dos braços e das pernas [7]. As combinações destas posturas podem ser encontradas no anexo A. Classificou-se então estas posturas em quatro classes, sendo a classe 1 a menos prejudicial e a classe 4 aquela mais crítica. As classificações destas posturas de acordo com a sua duração e de acordo com a combinação das variáveis encontram-se no anexo B.

Existe ainda o diagrama das áreas doloridas onde Corlett e Manenica (1980, apud Lida, 2005) realizam o mapeamento das áreas em que os operadores mais sentem dores [7].

Lida ainda menciona a existência do questionário nórdico em que o próprio trabalhador deve responder por “sim” ou “não” se ele teve problemas em diferentes partes do corpo ou teve de se afastar por pelo menos um dia nos últimos 7 ou 12 meses.

4.5 Forças e cargas

Conforme já foi abordado anteriormente neste trabalho, os movimentos do corpo humano resultam de contrações musculares. Estas contrações são decorrentes do trabalho de

pares de músculos antagônicos associados a determinada articulação, onde enquanto o músculo protagonista se contrai, o músculo antagonista se relaxa, gerando momentos de forças e assim movimentando o segmento corporal desejado [7].

4.5.1 Aplicação de cargas

Diversos pares de músculos podem se combinar para realizar movimentos mais complexos. Para cada combinação dessas existem diferentes características e demandas de energia.

Para obter-se uma maior precisão no movimento, por exemplo, ele deve ser realizado com a ponta dos dedos. A fadiga relacionada a este movimento leva naturalmente à utilização do punho, cotovelo e ombro ocasionando assim a perda desta precisão, a despeito de um aumento da força. Os movimentos musculares devem ser suaves e rítmicos, evitando mudanças bruscas de velocidades. Os movimentos retilíneos são mais difíceis de serem executados e imprecisos, já que as articulações realizam naturalmente movimentos angulares. Para o levantamento de cargas pesadas, as pernas devem ser utilizadas. Bames (1977, apud lida, 2005) realizou uma síntese dos movimentos mais adequados a serem empregados na indústria, chamada de “princípio de economia dos movimentos” [7].

Segundo Itiro, em geral, os homens tem uma capacidade para empurrar e puxar cargas de 200 a 300 N, enquanto as mulheres tem uma capacidade de 80 a 180 N. Um experimento elaborado por Chaffin, Andres e Carg (1983, apud lida, 2005) mostra as forças máximas de empurrar e de puxar realizadas por estudantes entre 21 e 23 anos a três alturas diferentes do solo: 68, 109 e 152 cm. Os resultados deste estudo encontram-se na figura 4.3. De acordo ainda com outros experimentos, chegou-se à conclusão de que os melhores resultados são obtidos com um ponto de aplicação abaixo de 90 cm [7].

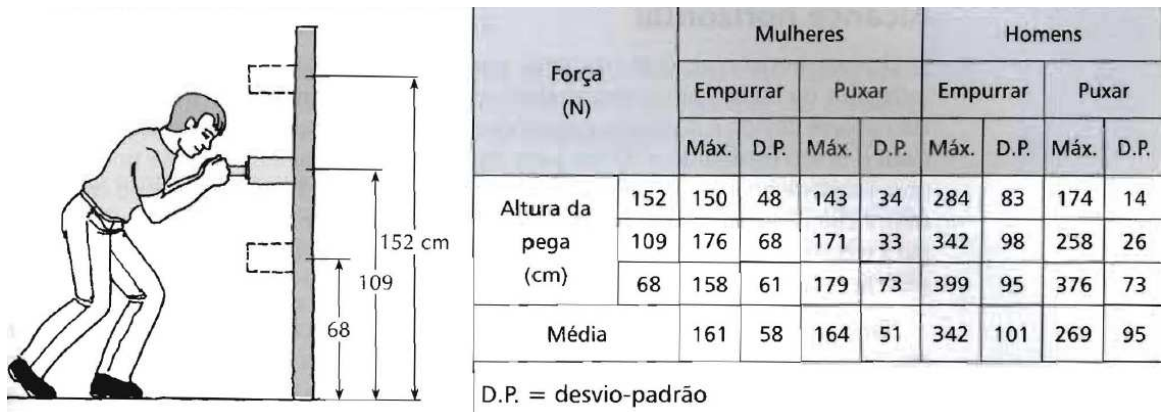


Figura 4.3 – Resultados de medidas das forças máximas de puxar e empurrar na posição de pé realizadas através de um dinamômetro (CHAFFIN, ANDRES e CARG, 1983) [7].

Ficou verificado ainda que, segundo estudos de CHAFFIN (1973, apud IIDA 2005), os braços tem pouca resistência em manter cargas estáticas, tanto no alcance horizontal, quanto no vertical, limitando o tempo para tal atividade em um ou dois minutos. Portanto, a configuração do posto de trabalho deve ser elaborada de maneira que o operador não seja obrigado a sustentar uma peça por um tempo relativamente longo enquanto realiza uma tarefa com a outra mão. Uma sustentação mecânica pode ser utilizada para eliminar tal situação [7].

Em relação à força das pernas, ela pode chegar a 90 kgf (883 N) no acionamento de um pedal na posição sentada em 90°. Se o pedal estiver no mesmo nível do assento, com a perna na posição horizontal, esta força pode chegar a 200 kgf (1962 N) [7].

4.5.2 Levantamento de cargas

Segundo BRIDGER (2003, apud IIDA, 2005), 60% dos problemas musculares são causados pelo levantamento manual de cargas. É necessário, portanto, o conhecimento a respeito da limitação humana neste sentido para a elaboração adequada de tarefas e o dimensionamento de máquinas e postos de trabalho de maneira que o número de lesões causadas por esta atividade seja minimizado [7].

O levantamento de cargas pode ser esporádico ou repetitivo. O primeiro caso está diretamente relacionado à capacidade muscular, já o segundo está relacionado à capacidade energética do trabalhador e à fadiga física, sendo a duração do trabalho um fator essencial [7].

Neste tipo de tarefa, a coluna vertebral se torna um elemento sensível. De fato, ela é composta de vários discos sobrepostos, tendo capacidade para suportar cargas elevadas na

direção axial, porém apresenta grande fragilidade frente a cargas no sentido perpendicular ao seu eixo. Portanto, as cargas transmitidas à coluna devem ser preferencialmente aplicadas no sentido vertical. A figura 4.4 ilustra essa situação onde, na posição inclinada, o colaborador recebe uma carga C com duas componentes, C_1 , na direção axial e C_2 , na direção perpendicular ao eixo. C_2 provoca uma tensão cisalhante que é extremamente prejudicial à coluna. Esta componente deve então ser eliminada, realizando a aplicação da carga no sentido vertical, podendo ser auxiliado pela musculatura das pernas, que é mais resistente [7].

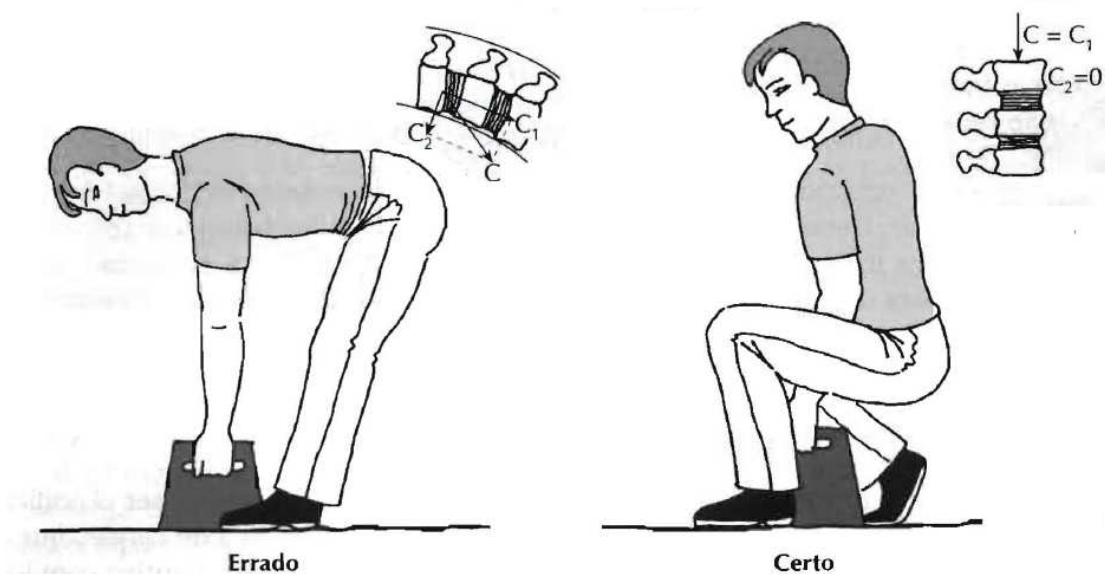


Figura 4.4 –Aplicação de forças sobre a coluna vertebral devido ao levantamento de cargas [7].

Para os movimentos repetitivos, a carga máxima estabelecida deve ser equivalente a 50% da capacidade de carga isométrica da coluna, ou seja, a capacidade de carga que uma pessoa consegue levantar com as pernas flexionadas e o dorso na posição vertical.

A localização da carga em relação ao corpo e ao solo também é um fator que influencia na capacidade do indivíduo em levantá-la. A tabela 4.2 mostra que a força máxima para movimentos repetitivos, para homens e mulheres, é exercida quando a carga encontra-se a uma altura de 30 cm do solo e a uma distância de 30 cm do corpo e vai diminuindo à medida que esta distância vai aumentando. Para as mulheres, a força diminui mais rapidamente com o aumento da distância da carga em relação ao corpo [7].

Uma explicação para o fato da capacidade de levantamento ser maior quando a carga está mais próxima ao corpo é a de que o momento de força realizado por esta carga seja tão

menor quanto for a distância ao centro de gravidade do corpo. Por este motivo também, a carga não pode estar muito próxima ao solo nem a uma altura muito elevada. Outra recomendação é manter a carga simétrica em relação ao eixo central do corpo de forma a não gerar outro momento de força tendendo o corpo a girar em torno do eixo perpendicular ao seu eixo central.

Tabela 4.2 – Capacidade de levantamento repetitivo de pesos para homens e mulheres para três distâncias em relação ao corpo e três alturas diferentes (MARTIN e CHAFFIN in GARC, 1980) [7].

Distância a partir do (cm)		Capacidade de levantamento (kg)			
Corpo (Horizontal)	Solo (Vertical)	Mulheres		Homens	
		50%	95%	50%	95%
30	30	23	11	51	45
	90	19	7	44	39
	150	11	5	47	29
60	30	9	2	24	9
	90	6	1	28	15
	150	5	0	21	11
90	30	0	0	5	0
	90	1	0	10	1
	150	0	0	7	0

4.5.3 Equação de NIOSH

Com o objetivo de prevenir ou reduzir a ocorrência de dores causadas pelo levantamento de cargas, o instituto americano NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) desenvolveu em 1981, e revisou em 1991, uma equação capaz de fornecer o peso limite para tarefas repetitivas deste tipo. Ela refere-se apenas ao deslocamento de uma carga de um nível para outro utilizando as duas mãos e foi desenvolvida por cientistas que utilizaram critérios biomecânicos, fisiológicos e psicofísicos (WALTERS et al., 1993 apud IIDA, 2005) [7].

A equação utiliza como valor de referência uma carga de 23 kgf que corresponde à capacidade de levantamento de uma carga a uma altura de 75 cm do solo e deslocada verticalmente 25 cm a uma distância de 25 cm do corpo. Esta condição seria aceitável para 99% dos homens e 75% das mulheres sem provocar nenhum dano físico em trabalhos repetitivos. Este valor de referência é então multiplicado por seis valores de redução (menores ou iguais a 1,0) que variam de acordo com as condições em que a atividade é executada (Figura 4.5) [7].

A equação é então expressa da seguinte forma:

$$CLR = 23 \times (25/H) \times (1 - 0,003/|V - 75|) \times (0,82 + 4,5/D) \times (1 - 0,0032 \times A) \times F \times C \quad (10)$$

Onde os diferentes fatores são definidos como:

CLR – Carga Limite Recomendável, em kgf;

H – Distância horizontal entre o indivíduo e a carga (posição das mãos), em cm;

V – Distância vertical entre a origem da carga (posição das mãos) e o solo, em cm;

D – Deslocamento vertical entre a origem e o destino da carga, em cm;

A – Ângulo de assimetria a partir do plano sagital, em graus;

F – Frequência média de levantamentos, em levantamentos por minuto;

C – Qualidade da pega;

As tabelas para os valores dos parâmetros F e C encontram-se, respectivamente, nos anexos C e D.

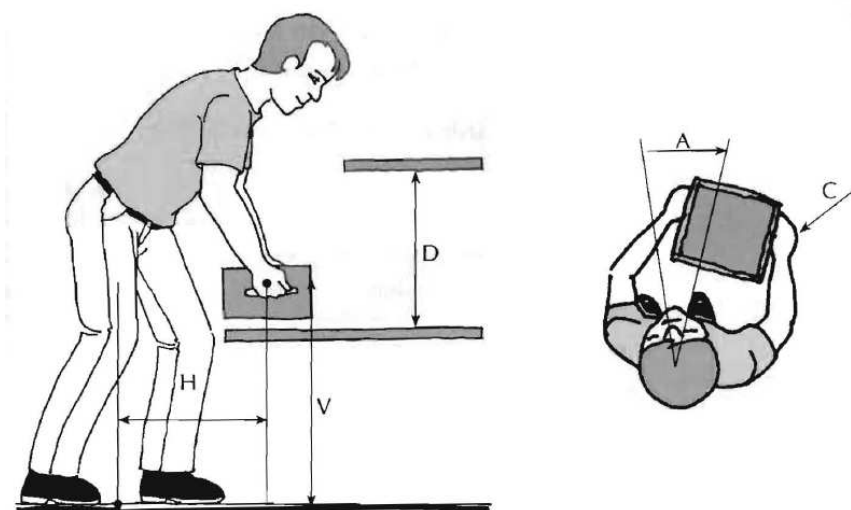


Figura 4.5 – Fatores e parâmetros utilizados na equação de NIOSH

4.5.4 Transporte de cargas

A exemplo do indicado para o levantamento de cargas, o transporte manual também exige certas precauções para manter a integridade física do corpo.

Além de a coluna ter a necessidade de se manter na posição vertical durante esta atividade, também não é recomendável que o peso sendo carregado esteja distante do corpo, provocando um esforço adicional da musculatura dorsal a fim de compensar o momento de força gerado. Também é ideal que os braços mantenham-se esticados, minimizando a carga estática sobre os músculos dos braços que seria gerada com eles flexionados [7].

Itirolida enfatiza ainda que se deve otimizar o transporte, ou seja, encontrar a melhor relação entre a massa da carga transportada e o número de viagens. Segundo DUL e WEERDMEEESTER (2004, apud IIDA, 2005) é preferível que se realize poucas viagens com uma carga mais pesada do que transportar uma carga mais leve através de muitas viagens. A equação de NIOSH, apresentada no item 4.5.3, também pode ser utilizada para dimensionar a carga a ser transportada [7].

A simetria da carga deve ser respeitada para evitar o desequilíbrio das forças exercidas sobre a coluna e a musculatura dorsal e dos braços. No caso de peças muito compridas ou que tenham uma geometria que impossibilite o respeito a esta simetria, deve-se usufruir do auxílio de mais um carregador. Além disso, é importante levar em conta o tipo da pega sendo utilizada, conforme mostrado na figura do anexo D. Enquanto pegas do tipo “pinça” suportam apenas 3,6 kgf com as duas mãos, aquelas do tipo “agarrar” são capazes de suportar 15,6 kgf [7].

Levando em conta estas considerações, torna-se evidente que a preocupação com a integridade física do trabalhador tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores de diferentes áreas da ciência ao longo da segunda metade do século passado. Não só motivada pela preocupação que deve ser natural a cada um com o bem-estar do próximo, mas também visando o melhor aproveitamento da matéria-prima humana que ela tem em suas mãos, a empresa deve se beneficiar de todo o potencial físico e psicológico disponível, evitando gastar os seus recursos equivocadamente, gerando não só danos à saúde do colaborador, como também prejuízos operacionais e conseqüentemente financeiros à empresa.

O presente trabalho tratará a seguir de um estudo de caso específico visando propor uma melhoria ergonômica através da elaboração de um dispositivo mecânico. Serão citados

exemplos existentes atualmente na indústria em geral e de algumas condições desfavoráveis para o trabalhador.

5 Casos práticos

Conforme foi visto anteriormente no primeiro capítulo, as diferentes indústrias serviram de fortes alavancas para o desenvolvimento dos estudos no campo da ergonomia e segurança do trabalho. Tal fato ocorre devido ao extenso histórico de condições desfavoráveis existentes nestas indústrias que, apesar do combate a elas ter evoluído consideravelmente, ainda estão presentes no dia-a-dia dos trabalhadores. Dois tipos de indústrias serão aqui estudadas. Primeiramente, a indústria gráfica será explorada por conta da riqueza de informações existentes relacionadas ao assunto, o que permite a abordagem de um caso ilustrativo. Em seguida, será colocada em prática uma análise ergonômica real na indústria de pneus, que é o principal eixo de estudo do presente trabalho.

5.1 Caso ilustrativo: problemas ergonômicos na indústria gráfica

Para compreender um pouco melhor o alcance destas condições desfavoráveis, o presente trabalho irá apresentar um exemplo existente na indústria gráfica. Tal tipo de indústria foi escolhido pela quantidade de riscos existentes em suas atividades, seja por agentes químicos, seja por tarefas inadequadas, e pela grande quantidade de empresas de menor porte atuando neste setor, além da bibliografia disponível sobre o assunto.

5.1.1 Descrição da pesquisa

Em um estudo realizado pelo SESI-SP, a sua equipe multiprofissional de Gerência de Segurança e Saúde no Trabalho (GSST) analisou diversas empresas atuantes no setor gráfico. Trata-se de empresas instaladas em oito cidades do Estado de São Paulo, analisadas no período de junho a dezembro de 2005 [13].

Em uma avaliação qualitativa dos riscos de acidentes e/ou agravos à saúde do trabalhador, foram observados o estado de conservação das edificações, a organização e limpeza dos locais, o acondicionamento e manuseio de materiais, o tratamento de resíduos gerados, assim como as condições de conforto dos postos de trabalho e a utilização de máquinas, equipamentos e dispositivos de proteção.

Na avaliação quantitativa, os fatores ruído, iluminância e concentração de solventes orgânicos foram medidos através de procedimentos específicos previstos na legislação. Todos os resultados foram analisados de acordo com as Normas Regulamentadoras (NRs) do Ministério do Trabalho e Emprego.

5.1.2 Resultados

Observando as instalações dos galpões, constatou-se que as coberturas são em telhas do tipo fibrocimento e normalmente sem forro sob o telhado, o que pode elevar o ruído interno do ambiente e favorecer o aumento da temperatura.

Em algumas máquinas de modelos mais antigos, as instalações elétricas apresentam algumas irregularidades, como fios elétricos expostos, descascados ou ligados improvisadamente.

Na maioria das empresas o transporte de materiais é feito manualmente, sendo o uso de paleteiras ou empilhadeiras restrito a uma pequena minoria. Em geral, a circulação é inadequada, sendo o transporte de materiais e de pedestres realizado quase que no mesmo espaço físico, gerando o risco de acidentes.

No que consiste as proteções das partes móveis das máquinas (polias, correias, etc), elas estão devidamente instaladas, com exceção da máquina de impressão flexográfica (figura 5.1), que apresenta um ângulo apertado no ponto de convergência de seus cilindros, o que gera um risco de esmagamento das mãos. Já para as cortadeiras do tipo “guilhotina”, os comandos de acionamento são bimanuais, ou seja, é necessário que o operador esteja com as duas mãos nos botões durante a descida da lâmina. Além disso, fotocélulas detectam e impedem o corte caso o operador esteja com uma das mãos no ponto de operação.

Os resultados das medições do nível de pressão sonora indicaram que 49% dos postos avaliados necessitam de medidas de controle (acima de 80 dB(A)). Nas medições de dosimetria, em que se estima as doses de ruído a que os trabalhadores estão expostos, constatou-se que 66% dos colaboradores de um total de 169 necessitam do uso de protetores auditivos.

Em 49% de um total de 1.375 pontos medidos, observou-se que a iluminância está abaixo do que recomenda a NBR-5413. Além de apresentar um risco ergonômico, a baixa iluminância pode provocar acidentes.

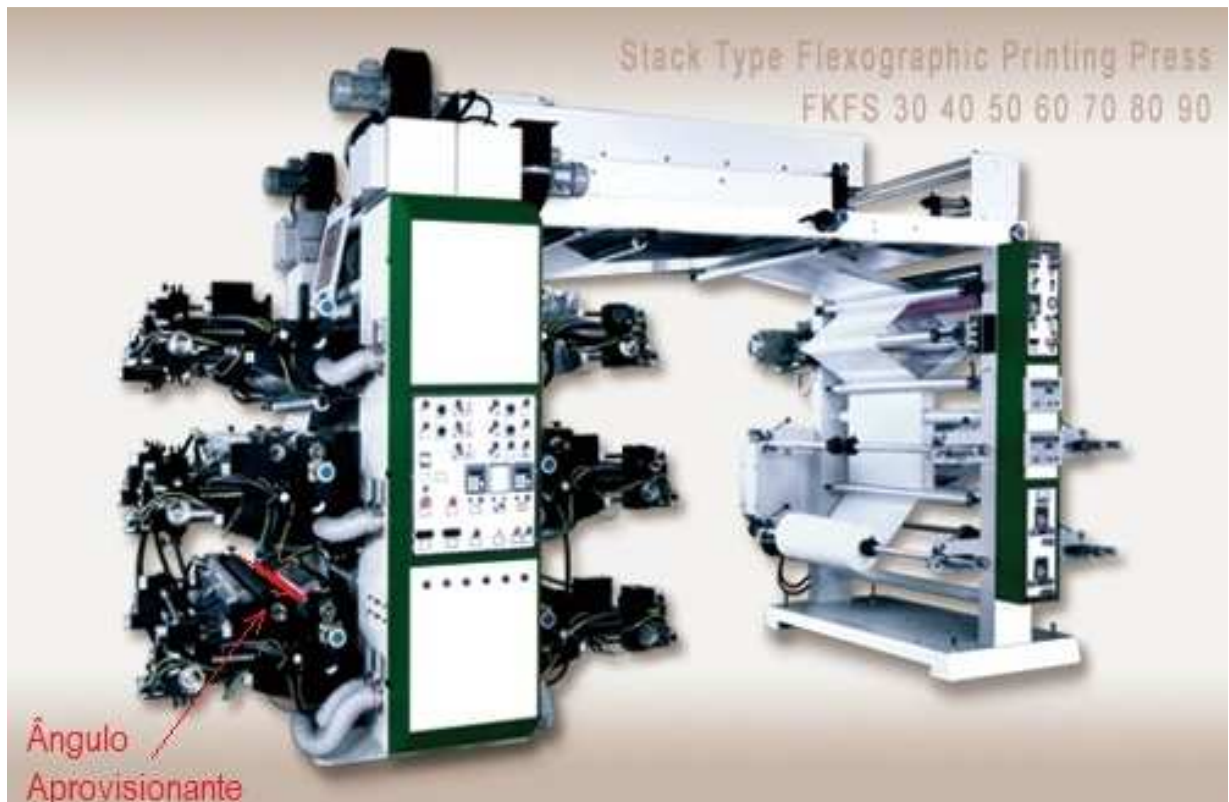


Figura 5.1 – Máquina de impressão flexográfica [14]

Foi medida também a concentração de solventes orgânicos no ar ambiente das empresas. Porém estes resultados fogem ao objeto de estudo deste trabalho.

Ainda segundo o SESI-SP [13], existem referências bibliográficas que dizem ser comum na Indústria Gráfica a ocorrência de ferimentos por corte e lacerações das extremidades e membros, DORT (ver item 4.1), lombalgias, além de doenças dermatológicas devido ao contato com solventes.

Pode-se dizer que o estudo acima serve de ilustração para a situação atual, não só da Indústria Gráfica, mas de diversas outras indústrias no que se refere à ergonomia e segurança dos trabalhadores. Os resultados obtidos mostram que diversos pontos devem ser corrigidos e que não é necessário soluções demasiadamente complexas para isso.

A seguir será realizado o estudo prático de um posto de trabalho específico existente em outro tipo de indústria com o objetivo de propor uma solução de engenharia para corrigir uma condição ergonomicamente desfavorável.

5.2 Estudo de caso: Indústria de pneus

Para o estudo a seguir foi escolhida uma fábrica de misturas semiacabadas de borracha que servem como matéria-prima para a fabricação de pneus. Tal fábrica faz parte de uma multinacional localizada no sudeste do Brasil. Ela conta com aproximadamente mil trabalhadores que trabalham de forma direta ou indireta e tem à sua disposição um ergonomista e dois engenheiros de segurança e higiene do trabalho que compõem o setor de prevenção e meio-ambiente.

Além disso, a fábrica conta também com um setor de engenharia de projetos que é responsável pelo desenvolvimento e instalação das máquinas de sua linha de produção. Este setor presta serviços diretamente aos setores de produção e manutenção. Sendo assim, a sua atividade está diretamente ligada às melhorias ergonômicas dos postos já existentes atendendo às solicitações da fábrica. É também de sua responsabilidade garantir a integridade ergonômica da máquina ou do equipamento desenvolvido e que será instalado na fábrica seguindo as determinações da legislação e do setor de prevenção e meio-ambiente.

Desta forma, um trabalho em conjunto é fundamental para que a comunicação entre os diversos setores aconteça corretamente e assim as informações sejam passadas com antecipação e de maneira harmoniosa.

A partir desta comunicação, foi informado à equipe de projetos a necessidade de uma melhoria ergonômica em determinado posto de trabalho da fábrica.

5.2.1 Descrição do posto a ser estudado

Uma descrição detalhada do processo de fabricação das misturas semiacabadas foge ao escopo deste trabalho. Por esta razão, será apenas apresentado aqui uma breve descrição do contexto em que o posto de trabalho se encontra e a tarefa à qual o operador é submetido.

