



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LEANDRO SALES SANTOS

**ANÁLISE DE PROJETO ESTRUTURAL VIA ELEMENTOS
FINITOS DE SUPORTE DE CONDENSADORES DE AR
CONDICIONADO**

Salvador, Junho de 2021

LEANDRO SALES SANTOS

ANÁLISE DE PROJETO ESTRUTURAL VIA ELEMENTOS FINITOS DE
SUPORTE DE CONDENSADORES DE AR CONDICIONADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade Federal da
Bahia, como requisito parcial para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Jayann Ismar Lira
Almeida

Salvador, 2021

TERMO DE APROVAÇÃO

LEANDRO SALES SANTOS

**ANÁLISE DE PROJETO ESTRUTURAL VIA ELEMENTOS FINITOS DE
SUPORTE DE CONDENSADORES DE AR CONDICIONADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, e aprovado pela seguinte banca examinadora:

Jayann Ismar Lira Almeida
Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia

Paula Frassinetti Cavalcante
Doutora em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia

Guilherme Ribeiro Begnini
Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia

Salvador, 08 de Junho de 2021

Dedico este trabalho a Deus, a minha família, aos amigos e a todos que de alguma forma fizeram parte da minha graduação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mudar a trajetória da minha vida, por me abençoar a todo tempo com o fruto da sabedoria e me permitir chegar até aqui.

À minha família, minha mãe Solange, meu pai Jorge, meus irmãos Lourival, Raiana, Naiana e George por todo apoio dado, principalmente nos momentos mais complicados da minha vida ao longo da graduação.

Aos amigos e professores de curso, em especial ao meu orientador professor Jayann Ismar Lira Almeida, que estiveram presentes e que, de alguma forma, puderam fazer parte desta jornada.

“E o enchi do Espírito de Deus, de sabedoria, e de entendimento, e de conhecimento, em todo o labor...”

Êxodo 31:3 - Bíblia

RESUMO

O desenvolvimento de projetos e instalação de sistemas de condicionamento de ar, bem como seu plano de manutenção, operação e controle possuem rigorosos requisitos estabelecidos por normas que precisam ser atendidas. Dentre os procedimentos estabelecidos encontra-se a recomendação de ser realizada uma inspeção visual que deve ser feita anualmente através da qual pode ocorrer a condenação do suporte por apresentar pontos de corrosão ou deformação. Apesar da norma estabelecer a inspeção anual dos suportes, geralmente esse componente é negligenciado, devido a sua alta durabilidade e baixo custo, adotando-se a cultura de substituição quando do momento de falha. Isso acaba direcionando a conduta dos profissionais responsáveis por realizar as inspeções durante a realização das manutenções. A partir da observação de recorrentes casos em consequência do exposto a cima, este trabalho propõe-se a realizar análises estruturais de suporte de condensadoras. Para tal foi escolhido um modelo de suporte que atenda a condensadoras de até 60.000 BTU/h, com base em catálogo de fabricante, que foi modelado através do programa ansys e submetido a análises através do próprio programa. Por fim foram realizados cálculos analíticos com o intuito de comparar com os resultados das análises.

Palavras-chave: Suporte, Ar condicionado, Análise Estrutural, Método dos Elementos Finitos.

ABSTRACT

The development of projects and installation of air conditioning systems, as well as their maintenance, operation and control plan have strict requirements established by standards that need to be met. Among the established procedures is the recommendation to carry out a visual inspection that must be carried out annually, through which the support may be condemned for presenting points of corrosion or deformation. Although the standard establishes the annual inspection of supports, this component is generally neglected, due to its high durability and low cost, adopting the replacement culture when there is a failure. This ends up directing the conduct of professionals responsible for carrying out inspections during maintenance. From the observation of recurrent cases as a result of the above, this work proposes to carry out structural analyzes of support for condensers. For this purpose, a support model was chosen that meets condensers of up to 60,000 BTU/h, based on the manufacturer's catalog, which was modeled using the ansys program and submitted to analysis using the program itself. Finally, analytical calculations were performed in order to compare the results of the analysis.

Keywords: Support, Air conditioning, Structural Analysis, Finite Element Method.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	15
1.2 Motivação	15
1.3 Objetivo Geral.....	16
1.4 Objetivos Específicos	16
1.5 Estrutura do Trabalho	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Ar condicionado.....	17
2.2 História.....	18
2.2.1 Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor.....	19
2.2.2 Ciclo de Refrigeração por Absorção.....	20
2.2.3 Fluidos Refrigerantes.....	22
2.3 Tipos de Ar condicionado	22
2.3.1 Split High Wall.....	23
2.3.2 Split Piso - Teto.....	24
2.3.3 Split Cassete.....	25
2.3.4 De parede ou Janela.....	26
2.3.5 Portátil.....	27
2.4 Projeto Estrutural via Elementos Finitos	28
2.5 Aplicações do Método dos Elementos Finitos.....	30
3 METODOLOGIA	38
3.1 Seleção dos modelos de ar-condicionado	38
3.2 Ar condicionado Split Hi-Wall Philco 30000 BTU/h 220v.....	38
3.3 Ar condicionado Split Piso Teto Carrier 48000 BTU/h 220v.....	39
3.4 Ar condicionado Cassete Plus Elgin 60000 BTU/h Frio 380v.....	40
3.5 Seleção dos Suportes	41
3.6 Modelagem em Elementos Finitos	45

3.7	Condições de Contorno: Condensadora de 30.000 BTU/h.....	47
3.8	Condições de Contorno: Condensadora de 48.000 BTU/h.....	48
3.9	Condições de Contorno: Condensadora de 60.000 BTU/h.....	49
3.10	Aplicação da Malha de Elementos.....	50
4	RESULTADOS	52
4.1	Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 30.000 BTU/h.....	52
4.1.1	Resultados da Análise no Software Ansys.....	52
4.1.2	Cálculos Analíticos.....	53
4.2	Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 48.000 BTU/h.	58
4.2.1	Resultados da Análise no Software Ansys.....	58
4.2.2	Cálculos Analíticos.....	59
4.3	Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 60.000 BTU/h.....	64
4.3.1	Resultados da Análise no Software Ansys.....	64
4.3.2	Cálculos Analíticos.....	65
5	CONCLUSÃO	70
5.1	Sugestões de Trabalhos Futuros.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Alguns modelos de unidade condensadora.....	13
Figura 1.2 - Modelos de Suporte de Unidade Condensadora.....	14
Figura 2.1 – Principais Modelos de ar condicionado.....	17
Figura 2.2 - Primeiro Chiller Centrífugo.....	19
Figura 2.3 - Ciclo de Refrigeração por Compressão.....	19
Figura 2.4 - Diagrama T x S Ciclo de Refrigeração por Compressão.....	20
Figura 2.5 - Sistema Simples de Refrigeração por Absorção de Amônia-Água.....	21
Figura 2.6 - Modelo de Ar condicionado High Wall.....	23
Figura 2.7 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Piso-teto.....	24
Figura 2.8 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Split Cassete.....	25
Figura 2.9 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Janela.....	26
Figura 2.10 - Modelo de Ar condicionado Portátil.....	27
Figura 2.11 - Nós e Elementos em uma Malha.....	28
Figura 2.12 - Viga Modelada no Software Mtool.....	31
Figura 2.13 - Distribuição de Tensão.....	31
Figura 2.14 - Diagrama de Tensão no Meio do Vão da Viga.....	32
Figura 2.15 - Distribuição das Tensões de Cisalhamento.....	33
Figura 2.16 - Análise Estrutural em Guindaste.....	34
Figura 2.17 - Análise Fluidodinâmica em uma Válvula.....	34
Figura 2.18 - Deslocamento do Canino.....	35
Figura 2.19 - Magnitude do Deslocamento.....	36
Figura 2.20 - Distribuição de Tensão de Von Mises.....	37
Figura 3.1 - Modelo 30 KBTU/h Selecionado.....	38
Figura 3.2 - Modelo 48 KBTU/h Selecionado.....	39
Figura 3.3 - Modelo 60 KBTU/h Selecionado.....	40
Figura 3.4 - Modelos de Suporte Comercializados em Aço SAE1008.....	42
Figura 3.5 - Modelos de Suporte Comercializados em Aço SAE1008 e Aço Inox.....	43
Figura 3.6 - Modelos de Suportes de Plástico Comercializados.....	44
Figura 3.7 - Modelo de Suporte Selecionado.....	45
Figura 3.8 - Suporte Modelado.....	46
Figura 3.9 - Região Fixa do Suporte.....	48
Figura 3.10 - Condições de Contorno Aplicadas.....	49
Figura 3.11 - Suporte e as Condições de Contorno Aplicadas.....	50

Figura 3.12 - Malha de Elementos Aplicada.....	51
Figura 4.1 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 30 KBTU/h.....	52
Figura 4.2 - Deformação do Suporte para Condensadora de 30 KBTU/h.....	53
Figura 4.3 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 30 KBTU/h.....	54
Figura 4.4 – Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora de 30 KBTU/h.....	57
Figura 4.5 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 48 KBTU/h.....	58
Figura 4.6 - Deformação do Suporte para Condensadora de 48 KBTU/h.....	59
Figura 4.7 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 48 KBTU/h.....	60
Figura 4.8 – Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora de 48 KBTU/h.....	63
Figura 4.9 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 60 KBTU/h.....	64
Figura 4.10 - Deformação do Suporte para Condensadora de 60 KBTU/h.....	65
Figura 4.11 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 60 KBTU/h.....	66
Figura 4.12 – Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora de 60 KBTU/h.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Informações Técnicas da Condensadora de 30000 BTU/h.....	39
Tabela 3.2 - Informações Técnicas da Condensadora 48.000 BTU/h.....	40
Tabela 3.3 - Informações Técnicas da Condensadora de 60.000 BTU/h.....	41
Tabela 3.4 - Dimensões do Suporte.....	45
Tabela 3.5 - Propriedades Mecânicas Aço SAE 1008.....	47
Tabela 4.1 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 30 KBTU/h.....	57
Tabela 4.2 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 48 KBTU/h.....	62
Tabela 4.3 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 60 KBTU/h.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de condicionamento de ar possuem inúmeras aplicações e modelos disponíveis comercialmente. Entre os modelos mais utilizados popularmente para condicionamento de ar, com o objetivo de se obter conforto, podem ser citados: O split cassete, ar condicionado de janela (ACJ), portátil, split high wall e split piso teto; disponíveis comercialmente com capacidades de refrigeração entre 7000 e 60000 BTU/h. Sendo que para cada modelo, à exceção do portátil, utiliza-se um tipo de suporte ou fixação. Estes suportes têm como função, entre outras, prover sustentação, garantir a estabilidade e auxiliar na vida útil do equipamento. Isso pode ser feito através de presilhas e parafusos, suporte do tipo grade ou garfo. Dentre os modelos citados, os do tipo split se destacam pelo fato de necessitar de dois suportes: um para a unidade evaporadora de ar (unidade interna ao ambiente) e outro para a unidade condensadora de ar (unidade externa ao ambiente), cuja análise estrutural do suporte desta última é o foco deste trabalho. A Figura (1.1) mostra alguns modelos de unidades condensadoras de ar condicionado tipo split.