Vale ressaltar que não foi possível incluir fotos do posto de trabalho por conta das restrições de confidencialidade impostas pela empresa responsável pela fábrica. Por esta razão, apenas esquemas representativos são apresentados.

Este posto é situado na parte de transporte de elastômeros processados da fábrica. Nele, a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), tais como protetor auricular e calçado de segurança é obrigatória. O posto consiste em duas esteiras transportadoras posicionadas lado a lado sobre uma plataforma situada a uma altura de 6730 mm do piso,

conforme mostra a figura 5.2 (Vista frontal (a) e vista lateral (b)). Nele, o operador tem como tarefas realizar o controle das funcionalidades do transporte a través de painéis de comando e que consiste em garantir o acionamento da esteira, a dosagem de material a ser descarregado e o envio para a próxima etapa de fabricação.

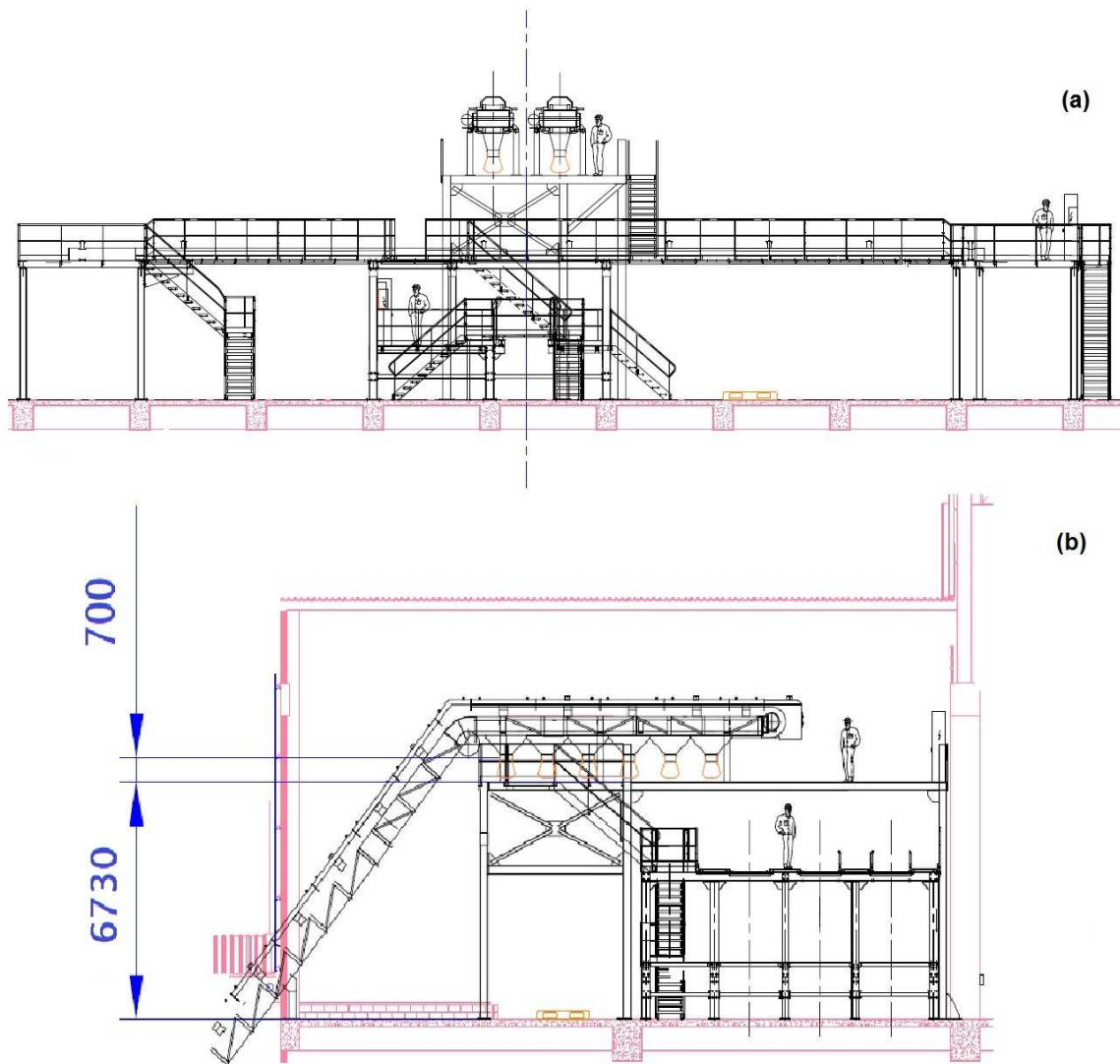


Figura 5.2 –Posto de transporte de elastômeros processados em (a) vista frontal e (b) vista lateral.

Devido à geração de resíduos e do material em suspensão nesta parte do processo, a limpeza e organização da área é uma tarefa importante para a conservação do ambiente no posto.

Em relação à melhoria da qualidade do ar, o posto conta com um sistema de aspiração conectado às coifas de proteção da esteira, que realiza a sucção das partículas em suspensão, as envia em direção aos filtros de mangas e em seguida expulsa o ar limpo em direção à atmosfera (Figura 5.3).

Para os detritos que não podem ser aspirados, existem pontos de recolhimento para o material que cai da esteira durante o transporte, seja por vibração, seja por outro motivo. Estes pontos são compostos por uma coifa com um bocal em sua extremidade onde um saco feito de material plástico é amarrado. São no total doze pontos como este, sendo distribuídos seis debaixo de cada esteira.

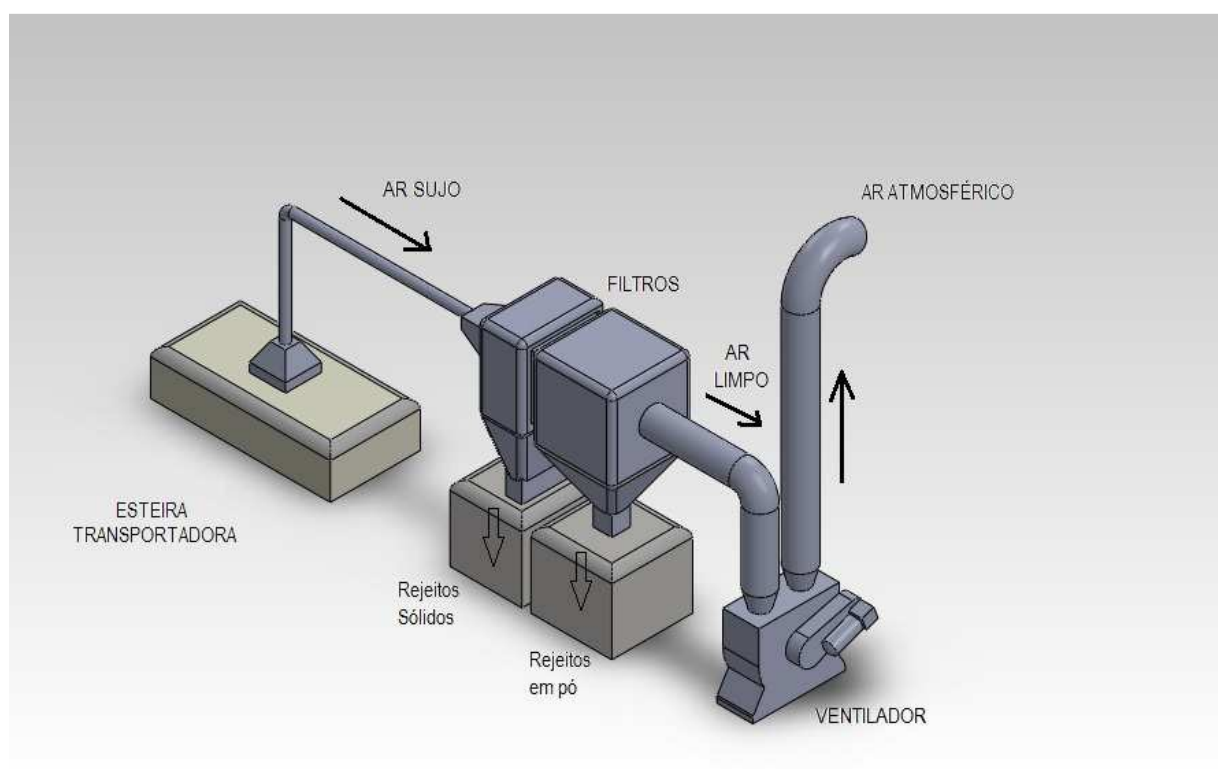


Figura 5.3 – Esquema ilustrativo do sistema de aspiração no posto de transporte de elastômeros.

Sendo assim, cabe ao operador realizar a troca destes sacos plásticos para que o seu posto de trabalho se mantenha limpo.

Contudo, atualmente esta tarefa deve ser executada de forma manual por não haver no local equipamentos que auxiliem o colaborador no transporte destes sacos que, uma vez cheios chegam a ter uma massa máxima de cerca de 30 kg.

Além da carga a ser transportada, o trajeto que o operador deve percorrer transportando-a manualmente e a postura realizada durante este percurso são elementos que devem ser analisados ergonomicamente.

5.2.2 Análise ergonômica

Serão aplicadas aqui as informações relativas à ergonomia, antropometria e biomecânica, expostas anteriormente neste trabalho. Contudo, o foco nos conhecimentos de mecânica será mantido.

Esta análise consistirá na abordagem dos seguintes pontos: o peso e a posição inicial da carga a ser levantada, a sua aplicação na equação de NIOSH, a postura do operador ao realizar a tarefa e a avaliação do trajeto em que é feito este transporte manual até o seu descarte.

- a) Peso e posição inicial da carga - Conforme citado anteriormente, cada saco de descarte de material tem uma massa máxima de aproximadamente 30 kg, o que equivale a um peso de 294 N, multiplicando a massa pela constante gravitacional $g = 9,81\text{m.s}^{-2}$. Para desprender o saco plástico cheio de resíduo da máquina, o operador deve desconectá-lo do bocal que está a uma altura de 700 mm da plataforma e deixa-lo apoiado na plataforma. Uma vez amarrado, o objeto proporcionará uma pega que estará inicialmente a uma altura de 530mm da plataforma e aproximadamente 270 mm do corpo do operador (figura 5.4a), e que será levantado até uma altura de 900 mm para ser transportado (figura 5.4b). Este movimento é repetido todas as vezes que um dos sacos plásticos está cheio. Esta frequência varia de acordo com a utilização do produto na esteira, contudo a prática diz que as trocas acontecem aproximadamente uma vez por dia. A pega do objeto pode ser ergonomicamente considerada como média.

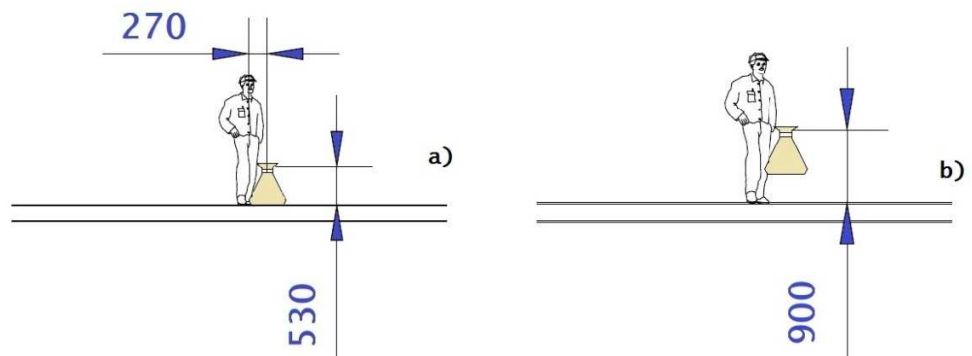


Figura 5.4 – Posição da pega utilizada pelo operador (a) na posição inicial e (b) na posição levantada.

- b) Aplicação da equação de NIOSH - Apresentada no item 4.5.3 pela equação 10, a equação de NIOSH pode ser aqui aplicada com os seguintes valores, de acordo com os dados apresentados acima, lembrando que as distâncias devem ser expressas em cm:

$H = 27 \text{ cm};$

$V = 53 \text{ cm};$

$D = 90 - 53 = 37 \text{ cm};$

$A = 0^\circ$, considerando não haver ângulo de assimetria no movimento;

$F = 1,0$ (Anexo C);

$C = 0,95$, considerando a pega como média (Anexo D).

Tem-se então a equação:

$$CLR = 23 \times (25/27) \times (1 - 0,003/|53 - 75|) \times (0,82 + 4,5/37) \times (1 - 0,0032 \times 0) \times 1,0 \times 0,95$$

$$CLR = 19,05 \text{ kgf} = 186,9 \text{ N} \quad (11)$$

Sendo assim, de acordo com a equação de NIOSH, a carga limite recomendável para este levantamento é de 19,05 kgf, consideravelmente inferior à carga a ser manipulada.

- c) Postura do operador pelo sistema OWAS: Ao levantar a carga, o operador assume uma posição em que o seu dorso se inclina discretamente, os dois braços ficam para

baixo e as duas pernas se flexionam, levantando uma carga acima de 20 kgf. Esta configuração corresponde a um código 2-1-3-3 da tabela OWAS (Anexo A). Levando em conta a carga utilizada, a criticidade desta configuração chega a um grau 3 (anexo B), considerado alto.

- d) Avaliação do trajeto de transporte da carga –Após análise realizada no local e tomada de medidas feita nas vistas do desenho técnico do posto, constatou-se que para executar a tarefa em questão, o operador deve percorrer uma distância total de 27 metros transportando a carga, sendo 17 metros sobre uma superfície plana e os outros 10 metros descendo escadas, em um total de aproximadamente 33 degraus (Figura 5.5). Depois de percorrer este caminho, o operador posiciona o saco em uma caixa sobre o pallet de descarte que será encaminhada para a devida coleta. Durante este trajeto, o operador utiliza uma postura de criticidade grau 2, segundo os critérios OWAS (anexos A e B) (dorso levemente inclinado, os dois braços para baixo, pernas em movimento e carga acima de 20 kgf). Algumas vezes, para diminuir o tempo da tarefa e reduzir o esforço do operador, o saco plástico é empurrado pelas escadas. A massa transportada pode ser considerada simétrica, já que o produto se distribui uniformemente no seu interior. Porém esta postura pode se tornar mais crítica caso o operador resolva transportar a carga com apenas uma das mãos, o que eliminaria a sua simetria gerando uma torção da coluna. Da mesma forma, se o operador decidir carregar a carga nas costas, com os braços dobrados sobre os ombros, a postura se torna igualmente mais crítica pelo esforço excessivo que a coluna será obrigada a exercer. A pega foi considerada média já que a mão do operador consegue envolvê-la completamente, porém o peso da carga fica na direção axial à pega, dificultando a ação.

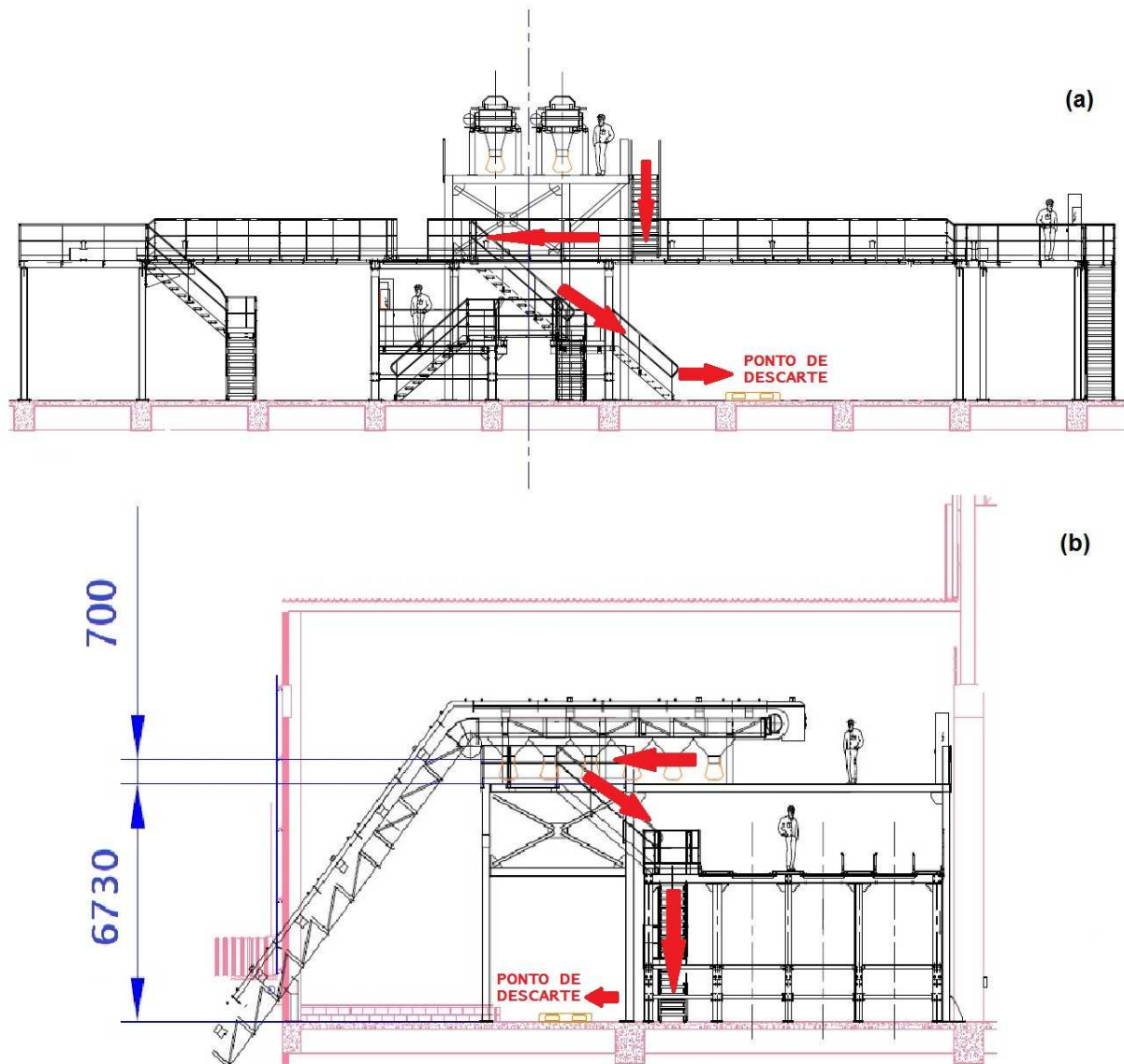


Figura 5.5 – Trajetória esquemática realizada pelo operador para executar o descarte de rejeitos.

Resumindo os resultados acima, obtém-se uma carga limite recomendada muito abaixo da carga utilizada pelo operador. A postura utilizada para o levantamento da carga pode ser considerada crítica, enquanto a postura para a movimentação da mesma pode ser considerada como inadequada.

Sendo assim, constata-se a necessidade da aplicação de uma melhoria ergonômica para que o esforço realizado pelo operador seja atenuado durante a movimentação.

6 Descrição da melhoria ergonômica

Uma sugestão apresentada para melhoria ergonômica de um determinado posto de trabalho deve ter como objetivo eliminar os fatores causadores dos problemas sendo estudados, conforme descrito no item 2.3.

Neste caso, os fatores problemáticos são a postura do levantamento e o transporte manual da carga até o seu ponto de descarte.

6.1 Descrição da solução mecânica

Para eliminar estes pontos inconvenientes ao trabalhador, sugere-se instalar sobre a plataforma em que o posto se encontra um conjunto permitindo que a movimentação seja feita através de uma talha elétrica, de forma que o esforço físico realizado seja o menor possível.

Este conjunto consiste em uma monoviga a ser dimensionada, um compartimento para a alocação da carga, a própria talha elétrica e os seus dispositivos de segurança.

6.1.1 Avaliação dimensional

Para implementar a solução desejada é necessário avaliar as dimensões existentes no posto.

Ao lado das esteiras de transporte, existe um corredor para passagem do lado esquerdo com uma largura de 680 mm e outro do lado direito com uma largura de 900 mm (figura 6.1a). Entre os sacos a distância é de 700 mm e o vão entre eles tem uma altura de 1250 mm (figura 6.1b).

Na extremidade da plataforma oposta às esteiras existe uma elevação feita com degraus para acesso a um armário elétrico.

A vista superior da plataforma indica os espaços existentes entre as estruturas das esteiras (figura 6.2) e permite avaliar as dimensões possíveis para o conjunto.

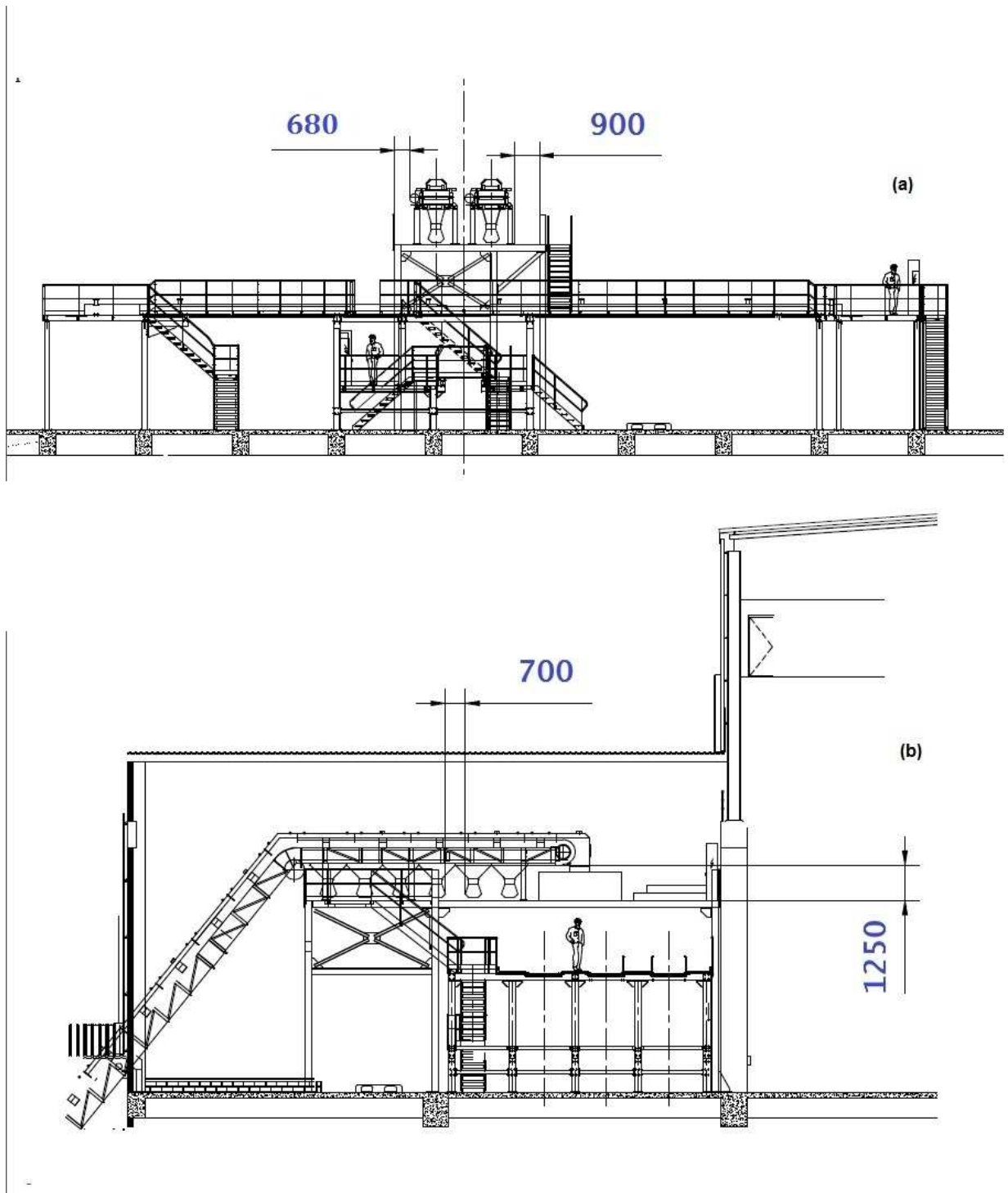


Figura 6.1 –Dimensões do posto de transporte de elastômero em (a) vista frontal e em (b) vista lateral

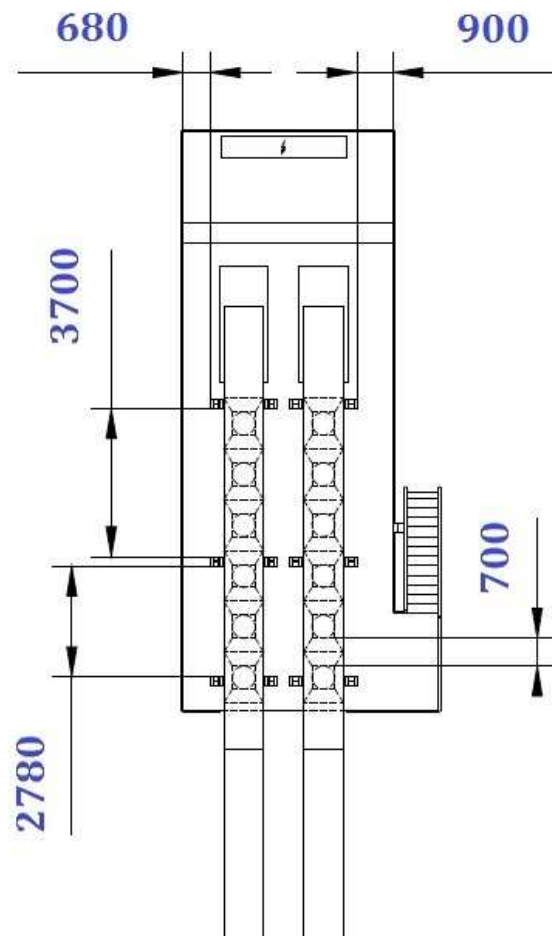


Figura 6.2 –Vista superior da plataforma do posto

A partir destes valores é possível dimensionar o conjunto a ser implementado. A começar pelo compartimento em que a carga será transportada.

6.1.2 Compartimento de transporte

O objetivo desta parte do projeto é construir uma estrutura que seja capaz de transportar o saco plástico utilizado no posto, suportando a carga do mesmo, com dimensões suficientes para abriga-lo e ao mesmo tempo caber entre os espaços da estrutura da esteira de transporte para ser armazenado enquanto não estiver sendo utilizado.

a) Estrutura principal

A estrutura consiste em um conjunto de barras e chapas soldadas capaz de suportar as tensões provenientes da carga aplicada. As dimensões do posto apresentadas no item anterior foram levadas em consideração para o seu dimensionamento.

Um modelo da estrutura principal foi então elaborado através do software SolidWorks (Figura 6.3). O material escolhido foi o aço AISI 1020 devido ao seu baixo custo e a sua facilidade para ser encontrado no mercado. As dimensões do conjunto estão apresentadas nas figuras 6.4 a, b e c (Vistas frontal, direita e superior, respectivamente). As escalas apresentadas nos desenhos podem não corresponder à escala da imagem no trabalho.

A tabela 6.1 mostra as propriedades da estrutura modelada.

Tabela 6.1 – Propriedades mecânicas do modelo de estrutura principal do compartimento de transporte.

Material	Aço AISI 1020
Densidade Mássica	7900 kg/m ³
Massa	33 kg
Peso	324 N
Limite de escoamento	351,6 MPa
Resistência à tração	420,5 MPa

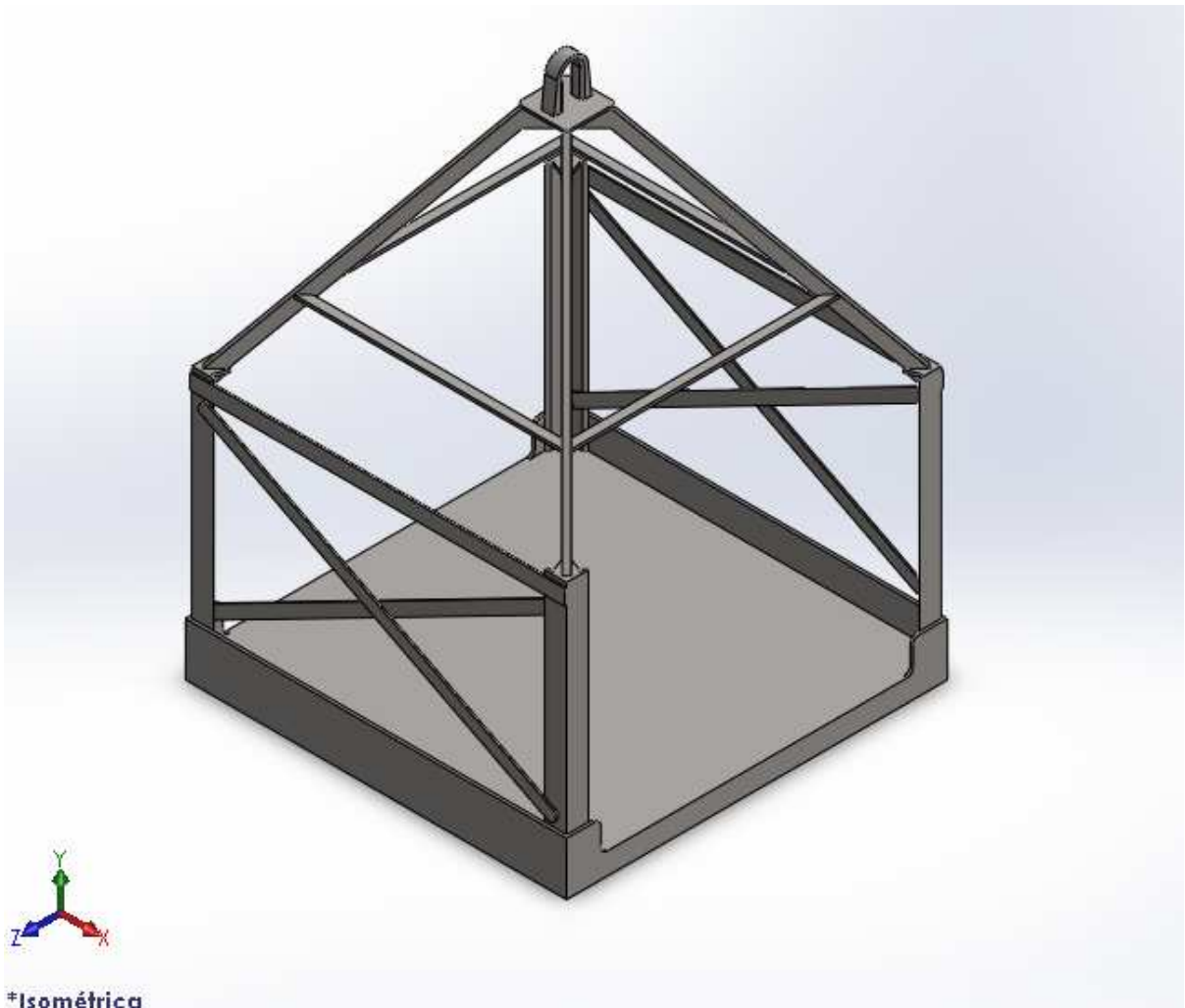


Figura 6.3 – Vista isométrica da estrutura principal do compartimento.

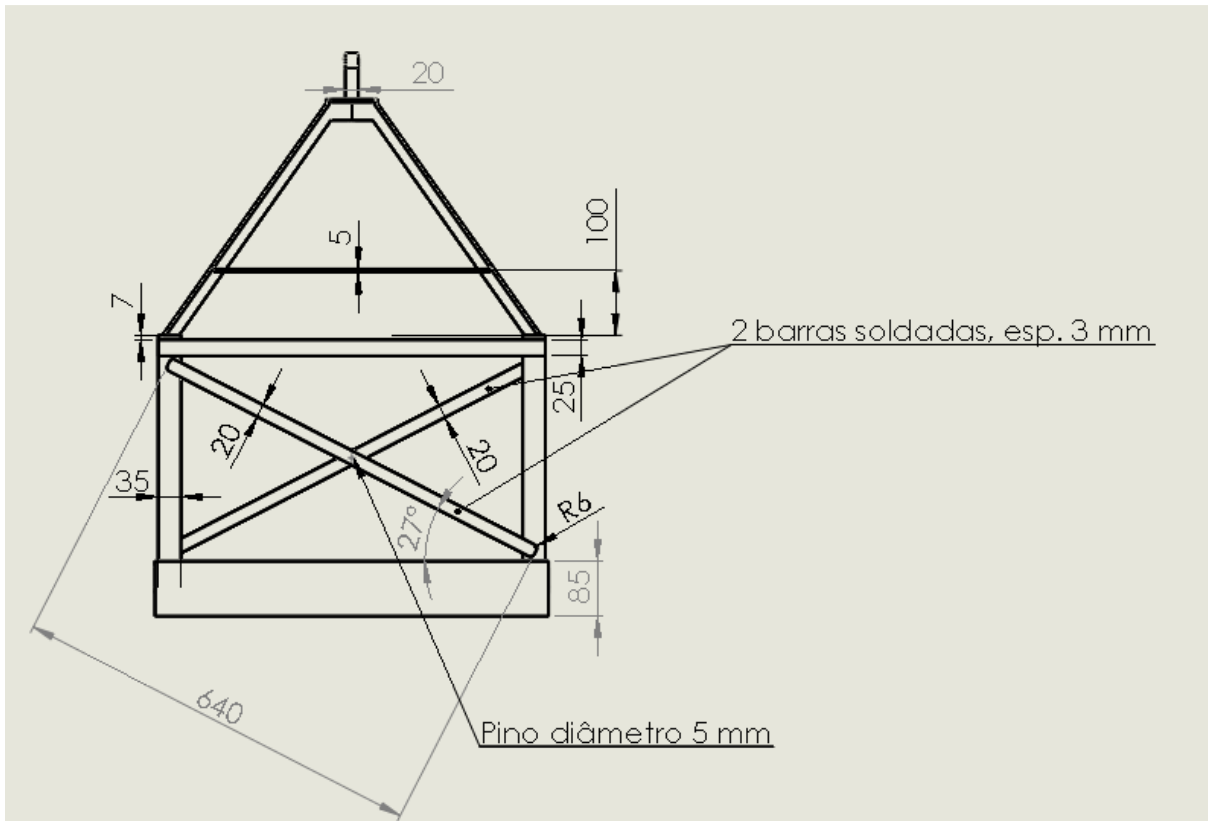


Figura 6.4 (a) – Vista frontal da estrutura principal do compartimento.

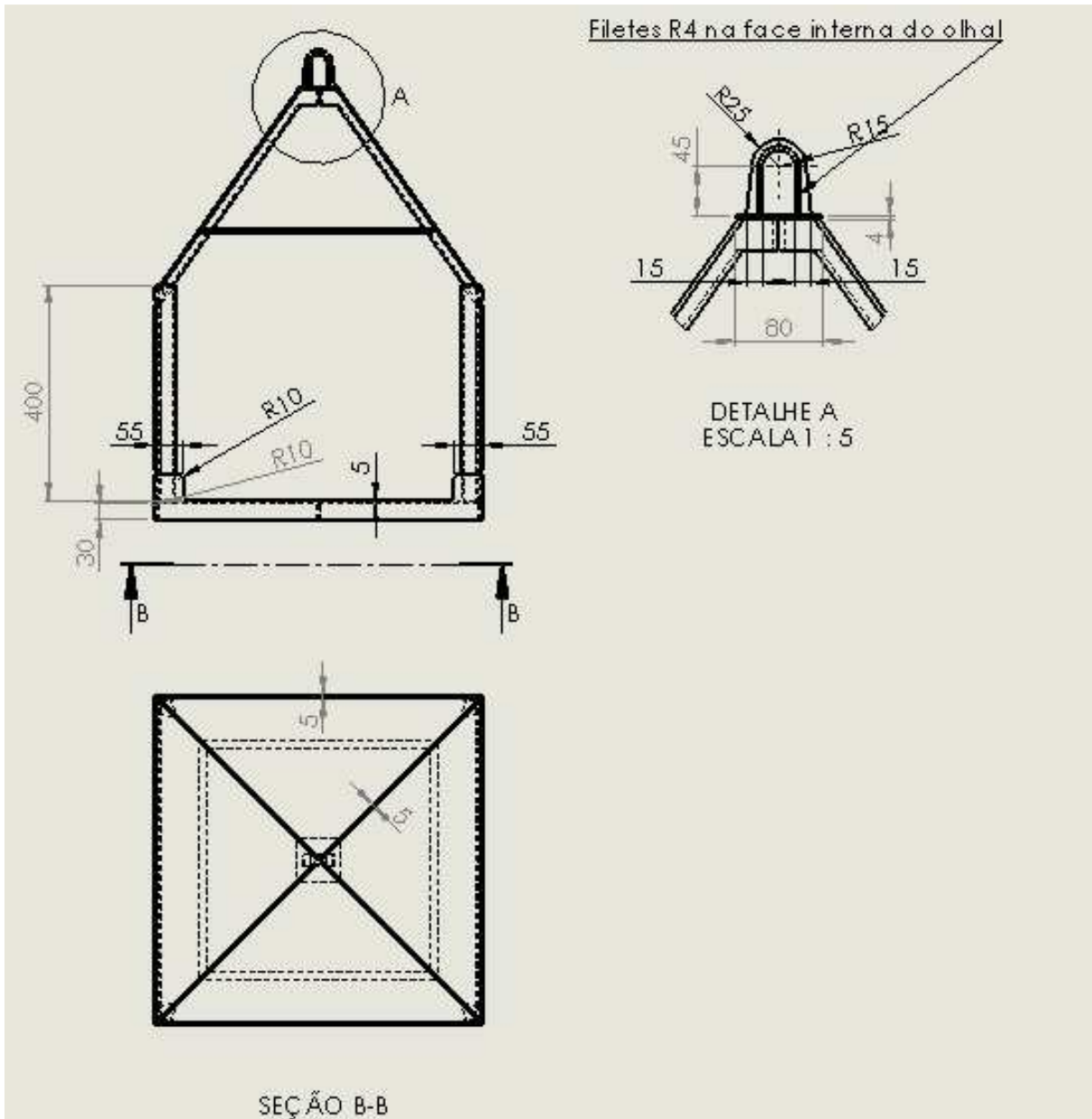


Figura 6.4 (b) – Vista direita da estrutura principal do compartimento com detalhe do olhal de içamento e vista da parte inferior da estrutura.

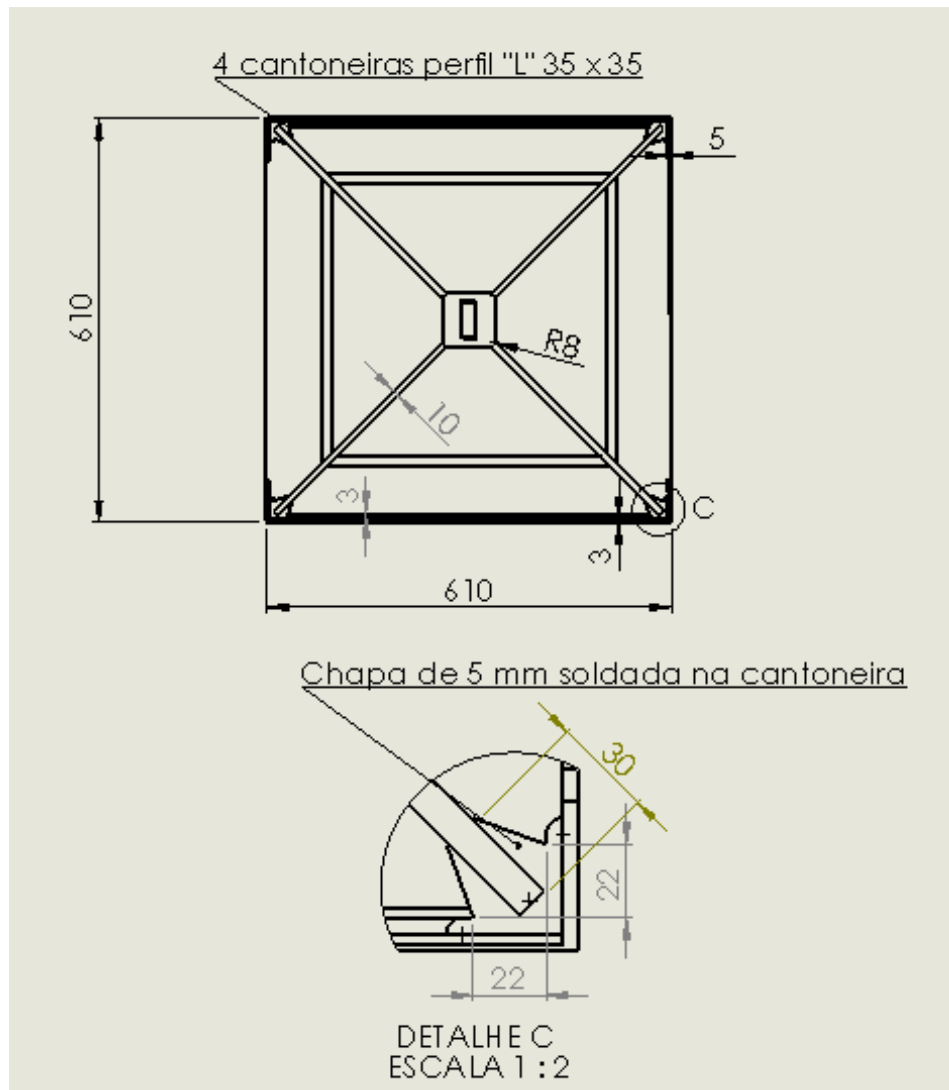


Figura 6.4 (c) – Vista superior da estrutura principal do compartimento com detalhe da chapa de apoio dos braços de suporte do olhal.

b) Simulação

A partir desta configuração, uma simulação foi realizada com o software auxiliar Simulation XPress para modelar o transporte dos recipientes plásticos no interior desta estrutura, aplicando uma carga sobre ela.

É necessário fixar a estrutura em um ponto do modelo para simular a aplicação desta carga sobre ela. O objeto escolhido para a fixação é uma das faces internas do seu olhal, no qual ela estaria em contato com o gancho da talha elétrica que vai realizar o içamento (figura 6.5).

Posteriormente será apresentado o dimensionamento do olhal a partir das dimensões de um gancho de talha comercial.

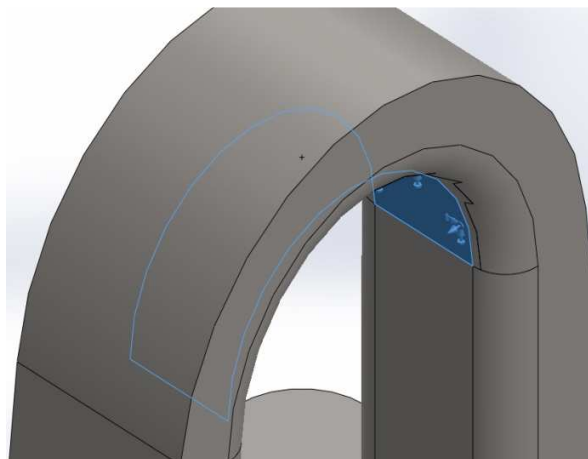


Figura 6.5 – Face de fixação do modelo pra simulação.

A carga aplicada foi representada por uma pressão distribuída uniformemente e na direção normal à superfície da base da estrutura (figura 6.6).

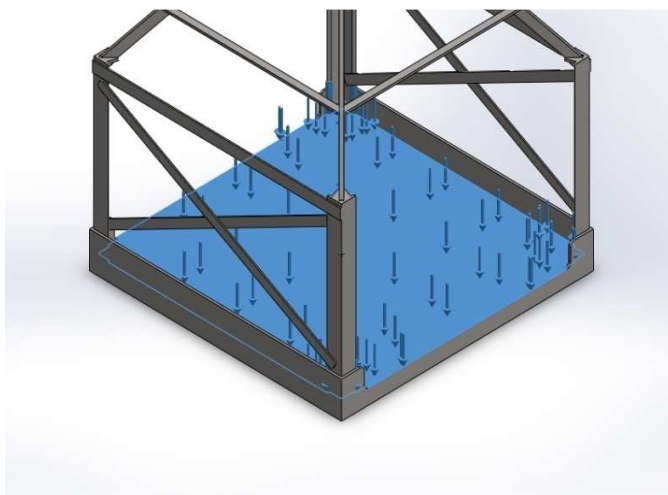


Figura 6.6 – Distribuição da carga aplicada para simulação.

O valor da pressão resultante desta carga foi encontrado através dos valores apresentados na tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Valores para determinação da carga aplicada na simulação

Massa máxima transportada	200 kg
Massa da estrutura	33 kg
Massa total	233 kg
Peso total	2.286 N
Diâmetro da área de contato	500 mm
Área de contato	196.000 mm ²
Pressão aplicada	11.662 N/m ²

O tipo do modelo é isotrópico linear elástico com um critério de falha escolhido sendo o de tensão máxima de Von Mises.

Para facilitar a simulação do modelo, o software gera automaticamente uma malha de elementos finitos. As características desta malha se encontram na tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Características da malha implantada para a simulação

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha padrão
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho de cada elemento	10,7508 mm
Tolerância	0,537542 mm
Qualidade da malha	Alta
Total de nós	100.406
Total de elementos	48.699

A figura 6.7 mostra a malha distribuída sobre a superfície do modelo.

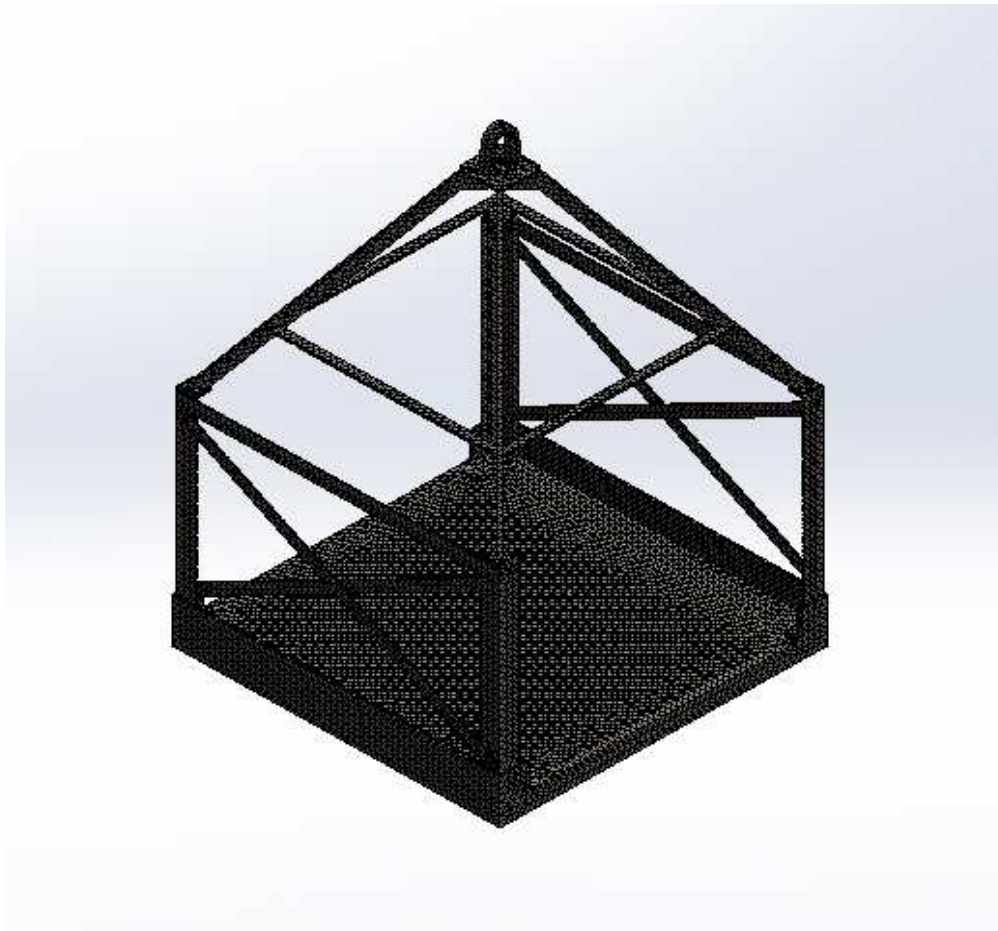


Figura 6.7 – Distribuição da malha sobre o modelo

A partir desta configuração, a simulação pode ser realizada aplicando-se a pressão indicada na tabela 6.2. Os resultados são apresentados a seguir.

A figura 6.8 mostra a distribuição do deslocamento resultante (URES) da estrutura, onde se pode observar que o valor máximo deste deslocamento gira em torno de 0,87 mm. A imagem apresenta uma escala de distorção de 100,256. Ou seja, o deslocamento é aumentado 100 vezes na figura para efeito de visualização.

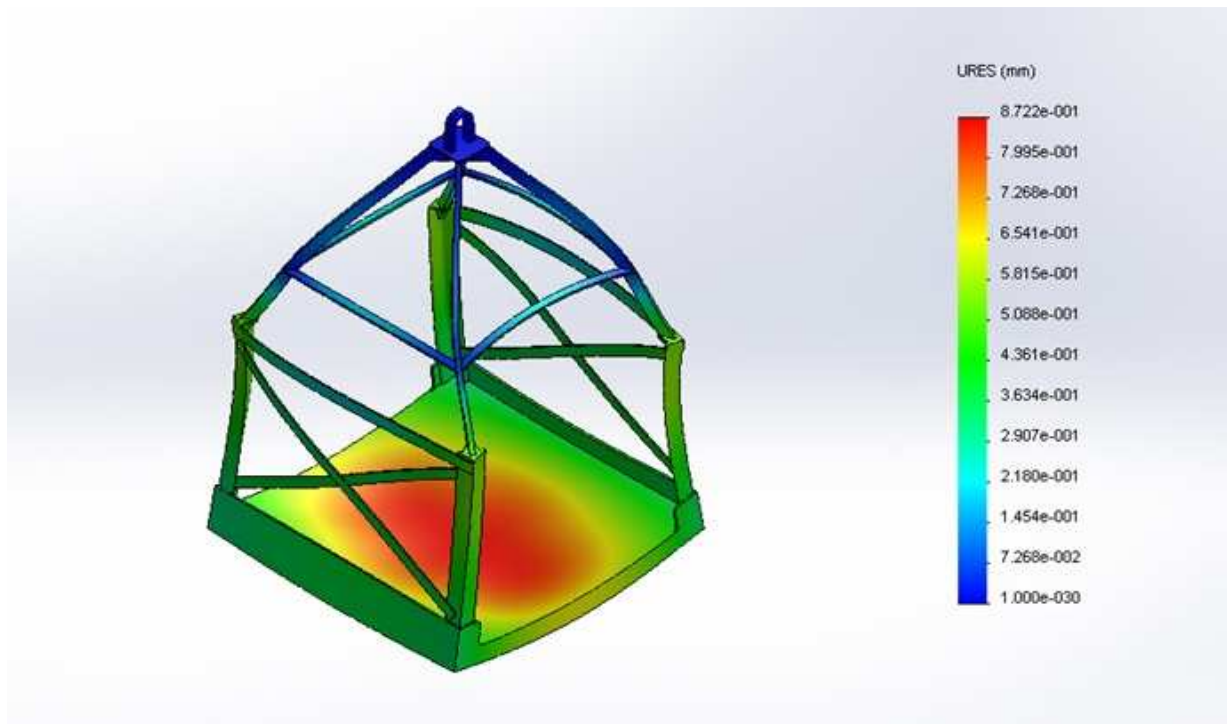


Figura 6.8 – Distribuição do deslocamento relativo da estrutura

As tensões de von Mises resultantes variam entre 0,105 e 92,489MPa conforme mostra o gráfico da figura 6.9.