Figura 1.1 - Alguns modelos de Unidade Condensadora.



Fonte: (REFRIPARTS, 2018).

O controle da temperatura de um determinado ambiente ou processo é uma variável bastante requisitada no atual modelo de vida em sociedade. Em alguns casos como, por exemplo, processos industriais relacionados a usinagem e em berçários de hospitais, se faz necessário um maior rigor no controle desta variável, em outros, como banheiros de shoppings centers, há uma maior tolerância. Ou seja, cada aplicação precisa

ser estudada para que se possa definir o nível de rigorosidade exigida. Sendo que em todos os casos, o que irá reger tais tolerâncias são as normas vigentes.

Na Figura (1.2) podem ser vistos alguns modelos de suportes de unidades condensadoras utilizados em ar condicionados split.

Figura 1.2 - Modelos de Suporte de Unidade Condensadora.



Fonte: (FRIGELAR, 2017).

Embora esse componente apresente boa durabilidade, a definição do suporte adequado para cada aplicação precisa ser estudada levando em consideração não apenas o tipo de aparelho de ar condicionado, como também o ambiente (umidade do ar local, se é meio corrosivo) no qual esse suporte será instalado, visto que se faz necessário que a unidade condensadora esteja em ambiente externo ao refrigerado.

Como solução para este problema, hoje existem no mercado suportes fabricados em diversos materiais, sendo que cada um deles atende às características de um tipo de ambiente. No entanto, eles são projetados de modo que um único tipo de suporte atenda máquinas com diferentes capacidades de refrigeração. Nesse sentido, o presente trabalho pretende realizar análises estruturais deste tipo de componente.

1.1 Justificativa

Na elaboração dos projetos de sistemas de condicionamento de ar, tipo split, os suportes de unidades condensadora são especificados segundo uma faixa que atende uma ou mais capacidades de refrigeração. Sendo assim, os suportes, que promovem sustentação das máquinas, não são dimensionados para atender uma determinada máquina especificamente.

Deste modo, abre-se margem para casos de superdimensionamento de tais componentes (suportes) no momento da escolha, visto que cada máquina possui suas características dimensionais como peso do equipamento, e o projeto do suporte leva em consideração o caso mais crítico, ou seja, ele é dimensionado para sustentar a máquina de maior capacidade de refrigeração, maior peso, dentro da faixa em que ele irá atender.

A situação exposta justifica este trabalho, cujo foco é realizar análises de projeto estrutural do suporte da unidade condensadora de aparelho de ar condicionado.

1.2 Motivação

A principal motivação para a realização deste trabalho vem da possibilidade de utilizar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação para solucionar uma problemática constante no dia a dia de quem atua na área de refrigeração e da percepção, através da vivência na área de manutenção de sistemas de condicionamento de ar (ao longo de estágio realizado em um núcleo da área de climatização), da pouca importância ou negligência que se é dada a este componente, sendo que o mesmo desempenha uma importante função e que sua falha pode causar danos ao patrimônio e/ou a vida humana.

Dentre os diversos motivos que apoiam tais ocorrências, pode ser destacado o local onde essas unidades condensadoras são instaladas; geralmente em lugares de restrito acesso ou visibilidade limitada como fachadas ou terraço de prédios, o que dificulta que as pessoas que convivem nos ambientes atendidos por essas máquinas no dia a dia possam notar qualquer deterioração no componente e relatar aos responsáveis pela manutenção destes equipamentos.

A norma ABNT NBR 16655-1: Instalação de sistemas de ar-condicionado - Split e compacto: Projeto e instalação, estabelece que o prazo para a troca dos suportes deve ser recomendada pelo fabricante ou quando um exame visual condenar o suporte por pontos de corrosão ou de deformação. Estabelece também que deve ser realizada inspeção

visual anual e recomendar a troca em caso de qualquer deformação ou corrosão com laudo fornecido pelo profissional habilitado.

No entanto, as empresas de manutenção de ar condicionado não costumam adotar um plano de prevenção para os suportes de condensadora, visto que esses componentes apresentam boa durabilidade e seu custo não é elevado. Deste modo, adota-se a prática de substituição dos suportes quando se faz necessário. Essa prática acaba direcionando a conduta dos técnicos responsáveis pelas manutenções pois os mesmos acabam deixando de realizar ações simples de prevenção, como uma inspeção visual.

1.3 Objetivo Geral

O trabalho se propõe a realizar análises de projeto estrutural, via elementos finitos, de suporte de unidades condensadoras de aparelho de ar condicionado do tipo split.

1.4 Objetivos Específicos

- Fazer análises estrutural do suporte para condensadoras com capacidade de refrigeração de 30000, 48000 e 60000 BTU/h;
- Realizar análise numérica, via elementos finitos;
- Validar as simulações através dos cálculos analíticos.

1.5 Estrutura do Trabalho

- Capítulo 2: Referenciamento teórico dos temas que serão abordados de acordo com a literatura disponível;
- Capítulo 3: Explicação completa da metodologia, desde a seleção dos modelos de ar condicionados que fazem parte deste estudo, especificações técnicas, seleção do suporte, passando pelas condições de contorno para cada caso, modelagem do suporte escolhido e aplicação da malha de elementos finitos;
- Capítulo 4: Simulações através do programa Ansys e verificação através dos cálculos analíticos para cada caso estudado;
- Capítulo 5: Análise comparativa dos resultados obtidos através das simulações e dos cálculos analíticos, sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ar condicionado

Os aparelhos de ar condicionado podem ser entendidos como uma máquina que realiza uma mudança das condições de uma determinada substância (fluido de trabalho) com o objetivo de se obter o chamado efeito frigorífico.

A refrigeração industrial, a exemplo do condicionamento de ar, tem como objetivo a refrigeração de alguma substância ou meio. Os componentes básicos de ambos não diferem: compressores, trocadores de calor, ventiladores, bombas, tubos, dutos e controles. Os fluidos envolvidos mais comuns são: ar, água e algum refrigerante. Em suma, cada um dos sistemas é composto fundamentalmente por um ciclo frigorífico (STOECKE & JABARDO, 2002).

A Figura (2.1) mostra alguns dos principais modelos de ar condicionado comumente disponíveis no mercado.

Figura 2.1 – Principais Modelos de Ar condicionado.



Fonte: (DUFRIIO, 2017).

2.2 História

No atual modelo de vida em sociedade é praticamente impossível imaginar o mundo sem os sistemas de condicionamento de ar, visto que essas máquinas desempenham um papel de extrema relevância em diversos processos que vão desde a climatização de ambientes residências a processos industriais. No entanto, nem sempre foi assim.

Em 1902, Willis Carrier inicializou um conjunto de desenhos mecânicos projetados para resolver um problema de produção na Sackett & Wilhelms Lithography and Printing Company em Brooklyn, Nova York.

Esse novo design era diferente - tão novo, na verdade, que não só ajudaria a resolver um problema que há muito tempo atormentava as impressoras, mas um dia lançaria uma empresa e criaria toda uma indústria essencial para a produtividade global e o conforto pessoal.

Depois disso, nada mais seria o mesmo. Nasceu o ar condicionado moderno.

Em 1903, ele completou o aparelho, o primeiro sistema de ar condicionado tipo spray do mundo capaz de lavar e umidificar ou desumidificar o ar. O ar condicionado moderno agora tinha seu bloco de construção fundamental.

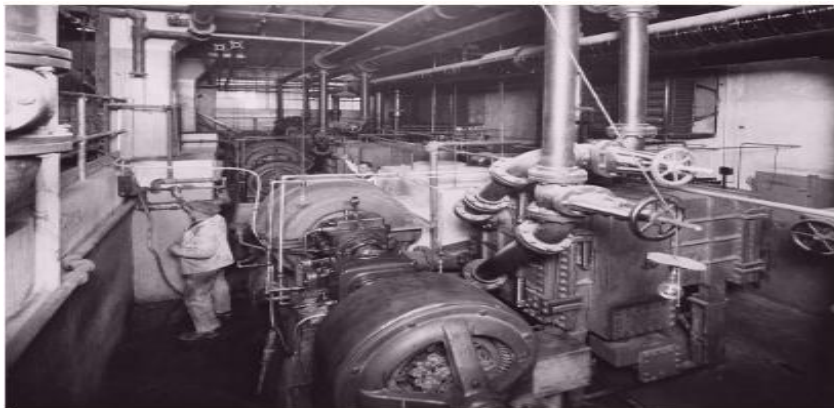
No ano de 1907 a invenção passou a atender fábrica farmacêutica com uma instalação na Parke, Davis & Company em Detroit, Michigan. Em seguida, foi feita uma proposta à Huguet Silk Mill em Wayland, Nova York, garantindo uma umidade relativa de 65 por cento durante todo o ano - a primeira promessa de condições e não simplesmente de desempenho do equipamento.

Em maio de 1922, Willis Carrier revelou sua inovação mais influente, a máquina de refrigeração centrífuga (ou "chiller"). Durante a próxima década, o chiller centrífugo iria estender o alcance do ar condicionado moderno de fábricas têxteis, fábricas de doces e laboratórios farmacêuticos para o trabalho revolucionário de garantir o conforto humano em teatros, lojas, escritórios e residências.

Os arranha-céus foram os próximos a se beneficiar da refrigeração centrífuga. Em 1926, o Edifício TW Patterson em Fresno, Califórnia, se tornou o primeiro edifício de vários andares com ar condicionado da Carrier (CARRIER, 2020).

A Figura (2.2) mostra três unidades de 75 toneladas da primeira instalação do chiller centrífugo da Carrier.

Figura 2.2 - Primeiro Chiller Centrífugo.

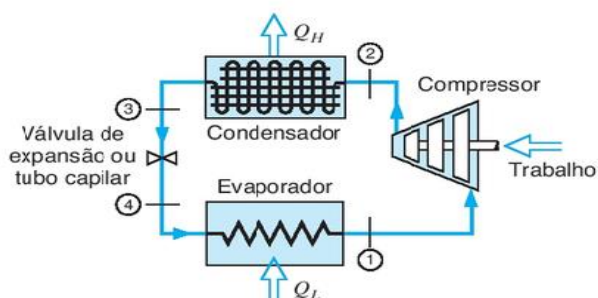


Fonte: (CARRIER, 2020).

2.2.1 Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

O ciclo de compressão de vapor é composto basicamente por quatro componentes ao longo do ciclo: compressor, condensador, válvula de expansão ou tubo capilar e evaporador, de modo que o fluido refrigerante é submetido a processos termodinâmicos ao percorrer cada um desses componentes. Esse esquema poder ser visto através da Figura (2.3).

Figura 2.3 - Ciclo de Refrigeração por Compressão.



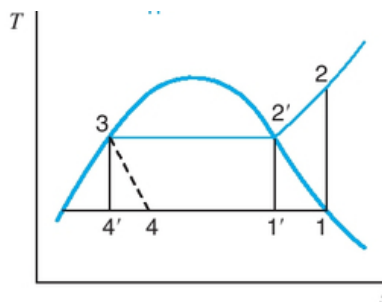
Fonte: (BORGNAKKE & SONNTAG, 2013)

Segundo BORGNAKKE & SONNTAG (2013), nesse ciclo, vapor saturado a baixa pressão entra no compressor e sofre uma compressão adiabática reversível 1-2. O calor é, então, rejeitado a pressão constante no processo 2-3 e o fluido de trabalho deixa o condensador como líquido saturado. O processo seguinte é um estrangulamento

adiabático, processo 3-4, e o fluido de trabalho é, então, vaporizado a pressão constante, processo 4-1, para completar o ciclo.

Este ciclo ideal envolvendo os quatro processos pode ser visto no diagrama temperatura versus entropia da Figura (2.4).

Figura 2.4 - Diagrama T x S Ciclo de Refrigeração por Compressão.



Fonte: (BORGNAKKE & SONNTAG, 2013, p. 390)

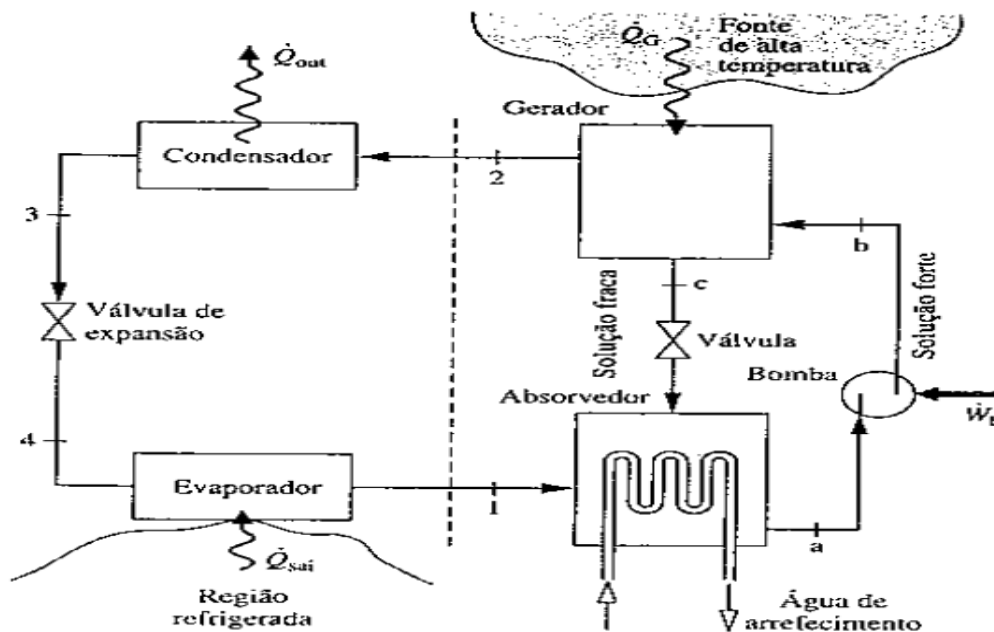
Em que: T e S significam respectivamente, temperatura e entropia do fluido. Neste diagrama também é possível visualizar o ciclo de Carnot representado pelos pontos 1'-2'-3'-4', em que o fluido de trabalho permanece na região bifásica (líquido e vapor). Este fato exigiria por exemplo, no processo 1'-2', um compressor que opere com uma mistura de líquido e vapor. Carnot também considera que os processos 1'-2' e 3-4' são isentrópicos (mesma entropia), o que não ocorre nos processos reais ligados ao ciclo de refrigeração. Isso justifica o afastamento do ciclo de refrigeração deste ciclo ideal de Carnot.

2.2.2 Ciclo de Refrigeração por Absorção

Este ciclo apresenta algumas características semelhantes em relação ao ciclo anterior, no entanto, se diferencia em dois pontos: ausência de um compressor entre o evaporador e o condensador; e presença de mecanismo para efetuar a separação do vapor de refrigerante da solução líquida antes da entrada do refrigerante no condensador (MORAN et al, 2013).

A Figura (2.5) mostra o diagrama do sistema simples de refrigeração por absorção de amônia-água.

Figura 2.5 - Sistema Simples de Refrigeração por Absorção de Amônia-Água.



Fonte: (MORAN et al, 2013)

A amônia circula pelo condensador, pela válvula de expansão e pelo evaporador como em um sistema de vapor por compressão. No entanto, o compressor é substituído pelo absorvedor, pela bomba e pelo gerador mostrados no lado direito do diagrama.

No absorvedor, o vapor de amônia que vem do evaporador no estado 1 é absorvido pela água líquida. A formação dessa solução líquida é exotérmica. Como a quantidade de amônia que pode ser dissolvida em água aumenta à medida que a temperatura da solução decresce, faz-se com que a água de arrefecimento circule pelo absorvedor para remover a energia liberada conforme a amônia se torna uma solução e para manter a temperatura no absorvedor tão baixa quanto possível. A solução forte de amônia e água deixa o absorvedor em um ponto 'a' e entra na bomba, onde sua pressão é elevada até a pressão do gerador.

No gerador, uma transferência de calor de uma fonte a uma temperatura alta extrai vapor de amônia da solução (processo endotérmico), deixando uma solução fraca de amônia e água nesse equipamento. O vapor liberado passa ao condensador no estado 2, e a solução fraca em 'c' recircula até o absorvedor através de uma válvula. A única potência de acionamento é aquela necessária para a operação da bomba, que é pequena quando comparada à potência que seria necessária para a compressão de vapor do refrigerante entre os mesmos níveis de pressão (MORAN et al, 2013).

2.2.3 Fluidos Refrigerantes

São substâncias empregadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Os refrigerantes devem possuir as seguintes propriedades: não inflamáveis, não explosivos, não tóxicos em seu estado puro ou quando misturado com o ar, não devem contaminar alimentos, compatíveis com os óleos lubrificantes que estão no sistema, entre outras características (MATOS, 2016).

Do mesmo modo que um gás qualquer submetido a elevação de pressão pode passar para fase líquida, um líquido quando submetido a uma redução de pressão pode passar para o estado gasoso. Esse processo de queda de pressão é o que ocorre com o fluido refrigerante ao atravessar a válvula de expansão ou tubo capilar em um ciclo de refrigeração por compressão.

A seleção de refrigerantes para uma ampla gama de aplicações de sistema de refrigeração e ar-condicionado geralmente se baseia em três fatores: desempenho, segurança e impacto ambiental. O termo desempenho refere-se a fornecer a refrigeração necessária ou a capacidade de aquecimento de maneira confiável e econômica. O termo segurança refere-se a evitar riscos, como toxicidade e inflamabilidade. Por fim, o termo impacto ambiental refere-se principalmente ao uso de fluidos refrigerantes que não agredem a camada estratosférica de ozônio ou que contribuam significativamente para a mudança climática global.

Outras considerações para a escolha do refrigerante incluem sua estabilidade química, corrosividade e custo. O tipo de compressor também influi na escolha do refrigerante (MORAN et al, 2013).

2.3 Tipos de Ar condicionado

Existem hoje diversos tipos de ar condicionados e equipamentos de refrigeração disponíveis no mercado. Sendo que todos se baseiam em dois princípios de funcionamento: expansão direta ou indireta. Na expansão direta a troca térmica ocorre, como o próprio nome diz, diretamente entre o fluido refrigerante e o ambiente a ser climatizado. Esse princípio é utilizado em ar condicionados split, de janela, geladeiras, entre outros. Já na indireta, se faz necessário a inserção de um outro fluido no sistema, como por exemplo a água, para que o refrigerante troque calor com o fluido inserido e assim este troque calor com o ambiente a ser climatizado. Esse é o modo de funcionamento de alguns equipamentos de grande porte como, por exemplo, os Chillers e centrais de água gelada.

Este trabalho se aterá a descrever os tipos de equipamentos com expansão direta, visto que o objeto de estudo deste trabalho (suporte de condensadora) é utilizado em máquinas com este tipo de funcionamento.

2.3.1 Split High Wall

o ar-condicionado do tipo High Wall é um aparelho de modelo Split que permite a instalação na parede, por isso ele também é chamado de “parede”.

É o tipo mais comum de Split, podendo ser encontrado, principalmente, em residências e em estabelecimentos comerciais de pequeno porte.

O termo “Hi Wall” significa, em uma tradução literal, “Parede Alta”.

Esse modelo se chama assim porque precisa ser instalado em pontos altos da parede, de outra forma ele não vai desempenhar suas funções corretamente.

A Figura (2.6) mostra um modelo de ar condicionado do tipo high wall disponível comercialmente.

Figura 2.6 - Modelo de Ar condicionado High Wall.



Fonte: (GIACOMINI, 2011)

Como qualquer split, o high wall é dividido em condensadora e evaporadora, ou seja: uma unidade externa e outra interna. Ambas podem ser afixadas na parede, com suportes próprios para cada peça – os suportes da unidade externa são diferentes do suporte da unidade interna (GIACOMINI, 2011).

Essas duas unidades estão interligadas por tubulações, onde a condensadora utiliza fluido refrigerante para fornecer ar frio à evaporadora, que irá expelir o ar para o ambiente interno.

2.3.2 Split Piso -Teto

Esse é um modelo de ar-condicionado que permite a instalação no piso ou no teto. No entanto, as suas características vão muito além do óbvio. O ar-condicionado piso teto é encontrado em equipamentos com capacidades maiores, indo de 18.000 a 80.000 BTU/h.

Ele é mais indicado para amplos espaços, geralmente empresas, restaurantes, bares, academias, lojas ou locais que tenham grande movimentação de pessoas.

Ele também pode ser utilizado em residências com cômodos bem amplos ou com pé direito alto – a distância entre o piso e o teto – locais em que ar-condicionado tradicional não é muito eficiente.

A Figura (2.7) mostra um modelo de ar condicionado do tipo piso-teto com capacidade de refrigeração de 30000 BTU/h.

Figura 2.7 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Piso-teto.



Fonte: (DUFRIIO, 2018)

Outra vantagem do ar-condicionado piso teto é que a sua instalação pode ser feita em qualquer posição, tornando o aparelho bastante flexível em relação ao projeto arquitetônico ou a decoração do ambiente. No teto, no piso ou mesmo na parede, ele mantém o mesmo grau de eficiência.

Este tipo de máquina também é composto por duas unidades, uma evaporadora e uma condensadora. A condensadora, por sua vez, pode ser horizontal ou vertical, o que a adequa à disponibilidade de espaço (DUFRIO, 2018).