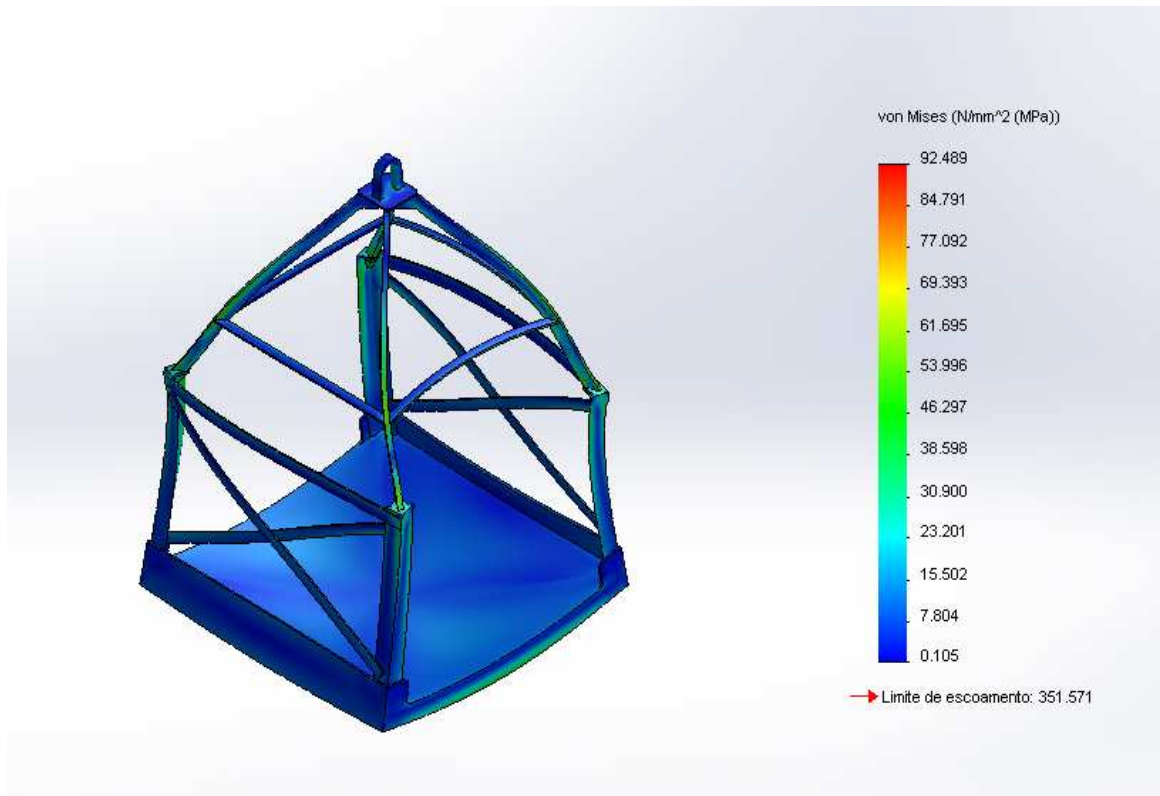


Figura 6.9 – Distribuição das tensões de von Mises no modelo.

Contudo, apesar do valor máximo da tensão de von Mises encontrado estar bem abaixo do limite de escoamento do material, é necessário considerar que a peça apresenta alguns pontos de solda que podem enfraquecê-la.

c) Análise dos filetes de solda

Segundo o livro de SHIGLEY et al., *Projeto de Engenharia Mecânica*(2008) [15], as tensões em um filete de solda ao longo do ângulo θ correspondem a:

- A tensão de cisalhamento τ :

$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{F \sin \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\sin \theta \cos \theta + \sin^2 \theta) \quad (12)$$

- A tensão de tração σ :

$$\sigma = \frac{F_n}{A} = \frac{F \cos \theta (\cos \theta + \sin \theta)}{hl} = \frac{F}{hl} (\cos^2 \theta + \sin \theta \cos \theta) \quad (13)$$

- A tensão de von Mises σ' :

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \frac{F}{hl} [(\cos^2 \theta + \sin \theta \cos \theta)^2 + 3(\sin^2 \theta + \sin \theta \cos \theta)^2]^{1/2} \quad (14)$$

Onde, conforme mostram as figuras 6.10, 6.11 e 6.12, h é a garganta da solda, l é o seu comprimento, θ é o ângulo da seção reta ao longo do filete, F é a força resultante aplicada na solda, com F_s e F_n as suas respectivas componentes transversal e normal em θ .

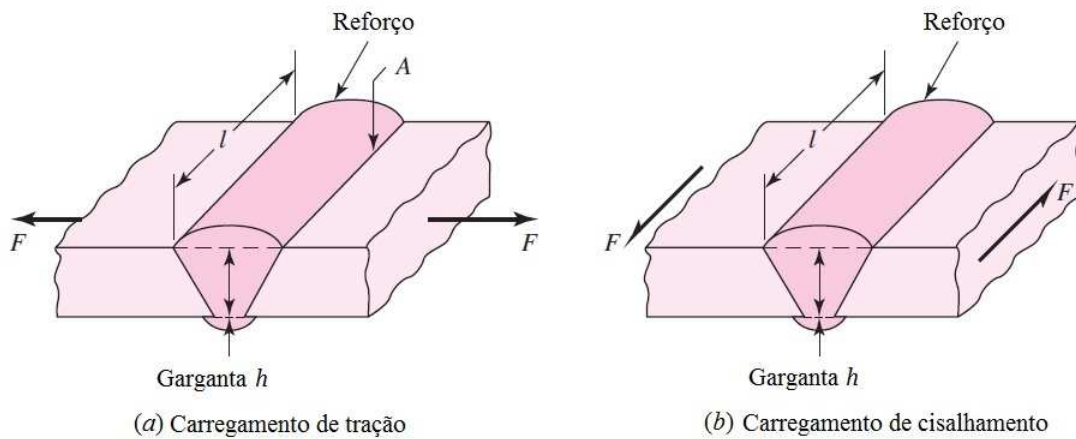


Figura 6.10 – Solda de topo típica

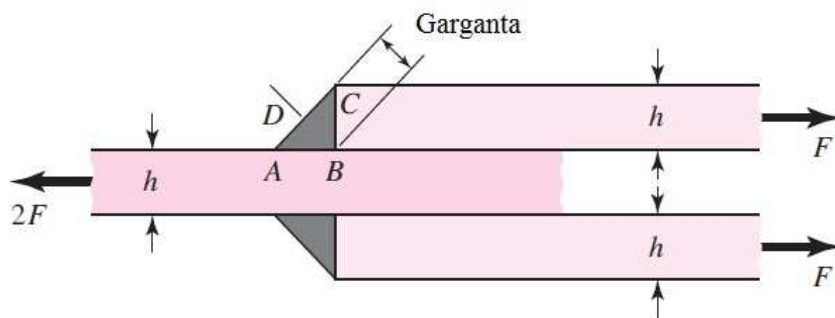
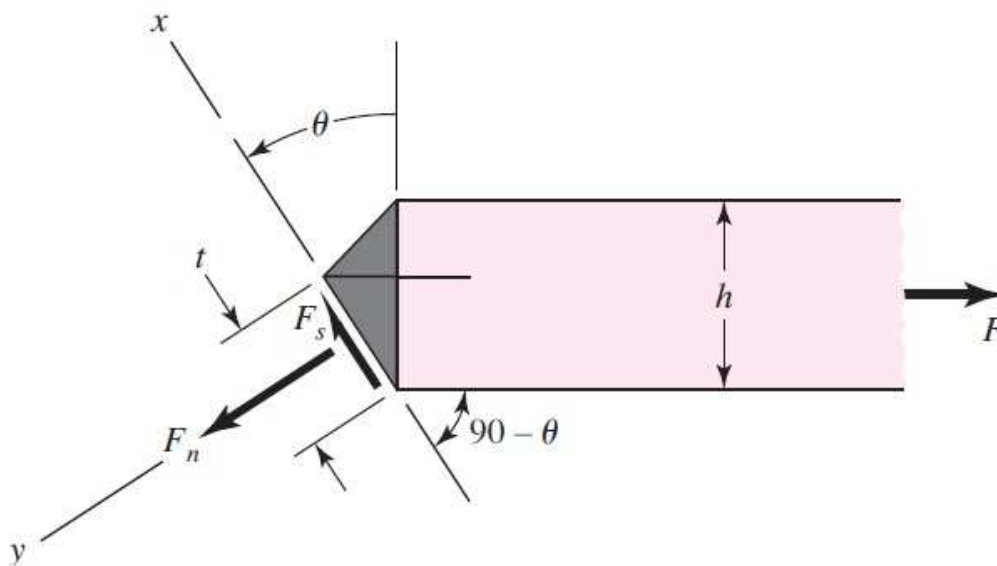


Figura 6.11 – Filete de solda transversal



6.12 – Corpo livre do filete transversal

A equação (14) mostra que a tensão máxima de von Mises ocorre quando $\theta = 62,5^\circ$, o que resulta em:

$$\sigma'_{max} = 2,16F/(hl) \quad (15)$$

Sendo assim, para encontrar o valor da tensão de von Mises máxima nos pontos de solda da estrutura, é necessário indicar o ponto que tenha a menor relação hl no modelo. Porém, a tabela 6.4 indica que o tamanho mínimo do filete de solda deve ser de 3,175 mm [15].

Tabela 6.4 – Tamanho mínimo de solda do filete [15]

Espessura da peça mais espessa a ser unida		Tamanho do filete de solda	
Acima de (pol.)	Até (pol.)	Polegadas	Milímetros
-	1/4	1/8	3,175
1/4	1/2	3/16	4,763
1/2	3/4	1/4	6,350
3/4	-	5/16	7,938

Basta então indicar o filete com o menor comprimento l para encontrar o ponto de solda onde é teoricamente aplicada a maior tensão de von Mises. Após análise dos diferentes pontos de solda da estrutura, foi detectado que o filete de menor comprimento encontra-se na base do olhal de içamento da peça, com 15 mm, conforme mostra a figura 6.13.

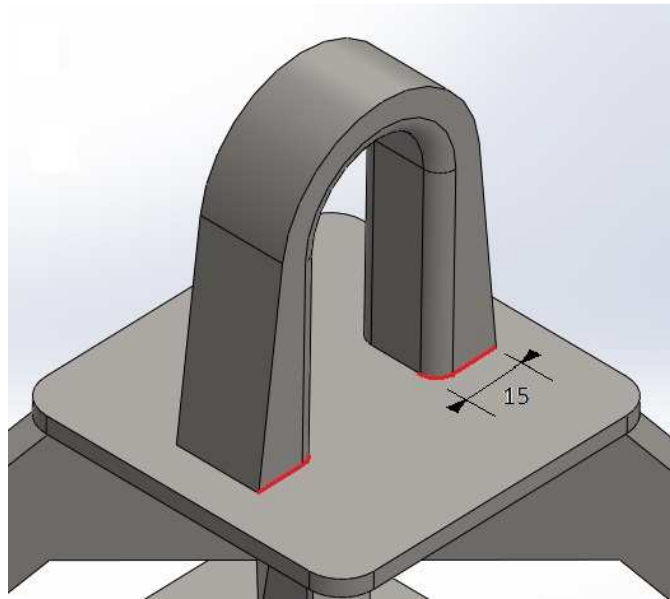


Figura 6.13 – Detalhe do menor comprimento de solda na estrutura

Desta forma, considerando $l = 15$ mm, $h = 3,175$ mm e F , sendo considerada a força total aplicada sobre a estrutura (peso e carregamento), aproximadamente igual a 2.300 N, e aplicando estes valores na equação (15), tem-se:

$$\sigma'_{max} = 2,16 \cdot \frac{2300}{3,175 \cdot 15}$$

$$\sigma'_{max} = 104,3 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa}) \quad (16)$$

Este valor é confortavelmente menor à tensão de escoamento do material de base (351,6 MPa, para o aço 1020) e à tensão de escoamento do eletrodo de solda de menor resistência (345 Mpa, para o eletrodo AWS E60xx) [15].

Quantitativamente, este resultado representa que a solda tem um fator de segurança da seguinte forma:

$$FS_{SOLDA} = \frac{\sigma_{y\text{eletrodo}}}{\sigma'_{max}} = \frac{345}{104,3} = 3,31 \quad (17)$$

E o fator de segurança da estrutura é representado por:

$$FS_{ESTRUTURA} = \frac{\sigma_{y a\breve{c}o}}{\sigma'_{simulado}} = \frac{356}{92,49} = 3,85(18)$$

Ambos os fatores são confortáveis para aplicação desejada.

Em suma, os resultados desta análise são satisfatórios. Pode-se considerar que o dimensionamento em questão é suficiente para realizar o trabalho de transporte da carga.

d) Portinhola e trava

Com a ajuda do modo de montagem, foram adicionados à estrutura principal elementos que pudessem garantir a segurança e facilitar o transporte do material e do próprio compartimento.

Em primeiro lugar, uma portinhola deve ser instalada para evitar que o material transportado caia durante o trajeto assim como uma trava para impedir que esta portinhola se abra de forma indesejada. Da mesma forma deve ser verificado que a trava é capaz de impedir a abertura da portinhola mesmo com a tração da estrutura no caso da carga ser posicionada fora do centro da base. Esta configuração é apresentada na figura 6.14.

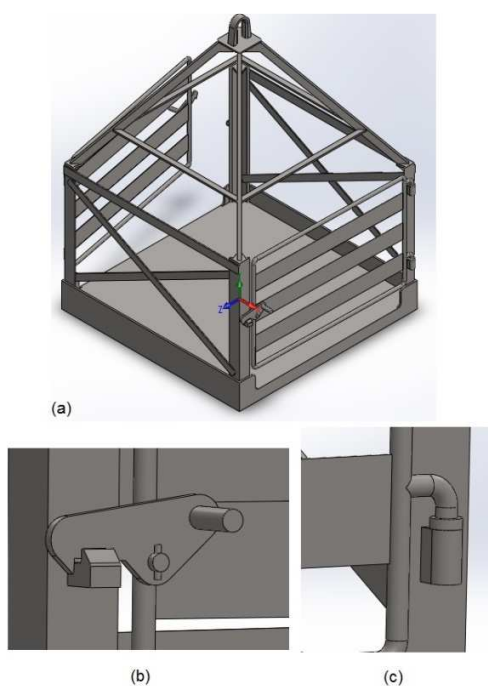


Figura 6.14 – (a) Estrutura montada com portinhola e trava com (b) detalhe da trava e (c) da dobradiça

e) Rodízios

Em seguida, quatro rodízios foram adicionados à estrutura para que ela possa ser transportada no piso sem dificuldades por quem a estiver manuseando. Na figura 6.15 está representado o conjunto da roda montado (a) com a sua vista explodida (b), onde 1 é o suporte de fixação na estrutura e 2 é o pino em PTFE que faz a conexão entre este suporte e o suporte móvel da roda (item 3). O PTFE foi escolhido por sua boa resistência e o coeficiente de atrito quase nulo, o que permite a boa movimentação entre os suportes. A peça 4 é o mancal de rolamento de esferas de sulco profundo (tabela 6.5) e 5 é a roda em aço revestida de poliuretano, que é o material apropriado para este fim, já que apresenta uma alta capacidade de suportar cargas, baixo coeficiente de atrito que diminui o esforço de movimentação e ajuda a não desgastar a via de deslizamento e um tempo de vida superior aos dos outros elastômeros [16].

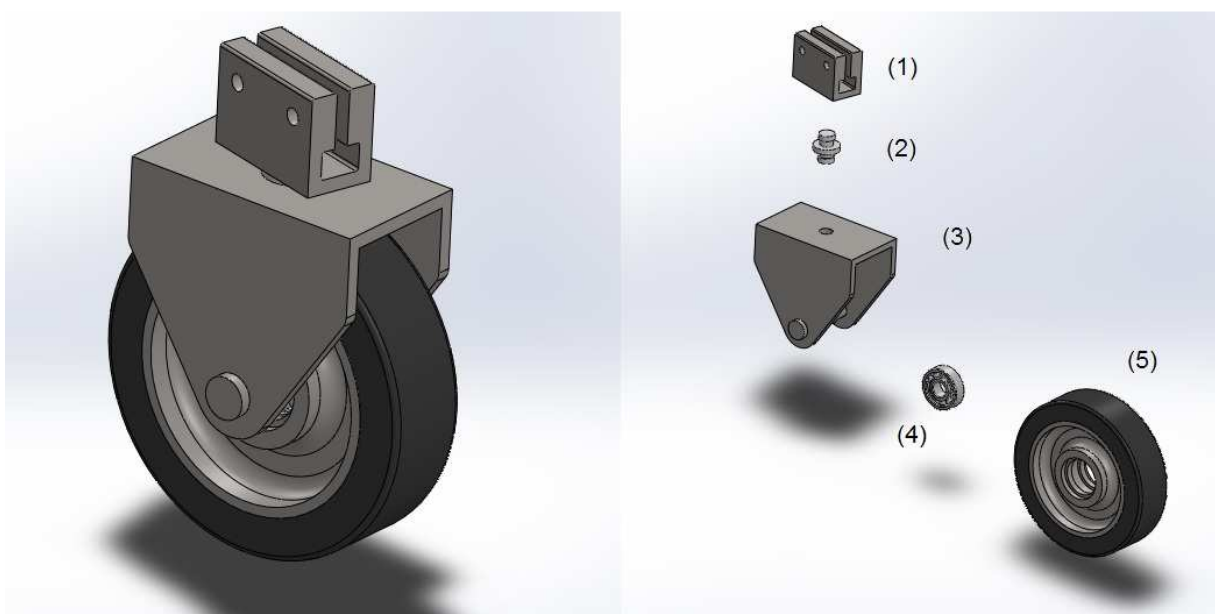


Figura 6.15 – Conjunto do rodízio do compartimento de transporte.

Tabela 6.5 – Características do rolamento de esferas de sulco profundo [15]

Furo (mm)	Diâmetro externo (mm)	Largura (mm)	Raio do filete (mm)	Diâmetro do encosto		Capacidade de carga (kN)	Material
				interno (mm)	externo (mm)		
12	32	10	0,600	14,5	28	3,1	Aço Cromo

A capacidade de carga de 3,1 kN para cada mancal de rolamento apresentado na tabela acima é satisfatória para o projeto, já que o transporte tendo uma carga total inferior a 3.000 N, e no rolamento esta carga é dividida por quatro, cada rolamento tem de suportar uma carga inferior a 750 N aproximadamente.

A configuração da estrutura completamente montada é então apresentada na figura 6.16.

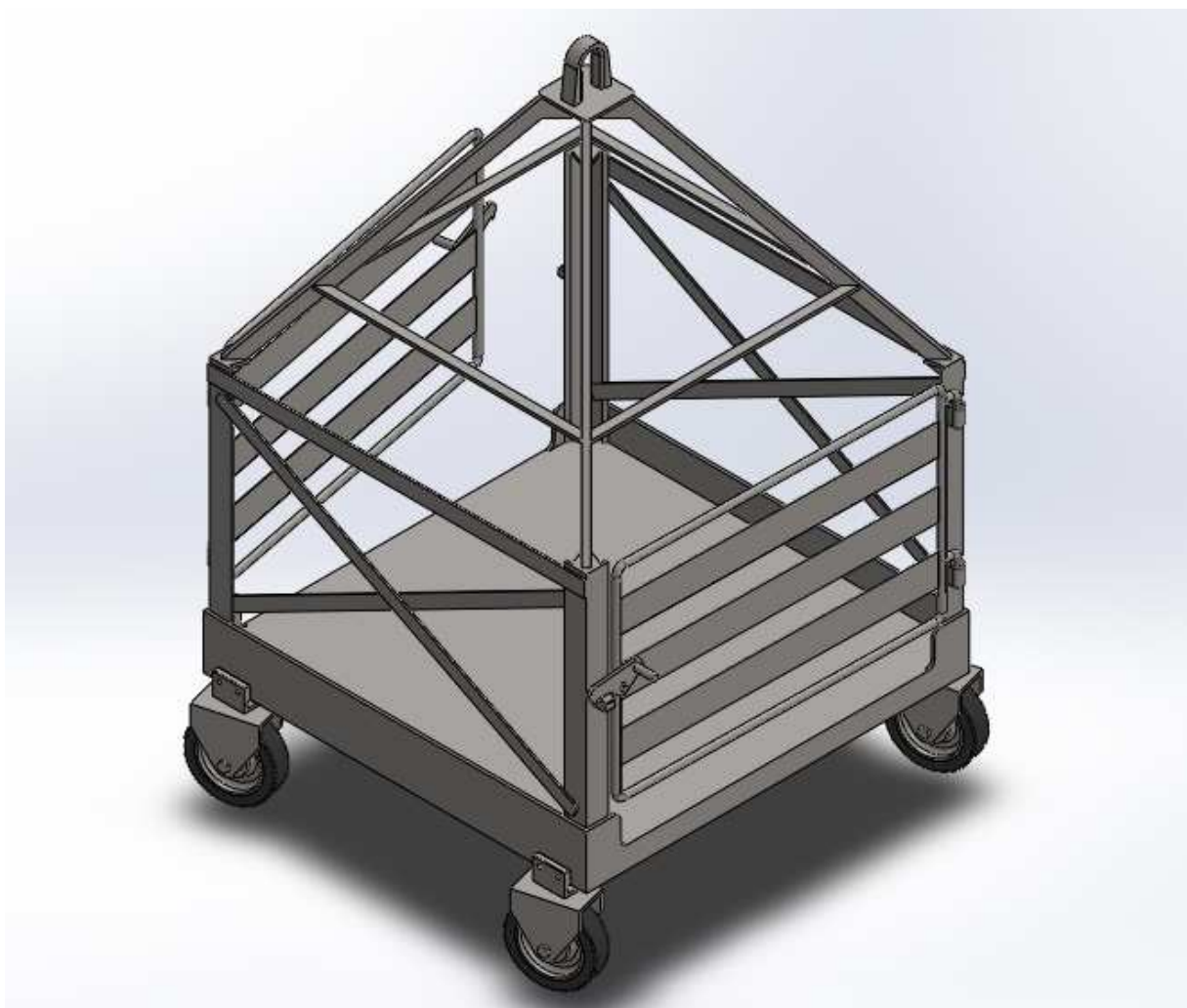


Figura 6.16 – Estrutura montada com rodas.

Com esta configuração deve-se verificar se as dimensões utilizadas para a fabricação do compartimento são compatíveis com as dimensões do posto. A figura 6.17 mostra o compartimento (em azul) posicionado em uma vista lateral (a) e superior (b) nos pontos do posto de trabalho em que o espaço é mais reduzido. Verifica-se assim que as dimensões

escolhidas estão de acordo com as dimensões já existentes no posto e, portanto é possível movimentar o compartimento pela plataforma sem maiores problemas.

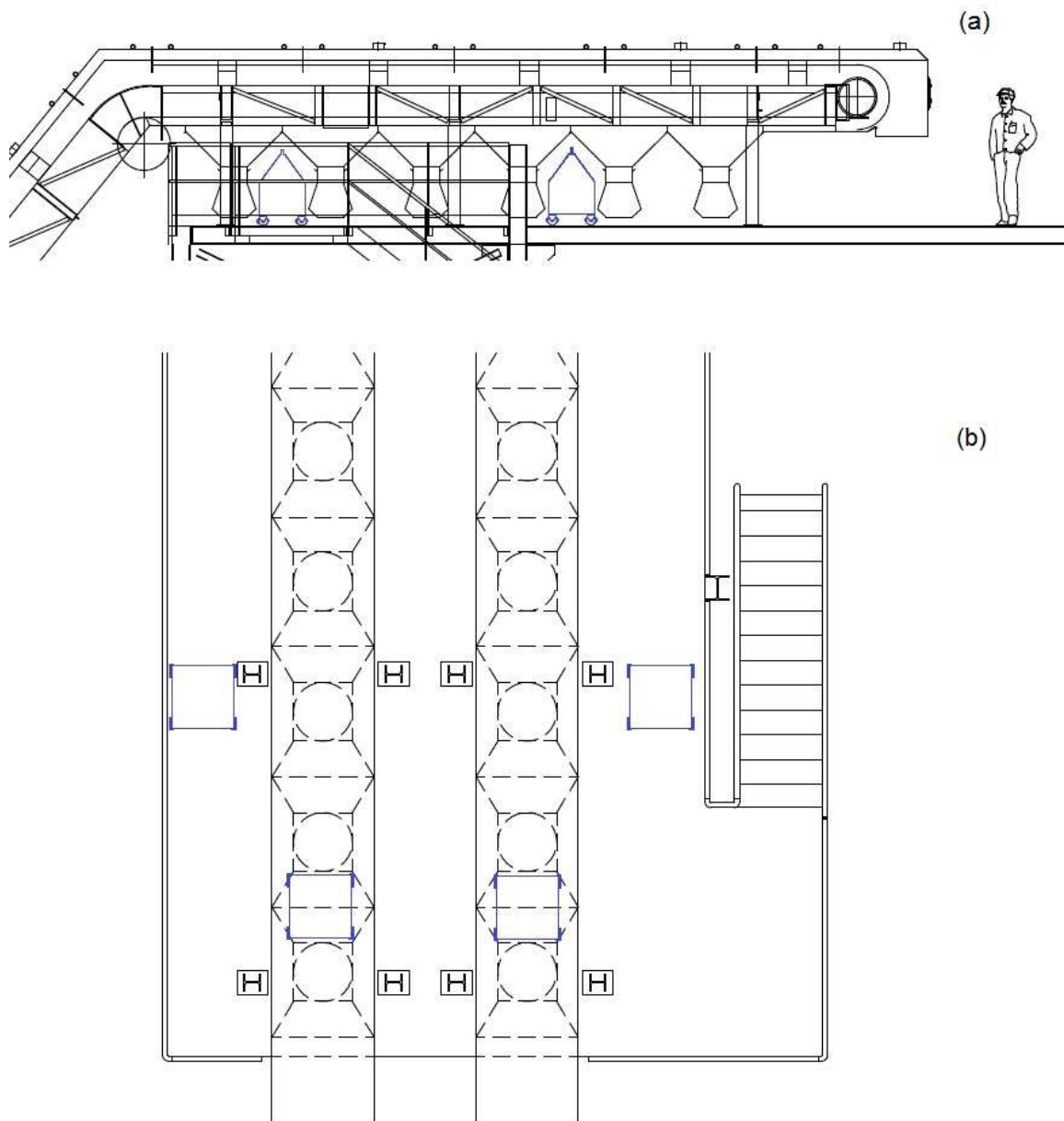


Figura 6.17 – Posicionamento do compartimento de transporte sobre a plataforma (a) em vista lateral e (b) em vista superior.