2.3.3 Split Cassete

Este tipo de equipamento pode ser ideal para ambientes mais sofisticados, que pedem maior requinte ou instalações bem discretas. Ou, mesmo em residências, pode acabar sendo também uma boa alternativa para não influenciar na decoração. Isso porque ele pode ser embutido no teto, no gesso ou forro.

A Figura (2.8) mostra um modelo de ar condicionado do tipo split cassete com capacidade de refrigeração de 60000 BTU/h.

Figura 2.8 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Split Cassete.



Fonte: (FRIGELAR, 2020).

Mesmo sendo split, ele permite esse tipo de instalação e por isso se adequa em vários ambientes, especialmente os grandes e médios, mesmo que funcione dividido em duas partes diferentes. Assim, a parte que fica embutida pode ficar centralizada no teto do ambiente que pode ser mais amplo e posicionada de maneira bem discreta e bem distribuída, enquanto a outra parte (condensadora) fica em um local com saída externa, às vezes mais reservado.

Alguns modelos trabalham com a chamada tecnologia 360°, de modo que, além de apenas a grelha do aparelho ficar visível, tem boa distribuição de ar com a chamada capacidade de insuflamento por quatro lados. Isso garante que o ar seja distribuído de

forma mais uniforme para todas as direções do ambiente, bem por isso é apontado como ideal para locais maiores (DUFRIO, 2018).

2.3.4 De parede ou Janela

São aqueles modelos mais tradicionais, compostos de uma só peça, que é colocado na parede do imóvel de modo que a parte frontal que insufla ar fica voltada para o ambiente a ser refrigerado e a parte traseira fica voltada para fora.

A Figura (2.9) mostra um modelo de ar condicionado do tipo janela com capacidade de refrigeração de 14000 BTU/h.

Figura 2.9 - Modelo de Ar condicionado do Tipo Janela.



Fonte: (WEBARCONDICIONADO, 2019).

Esse foi o primeiro modelo comercializado em larga escala para atender casas e escritórios. O funcionamento dele segue o mesmo princípio dos modelos mais novos: retirar o calor de dentro do ambiente a ser refrigerado e lançá-lo para o ambiente externo.

Alguns modelos oferecem facilidades, como controle remoto, filtros que eliminam bactérias e avisos de manutenção, o que garante maior bem-estar para quem o utiliza.

Como este tipo de ar-condicionado é composto por apenas uma peça, sua instalação se torna mais simples que as dos modelos split. Os modelos ACJ podem ser encontrados tanto na tensão de 110 V (volt) quanto 220 V, o que evita a necessidade de fazer qualquer alteração na rede elétrica do imóvel (DUFRIO, 2017).

2.3.5 Portátil

Os ar-condicionados portáteis são mais compactos e permitem maior mobilidade, já que podem ser transportados de um cômodo para outro. Esses modelos dispensam a necessidade de obras ou instalações mais complexas dentro do ambiente. Então, um ar-condicionado portátil acaba sendo uma solução prática e barata.

A Figura (2.10) mostra um modelo de ar-condicionado portátil instalado em um ambiente.

Figura 2.10 - Modelo de Ar condicionado Portátil.



Fonte: (BAY, 2019).

Apesar disso, nem todos são leves. Um modelo de 12 mil BTUs, por exemplo, pode chegar a pesar de 30 a 40 kg.

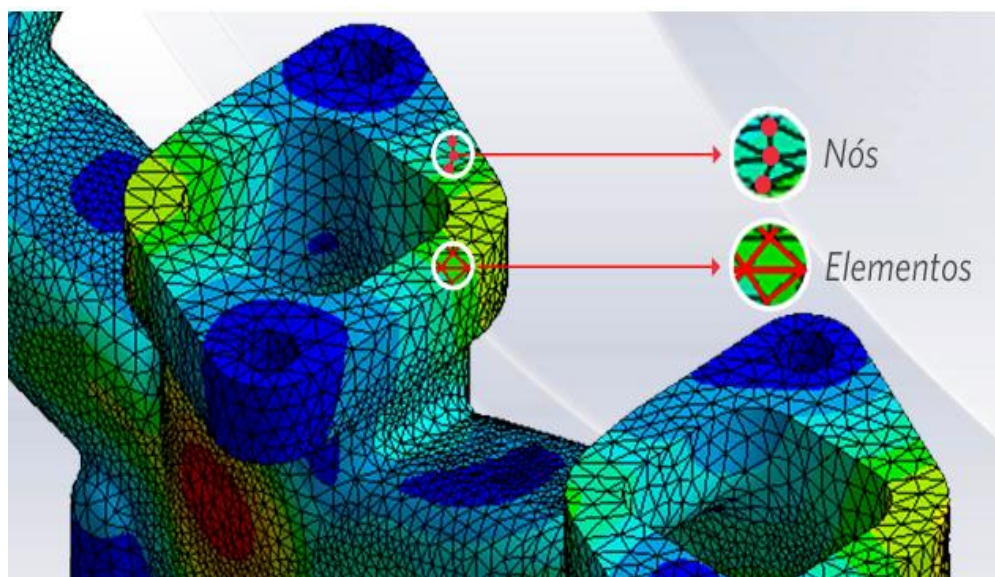
Os portáteis exigem o uso de acessórios, como um tubo extensor, para a saída do ar quente que é lançado no ambiente externo ao ambiente a ser refrigerado, que deve ser posicionado na janela. Como os acessórios utilizados costumam ser curtos e improvisar uma extensão para esse tubo pode exigir maior força do aparelho e até danificá-lo, o aparelho portátil precisa estar a poucos metros da janela. O que limita a movimentação do equipamento dentro do cômodo depois que é posicionado e está em funcionamento (BAY, 2019).

2.4 Projeto Estrutural via Elementos Finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos, para que sejam obtidos os resultados desejados. A origem do desenvolvimento deste recurso ocorreu no final do século XVIII, entretanto, a sua viabilização tornou-se possível somente com o advento dos computadores, facilitando a resolução das enormes equações algébricas (LOTTI et al, 2006).

A Figura (2.11) detalha alguns nós e elementos presentes em uma malha.

Figura 2.11 - Nós e Elementos em uma Malha.



Fonte: (MIRLISENNA, 2016).

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens – elementos e nós – dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem o comportamento físico não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise.

O método pode ser aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, também

permite representar diversos cenários e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga. Além disso, variações do Método dos Elementos Finitos viabilizam a análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluídos para casos mais simples de comportamento linear ou outros não lineares, como quando há grandes deslocamentos ou contato entre partes de uma montagem.

É possível, portanto, com as tecnologias atuais realizar integrações entre os softwares utilizados no desenvolvimento de representação geométrica – conhecidos como CAD (Computer Aided Design) – e os sistemas baseados no Método dos Elementos Finitos – denominados de CAE (Computer-Aided Engineering). Essa integração permite alcançar melhores resultados com análises mais eficientes e ágeis (MIRLISENNA, 2016).

A aplicação de princípios físicos, como balanço de massa, conservação de energia e equilíbrio, naturalmente leva muitas situações de análise de engenharia a equações diferenciais. Métodos foram desenvolvidos para obter soluções exatas para várias classes de equações diferenciais. No entanto, esses métodos não se aplicam a muitos problemas práticos porque suas equações diferenciais governantes não se enquadram nessas classes ou envolvem geometrias complexas. Encontrar soluções analíticas que também satisfaçam as condições de contorno especificadas em regiões bidimensionais e tridimensionais arbitrárias torna-se uma tarefa muito difícil. Os métodos numéricos são, portanto, amplamente usados para a solução de problemas práticos em todos os ramos da engenharia.

O método dos elementos finitos é um dos métodos numéricos para obter solução aproximada de equações diferenciais ordinárias e parciais. É especialmente poderoso ao lidar com condições de contorno definidas em geometrias complexas que são comuns em aplicações práticas. Outros métodos numéricos, como métodos de diferenças finitas e elementos de fronteira, podem ser competitivos ou mesmo superiores ao método dos elementos finitos para certas classes de problemas. No entanto, devido à sua versatilidade em lidar com domínios arbitrários e disponibilidade de software comercial sofisticado de elementos finitos, nas últimas décadas, o método dos elementos finitos tornou-se o método preferido para a solução de muitos problemas práticos.

A aplicação do método dos elementos finitos a um determinado problema envolve as seguintes seis etapas:

1. Desenvolvimento de equações de elemento;
2. Discretização do domínio da solução em uma malha de elementos finitos;
3. Montagem das equações dos elementos;

4. Introdução de condições de contorno;
5. Solução para incógnitas nodais;
6. Cálculo da solução e quantidades relacionadas sobre cada elemento.

A ideia chave do método dos elementos finitos é discretizar o domínio da solução em vários domínios mais simples chamados de elementos. Uma solução aproximada é assumida sobre um elemento em termos de soluções em pontos selecionados chamados nós.

O processo de elementos finitos resulta em um grande sistema de equações que deve ser resolvido para determinar as incógnitas nodais. Vários métodos estão disponíveis para a solução eficiente desses sistemas de equações grandes e relativamente esparsos. Em algumas situações de modelagem de elementos finitos, torna-se necessário introduzir restrições nas equações de elementos finitos (BHATTI, 2005).

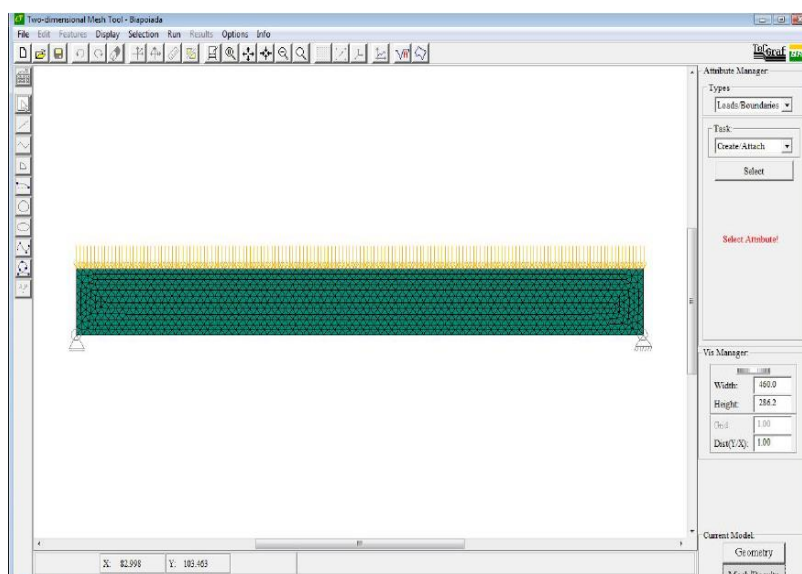
2.5 Aplicações do Método dos Elementos Finitos

- Análise Estrutural em Etruturas de Concreto

Uma viga foi modelada no software Mtool (um programa gráfico interativo para a geração de malhas de elementos finitos bidimensionais) usando os elementos finitos.

A Figura (2.12) mostra a peça modelada no software.

Figura 2.12 - Viga Modelada no Software Mtool.

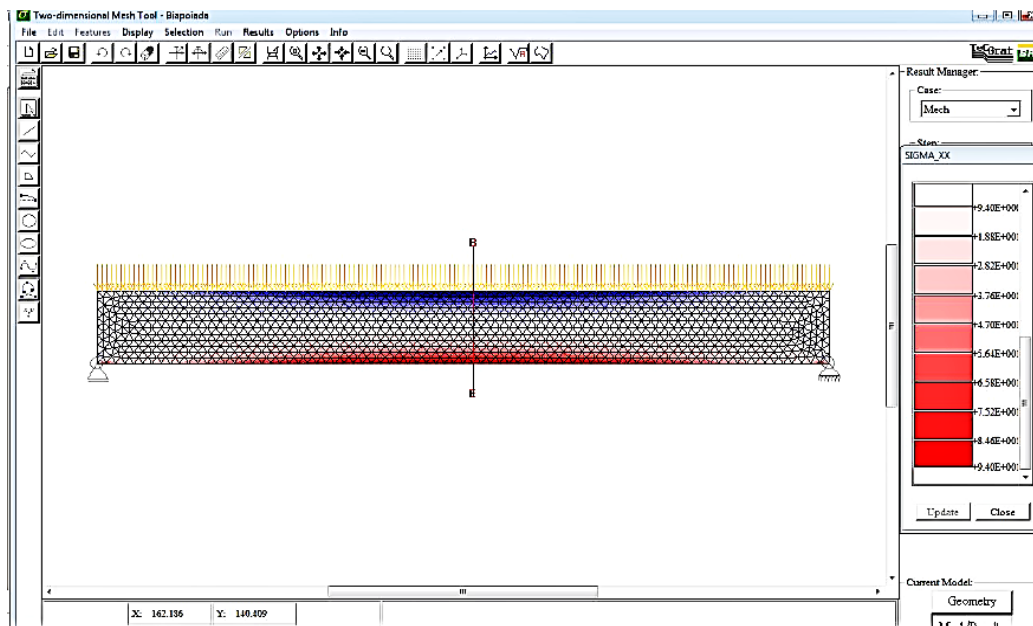


Fonte: (MIRANDA, 2009).

Após a modelagem da viga foi realizada as simulações para verificar a distribuição de tensão normal.

A Figura (2.13) mostra a distribuição de tensão.

Figura 2.13 - Distribuição de Tensão.

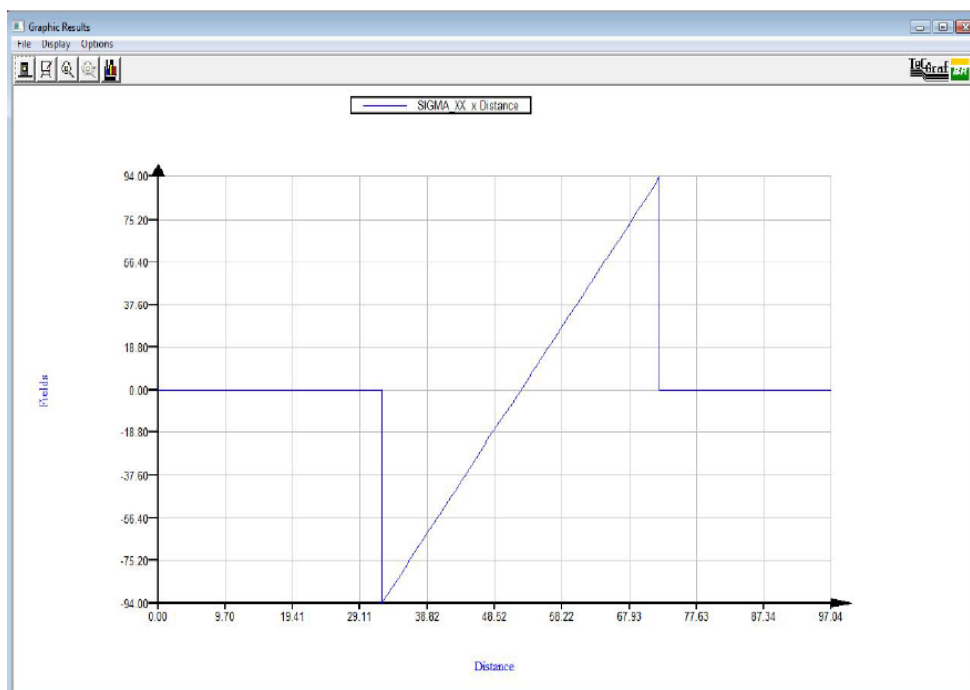


Fonte: (MIRANDA, 2009).

Através da Figura (2.13) é possível visualizar o esquema de distribuição das tensões σ_{xx} de tração (em vermelho) e compressão (em azul) na peça. É possível notar que há predominância de tensão de tração na parte inferior da viga e compressão na parte superior.

A Figura (2.14) mostra o diagrama de tensão σ_{xx} no meio do vão da viga.

Figura 2.14 - Diagrama de Tensão no Meio do Vão da Viga.

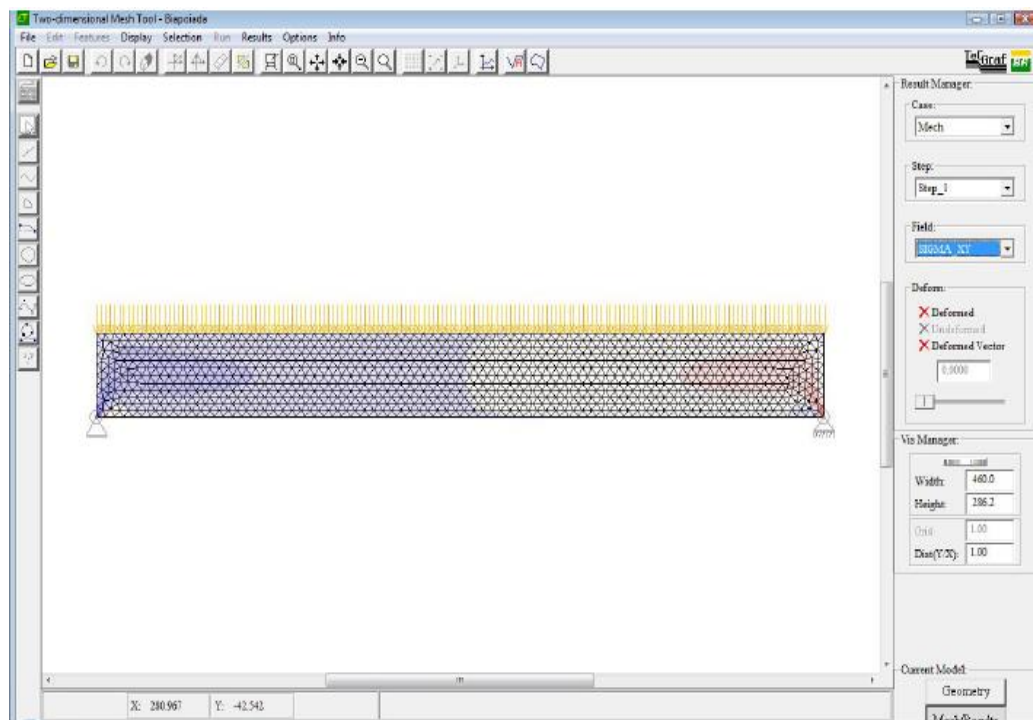


Fonte: (MIRANDA, 2009).

Através do diagrama é possível verificar que as máximas tensões de tração e compressão σ_{xx} encontradas são, respectivamente, 94,00 kgf/cm² e -94,00 kgf/cm².

A Figura (2.15) mostra a distribuição das tensões de cisalhamento.

Figura 2.15 - Distribuição das Tensões de Cisalhamento.



Fonte: (MIRANDA, 2009)

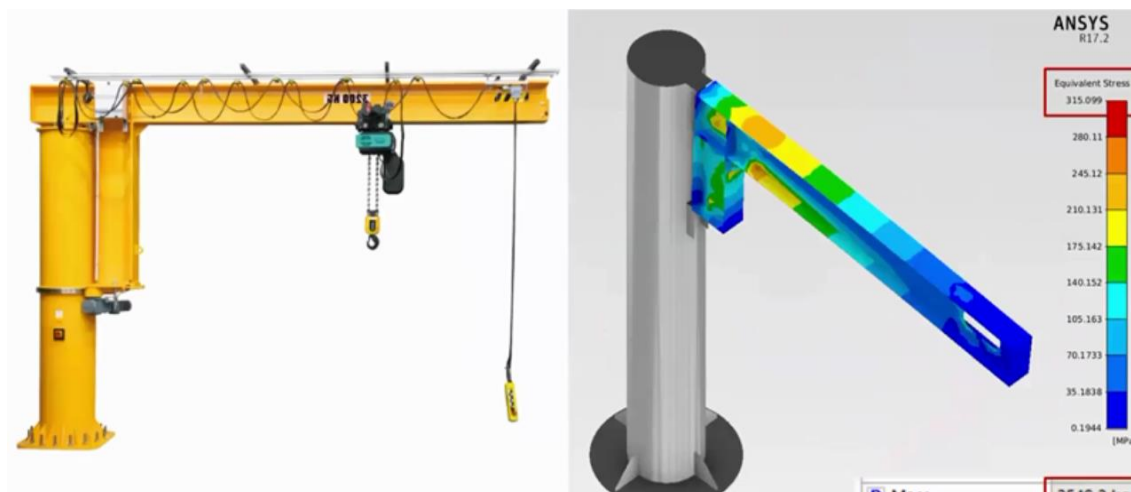
A distribuição das tensões de cisalhamento τ_{xy} que é mostrada na Figura (2.15) revela que há concentração de tensão cisalhante nas regiões dos apoios.

➤ Análise Estrutural em Guindastes

O uso do método dos elementos finitos também pode ser utilizado com o objetivo de estudar um produto já existente e buscar sua otimização. Isso foi feito com o guindaste da Figura (2.16).

A Figura (2.16) mostra uma análise estrutural em um guindaste.

Figura 2.16 - Análise Estrutural em Guindaste.