Contudo, devido à configuração das esteiras transportadoras e o acesso ao armário elétrico em sua extremidade (item 6.1.1) é necessária a colocação de dois compartimentos de transporte, um para atender cada esteira, para que a tarefa possa ser executada sem transtornos para o operador. Desta forma, a troca dos sacos plásticos é executada em uma esteira de cada vez.

Com o compartimento de transporte finalizado, a próxima etapa do projeto é selecionar a talha a ser utilizada.

6.1.3 Talha elétrica

Para a seleção da talha em questão, os seguintes pontos devem ser considerados: o modelo da talha elétrica (cabo de aço ou corrente), a carga máxima de trabalho, o seu curso de elevação e as dimensões do trole e do moitão na posição recolhida.

A carga total, considerando o peso da gaiola de transporte e o seu conteúdo é inferior a 3000 N, o que equivale a uma carga de aproximadamente 306 kgf. Para atender às normas internas de segurança da empresa em que o posto se encontra, uma talha do tipo cabo de aço deve ser selecionada ao invés de uma talha de corrente.

O fabricante Sansei fornece modelos com capacidade a partir de 500 kgf [17].(Anexo E). Considerando a carga de trabalho utilizada, esta capacidade pode ser selecionada com segurança. Este modelo apresenta uma elevação de até 18 metros, atendendo a aplicação em questão, e tem as seguintes características: velocidade de elevação de 8,0 m/min com motor de 0,8 kW, velocidade de translação de 20 m/min com motor de 0,2 kW (ambos os motores com classificação de proteção IP44), 2 cabos com bitola de 5 mm, podendo se alocar em vigas de largura de 88 a 124 mm e pesando até 175 kgf.

É necessário também verificar se as dimensões do gancho do moitão da talha são compatíveis com as dimensões do olhal da estrutura de transporte. Como o catálogo Climber não fornece especificamente estas dimensões, foi utilizado o catálogo Lodestar [18] para se ter uma referência de dimensionamento do olhal. A figura 6.18 mostra estas dimensões, que serviram de base para a reprodução deste gancho no SolidWorks (Figura 6.19 (a)). A partir daí, com a ajuda do recurso de montagem, o gancho foi acoplado ao olhal projetado para verificar se as dimensões escolhidas são funcionais (Figura 6.19 (b)). É importante ressaltar que a talha Lodestar, tendo uma capacidade de 2t, apresenta um gancho maior do que aquele que uma

talha de 500 kgf apresentaria. Portanto esta comparação assegura que o acoplamento entre as duas peças pode ser feito sem maiores dificuldades.

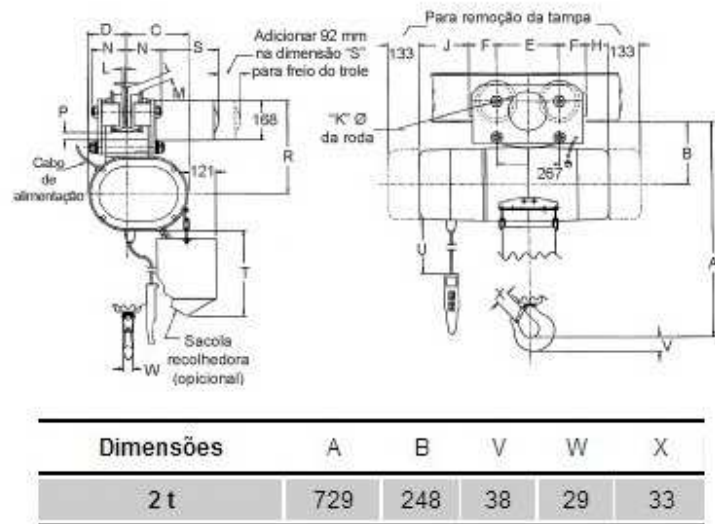


Figura 6.18 – Dimensões do moitão da talha elétrica de 2t oferecida pela Lodestar [18].

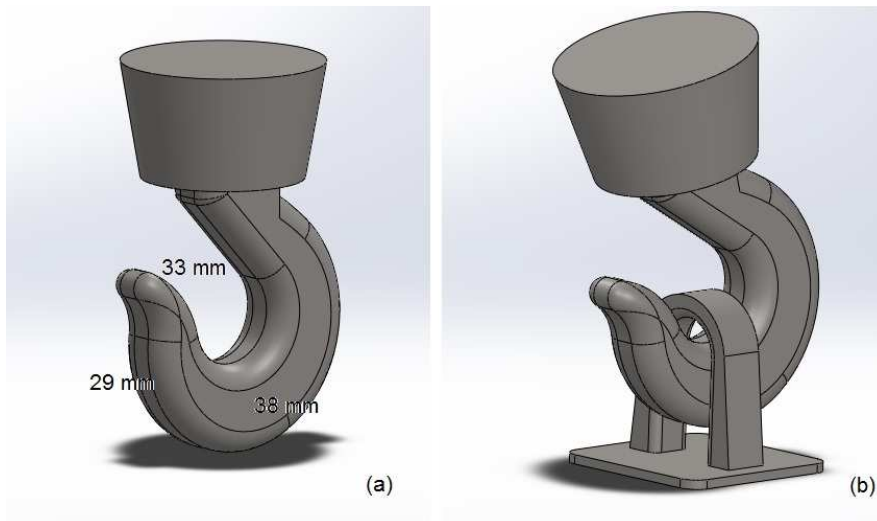


Figura 6.19 – Gancho da talha Lodestar reproduzido emSolidWorks (a) e acoplado ao olhal projetado (b).

Desta forma, com a talha selecionada e o compartimento de transporte dimensionado, resta projetar a estrutura que servirá de apoio para este mecanismo.

6.1.4 Estrutura de suportação

Para se dimensionar a estrutura de apoio deve-se levar em conta as dimensões do posto apresentadas no item 6.1.1, as dimensões do compartimento de transporte e os esforços que serão gerados pela carga de trabalho e as massas dos componentes movimentados.

a) Posicionamento

Já se verificou no item 6.1.2 que as dimensões do compartimento de transporte são compatíveis com os espaços disponíveis no posto de trabalho.

Agora resta posicionar as vigas que servirão de apoio para a estrutura de suportação do dispositivo de forma a melhor aproveitar o espaço disponível sobre a plataforma.

A figura 6.20 mostra a posição ideal das vigas de apoio da estrutura sobre a plataforma de modo que o seu posicionamento não atrapalhe a retirada dos sacos plásticos do posto e que seja possível a boa movimentação dos dois compartimentos ao longo das respectivas esteiras transportadoras. Os quatro p s ficam a uma distância entre si de 2130 mm na direção longitudinal da plataforma e a uma distância de 5000 mm na direção transversal.

É importante notar que sob estas novas vigas de apoio estão posicionadas as vigas de sustentação da plataforma, o que garante a correta fixação das mesmas, evitando que elas fiquem apoiadas somente sobre as chapas metálicas.

Como será necessária a utilização de dois compartimentos de transporte, um para cada esteira, também será necessário o posicionamento de dois pontos de descarte dos sacos plásticos, um em cada lado da plataforma.

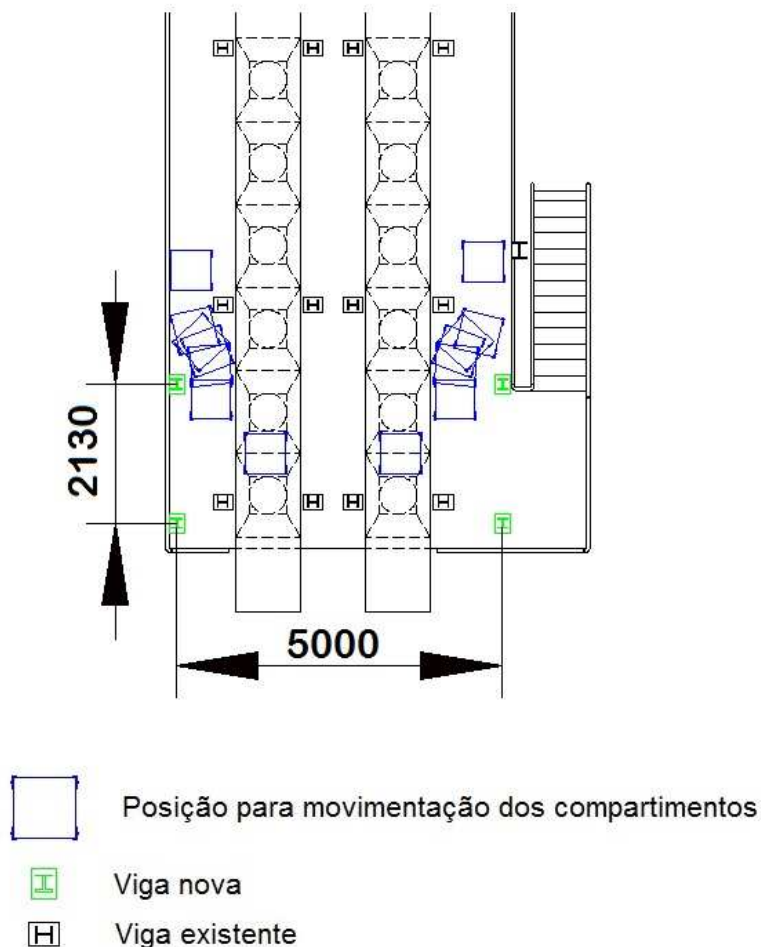


Figura 6.20 – Posição das vigas de apoio da estrutura

b) Dimensionamento da viga principal

Este item irá definir as dimensões das vigas a serem utilizadas para a estrutura de apoio do dispositivo. Com a posição dos pés de apoio da estrutura definida, resta avaliar a carga aplicada sobre ela, o seu alcance até os pontos de descarte do material fora da plataforma e a altura mínima que ela deverá ter.

O comprimento da viga principal da estrutura, por onde a talha irá se deslocar, deve permitir que esta última alcance os dois pontos de descarte do material, um de cada lado da plataforma. A figura 6.21 mostra a distância que deve ser percorrida pelo centro do gancho da talha: soma-se aos 6460 mm de largura da plataforma os 1050 mm de cada lado que é a distância até os pontos de descarte no piso da fábrica, totalizando 8560 mm.

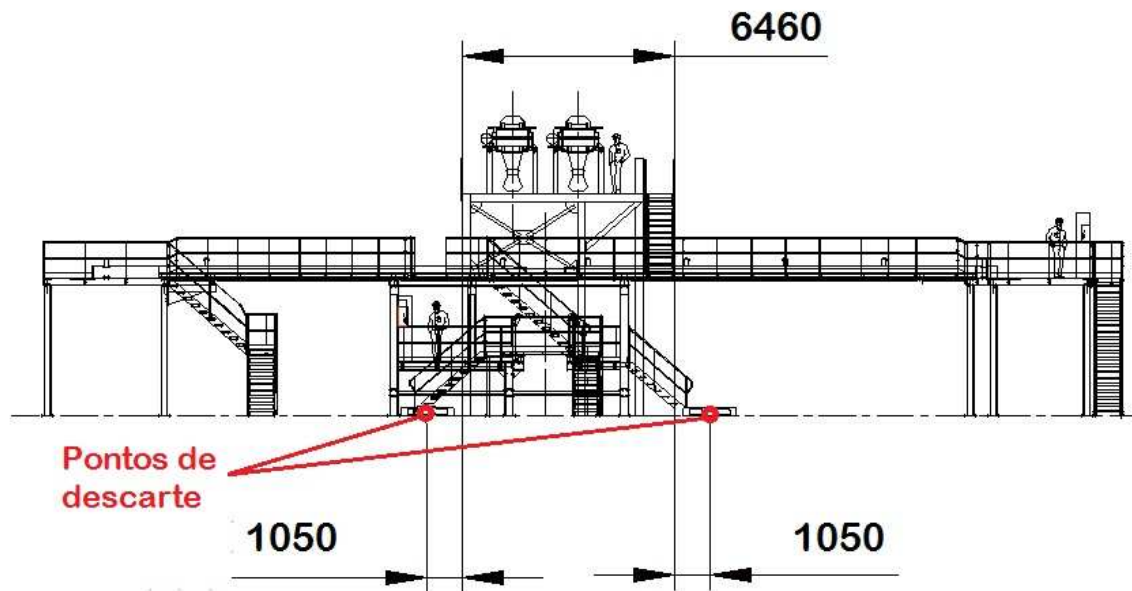


Figura 6.21 – Distância entre os pontos de descarte.

É importante lembrar que esta distância é percorrida pelo centro do gancho, sendo assim para definir o comprimento total da viga é necessário conhecer as distâncias entre o centro do gancho e as extremidades da talha. Segundo a tabela no anexo E, o modelo de talha selecionado apresenta uma largura de até 918 mm, porém a parte sobre a viga que é limitada pelo batente é composta pelos dois rolos que fazem a translação. Usando a imagem da talha no anexo E, deduz-se que a largura desta parte é de aproximadamente 340 mm. Considerando o centro do gancho na mesma posição do centro da talha, a sua distância até as extremidades é então de 170 mm. A distância do batente até a extremidade da viga é considerada como sendo 70 mm (figura 6.22). A distância do centro da talha até a extremidade da viga é então de 240 mm. Somando duas vezes esse valor à distância entre os pontos de descarte, encontrada anteriormente, temos um comprimento total de 9040 mm (figura 6.23).

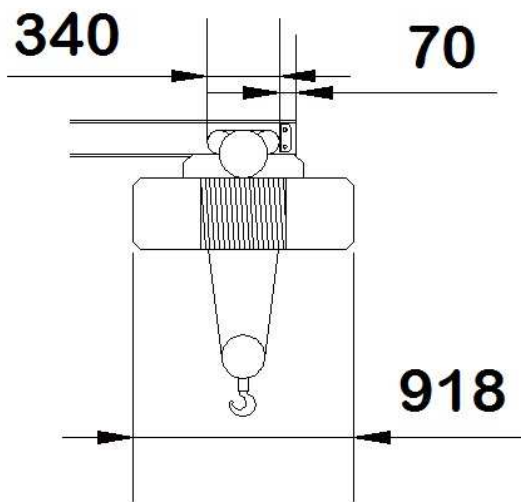


Figura 6.22 – Distâncias entre as extremidades da talha e a extremidade da viga principal [17].

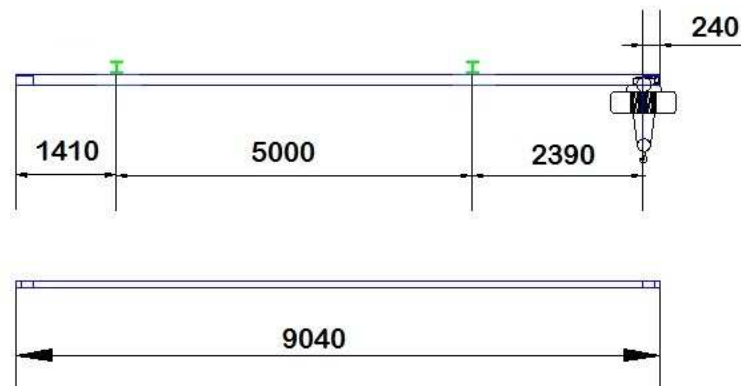


Figura 6.23 – Comprimento total da viga principal da estrutura.

No item 6.1.3 foi visto que a talha selecionada representa uma carga de até 175 kgf. Sendo assim, a soma das cargas do dispositivo se torna 408 kgf, o que equivale a uma carga total de 4002 N, conforme apresentado na tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Soma das cargas do dispositivo de içamento.

Nome do item	Carga (kgf)	Carga (N) $g = 9,81 \text{ kg.m/s}^2$
Carga máxima de transporte	200	1962
Compartimento de Transporte	33	324
Peso da Talha	175	1717
Total	408	4002

Esta carga será utilizada para definir o perfil da viga principal. Lembrando que a largura da mesa desta viga deve ter entre 88 e 124 mm.

Baseando-se na tabela de perfis de viga “I” da Aços Globo (Anexo F), foi selecionado o perfil de tamanho nominal 152,40 x 85,73 mm (6 x 3.3/8 polegadas) com altura de 152,40 mm, largura das abas de 90,55 mm e espessura da alma de 11,81 mm. As propriedades do perfil estão na tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Propriedades do perfil da viga principal.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	152,4
Largura das abas - b (mm)	90,55
Espessura da alma - t (mm)	11,81
Área bruta - A (mm ²)	3660,00
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	$1,270 \times 10^{-5}$
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	76,20
Peso linear - p (N/m)	251,8

Será calculado o momento fletor aplicado sobre a viga sob estas condições. O diagrama de corpo livre utilizado para o cálculo é mostrado na figura 6.24.

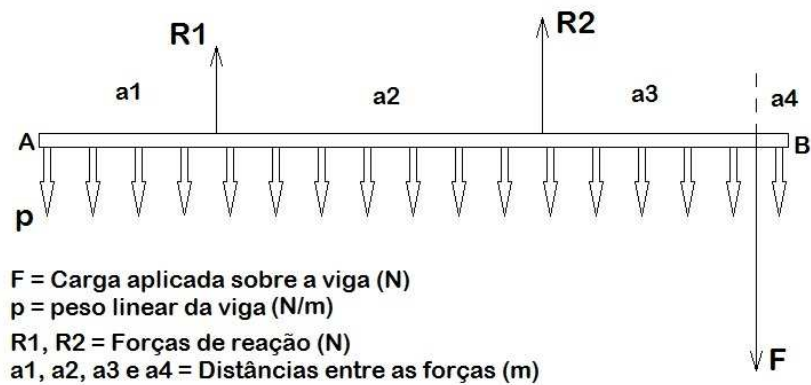


Figura 6.24 – Diagrama de corpo livre da viga principal.

A distância entre as forças de reação (a_2) foi determinada pelas posições das vigas de apoio mostradas na figura 6.20, enquanto a_1 , a_3 e a_4 estão representadas na figura 6.23. A carga F está aplicada na extremidade B por ser a condição extrema (talha mais distante dos pontos de apoio com a sua carga máxima). O peso da própria viga distribuído ao longo do seu comprimento é p (Tabela 6.7). A tabela 6.8 lista esses parâmetros com os respectivos valores.

Tabela 6.8 – Valores dos parâmetros do DCL da viga principal.

Parâmetro	Valor
F (N)	4002
Comprimento total - L (m)	9,04
a1 (m)	1,41
a2 (m)	5,00
a3 (m)	2,39
a4 (m)	0,24

A memória deste cálculo encontra-se no apêndice A. Os resultados encontrados são apresentados na tabela 6.9. O Fator de Segurança estabelecido foi de 3.

Tabela 6.9 – Resultados para dimensionamento da viga principal.

Forças de Reação	
R1 (N)	-1052
R2 (N)	7331
Esforço cortante e momento fletor	
Máximo Esforço Cortante V (N), para x = 6,41m	-4664
Máximo Momento Fletor M_b (N.m), para x = 6,41m	-10436
Tensão admissível	
Tensão de escoamento - σ_y (MPa)	210
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível - σ_{adm} (MPa)	70
Tensão aplicada - $\sigma = -(M_b.y_c)/I_{zz}$	
Tensão aplicada - σ (MPa)	62,64

Neste caso a tensão aplicada está abaixo da tensão admissível e o perfil selecionado será utilizado para o projeto. A seguir será escolhido o perfil para as duas vigas de sustentação da viga principal, chamadas aqui de vigas intermediárias.

c) Dimensionamento das vigas intermediárias

A figura 6.20 mostra que a distância longitudinal entre os pés da estrutura é de 2130 mm. Este será considerado o comprimento das vigas intermediárias que são apoiadas pelas vigas que por sua vez ficam posicionadas verticalmente sobre estes pés (figura 6.25).

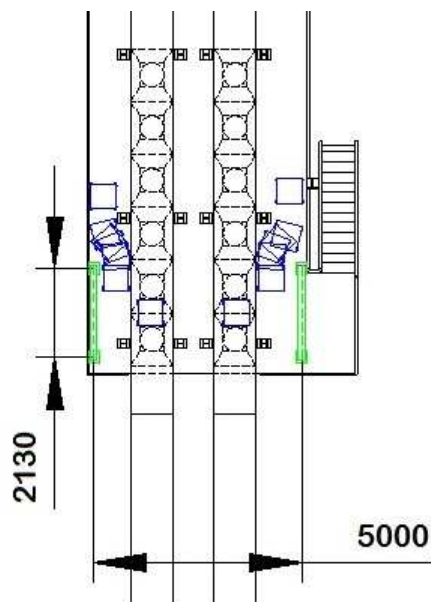


Figura 6.25 – Comprimento das vigas intermediárias da estrutura.

A partir da tabela de perfis do anexo F, o perfil selecionado tem um tamanho nominal de 101,60 x 66,68 mm (4 x 2.5/8 polegadas) com uma altura de 101,60 mm, largura das abas de 71,02 mm e espessura da alma de 8,28 mm. A tabela 6.10 apresenta as propriedades deste perfil.

Tabela 6.10 – Propriedades do perfil da viga intermediária.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	101,6
Largura das abas - b (mm)	66,68
Espessura da alma - t (mm)	8,28
Área bruta - A (mm ²)	1880,22
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	2,992 x 10 ⁻⁶
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	50,80
Peso linear - q (N/m)	138,7

Sendo assim, temos o seguinte diagrama de corpo livre da viga (figura 6.26) no qual serão calculados o esforço cortante e o momento fletor máximos aplicados sobre ela.

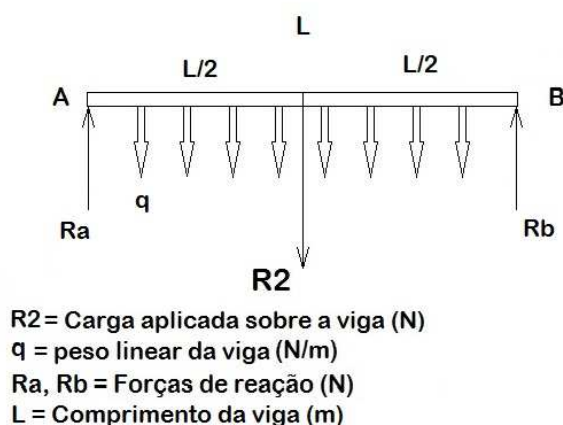


Figura 6.26 – Diagrama de corpo livre da viga intermediária.

Sobre cada uma das vigas são aplicadas respectivamente as reações R1 e R2 encontradas no item b. O dimensionamento será realizado sendo aplicada a reação R2 (7331 N) por apresentar um valor maior e dar mais segurança ao resultado. Esta força é aplicada no centro da viga. Conforme já apresentado, a mesma tem um comprimento de 2,13 m.

Assim como no item b, a memória do cálculo está no apêndice B. Os resultados estão apresentados na tabela 6.11. O Fator de Segurança estabelecido foi de 3.

Tabela 6.11 – Resultados para dimensionamento da viga intermediária.

Forças de Reação	
Ra (N)	3813
Rb (N)	3813
Esforço cortante e momento fletor	
Máximo Esforço Cortante V (N), para $x = L/2$	3813
Máximo Momento Fletor M_b (N.m), para $x = 6,41m$	3982
Tensão admissível	
Tensão de escoamento - σ_y (MPa)	210
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível - σ_{adm} (MPa)	70
Tensão aplicada - $\sigma = -(M_b \cdot y_c) / I_{zz}$	
Tensão aplicada - σ (MPa)	67,63

A tensão aplicada sobre a viga é, portanto, inferior à tensão admissível. Este perfil será então selecionado para as duas vigas intermediárias.

d) Dimensionamento das vigas de apoio

Estas vigas são dispostas conforme visto na figura 6.20. O comprimento de cada uma delas deve atender às cotas mostradas na figura 6.27 (a) e (b), que são a altura do perfil da viga principal, a distância entre o ponto de apoio da talha e o seu gancho, o espaço para uma eventual passagem do compartimento de transporte sobre a esteira e a altura da esteira com a sua estrutura de proteção, totalizando 4210 mm de altura.

Com essa configuração o dimensionamento da viga será realizado pelo cálculo de resistência à compressão de vigas sujeitas a flambagem [20]. O perfil escolhido para o cálculo tem um tamanho nominal de 127,00 x 76,20 mm (5 x 3 polegadas) com uma altura de 127,00 mm, largura das abas de 76,20 mm e espessura da alma de 5,33 mm.

A tabela 6.12 apresenta as propriedades deste perfil e a figura 6.28 mostra o diagrama de corpo livre com a carga aplicada sobre a viga, onde R é a carga encontrada no item anterior com o valor de 3813 N e L é o comprimento total da viga que equivale a 4210 mm.