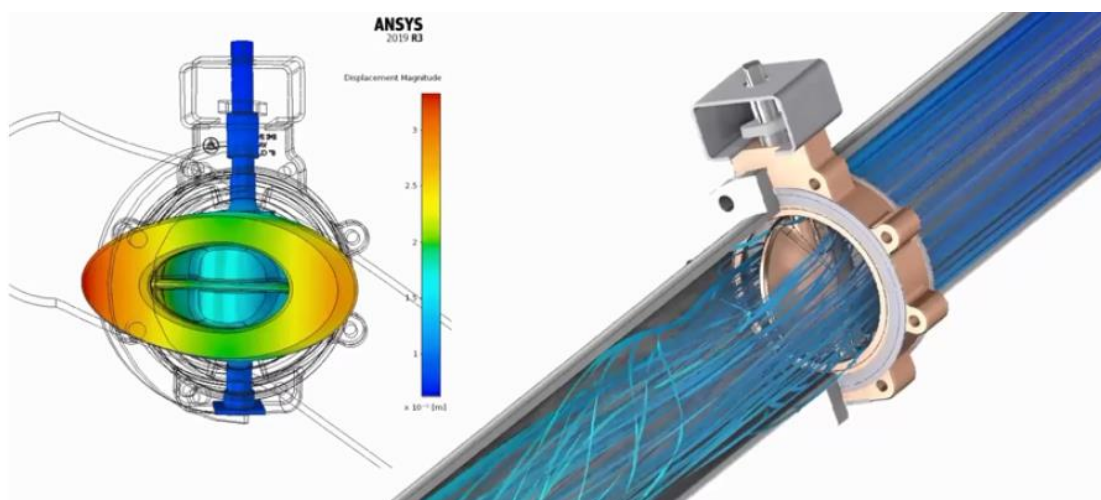
Fonte: (IESSS, 2020).

A análise estrutural por elementos finitos mostrada na Figura (2.16) foi realizada no software de simulação ANSYS e através dela é possível visualizar a distribuição de tensão no componente.

➤ Método dos Elementos Finitos em uma Válvula

Seguindo a linha de estudo e otimização através da distribuição de massa ou elemento de casca de um determinado produto já existente, a Figura (2.17) mostra uma análise através do MEF em uma válvula.

Figura 2.17 - Análise Fluidodinâmica em uma Válvula.



Fonte: (IESSS, 2020)

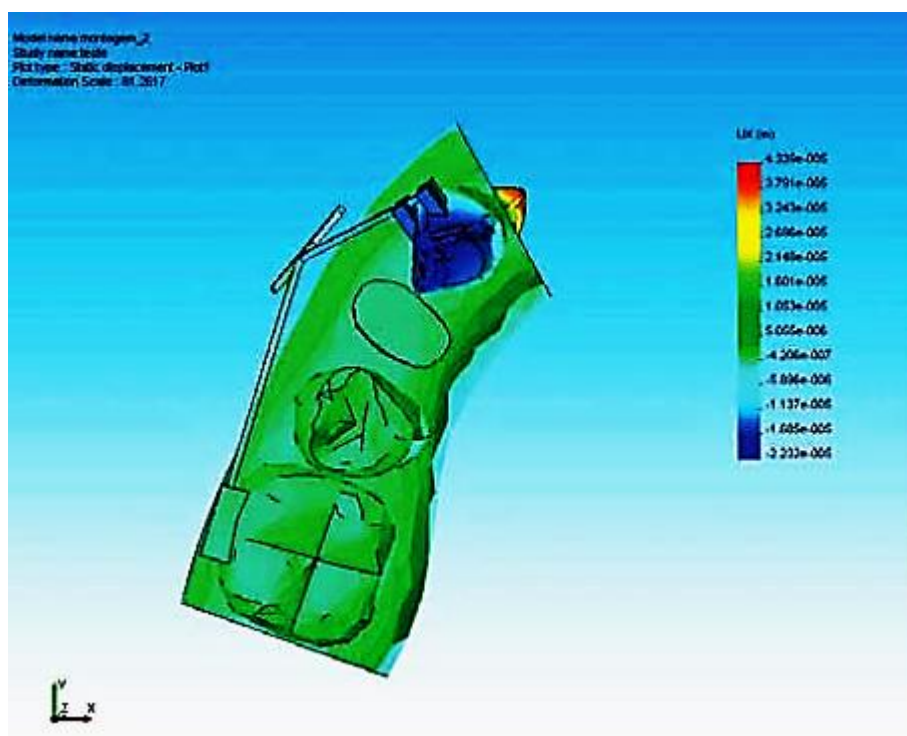
Na Figura (2.17) é apresentada uma análise de escoamento fluidodinâmico em uma válvula industrial realizada no software ANSYS em que o campo de pressão do fluido foi utilizado na haste da válvula para prever as tensões e deformações na haste, as regiões que submetidas a grandes cargas apresentará menor vida em fadiga, regiões em que o dispositivo é mais suscetível a trincas.

➤ Análise em Elementos Finitos Voltada para Odontologia

O MEF é utilizado há algum tempo em outras áreas, como por exemplo na saúde, mostrando a importância da interdisciplinaridade. Pode-se observar experimentos relacionados à Odontologia, em diversas especialidades, sendo a sua aplicação na Ortodontia de grande utilidade.

A figura (2.18) mostra o deslocamento de um dente canino de modo que a visualização dos resultados é feita por uma escala de cores, em que cada tonalidade, corresponde a uma quantidade de deslocamento ou tensão gerada nas estruturas.

Figura 2.18 - Deslocamento do Canino.

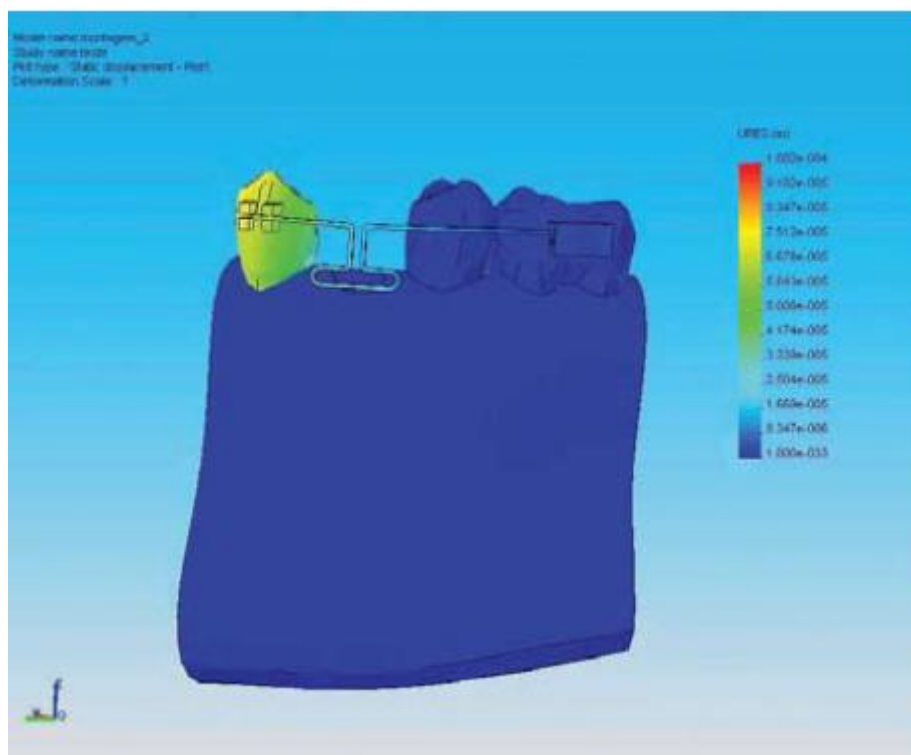


Fonte: (LOTTI et al, 2006).

Deslocamento do canino inferior na direção “x” durante a aplicação do efeito mola do aparelho ortodôntico. São apresentados valores positivos e negativos de acordo com o sentido do movimento.

A figura (2.19) mostra a magnitude do deslocamento.

Figura 2.19 - Magnitude do Deslocamento.



Fonte: (LOTTI et al, 2006).

Na figura (2.19) é possível ver a análise do deslocamento dentário em magnitude durante a avaliação de determinada mecânica. Ou seja, o maior deslocamento de cada ponto em direção à resultante dos deslocamentos existentes, sendo independente de seu sentido.

A figura (2.20) mostra a distribuição de tensão de Von Mises.

3 METODOLOGIA

Para a realização da análise estrutural do suporte de condensadora de ar condicionado se faz necessária a seleção dos modelos de cada máquina, com suas respectivas capacidades de refrigeração, modelagem e seleção dos suportes e seus respectivos componentes a serem estudados, bem como suas especificações e ambiente onde estarão dispostos para operação.

3.1 Seleção dos modelos de ar-condicionado

Com a finalidade de atender os objetivos do presente trabalho, serão selecionados três modelos de ar condicionado, de modo que suas unidades condensadoras possuam capacidades de refrigeração atendidas por um mesmo modelo de suporte.

Neste trabalho serão selecionados os seguintes modelos de ar condicionado para estudo: Ar condicionado split hi-wall Philco 30000 BTU/h, ar condicionado piso teto Carrier 48000 BTU/h e ar condicionado cassete plus Elgin 60000 BTU/h.

3.2 Ar Condicionado Split Hi-Wall Philco 30000 BTU/h 220v

O modelo de 30 KBTU/h selecionado pode ser visto através da Figura (3.1):

Figura 3.1 - Modelo 30 KBTU/h Selecionado.



Fonte: AUTOR, 2020.

A Figura (3.1) mostra a condensadora com capacidade de refrigeração de 30000 BTU/h e seu suporte instalados no Hospital de Medicina Veterinária da UFBA.

Na Tabela (3.1) podem ser encontradas algumas informações técnicas da condensadora:

Tabela 3.1 - Informações Técnicas da Condensadora de 30000 BTU/h.

Capacidade de refrigeração	30000 BTU/h
Gás refrigerante	R-410a
Modelo Condensadora	PAC30000FM9
Peso Líquido Condensadora (Kg)	52,4
Dimensões Condensadora (LxAxP)* mm	(940x720x360)*
Compressor	Rotativo

Disponíveis em: <https://philco.com.br/ar-condicionado-philco-pac30000fm9-conj-220v-096652712/p>.

*Em que L é a largura, A é a altura e P é a profundidade.

3.3 Ar Condicionado Piso Teto Carrier 48.000 BTU/h 220v.

O modelo de 48 KBTU/h selecionado pode ser visto através da Figura (3.2):

Figura 3.3.2 - Modelo 48 KBTU/h Selecionado.



Fonte: AUTOR, 2020.

A Figura (3.2) mostra uma condensadora e seus suportes instalados na faculdade de filosofia da UFBA. Através da figura é possível observar que um dos suportes já apresentava falha mecânica, de modo que a máquina estava na eminência de despencar, podendo acarretar danos ao patrimônio.

A Tabela (3.2) mostra algumas informações técnicas da condensadora:

Tabela 3.2 - Informações Técnicas da Condensadora 48.000 BTU/h.

Capacidade de refrigeração	48.000 BTU/h
Gás refrigerante	R - 22
Modelo Condensadora	38CQM048535MC
Peso Líquido Condensadora (Kg)	95
Dimensões Condensadora (LxAxP)* mm	(762x912x762)*
Compressor	Scroll

Disponíveis em: <https://www.strar.com.br/ar-condicionado-piso-teto-carrier-48000-btu-h-quente-frio-220v-trifasico-gas-r-22/p>.

*Em que L é a largura, A é a altura e P é a profundidade.

3.4 Ar Condicionado Cassete Plus Elgin 60.000 BTU/h Frio 380V.

O modelo de 60 KBTU/h selecionado pode ser visto através da Figura (3.3):

Figura 3.3 - Modelo 60 KBTU/h Selecionado.



Fonte: AUTOR, 2020.

A Figura (3.3) mostra duas condensadoras instaladas a poucos metros do chão na faculdade de contabilidade da UFBA. Na figura é possível perceber que os suportes da máquina de maior porte também apresentam sinais de oxidação ao longo do componente. Apesar de sua instalação ter sido feita em local de acesso relativamente fácil e priorizando a menor distância até o ambiente a ser refrigerado, sua visualização e até mesmo inspeções visuais por parte das pessoas que convivem neste prédio no dia a dia, para sinalização de possíveis problemas de caráter urgente aos responsáveis pela manutenção, fica limitada porque a máquina está disposta em uma área de pouca circulação de pessoas.

Algumas informações técnicas da condensadora podem ser encontradas através da Tabela (3.3):

Tabela 3.3 - Informações Técnicas da Condensadora de 60.000 BTU/h.

Capacidade de refrigeração	60.000 BTU/h
Gás refrigerante	R-410 ^a
Modelo Condensadora	OUFE60B4NA
Peso Líquido Condensadora (Kg)	98
Dimensões Condensadora (LxAxP)* mm	(869x1162x325)*
Compressor	Rotativo

Disponíveis em: <https://www.friopecas.com.br/ar-condicionado-split-cassete-plus-elgin-60000btu-frio-trifasico-380volts/p>.

*Em que L é a largura, A é a altura e P é a profundidade.

3.5 Seleção dos Suportes

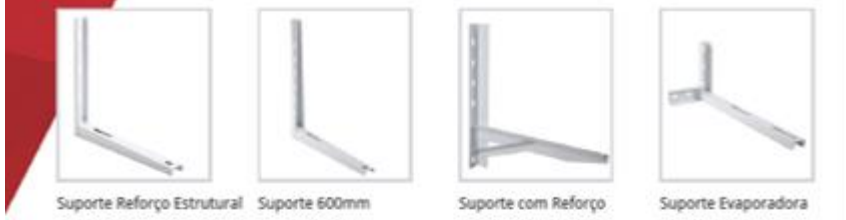
Tendo em vista uma das motivações deste trabalho, que foi a vivência na área de manutenção de sistemas de condicionamento de ar ao longo de estágio realizado no núcleo de climatização da superintendência de meio ambiente e infraestrutura da universidade federal da Bahia – SUMAI/UFBA (que atua na fiscalização do contrato de prestação de serviços nos ar condicionados da universidade), a seleção dos suportes terá como base os modelos utilizados nas instalações das máquinas pertencentes a universidade.

Mediante a apresentação dos modelos de suporte utilizados na universidade e levando em consideração os ambientes em que tais componentes são instalados e as

características de cada condensadora selecionada para estudo, foram selecionados suportes com base em um catálogo de fabricante, a fim de obter a modelagem dos suportes e posterior análise estrutural.

A Figura (3.4), mostra alguns dos principais modelos disponíveis comercialmente em aço SAE1008:

Figura 3.4 - Modelos de Suporte Comercializados em Aço SAE1008.



MODELO	SUPORTE SPLIT 400x300mm	SUPORTE SPLIT 400x400mm	SUPORTE SPLIT 450x400mm	SUPORTE SPLIT 500x500mm	SUPORTE SPLIT 500x500mm	SUPORTE SPLIT 600x600mm
CÓD.	S400.03	S400.02	S450.02	S500.02	S500.03	S600.01
DIMENSÕES (mm) (BasexParede)	400x300	400x400	450x400	500x500	500x500	600x600
MATERIAL	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008
PERFIL	2 x "U"	2 x "U"	2 x "U"	2 x "U"	2 x "U"	2 x "U"
ESPESSURA (mm)	1,20	1,20	1,20	1,50	1,20	2,00
CAPACIDADE (BTU)	7K - 12K	7K - 12K	7K - 12K (Barril)	12K - 30K	12K - 24K	30K - 60K
CAPACIDADE (Kg)	60	60	80	100	80	150
DISTÂNCIA MÁXIMA/MÍNIMA PARA FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO	305 - 219	305 - 219	351 - 225	351 - 225	351 - 225	451 - 325
PONTOS DE FIXAÇÃO NA PAREDE	3	4	4	5	5	6
PARES POR CAIXA	10	10	6	6	6	2
PARES POR PALETE	640	640	216	216	216	100
PESO POR PALETE (Kg) - (Bruto)	806,4	723,2	302,4	518,4	414,72	465

MODELO	SUPORTE SPLIT EVAPORADORA	SUPORTE SPLIT 550mm REFORÇADO	SUPORTE SPLIT 700mm REFORÇADO	SUPORTE SPLIT 900mm REFORÇADO	SUPORTE SPLIT 1000mm REFORÇADO
CÓD.	S600.E1	S550.01	S700.01	S900.01	S1000.1
DIMENSÕES (mm) (BasexParede)	600x230x200	550x500	700x600	900x600	1000x600
MATERIAL	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço SAE1008
PERFIL	3 x "L"	3 x "L"	3 x "L"	3 x "L"	3 x "L"
ESPESSURA (mm)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
CAPACIDADE (BTU)	30K - 80K	18K - 36K	36K - 48K	48K - 60K	até 80K Barril
CAPACIDADE (Kg)	80	160	140	180	200
DISTÂNCIA MÁXIMA/MÍNIMA PARA FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO	356 - 134	445 - 240	595 - 390	795 - 590	895 - 585
PONTOS DE FIXAÇÃO NA PAREDE	5	5	5	5	5
PARES POR CAIXA	2	2	2	2	2
PARES POR PALETE	70	120	60	60	60
PESO POR PALETE (Kg) - (Bruto)	234,5	492	276	342	390

Fonte: (CATÁLOGO HULTER, 2006).

Os modelos apresentados na Figura (3.4) possuem um sistema de tratamento Superficial (fosfatização + Pintura Epoxi) que, além de diminuir drasticamente a possibilidade de corrosão (ferrugem), aumenta o tempo de vida do suporte, pois cria uma barreira contra a ação de envelhecimento causada pela radiação ultra violeta; os suportes

passam periodicamente por Testes de Carga e arrancamento de solda (CATÁLOGO HULTER, 2006).

O fabricante também disponibiliza modelos em aço inox, como mostrados na Figura (3.5):

Figura 3.5 - Modelos de Suporte Comercializados em Aço SAE1008 e Aço Inox.




MODELO	SUPORTE SPLIT RETRATÍL 400mm	SUPORTE SPLIT RETRATÍL 500mm	SUPORTE SPLIT RETRATÍL 400mm INOX	SUPORTE SPLIT RETRATÍL 500mm INOX
CÓD.	S400.04	S500.04	S400.05	S500.05
DIMENSÕES (mm) (BasexParede)	400x350	500x350	400x350	500x350
MATERIAL	Aço SAE1008	Aço SAE1008	Aço Inox	Aço Inox
PERFIL	3 x "U"	3 x "U"	3 x "U"	3 x "U"
ESPESSURA (mm)	1.20	1.20	1.00	1.00
CAPACIDADE (BTU)	7K - 12K	12K - 24K	7K - 12K	12K - 24K
CAPACIDADE (Kg)	60	80	60	80
DISTÂNCIA MÁXIMA/MÍNIMA P/ FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO	330 - 108	430 - 208	330 - 108	430 - 208
PONTOS DE FIXAÇÃO NA PAREDE	4	4	4	4
PARES POR CAIXA	14	14	14	14
PARES POR PALETE	672	672	672	672
PESO POR PALETE (Kg) - (Bruto)	1008	1100	1008	1100

Fonte: (CATÁLOGO HULTER, 2006).

Os modelos apresentados na Figura (3.5) possuem um sistema de tratamento Superficial (fosfatização + Pintura Epoxi) que, além de diminuir drasticamente a possibilidade de corrosão (ferrugem), aumenta o tempo de vida do suporte, pois cria uma barreira contra a ação de envelhecimento causada pela radiação ultra violeta; os suportes passam periodicamente por testes de carga e são fixados com rebites normatizados (CATÁLOGO HULTER, 2006).

O mesmo fabricante também comercializa alguns modelos feitos em plástico que são mostrados na Figura (3.6):

Figura 3.6 - Modelos de Suportes de Plástico Comercializados.



MODELO	SUPORTE SPLIT PLÁSTICO 400mm (PRETO)	SUPORTE SPLIT PLÁSTICO 400mm (BRANCA)	SUPORTE SPLIT PLÁSTICO 450mm (PRETO)	SUPORTE SPLIT PLÁSTICO 450mm (BRANCA)
CÓD.	S400.P1	S400.P2	S450.P1	S450.P3
DIMENSÕES (mm) (BasexParede)	400x280	400x280	450x320	450x320
MATERIAL	Plástico Engenharia	Plástico Engenharia	Plástico Engenharia	Plástico Engenharia
PERFIL	U	U	U	U
ESPESSURA (mm)	3.00	3.00	4.00	4.00
CAPACIDADE (BTU)	7K - 12K	7K - 12K	7K - 30K	7K - 30K
CAPACIDADE (Kg)	60	60	80	80
DISTÂNCIA MÁXIMA/MÍNIMA PARA FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO	187 - 297	187 - 297	372 - 228	372 - 228
PONTOS DE FIXAÇÃO NA PAREDE	4	4	4	4
PARES POR CAIXA	14	14	5	5
PARES POR PALETE	336	336	210	210
PESO POR PALETE (Kg) - (Bruto)	215	215	215	215

Fonte: (CATÁLOGO HULTER, 2006).

Os modelos mostrados na Figura (3.6) são fabricados em NYLON PA66 com 30% FIBRA.

Com base nas informações disponibilizadas no catálogo e os modelos e as características das máquinas selecionadas para o estudo; o modelo de suporte selecionado que atende as três máquinas é o suporte split de 900mm reforçado de aço SAE1008 (código catálogo Hulter: S900.01).

A Figura (3.7) mostra o modelo selecionado:

Figura 3.7 - Modelo de Suporte Selecionado.



Fonte: (CATÁLOGO HULTER, 2006).

3.6 Modelagem em Elementos Finitos

Definido o modelo de suporte a ser usado nas análises, o próximo passo é a obtenção de suas dimensões. As principais medidas, como comprimento da base e da parte que fica em contato com a parede bem como a espessura do componente, são fornecidas pelo fabricante. No entanto, para criação do modelo 3D são necessárias as dimensões das demais partes do suporte (dimensões do reforço e largura de cada face). Esses dados foram coletados diretamente em um suporte de mesmo modelo, de modo a garantir de forma fidedigna as medidas reais.