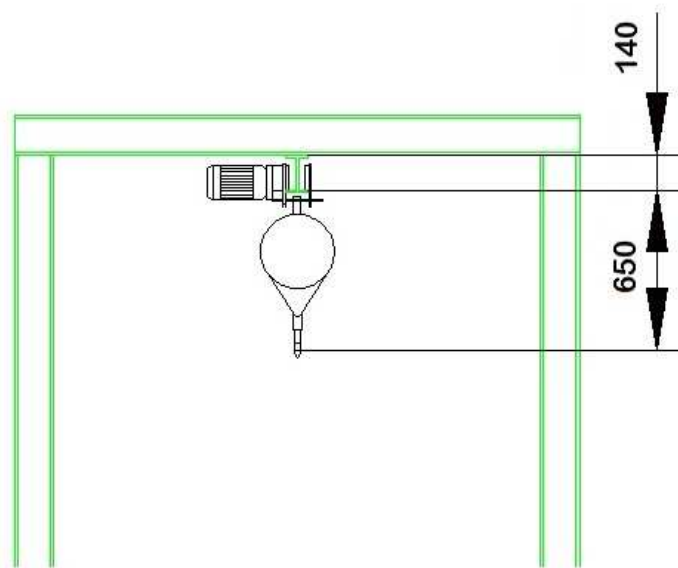
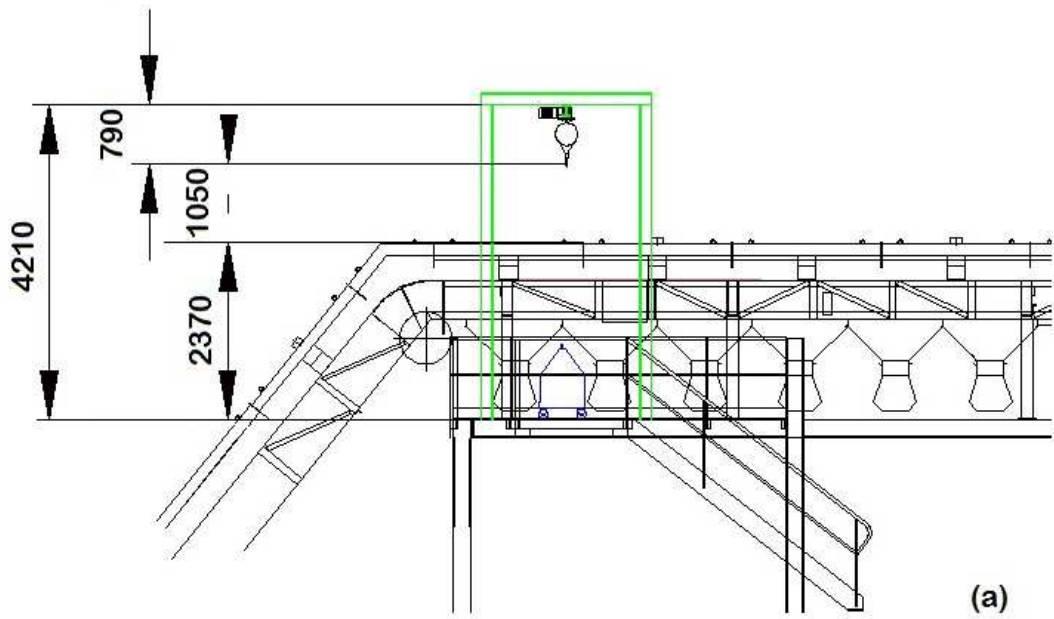


Figura 6.27 – Altura total das vigas de apoio (a) e detalhe com dimensões da talha elétrica (b).

Tabela 6.12 – Propriedades do perfil da viga de apoio.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	127,0
Largura das abas - b (mm)	76,2
Espessura da alma - t (mm)	5,33
Área bruta - A (mm ²)	1432,00
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	3,708 x 10 ⁻⁶
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	63,50
Peso linear - q (N/m)	146

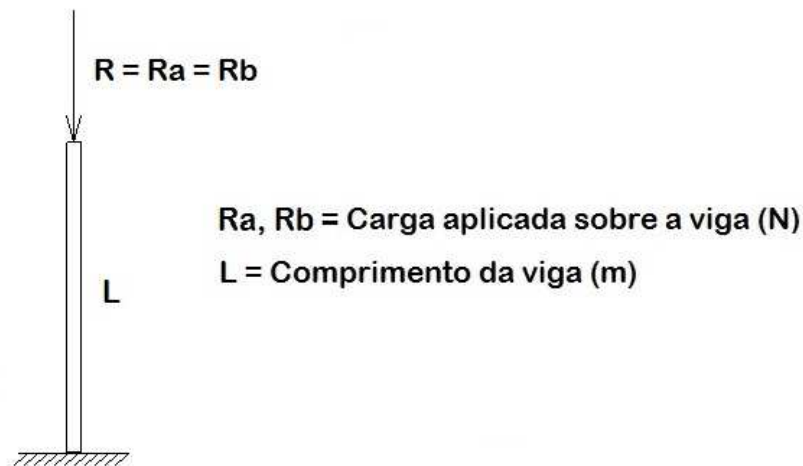


Figura 6.28 – Diagrama de corpo livre da viga de apoio.

Os resultados para este cálculo (Apêndice C) estão na tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Resultados para dimensionamento da viga de apoio.

Força de resistência à compressão sujeita a flambagem	
R _d x (N)	22613
R _d y (N)	24587
Tensão de resistência à compressão sujeita a flambagem	
σ _d x (Mpa)	15,8
σ _d y (Mpa)	17,2
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível	
Tensão admissível - σ _{adm} x (MPa)	5,26
Tensão admissível - σ _{adm} y (MPa)	5,72
Tensão aplicada - σ = R/A	
Tensão aplicada - σ (MPa)	2,66

Sendo assim, a estrutura de apoio da talha elétrica foi completamente dimensionada. A figura 6.29 mostra a configuração da estrutura no SolidWorks.



Figura 6.29 – Estrutura de suporte da talha elétrica.

A configuração de todo o conjunto pode ser vista na figura 6.30.

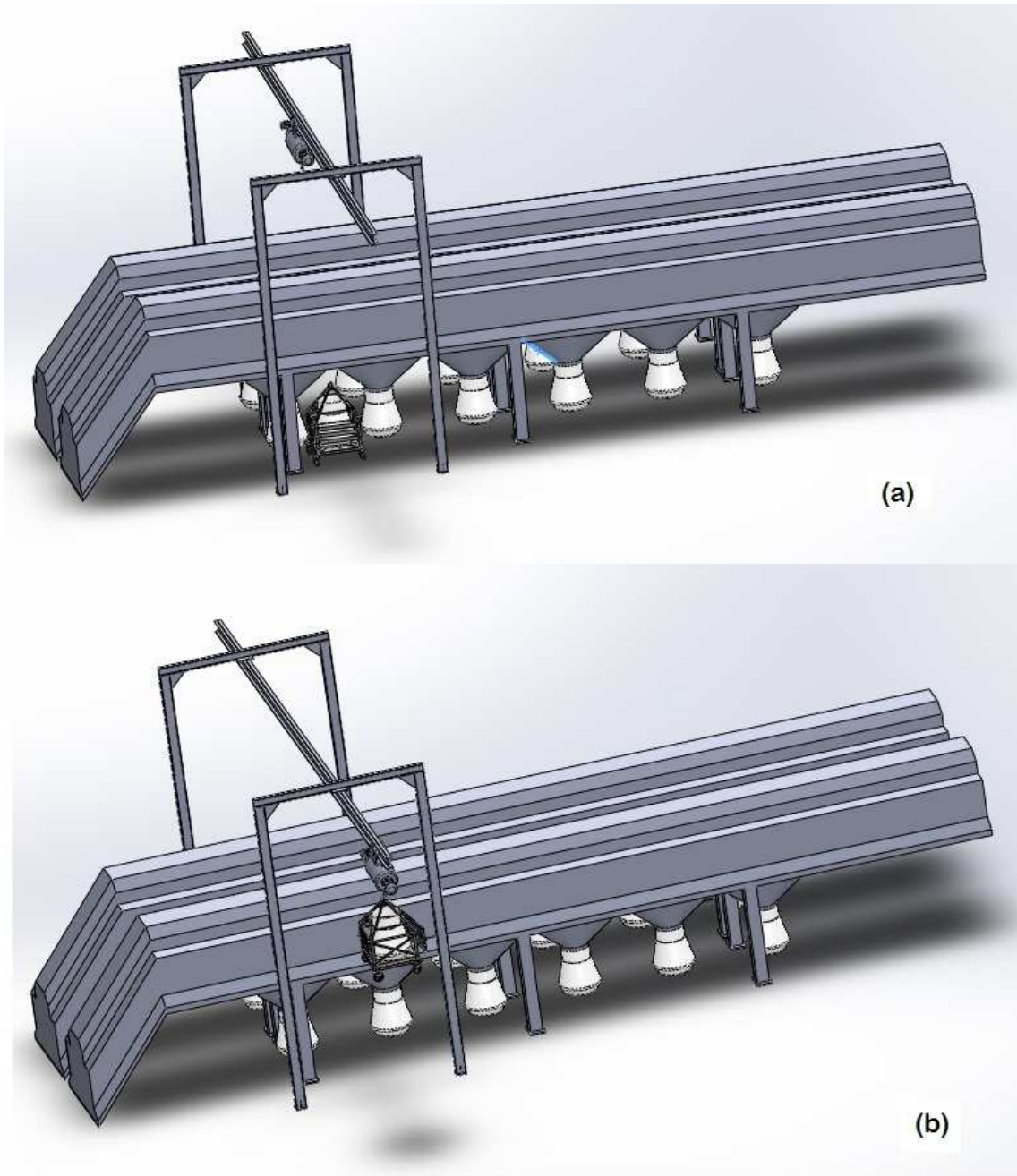


Figura 6.30 – Configuração do conjunto com a gaiola (a) em repouso e (b) sendo transportada.

A figura 6.30 (b) mostra a talha na sua posição limite. Nesta posição ela é capaz de descartar o compartimento de transporte com o produto nos pontos especificados na figura 6.21.

6.2 Avaliação ergonômica da solução apresentada

A partir da solução proposta no item anterior, uma nova análise ergonômica do posto será feita e comparada com a análise realizada no item 5.2.2. Além dos pontos abordados na última análise, que são o peso e a posição inicial da carga, a sua aplicação na equação de NIOSH, a postura do operador ao realizar a tarefa e a movimentação que ele realiza durante o transporte, o deslocamento do compartimento sobre a plataforma é uma tarefa complementar que também deverá ser considerada.

6.2.1 Deslocamento do compartimento sobre a plataforma

Conforme pode ser visto na figura 6.30, o compartimento pode ficar alocado nos espaços entre os bocais de amarração dos sacos plásticos. Contudo para recolher os sacos que se encontram ao longo da esteira é necessário deslocar o compartimento pela plataforma. Na condição mais extrema, em que o saco se encontra na outra extremidade da esteira, o operador deve percorrer uma distância de pouco mais de 5 metros (figura 6.31).

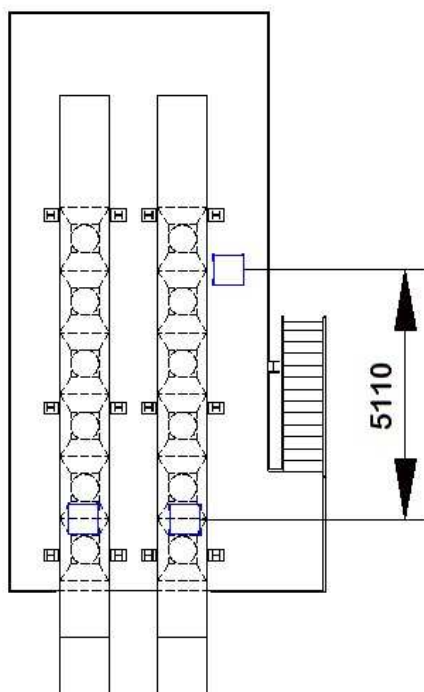


Figura 6.31 –Distância a ser percorrida pelo operador ao realizar o deslocamento do compartimento de transporte.

Durante este deslocamento, ele deve empurrar o compartimento com as mãos inclinando levemente o dorso para frente, os braços esticados para baixo e com as duas pernas em movimento, resultando em uma configuração 2-1-6 na tabela OWAS (anexo A). Por ele estar empurrando a carga de aproximadamente 35 kgf que se desloca com a ajuda de rodízios, o que facilita o movimento, este valor não precisa ser considerado na configuração OWAS chegando a um resultado 2-1-6-1.

Considerando uma jornada de trabalho de 8 horas, e que a tarefa de trocar todos os sacos dure até uma hora, o equivalente a 12,5% da jornada, esta configuração atinge um nível de criticidade 1 em relação ao tempo de duração da tarefa e atinge uma criticidade de nível 2 em relação à combinação das variáveis (anexo B), menores que aquelas encontradas no item 5.2.2.

Para retornar com o compartimento carregado com até 200 kgf, que é a sua capacidade máxima de carga, até a posição de transporte pela talha, o operador deve fazer o mesmo trajeto. Como a carga sendo empurrada pode chegar agora a até 235 kgf a configuração OWAS atinge um código 2-1-6-3 (anexo A). Contudo os níveis de criticidade da tarefa em relação ao tempo e à combinação de suas variáveis continuam sendo 1 e 2 respectivamente.

6.2.2 Substituição dos sacos de resíduos

Uma vez o compartimento posicionado, ele pode ser carregado com até quatro sacos plásticos de resíduos de 30 kgf cada. Para ilustrar um caso que exija mais do operador, será analisada uma troca com um saco plástico de cada vez.

- a) Posição inicial da carga – Assim como citado no item 5.2.2, o operador deve desconectar o saco de resíduos do bocal que está a uma altura de 700 mm da plataforma e deixa-lo na plataforma. Ali o objeto proporciona uma pega que está inicialmente a uma altura de 530 mm da plataforma e aproximadamente 270 mm do corpo do operador (figura 6.32a), e que para ser posicionado no compartimento de transporte é levantado até uma altura de 710 mm (figura 6.32b).

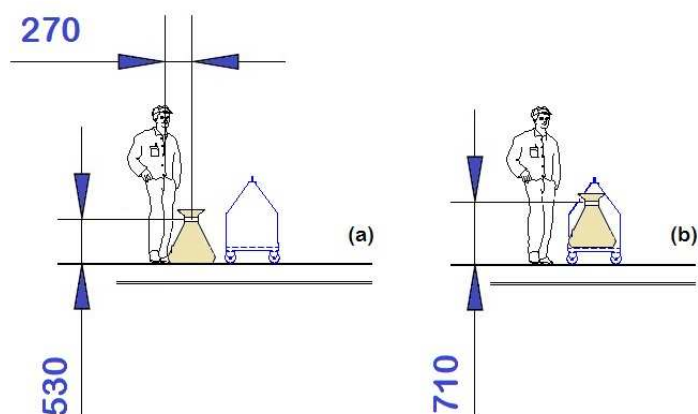


Figura 6.32 – Posição da pega utilizada pelo operador (a) na posição inicial e (b) após a colocação no compartimento de transporte.

- b) Aplicação da equação de NIOSH – A equação de NIOSH pode então ser mais uma vez aplicada para efeito de comparação com os seguintes valores, lembrando que as distâncias devem ser expressas em cm:

$$H' = 27 \text{ cm};$$

$$V' = 53 \text{ cm};$$

$$D' = 71 - 53 = 18 \text{ cm};$$

$$A' = 0^\circ, \text{ considerando não haver ângulo de assimetria no movimento};$$

$$F' = 1,0 \text{ (Anexo C)};$$

$$C' = 0,95, \text{ considerando a pega como média (Anexo D)}.$$

Tem-se então a equação:

$$CLR' = 23 \times (25/27) \times (1 - 0,003/|53 - 75|) \times (0,82 + 4,5/18) \times (1 - 0,0032 \times 0) \times 1,0 \times 0,95$$

$$CLR' = 21,64 \text{ kg} = 212,3 \text{ N} \text{ (19)}$$

A carga limite recomendável para esta nova situação é maior do que a encontrada para a situação anterior (item 5.2.2), porém está abaixo da massa a ser levantada. Contudo o movimento completo com esta carga é bem mais curto que o anterior.

- c) Postura do operador pelo sistema OWAS – A postura apresentada pelo operador continua sendo parecida com aquela da situação anterior. Porém, se o operador for orientado a manter o dorso reto ao invés de incliná-lo para pegar a carga, o nível de criticidade da postura cai para 1 (código 1-1-3-3 na tabela OWAS, anexos A e B).

- d) Avaliação do trajeto de transporte da carga – É importante ressaltar que com esta nova configuração, o único trajeto a ser efetuado pelo operador com alguma carga é aquele no item 6.2.1. Não é mais necessário percorrer os 27 metros de distância carregando até 30 kgf nas mãos, evitando assim uma tarefa demorada e ergonomicamente prejudicial ao operador. Em contrapartida, é necessário operar a talha com o compartimento de transporte até o seu ponto de descarte sobre o devido pallet.

Pode-se constatar que com a solução apresentada, a movimentação do operador com o material para descarte não é mais necessária, evitando assim um trajeto longo e perigoso com uma carga excessiva sendo transportada. A carga limite recomendada para o levantamento do plástico ao colocá-lo no compartimento para transporte continua sendo bem abaixo da carga real, porém o movimento completo para esta tarefa se torna bem mais breve com a nova solução. A postura para este levantamento também pode ser melhorada se o operador mantiver o seu dorso reto ao invés de incliná-lo.

6.3 Resultados esperados

Após a implantação desta solução, espera-se que o trabalhador tenha mais conforto e praticidade ao realizar a tarefa em questão. O objetivo é que desta forma o esforço realizado por ele seja reduzido, diminuindo o tempo no qual ele deva levantar e transportar a carga e que a sua postura para realizar estas atividades seja melhorada, de modo que a sua integridade física seja preservada.

Contudo, para realizar a troca desta nova forma, o operador deve saber operar a talha elétrica para posicionar o compartimento de transporte no ponto de descarte no piso abaixo da plataforma, o que requer uma qualificação suplementar do operador.

7 Conclusão

O presente trabalho veio apresentar os conceitos existentes na ciência da Ergonomia com o objetivo de integrá-los aos conhecimentos e aplicações da Engenharia Mecânica no que diz respeito ao dimensionamento de projetos, máquinas e postos de trabalho.

Um dispositivo simples foi desenvolvido com o intuito de colaborar para o conforto físico do indivíduo, gerando um potencial aumento de produtividade e agindo preventivamente contra possíveis lesões musculares no futuro que, além de obviamente danosas ao próprio, geram prejuízos financeiros à empresa em caso de afastamento.

7.1 Desenvolvimento da solução

O posto de trabalho escolhido apresentava uma condição ergonômica relevantemente desfavorável, conforme descrito no capítulo em questão. A proposta de encontrar uma solução para o problema ergonômico foi norteadada pela possibilidade de utilizar conceitos em dimensionamento de equipamentos mecânicos.

O desenvolvimento da solução de Engenharia apresentada foi realizado com base nos conhecimentos adquiridos em modelagem computacional e mecânica dos sólidos.

As estruturas envolvidas foram dimensionadas utilizando-se um fator de segurança de 3, gerando assim uma garantia de que elas não estariam suscetíveis a falhas indesejadas, assim como a simulação realizada com a ajuda de um modelo computacional.

A talha elétrica também foi selecionada de forma a se ter uma segurança em relação à carga a ser transportada.

Contudo, alguns pontos que fugiram do escopo deste trabalho, mas que poderiam facilmente ter sido tratados no projeto são o dimensionamento de um armário elétrico para a alimentação da talha, a colocação de dispositivos de segurança no posto para se evitar acidentes durante a operação e os custos inerentes à implantação deste dispositivo.

Um estudo dos ganhos financeiros gerados pela modificação e em quanto tempo eles pagariam a sua implantação também seria uma abordagem interessante, porém seria necessária outra análise mais aprofundada.

7.2 Resultados obtidos

Após a implantação da proposta de melhoria, a condição ergonômica apresentada pelo posto seria mais favorável.

A tarefa que teve de ser adicionada após a modificação é o deslocamento do compartimento pela plataforma, que apresenta um grau de criticidade médio na avaliação da postura desenvolvida pelo operador durante esta atividade. Porém é importante ressaltar que esta tarefa substitui o transporte manual do saco plástico de aproximadamente 30 kgf por 5 metros de distância.

Durante o manuseio dos sacos com resíduos para carregar o compartimento de transporte, a CLR cresce em relação à condição anterior para aproximadamente 22 kgf, porém ainda está abaixo da carga real de 30 kgf, mas o movimento completo com esta carga é mais curto que o anterior, o que atenua o esforço realizado pelo operador.

A postura realizada durante este manuseio também é melhorada e o seu grau de criticidade se torna baixo, se o operador levar em conta a orientação de manter o dorso reto durante a operação.

O trajeto de 27 metros manuseando os sacos plásticos é dispensado, porém se torna necessária a operação da talha para deslocar o compartimento de transporte até o ponto de descarte, sendo necessária a qualificação do mesmo para isso.

Sendo assim, fica evidente a melhora no aspecto físico da realização da tarefa pelo operador.

Contudo, vale ressaltar que aspectos intangíveis que colaboram para o aumento na qualidade de vida do operador também são indiretamente obtidos com a implantação da melhoria ergonômica.

Com o ganho em conforto na realização da tarefa, ele se sente menos cansado, o que diminui o risco de acidentes. Outro fator que diminui o risco de acidentes é o fato do trajeto a ser percorrido ser menor. Além disso, estando menos cansado a qualidade de seu sono durante a noite aumenta, podendo exercer as suas atividades no dia seguinte mais bem disposto e atento.

Além disso, a implementação desta solução permite que o operador tenha mais tempo para a execução de tarefas que exijam mais atenção da sua parte, diminuindo assim o nível de estresse a ele submetido.

7.3 Considerações finais

Mais do que realizar uma proposição de algumas melhorias para um posto de trabalho na indústria, o presente trabalho vem chamar a atenção para uma condição a ser cada vez mais levada em conta nas empresas.

O conforto, não apenas físico, mas também psicológico e cognitivo do trabalhador é um objetivo que não deve ser apenas o escopo da Ergonomia como uma ciência aplicada, mas também deve estar embutido na concepção de novos postos de trabalho e organizações institucionais, assim como a preocupação com o bem-estar de quem trabalha conosco deve nos intuir a realizar uma permanente análise ergonômica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] JOSÉ, R., *Ergonomia*. Disponível em: <<http://www.ruijose.com/pt/ergonomia.html>> Acesso em 04 de Março de 2012.
- [2] ERGONOMIA, *Conceitos, Origens, Cronologia*. Disponível em: <<http://www.ergonomia.com.br>> Acesso em 26 de Março de 2012.
- [3] INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION – IEA, *What is ergonomics*. Disponível em: <<http://www.iea.cc>> Acesso em 26 de Março de 2012.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA – ABERGO, *O que é Ergonomia*. Disponível em: <<http://www.abergo.org.br>> Acesso em 26 de Março de 2012.
- [5] THE BRITISH MEDICAL JOURNAL, *Health of Munition Workers Comitee*. Edição de 11 de Dezembro de 1915.
- [6] PIZO, C. A. e MENEGON, N. L., “Análise ergonômica do trabalho e reconhecimento científico do conhecimento gerado”. *Revista Produção*, 4º trimestre de 2010.
- [7] IIDA, I., *Ergonomia. Projeto e Produção*. 2ª Edição. São Paulo. Editora Edgar Blücher, 2005.
- [8] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, *NR17 – Ergonomia*. Publicada em 06 de julho de 1978.
- [9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Disponível em: <<http://www.iso.org>> Acesso em 26 de Março de 2012.
- [10] SANTOS, R. e FUJÃO, C., *Antropometria*. Curso de pós-graduação em Técnico Superior de HST da Universidade de Évora. Fevereiro de 2003.
- [11] RODACKI, A. L. F., *Análise dos fatores antropométricos em Biomecânica*. Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná.
- [12] GODOLPHIM, B. H., GODOLPHIM, B. F. e HUNING, S., “Proposta de cefalograma circular para estudo longitudinal de crescimento”. *Revista da Sociedade Paulista de Ortodontia* – Volume 28 – N1 – Janeiro a Abril de 1995
- [13] SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA, *Manual de Segurança e Saúdeno Trabalho – Indústria Gráfica*. São Paulo. SESI, 2006.
- [14] IMEXLA, Catálogo de produtos, Máquina de impressão flexográfica tipo Stack. Disponível em: <<http://www.imexla.com.br/asp/maquinas02.asp?idmaq=789>> Acesso em 17 de Novembro de 2012.
- [15] SHYGLEY, J.E., MISCHKE, C.R., BUDYNAS, R.G., *Projeto de Engenharia Mecânica*, 7ª Edição. Porto Alegre. Editora Bookman, 2008.

[16] ICOMPLAST, Poliuretano. Disponível em:

<<http://www.incomplast.com.br/materiais/poliu.htm>> Acesso em 23 de Junho de 2013.

[17] SANSEI, Talha elétrica de cabo de aço 01 velocidade. Disponível em:

<<http://www.talhaselétricas.net/index.php/talhas-de-cabo-sansei>> Acesso em 30 de Maio de 2013.

[18] LODESTAR, Tabela de dimensões - Lodestar XL por trole elétrico. Disponível em:

<http://www.cmdobrasil.com.br/talhas_lodestar_xl.html> Acesso em 30 de junho de 2013.

[19] AÇOS GLOBO, Tabela de vigas de perfil “I” padrão americano. Disponível em:

<http://www.acosglobo.com.br/pdf/perfil_i_padrao_americano.pdf> Acesso em 30 de junho de 2013.

[20] UFPR. PET CIVIL, *Curso de estruturas metálicas*, Sumário, Dimensionamento, Peças

comprimidas. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/metálicas/>> Acesso em 30 de junho de 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL

Propriedades do perfil escolhido (Tabela 6.7):

Tabela 6.7 – Propriedades do perfil da viga principal.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	152,4
Largura das abas - b (mm)	90,55
Espessura da alma - t (mm)	11,81
Área bruta - A (mm ²)	3660,00
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	1,270 x 10 ⁻⁵
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	76,20
Peso linear - p (N/m)	251,8

Diagrama de corpo livre (Figura 6.24):

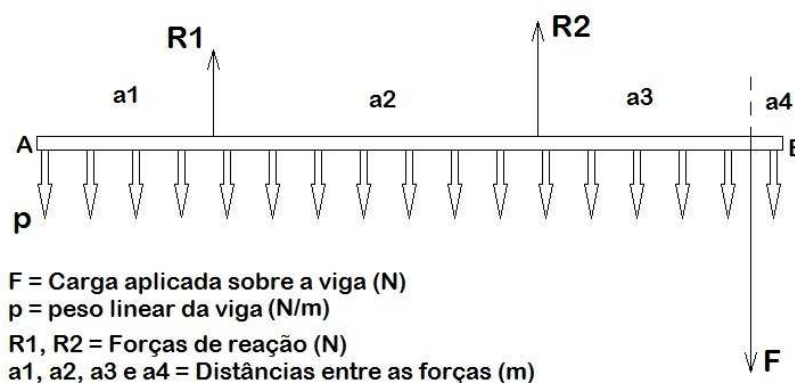


Figura 6.24 – Diagrama de corpo livre da viga principal.

Parâmetros utilizados (Tabela 6.8):

Tabela 6.8 – Valores dos parâmetros do DCL da viga principal.

Parâmetro	Valor
F (N)	4002
Comprimento total - L (m)	9,04
a1 (m)	1,41
a2 (m)	5,00
a3 (m)	2,39
a4 (m)	0,24

A.1 Cálculo das forças de reação (R1 e R2):

$$(\Sigma F_y = 0)$$

$$R1 + R2 = F + p \cdot L \quad (\text{A.1})$$

$$(\Sigma M_B = 0)$$

$$R1 \cdot (a2 + a3 + a4) + R2(a3 + a4) = p \cdot \frac{L^2}{2} + F \cdot a4 \quad (\text{A.2})$$

Ora,

$$R2 = F + p \cdot L - R1 \quad (\text{A.3})$$

$$R1 \cdot (a2 + a3 + a4) + (F + p \cdot L - R1) \cdot (a3 + a4) = p \cdot \frac{L^2}{2} + F \cdot a4$$

$$R1 = \frac{1}{a2} \left[p \cdot \frac{L^2}{2} + F \cdot a4 - (F + p \cdot L) \cdot (a3 + a4) \right] \quad (\text{A.4})$$

Substituindo os valores dos parâmetros da tabela 6.8 nas equações A.4 e A.3 tem-se, respectivamente:

$$R1 = -1\,052\,N \quad (\text{A.5})$$

e

$$R2 = 7\,331\,N \quad (\text{A.6})$$

A.2 Cálculo de Esforço Cortante (V), ($\Sigma F_y = 0$):

Para $0 < x < a1$:

$$V = p \cdot x \quad (\text{A.7})$$

Quando $x = 0$,

$$V = 0\,N \quad (\text{A.8})$$

Quando $x = a1$,

$$V = 355,1\,N \quad (\text{A.9})$$

Para $a1 < x < a1 + a2$:

$$V = p \cdot x - R1 \quad (\text{A.10})$$

Quando $x = a1$,

$$V = 1\,408\,N \quad (\text{A.11})$$

Quando $x = a_1 + a_2$,

$$V = 2\,667\text{ N} \quad (\text{A.12})$$

Para $a_1 + a_2 < x < a_1 + a_2 + a_3$:

$$V = p \cdot x - R_1 - R_2 \quad (\text{A.13})$$

Quando $x = a_1 + a_2$,

$$V = -4\,664\text{ N} \quad (\text{A.14})$$

Quando $x = a_1 + a_2 + a_3$,

$$V = -4\,062\text{ N} \quad (\text{A.15})$$

Para $a_1 + a_2 + a_3 < x < L$:

$$V = p \cdot x - R_1 - R_2 + F \quad (\text{A.16})$$

Quando $x = a_1 + a_2 + a_3$,

$$V = -60,44\text{ N} \quad (\text{A.17})$$

Quando $x = L$,

$$V = 0\text{ N} \quad (\text{A.18})$$

A figura A.1 mostra o diagrama de Esforço cortante para esta viga:

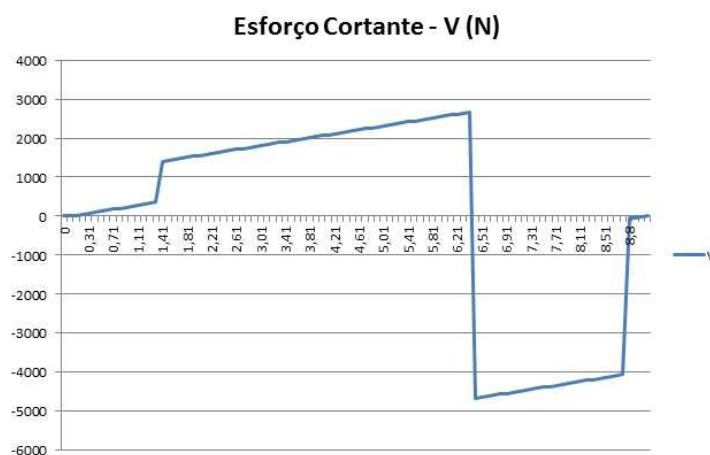


Figura A.1 – Diagrama de Esforço Cortante na viga principal.

A.3 Cálculo de Momento Fletor (M_b), ($\Sigma M_z = 0$):

Para $0 < x < a_1$:

$$M_b = -p \cdot \frac{x^2}{2} \quad (\text{A.19})$$

Quando $x = 0$,

$$M_b = 0 \text{ N.m} \quad (\text{A.20})$$

Quando $x = a_1$,

$$M_b = -250,3 \text{ N.m} \quad (\text{A.21})$$

Para $a_1 < x < a_1 + a_2$:

$$M_b = R_1 \cdot (x - a_1) - p \cdot \frac{x^2}{2} \quad (\text{A.22})$$

Quando $x = a_1$,

$$M_b = -250,3 \text{ N.m} \quad (\text{A.23})$$

Quando $x = a_1 + a_2$,

$$M_b = -10\,436 \text{ N.m} \quad (\text{A.24})$$

Para $a_1 + a_2 < x < a_1 + a_2 + a_3$:

$$M_b = R_1 \cdot (x - a_1) + R_2 \cdot (x - a_1 - a_2) - p \cdot \frac{x^2}{2} \quad (\text{A.25})$$

Quando $x = a_1 + a_2$,

$$M_b = -10\,436 \text{ N.m} \quad (\text{A.26})$$

Quando $x = a_1 + a_2 + a_3$,

$$M_b = -7,252 \text{ N.m} \quad (\text{A.27})$$

Para $a_1 + a_2 + a_3 < x < L$:

$$M_b = R_1 \cdot (x - a_1) + R_2 \cdot (x - a_1 - a_2) - p \cdot \frac{x^2}{2} - F \cdot (x - a_1 - a_2 - a_3) \quad (\text{A.28})$$

Quando $x = a_1 + a_2 + a_3$,

$$M_b = -7,252 \text{ N.m} \quad (\text{A.29})$$

Quando $x = L$,

$$M_b = 0 \text{ N.m} \quad (\text{A.30})$$

A figura A.2 mostra o diagrama de Momento Fletor para a viga principal:

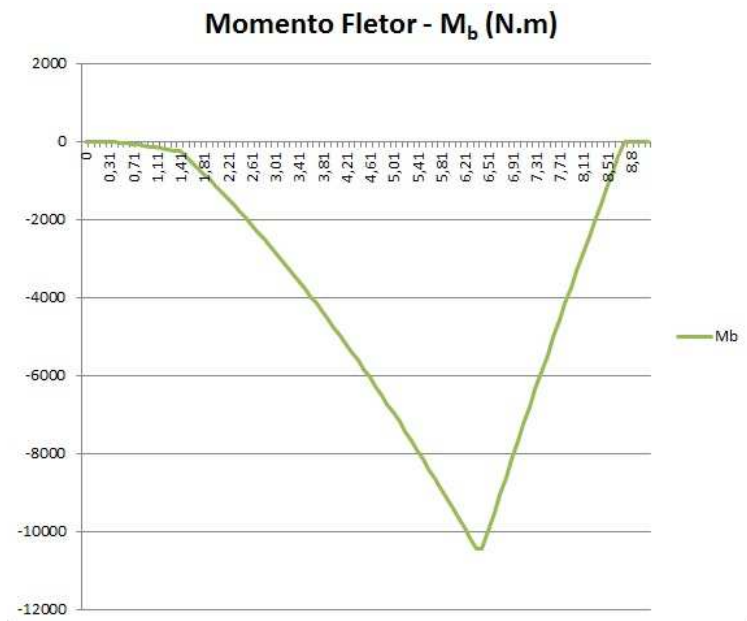


Figura A.2 – Diagrama de Momento Fletor para a viga principal.

De acordo com os resultados acima, observa-se que o valor absoluto máximo do Esforço Cortante é de:

$$|V_{m\acute{a}x}| = 4\,664\,N \quad (\text{A.31})$$

E do Momento Fletor é de:

$$|M_b{}_{m\acute{a}x}| = 10\,436\,N.m \quad (\text{A.32})$$

A.4 Cálculo do Momento de Inércia do perfil:

a) Determinação das alturas dos centros de gravidade dos diferentes elementos do perfil da viga, conforme figura A.3:

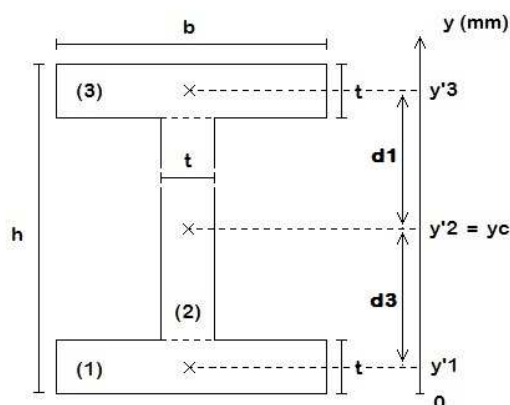


Figura A.3 – Esquema com a posição dos centros de gravidade do perfil da viga principal.

Desta forma, tem-se:

$$y'1 = \frac{t}{2} \quad (\text{A.33})$$

$$y'2 = \frac{h}{2} \quad (\text{A.34})$$

$$y'3 = yc = h - \frac{t}{2} \quad (\text{A.35})$$

$$d1 = d3 = \frac{h-t}{2} \quad (\text{A.36})$$

$$d2 = 0 \quad (\text{A.37})$$

Substituindo os valores das propriedades do perfil da tabela 6.7 nas equações acima, tem-se:

$$y'1 = 5,905 \text{ mm} \quad (\text{A.38})$$

$$y'2 = 76,20 \text{ mm} \quad (\text{A.39})$$

$$y'3 = yc = 146,5 \text{ mm} \quad (\text{A.40})$$

$$d1 = d3 = 70,30 \text{ mm} \quad (\text{A.41})$$

$$d2 = 0,0 \text{ mm} \quad (\text{A.42})$$

b) Determinando as áreas dos diferentes elementos do perfil:

$$A_1 = A_3 = b \cdot t \quad (\text{A.43})$$

$$A_2 = t \cdot (h - 2t) \quad (\text{A.44})$$

Substituindo os valores da tabela 6.7, tem-se:

$$A_1 = A_3 = 1\,069 \text{ mm}^2 \quad (\text{A.45})$$

$$A_2 = 1\,521 \text{ mm}^2 \quad (\text{A.46})$$

c) Determinação dos momentos de inércia dos diferentes elementos:

$$I_1 = I_3 = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (\text{A.47})$$

$$I_2 = \frac{t \cdot (h - 2t)^3}{12} \quad (\text{A.48})$$

Substituindo os valores da tabela 6.7, tem-se:

$$I_1 = I_3 = 1,243 \times 10^4 \text{ mm}^4 \quad (\text{A.49})$$

$$I_2 = 2,102 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{A.50})$$

O momento de inércia do perfil fica da seguinte forma:

$$I_{zz} = I_1 + d1^2 \cdot A_1 + I_2 + d2^2 \cdot A_2 + I_3 + d3^2 \cdot A_3 \quad (\text{A.51})$$

Substituindo os valores encontrados na equação acima, tem-se:

$$I_{zz} = 1,270 \times 10^7 \text{ mm}^4 \quad (\text{A.52})$$

A.5 Determinação da tensão admissível

Levando em conta a tensão de escoamento do aço:

$$\sigma_{y \text{ aço}} = 210 \text{ MPa} \quad (\text{A.53})$$

A tensão admissível é então dependente do Fator de Segurança escolhido. Estabelecendo um Fator de Segurança igual a 3, tem-se:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{y \text{ aço}}}{FS} \quad (\text{A.54})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{210 \text{ MPa}}{3} = 70 \text{ MPa} \quad (\text{A.55})$$

Na condição tratada nesta análise, a tensão aplicada por tração sobre o perfil da viga é:

$$\sigma_x = -\frac{M_{b,yc}}{I_{zz}} \quad (\text{A.56})$$

$$\sigma_x = -\frac{10\,436\text{ N.m} \times 76,20 \times 10^{-3}\text{ m}}{1,270 \times 10^{-5}\text{ m}^4} = 62,64\text{ MPa} \quad (\text{A.57})$$

Resultados para o dimensionamento da viga principal (tabela 6.9):

Tabela 6.9 – Resultados para dimensionamento da viga principal.

Forças de Reação	
R1 (N)	-1052
R2 (N)	7331
Esforço cortante e momento fletor	
Máximo Esforço Cortante V (N), para x = 6,41m	-4664
Máximo Momento Fletor M _b (N.m), para x = 6,41m	-10436
Tensão admissível	
Tensão de escoamento - σ_y (MPa)	210
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível - σ_{adm} (MPa)	70
Tensão aplicada - $\sigma = -(M_{b,yc})/I_{zz}$	
Tensão aplicada - σ (MPa)	62,64

A tensão aplicada sobre o perfil é inferior à tensão admissível. Portanto, o perfil selecionado é adequado para o dimensionamento.

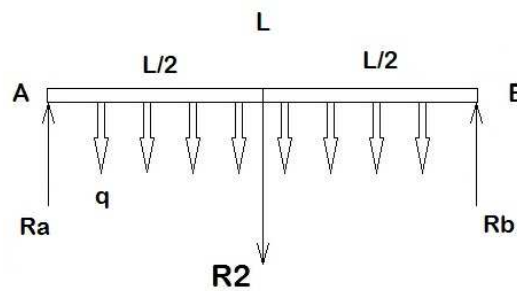
APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS INTERMEDIÁRIAS

Propriedades do perfil escolhido (Tabela 6.10):

Tabela 6.10 – Propriedades do perfil da viga intermediária.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	101,6
Largura das abas - b (mm)	66,68
Espessura da alma - t (mm)	8,28
Área bruta - A (mm ²)	1880,22
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	2,992 x 10 ⁻⁶
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	50,80
Peso linear - q (N/m)	138,7

Diagrama de corpo livre (Figura 6.26):



R2 = Carga aplicada sobre a viga (N)
 q = peso linear da viga (N/m)
 Ra, Rb = Forças de reação (N)
 L = Comprimento da viga (m)

Figura 6.26 – Diagrama de corpo livre da viga intermediária.

Parâmetros utilizados (Tabela B.1):

Tabela B.1 – Valores dos parâmetros do DCL da viga intermediária.

Parâmetro	Valor
R2 (N)	7331
Comprimento total - L (m)	2,13

B.1 Cálculo das forças de reação (Ra e Rb):

$$(\Sigma F_y = 0)$$

$$R_a + R_b = R_2 + q \cdot L \quad (\text{B.1})$$

$$(\Sigma M_A = 0)$$

$$R_b \cdot L = q \cdot \frac{L^2}{2} + \frac{L}{2} \cdot R_2 \quad (\text{B.2})$$

$$R_b = \frac{1}{2}(q \cdot L + R_2) \quad (\text{B.3})$$

Considerando as equações B.1 e B.3, tem-se:

$$R_a + R_b = R_2 + q \cdot L = 2 \cdot \left[\frac{1}{2}(q \cdot L + R_2) \right] = 2 \cdot R_b \quad (\text{B.4})$$

Logo,

$$R_a = R_b \quad (\text{B.5})$$

Substituindo os valores dos parâmetros da tabela B.1 na equação B.3 tem-se:

$$R_a = R_b = 3813 \text{ N} \quad (\text{B.6})$$

B.2 Cálculo de Esforço Cortante (V), ($\Sigma F_y = 0$):

Para $0 < x < L/2$:

$$V = q \cdot x - R_a \quad (\text{B.7})$$

Quando $x = 0$,

$$V = -3813 \text{ N} \quad (\text{B.8})$$

Quando $x = L/2$,

$$V = -3666 \text{ N} \quad (\text{B.9})$$

Para $L/2 < x < L$:

$$V = q \cdot x - R_a + R_2 \quad (\text{B.10})$$

Quando $x = L/2$,

$$V = 3666 \text{ N} \quad (\text{B.11})$$

Quando $x = L$,

$$V = 3\,813\text{ N} \quad (\text{B.12})$$

A figura B.1 mostra o diagrama de Esforço cortante para esta viga:

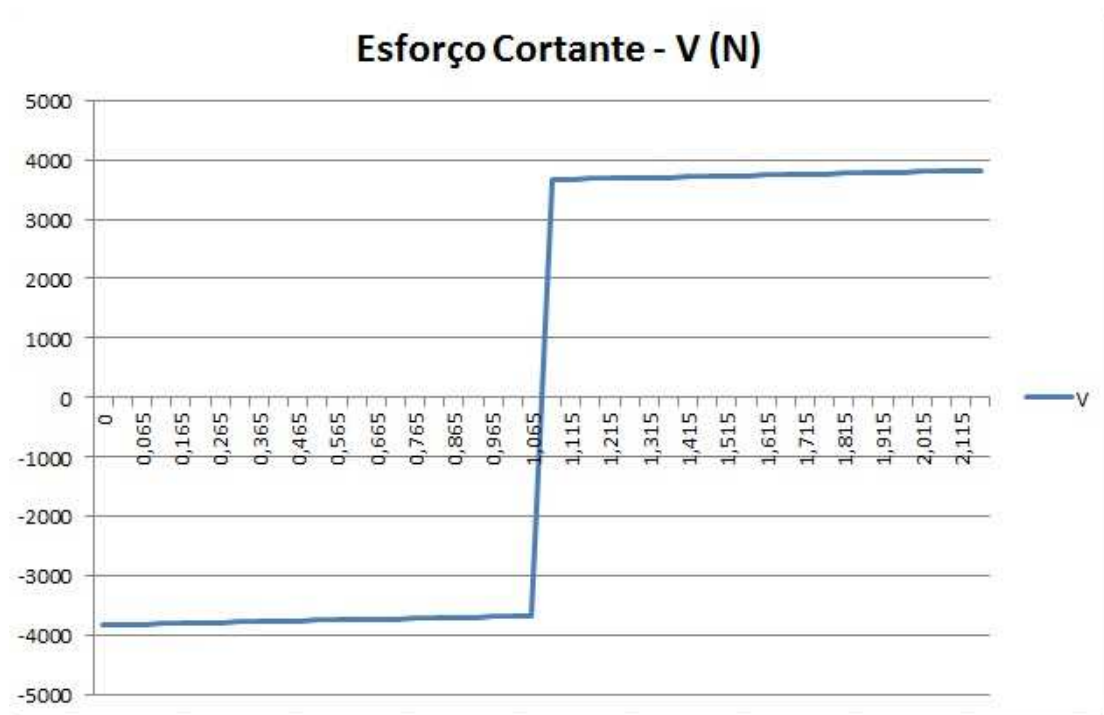


Figura B.1 – Diagrama de Esforço Cortante nas vigas intermediárias.

B.3 Cálculo de Momento Fletor (M_b), ($\Sigma M_z = 0$):

Para $0 < x < L/2$:

$$M_b = x \cdot (Ra - q \cdot \frac{x}{2}) \quad (\text{B.13})$$

Quando $x = 0$,

$$M_b = 0\text{ N.m} \quad (\text{B.14})$$

Quando $x = L/2$,

$$M_b = 3\,982\text{ N.m} \quad (\text{B.15})$$

Para $L/2 < x < L$:

$$M_b = x \cdot (Ra - q \cdot \frac{x}{2} - R2) + R2 \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{B.16})$$

Quando $x = L/2$,

$$M_b = 3\,982 \text{ N.m} \quad (\text{B.17})$$

Quando $x = L$,

$$M_b = 0 \text{ N.m} \quad (\text{B.18})$$

A figura B.2 mostra o diagrama de Momento Fletor para a viga principal:

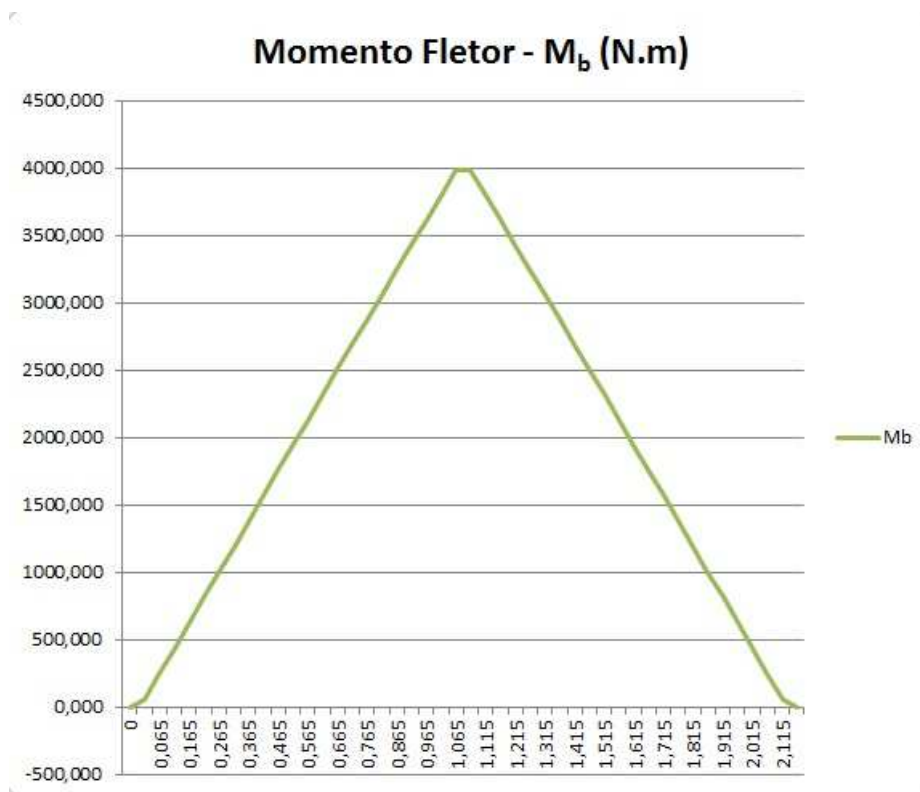


Figura B.2 – Diagrama de Momento Fletor para as vigas intermediárias.

De acordo com os resultados acima apresentados, observa-se que o valor absoluto máximo do Esforço Cortante é de:

$$|V_{máx}| = 3\,813 \text{ N} \quad (\text{B.19})$$

E do Momento Fletor é de:

$$|M_b, máx}| = 3\,982 \text{ N.m} \quad (\text{B.20})$$

B.4 Cálculo do Momento de Inércia do perfil:

a) Determinação das alturas dos centros de gravidade dos diferentes elementos do perfil da viga, conforme figura B.3:

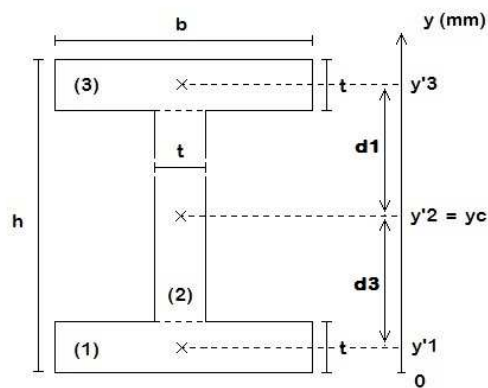


Figura B.3 – Esquema com a posição dos centros de gravidade do perfil da viga intermediária.

Desta forma, tem-se:

$$y'1 = \frac{t}{2} \quad (\text{B.21})$$

$$y'2 = \frac{h}{2} \quad (\text{B.22})$$

$$y'3 = yc = h - \frac{t}{2} \quad (\text{B.23})$$

$$d1 = d3 = \frac{h-t}{2} \quad (\text{B.24})$$

$$d2 = 0 \quad (\text{B.25})$$

Substituindo os valores das propriedades do perfil da tabela 6.10 nas equações acima, tem-se:

$$y'1 = 4,140 \text{ mm} \quad (\text{B.26})$$

$$y'2 = yc = 50,80 \text{ mm} \quad (\text{B.27})$$

$$y'3 = 97,46 \text{ mm} \quad (\text{B.28})$$

$$d1 = d3 = 48,66 \text{ mm} \quad (\text{B.29})$$

$$d2 = 0,0 \text{ mm} \quad (\text{B.30})$$

b) Determinando as áreas dos diferentes elementos do perfil:

$$A_1 = A_3 = b \cdot t \quad (\text{B.31})$$

$$A_2 = t \cdot (h - 2t) \quad (\text{B.32})$$

Substituindo os valores da tabela 6.10, tem-se:

$$A_1 = A_3 = 588,0 \text{ mm}^2 \quad (\text{B.33})$$

$$A_2 = 704,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{B.34})$$

c) Determinação dos momentos de inércia dos diferentes elementos:

$$I_1 = I_3 = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (\text{B.35})$$

$$I_2 = \frac{t \cdot (h - 2t)^3}{12} \quad (\text{B.36})$$

Substituindo os valores da tabela 6.10, tem-se:

$$I_1 = I_3 = 3\,360 \text{ mm}^4 \quad (\text{B.37})$$

$$I_2 = 4,243 \times 10^5 \text{ mm}^4 \quad (\text{B.38})$$

O momento de inércia do perfil fica da seguinte forma:

$$I_{zz} = I_1 + d1^2 \cdot A_1 + I_2 + d2^2 \cdot A_2 + I_3 + d3^2 \cdot A_3 \quad (\text{B.39})$$

Substituindo os valores encontrados na equação acima, tem-se:

$$I_{zz} = 2,992 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{B.40})$$

B.5 Determinação da tensão admissível

Levando em conta a tensão de escoamento do aço:

$$\sigma_{y \text{ aço}} = 210 \text{ MPa} \quad (\text{B.41})$$

A tensão admissível é então dependente do Fator de Segurança escolhido. Estabelecendo um Fator de Segurança igual a 3, tem-se:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{y \text{ aço}}}{FS} \quad (\text{B.42})$$

$$\sigma_{adm} = \frac{210 \text{ MPa}}{3} = 70 \text{ MPa} \quad (\text{B.43})$$

Na condição tratada nesta análise, a tensão aplicada por tração sobre o perfil da viga é:

$$\sigma_x = -\frac{M_{b,yc}}{I_{zz}} \quad (\text{B.44})$$

$$\sigma_x = -\frac{3\,982\text{ N.m} \times 50,80 \times 10^{-3}\text{ m}}{2,992 \times 10^{-6}\text{ m}^4} = 67,63\text{ MPa} \quad (\text{B.45})$$

Resultados para o dimensionamento da viga intermediária (tabela 6.11):

Tabela 6.11 – Resultados para dimensionamento da viga intermediária.

Forças de Reação	
Ra (N)	3813
Rb (N)	3813
Esforço cortante e momento fletor	
Máximo Esforço Cortante V (N), para x = L/2	3813
Máximo Momento Fletor Mb (N.m), para x = 6,41m	3982
Tensão admissível	
Tensão de escoamento - σ_y (MPa)	210
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível - σ_{adm} (MPa)	70
Tensão aplicada - $\sigma = -(M_{b,yc})/I_{zz}$	
Tensão aplicada - σ (MPa)	67,63

A tensão aplicada sobre o perfil é inferior à tensão admissível. Portanto, o perfil selecionado é adequado para o dimensionamento.

APÊNDICE C – MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DE APOIO

Propriedades do perfil escolhido (Tabela 6.12):

Tabela 6.12 – Propriedades do perfil da viga de apoio.

Propriedade	Valor
Altura - h (mm)	127,0
Largura das abas - b (mm)	76,2
Espessura da alma - t (mm)	5,33
Área bruta - A (mm ²)	1432,00
Momento de Inércia - I _{zz} (m ⁴)	3,708 x 10 ⁻⁶
Altura do Centro de Gravidade - y _c (mm)	63,50
Peso linear - q (N/m)	146

Diagrama de corpo livre (Figura 6.28):

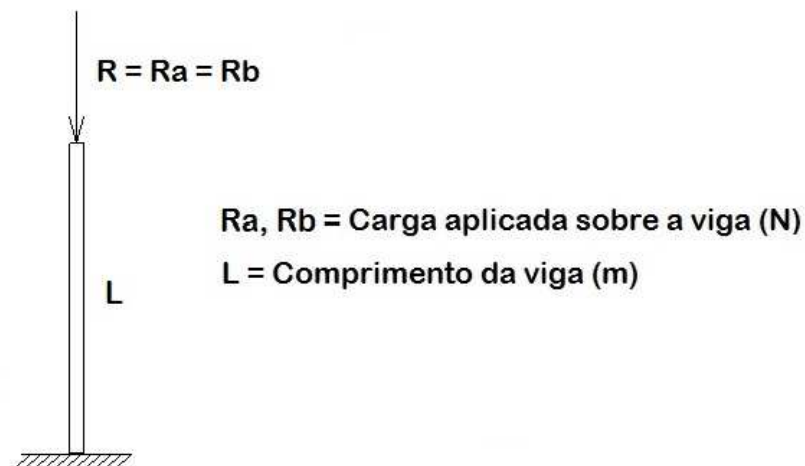


Figura 6.28 – Diagrama de corpo livre da viga de apoio.

Parâmetros utilizados (Tabela C.1):

Tabela C.1 – Valores dos parâmetros do DCL e do dimensionamento da viga de apoio.

Parâmetro	Valor
R2 (N)	3813
Comprimento total - L (m)	4,21
σ_y (MPa)	210
E (GPa)	205

Este dimensionamento é baseado no cálculo de vigas comprimidas fornecido pelo curso de estruturas metálicas do departamento de Engenharia Civil da UFPR [20].

A força de resistência à compressão é dada por:

$$R_d = 0.9R_{nc} \quad (C.1)$$

Onde,

$$R_{nc} = \rho Q A_y \sigma_y \quad (C.2)$$

C.1 Análise de elementos Não-Enrijecidos (Q_s)

Os elementos não enrijecidos deste perfil são as seções das mesas da viga (Caso 4 - Mesa de perfis I, H, T - Figura C.1) [20], que são assim considerados por terem as suas extremidades livres.

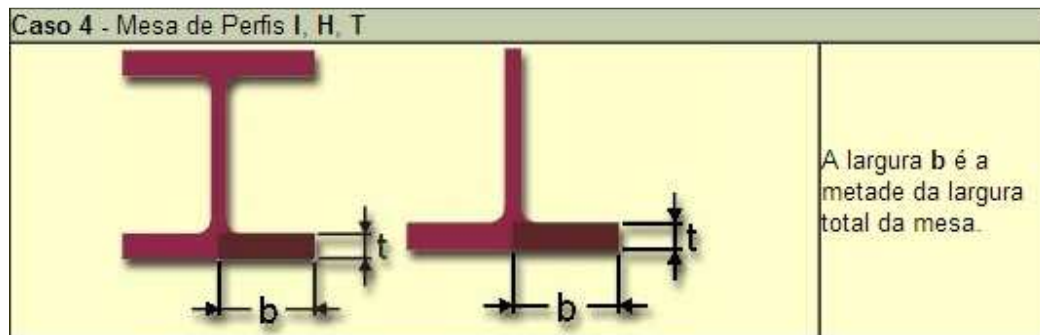


Figura C.1 – Elementos não-enrijecidos, caso 4: Mesa de perfis I, H e T [20].

Onde:

$$p = 0,55 \quad (C.3)$$

$$q = 1,02 \quad (C.4)$$

$$A = 1,42 \quad (C.5)$$

$$B = 0,76 \quad (C.6)$$

$$C = 0,67 \quad (C.7)$$

$$b' = \frac{b}{2} = 38,10 \text{ mm} \quad (C.8)$$

Tem-se então:

$$\lambda = \frac{b'}{t} \quad (C.9)$$

$$\lambda_p = p \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (C.10)$$

$$\lambda_r = q \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (C.11)$$

O que resulta em:

$$\lambda = 7,148 \quad (\text{C.12})$$

$$\lambda_p = 17,18 \quad (\text{C.13})$$

$$\lambda_r = 31,87 \quad (\text{C.14})$$

Ora, como $\lambda \leq \lambda_p$, então:

$$Q_s = 1 \quad (\text{C.15})$$

C.2 Análise de elementos Enrijecidos (Q_A)

Neste caso, o elemento enrijecido do perfil é a seção da alma da viga (Caso 3 – Alma de perfis laminados ou soldados – Figura C.2) [20], que tem as suas duas extremidades soldadas às mesas.

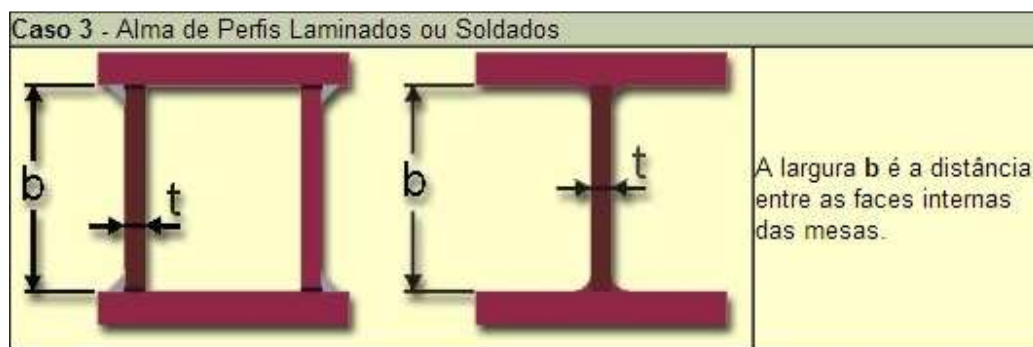


Figura C.2 - Elementos enrijecidos, caso 3: Alma de perfis laminados ou soldados [20].

A tensão equivalente aplicada sobre este elemento é dada por:

$$\sigma = 0,9 \cdot \sigma_y \cdot Q_s \quad (\text{C.16})$$

Nesta análise são utilizados os seguintes parâmetros:

$$p = 1,47 \quad (\text{C.17})$$

$$A = 252 \quad (\text{C.18})$$

$$B = 44,3 \quad (\text{C.19})$$

$$b'' = h - 2t = 116,3 \text{ mm} \quad (\text{C.20})$$

a) Cálculo da largura efetiva b_{ef} :

Tem-se:

$$\lambda = \frac{b''}{t} \quad (\text{C.21})$$

$$\lambda_p = p \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}} \quad (\text{C.22})$$

O que resulta em:

$$\lambda = 21,83 \quad (\text{C.23})$$

$$\lambda_p = 45,93 \quad (\text{C.24})$$

E como $\lambda \leq \lambda_p$, tem-se o resultado:

$$\frac{b_{ef}}{t} = \lambda \quad (\text{C.25})$$

Logo,

$$b_{ef} = b'' \quad (\text{C.26})$$

$$b_{ef} = 116,3 \text{ mm} \quad (\text{C.27})$$

b) Cálculo da área efetiva A_{ef} do elemento enrijecido:

A área do elemento enrijecido A_A é dada por:

$$A_A = b'' \cdot t \quad (\text{C.28})$$

E a área efetiva A_{ef} é dada por:

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot t \quad (\text{C.29})$$

Então, a partir da equação (C.26), tem-se:

$$A_A = A_{ef} = 620,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.30})$$

O coeficiente Q_A é então relacionado por:

$$Q_A = \frac{A_{ef}}{A_A} \quad (\text{C.31})$$

$$Q_A = 1 \quad (\text{C.32})$$

C.3 Cálculo do coeficiente Q

Por se tratar de um perfil com elementos enrijecidos e não-enrijecidos, o coeficiente Q é dado por:

$$Q = Q_s \times Q_A \quad (\text{C.33})$$

$$Q = 1 \quad (\text{C.34})$$

C.4 Cálculo do Momento de Inércia do perfil

a) Determinação das alturas dos centros de gravidade dos diferentes elementos do perfil da viga, conforme figura C.3:

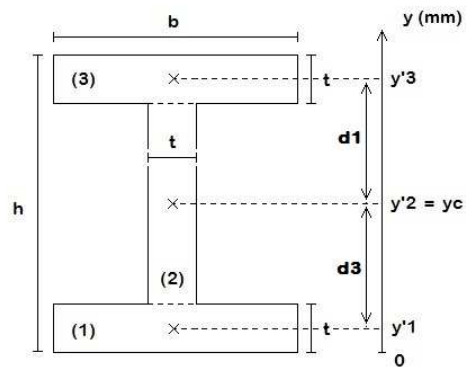


Figura C.3 – Esquema com a posição dos centros de gravidade do perfil da viga de apoio.

Desta forma, tem-se:

$$y'1 = \frac{t}{2} \quad (\text{C.35})$$

$$y'2 = \frac{h}{2} \quad (\text{C.36})$$

$$y'3 = yc = h - \frac{t}{2} \quad (\text{C.37})$$

$$d1 = d3 = \frac{h-t}{2} \quad (\text{C.38})$$

$$d2 = 0 \quad (\text{C.39})$$

Substituindo os valores das propriedades do perfil da tabela 6.12 nas equações acima, tem-se:

$$y'1 = 2,665 \text{ mm} \quad (\text{C.40})$$

$$y'2 = yc = 63,50 \text{ mm} \quad (\text{C.41})$$

$$y'3 = 124,3 \text{ mm} \quad (\text{C.42})$$

$$d1 = d3 = 60,84 \text{ mm} \quad (\text{C.43})$$

$$d2 = 0,0 \text{ mm} \quad (\text{C.44})$$

b) Determinando as áreas dos diferentes elementos do perfil:

$$A_1 = A_3 = b \cdot t \quad (\text{C.45})$$

$$A_2 = t \cdot (h - 2t) \quad (\text{C.46})$$

Substituindo os valores da tabela 6.12, tem-se:

$$A_1 = A_3 = 406,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.47})$$

$$A_2 = 620,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{C.48})$$

c) Determinação dos momentos de inércia dos diferentes elementos:

$$I_1 = I_3 = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (\text{C.49})$$

$$I_2 = \frac{t \cdot (h - 2t)^3}{12} \quad (\text{C.50})$$

Substituindo os valores da tabela 6.12, tem-se:

$$I_1 = I_3 = 961,5 \text{ mm}^4 \quad (\text{C.51})$$

$$I_2 = 6,994 \times 10^5 \text{ mm}^4 \quad (\text{C.52})$$

O momento de inércia do perfil fica da seguinte forma:

$$I_{zz} = I_1 + d1^2 \cdot A_1 + I_2 + d2^2 \cdot A_2 + I_3 + d3^2 \cdot A_3 \quad (\text{C.53})$$

Substituindo os valores encontrados na equação acima, tem-se:

$$I_{zz} = 3,707 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{C.54})$$

C.5 Cálculo do coeficiente ρ

O coeficiente ρ é encontrado a partir do parâmetro $\bar{\lambda}$, que é dado por:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L}{i} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{E}{Q \cdot \sigma_y}}} \quad (\text{C.55})$$

Onde:

$$\text{Se } \bar{\lambda} \leq 0,2, \text{ então } \rho = 1 \quad (\text{C.56})$$

$$\text{E se } \bar{\lambda} > 0,2, \text{ então } \rho = \beta - \sqrt{\beta - \frac{1}{\bar{\lambda}^2}} \quad (\text{C.57})$$

$$\beta = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left(1 + \bar{\lambda}^2 + \alpha \sqrt{\bar{\lambda}^2 - 0,04} \right) \quad (\text{C.58})$$

a) Índice de esbeltez da viga, i :

$$i = \sqrt{\frac{I_{zz}}{A}} \quad (\text{C.59})$$

O valor do momento de inércia do perfil é dado na equação (C.54) e a área A está na tabela 6.12. Substituindo estes valores na equação (C.56), tem-se um índice de esbeltez de:

$$i = 50,88 \text{ mm} \quad (\text{C.60})$$

b) Cálculo de $\bar{\lambda}$:

Substituindo os valores encontrados na equação (C.55), tem-se:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{4,21 \text{ m}}{50,88 \times 10^{-3} \text{ mm}} \frac{1}{\sqrt{\frac{205 \times 10^9 \text{ Pa}}{1,210 \times 10^6 \text{ Pa}}}} = 1,770 \quad (\text{C.61})$$

O resultado acima se enquadra na condição da equação (C.57) e a equação (C.58) deve então ser utilizada.

Para o caso presente, utiliza-se o seguinte valor de α [20]:

$$\alpha = 0,158 \quad (\text{C.62})$$

Sendo assim, substituindo os resultados na equação (C.58):

$$\beta = 0,7039 \quad (\text{C.63})$$

E com isso, tem-se o valor de ρ :

$$\rho = 0,7039 - \sqrt{0,7039 - \frac{1}{1,770^2}} = 0,0835 \quad (\text{C.64})$$

C.6 Cálculo da força de resistência à compressão R_d

Utilizando a equação (C.2):

$$R_{nc} = 0,0835 \times 1 \times 620,1 \text{ mm}^2 \times 210 \text{ MPa} = 2,513 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{C.65})$$

Substituindo este resultado em (C.1), tem-se:

$$R_d = 0,9 \times 2,513 \times 10^4 \text{ N} = 2,459 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{C.66})$$

C.7 Cálculo da tensão admissível σ_{adm}

Supondo que a tensão de resistência à compressão se dá por:

$$\sigma_d = \frac{R_d}{A} \quad (C.67)$$

$$\sigma_d = 15,79 \text{ MPa} \quad (C.68)$$

Determinando um fator de segurança igual a 3:

$$FS = 3 \quad (C.69)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_d}{FS} \quad (C.70)$$

$$\sigma_{adm} = 5,262 \text{ MPa} \quad (C.71)$$

Calculando a tensão aplicada por compressão sobre este perfil:

$$\sigma = \frac{R_2}{A} \quad (C.72)$$

$$\sigma = \frac{3\,813 \text{ N}}{1\,432 \text{ mm}^2} = 2,662 \text{ MPa} \quad (C.73)$$


















Os resultados para o dimensionamento das vigas de apoio estão na tabela 6.13:

Tabela 6.13 – Resultados para dimensionamento da viga de apoio.

Força de resistência à compressão sujeita a flambagem	
$R_d \text{ x (N)}$	22613
$R_d \text{ y (N)}$	24587
Tensão de resistência à compressão sujeita a flambagem	
$\sigma_d \text{ x (Mpa)}$	15,8
$\sigma_d \text{ y (Mpa)}$	17,2
Fator de Segurança - FS	3
Tensão admissível	
Tensão admissível - $\sigma_{adm \text{ x}}$ (MPa)	5,26
Tensão admissível - $\sigma_{adm \text{ y}}$ (MPa)	5,72
Tensão aplicada - $\sigma = R/A$	
Tensão aplicada - σ (MPa)	2,66

A tensão aplicada sobre o perfil é inferior à tensão admissível. Portanto, o perfil selecionado é adequado para o dimensionamento.

ANEXOS

DORSO	 1 - Reto	 2 - Inclinado	 3 - Reto e torcido	 4 - Inclinado e torcido
	BRAÇOS	 1 - Dois braços para baixo	 2 - Um braço para cima	 3 - Dois braços para cima.
PERNAS	 1 - Duas pernas retas	 2 - Uma perna reta	 3 - Duas pernas flexionadas	DORSO Inclinado 2 BRAÇOS Dois para baixo 1 PERNAS Uma perna ajoelhada 5
	 4 - Uma perna flexionada.	 5 - Uma perna ajoelhada	 6 - Deslocamento com pernas	 7 - Duas pernas suspensas
CARGA	 1 - Carga até 10 kg	 2 - Carga entre 10 kg e 20kg	 3 - Carga acima de 20 kg	xy Código do local ou seção onde foi observado

ANEXO A –SISTEMA OWAS PARA O REGISTRO DE POSTURAS [7]

DURAÇÃO MÁXIMA (% da jornada de trabalho)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
DORSO	1. Dorso reto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. Dorso inclinado	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	3. Dorso reto e torcido	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
	4. Inclinado e torcido	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
BRAÇOS	1. Dois braços para baixo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. Um braço para cima	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	3. Dois braços para cima	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
PERNAS	1. Duas pernas retas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	2. Uma perna reta	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	3. Duas pernas flexionadas	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	4. Uma perna flexionada	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
	5. Uma perna ajoelhada	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
	6. Deslocamento com as pernas	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
	7. Duas pernas suspensas	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

Dorso	Braços	1			2			3			4			5			6			7			Pernas
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Cargas
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4	
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	

ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DAS POSTURAS REGISTRADAS NO SISTEMA OWAS PELO TEMPO DE DURAÇÃO E PELA COMBINAÇÃO DE SUAS VARIÁVEIS [7]

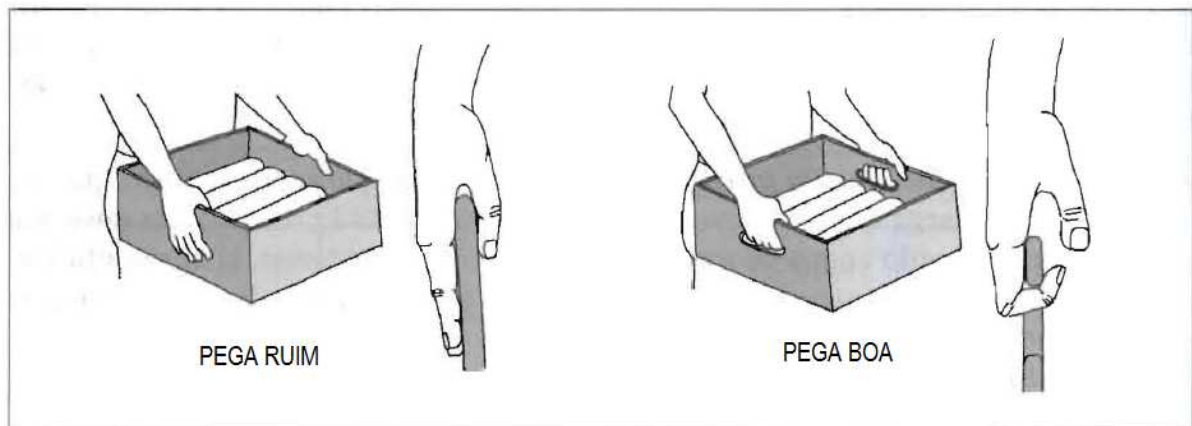
Frequência Levantamentos/min	Duração do trabalho (h/dia)					
	≤ 1 h		≤ 2 h		≤ 8 h	
	V < 75 (cm)	V ≥ 75 (cm)	V < 75 (cm)	V ≥ 75 (cm)	V < 75 (cm)	V ≥ 75 (cm)
0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
> 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

V = Altura inicial do levantamento, cm.

ANEXO C – VALORES DE F PARA A EQUAÇÃO DE NIOSH DE ACORDO COM O NÚMERO DE LEVANTAMENTOS POR MINUTO E DURAÇÃO TOTAL DA ATIVIDADE [7].

Qualidade da pega	Coeficientes da pega	
	$V < 75$	$V \geq 75$
Boa	1,00	1,00
Média	0,95	1,00
Ruim	0,90	0,90

V = Altura inicial do levantamento, cm.



ANEXO D – VALORES DE C PARA A EQUAÇÃO DE NIOSH DE ACORDO COM A QUALIDADE DA PEGA DA CARGA [7].



CAPACIDADE (TON)	0,5	01	02	03
ALT. IÇA MENTO (M)	9,0 - 18	9,0 - 18,0	9,0 - 18,0	9,0 - 18
MOTOR ELEV. (KW)	0,8	1,5	3,0	4,5
MOTOR TRANL. (KW)	0,2	0,2	0,4	0,8
VEL. ELEV (mts/min)	8,0	8,0	8,0	8,0
Raio min curva (mt)	1,0 - 1,8	1,0 - 1,8	1,2 - 2,0	1,2 - 2,0
CLASS. - ISO	M3			
VEL. TRANSLAÇÃO (mts/min)	20			
CLASS. PROT. MOTOR	IP44			
GRAU DE ISOLAÇÃO (motor)	F			
BOTOEIRA	06 Estágios + Emergência			
RAMAIS DO CABO	2/1	2/1	2/1	2/1
VOLTAGEM	220 / 380V/ 60HZ			
BITOLA CABO (mm)	5	8	12,7	12,7
LARGURA DA VIGA	88-124	88-124	100-152	100-152
LARGURA (L)	702 - 918	869-1163	931-1231	1040-1349
ALTURA ATÉ O GANCHO (F)	765 - 865	825-925	889-1004	1030-1152
PESO (KG)	140 - 175	190-220	265-320	340-380

ANEXO E –CARACTERÍSTICAS DAS TALHAS ELÉTRICAS DE CABO DE AÇO OFERECIDAS PELA SANSEI [17].

VIGASI (Padrão Americano)									
Tamanho Nominal		Altura		Peso		Largura das Abas (B)		Espessura de Alma (C)	
mm	pol.	mm	pol.	kg / m	lb/pe	mm	pol	mm	pol
76,20 x 60,33	3 x 2.3/8	76,20	3	8,48	5,7	59,18	2,330	4,32	0,170
				9,67	6,5	61,24	2,411	6,38	0,251
				11,16	7,5	63,73	2,509	8,86	0,349
101,60 x 66,68	4 x 4.5/8	101,60	4	11,46	7,7	67,56	2,660	4,83	0,190
				12,65	8,5	69,16	2,723	6,43	0,253
				14,14	9,5	71,02	2,796	8,28	0,326
				15,63	10,5	72,90	2,87	10,16	0,400
127,00 x 76,20	5 x 3	127,00	5	14,88	10,0	76,20	3,000	5,33	0,210
				18,23	12,25	79,68	3,137	8,81	0,347
				21,95	14,75	83,41	2,284	12,55	0,494
152,40 x 85,73	6 x 3.3/8	152,40	6	18,60	12,5	84,58	3,330	5,84	0,230
				21,95	14,75	87,45	3,443	8,71	0,343
				25,67	17,25	90,55	3,565	11,81	0,465
203,20 x 101,60	8 x 4	203,20	8	27,38	18,4	101,60	4,000	6,86	0,270
				30,50	20,5	103,60	4,079	8,86	0,349
				34,22	23	105,94	4,171	11,2	0,441
				37,94	25,5	108,25	4,262	13,51	0,532
254,00 x 117,48	10 x 4.5/8	254,00	10	37,80	25,4	118,36	4,660	7,87	0,310
				44,65	30,0	121,84	4,797	11,36	0,447
				52,09	35,0	125,58	4,944	15,09	0,594
				59,53	40,0	129,31	5,091	18,82	0,741
304,80 x 133,35	12 x 5.1/4	304,8	12	60,71	40,8	133,35	5,250	11,68	0,460
				66,97	45,0	136,02	5,355	14,35	0,565
				74,41	50,0	139,12	5,477	17,45	0,687
				81,85	55,0	142,24	5,600	20,57	0,810
457,20 x 152,40	18 x 6	457,20	18	81,4	54,7	152,4	6,000	11,68	0,460
				89,29	60,0	154,61	6,087	13,89	0,547
				96,73	65,0	156,69	6,169	15,98	0,629
508,00 x 177,80	20 x 7	508,00	20	104,15	70,0	158,78	6,251	18,06	0,711
				121,14	81,4	177,80	7,000	15,24	0,600
				126,5	85,0	179,15	7,053	16,59	0,653
				133,94	90,0	181,00	7,126	18,44	0,726
				141,38	95,0	182,88	7,200	20,32	0,800
				148,82	100,0	184,73	7,273	22,17	0,873

ANEXO F –CARACATERÍSTICAS DE VIGAS DE PERFIL I (PADRÃO AMERICANO)
FORNECIDO PELA AÇOS GLOBO [19].