A Tabela (3.4) traz as principais medidas do suporte fornecidas pelo fabricante e coletadas diretamente em modelo instalado.

Tabela 3.4 - Dimensões do Suporte.

Comprimento base	900 mm
Comprimento barra vertical (parede)	600 mm
Largura barra vertical (parede)	37 mm
Largura aba da base (perpendicular à parede)	55 mm
Largura da base (perpendicular à parede)	37 mm
Largura da aba vertical	55 mm
Comprimento reforço	490 mm
Largura face horizontal reforço	32 mm
Largura face vertical reforço	35 mm
Espessura	2 mm

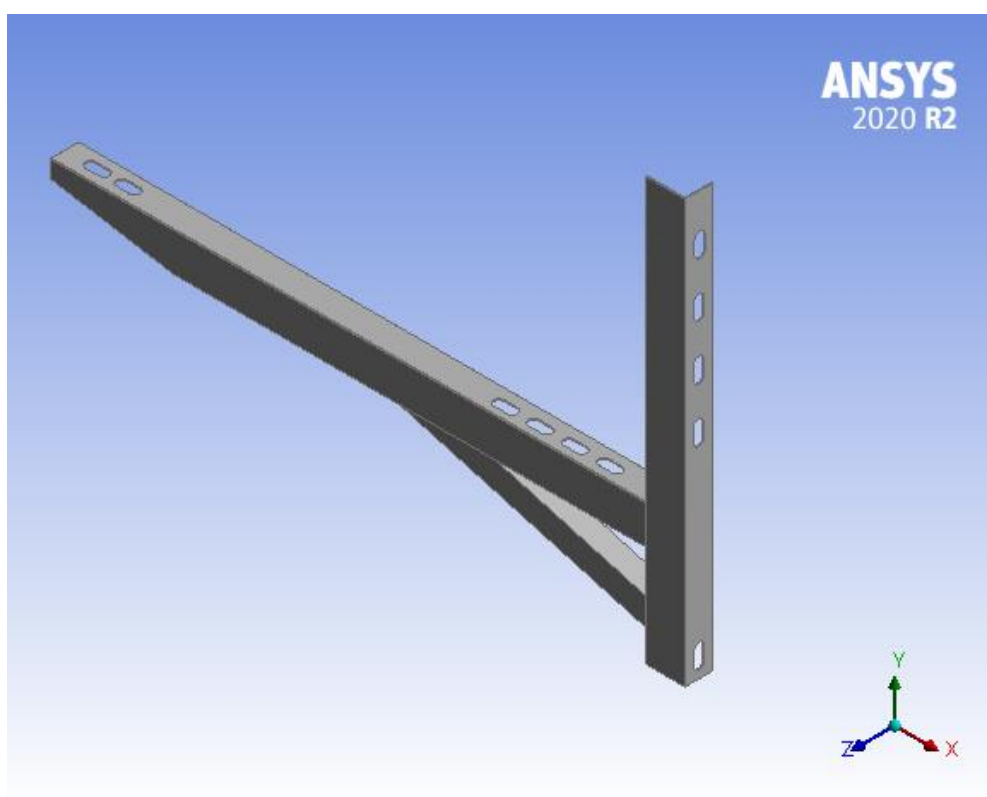
Fonte: AUTOR, 2021.

De posse das principais medidas, o passo seguinte é a modelagem da peça através de software de simulação em elementos finitos. O software utilizado para este fim foi o Ansys versão 2020 R2 estudantil disponível para download gratuitamente no site da empresa.

Este modelo de suporte apresenta como principal diferencial, em relação aos modelos mais simples, um reforço que visa proporcionar maior resistência da peça a falhas mecânicas, se comparado a resistência dos modelos sem o reforço.

A Figura (3.8) mostra a vista isométrica da peça modelada no ambiente de trabalho do software Ansys.

Figura 3.8 - Suporte Modelado.



Fonte: AUTOR, 2021.

O material utilizado na fabricação deste tipo de suporte é o aço SAE1008 e suas partes são fixadas através do processo de soldagem do tipo MIG (metal inert gas). A fixação do suporte na parede e da máquina no suporte são feitas através de parafusos que são dimensionados e fornecidos pelo próprio fabricante. Os espaços reservados para esses parafusos podem ser vistos na Figura (3.8).

A criação do modelo no Ansys consistiu na elaboração da geometria da peça, respeitando as medidas fornecidas pelo fabricante e as que foram coletadas em campo, seguida da extrusão de cada parte que compõe o suporte.

Com o modelo pronto através do software de modelagem, o passo seguinte consiste em efetuar as análises, através do próprio Ansys. Para tal, faz-se necessário reunir algumas propriedades do material.

A Tabela (3.5) traz as propriedades mecânicas do aço SAE 1008 utilizado na fabricação desse tipo de suporte de condensadora.

Tabela 3.5 - Propriedades Mecânicas Aço SAE 1008.

Material	Densidade (g/cm ³)	Limite de escoamento (MPa)	Resistência a tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
SAE 1008	7,872	285	340	190	0,27 a 0,30

Fonte: (LUZ, 2021).

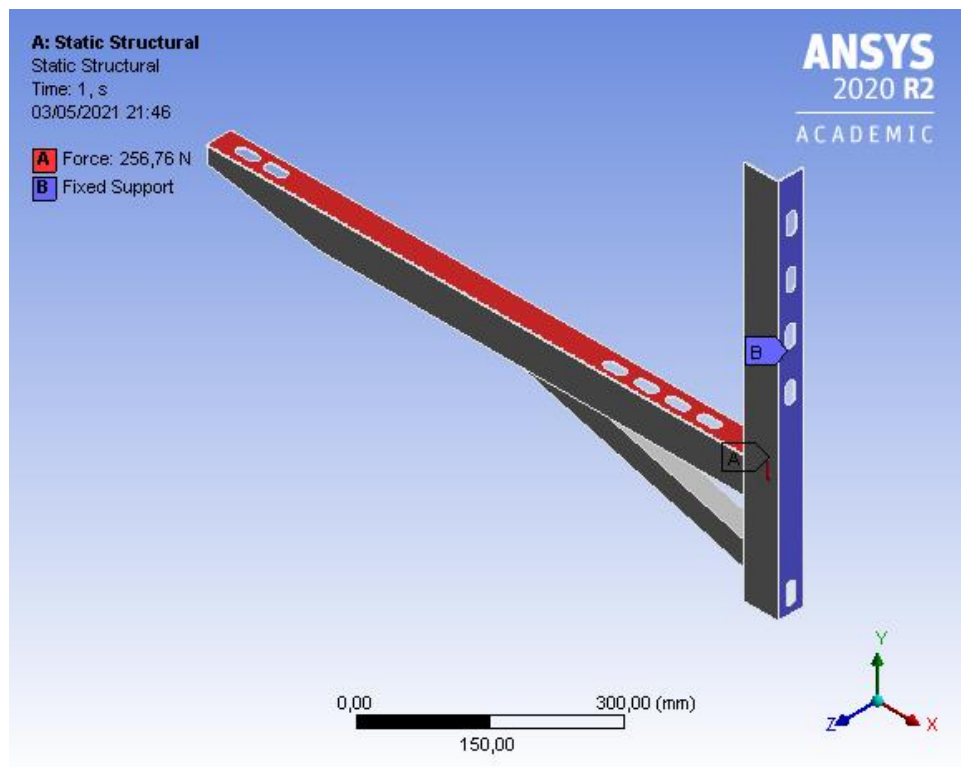
Além das propriedades é necessário definir as condições de contorno para o modelo desenvolvido. Para isso, foram definidas condições de contorno levando em consideração cada um dos três tipos de condensadoras selecionadas neste estudo.

3.7 Condições de Contorno: Condensadora 30.000 BTU/h

Como já exposto anteriormente, as partes que compõem o suporte são unidas através de solda e a fixação do suporte na parede é feita através de parafusos. Para este estudo não serão feitas análises nesses componentes de fixação. Desta forma, o primeiro parâmetro a ser adotado é o de que o suporte está fixo na parede como uma viga engastada.

A região fixada é representada na Figura (3.9) pela cor azul que é a mesma do vetor que demonstra essa condição.

Figura 3.9 - Região Fixa do Suporte.



Fonte: AUTOR, 2021.

Na Figura (3.9) também é possível visualizar a força peso gerada pela ação da aceleração da gravidade na massa da condensadora de 30.000 BTU/h. Essa força tem magnitude de 513,52 N, está aplicada na base do suporte, no sentido negativo do eixo y, e o vetor é representado na cor vermelha.

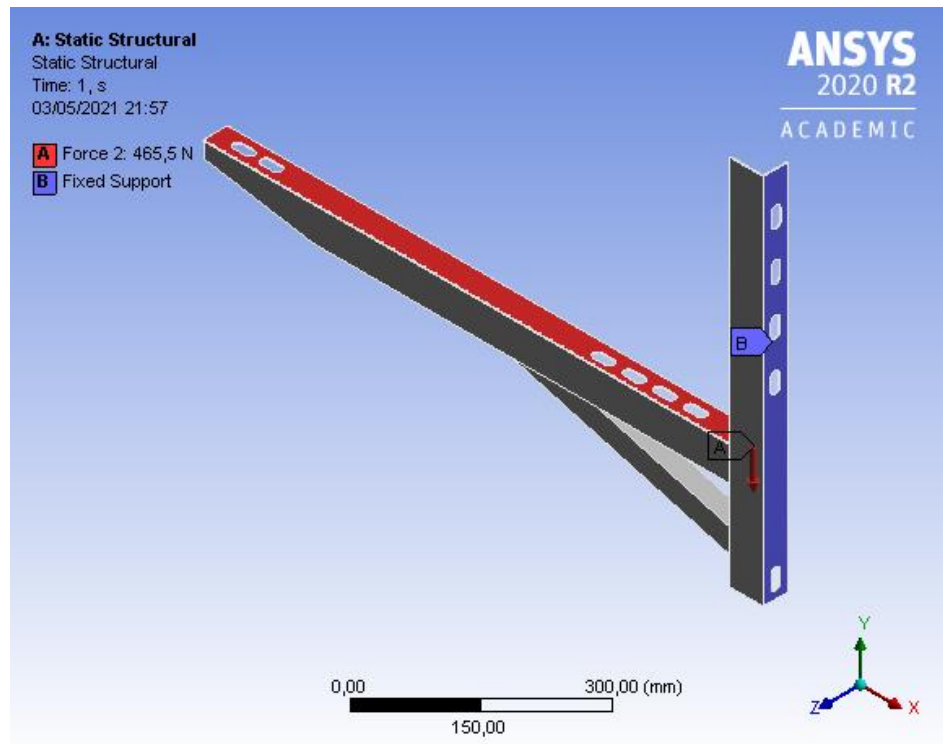
Como foi modelado apenas um dos suportes, a força a ser aplicada nas simulações será considerada como uma carga distribuída ao longo da base do suporte e terá valor de magnitude igual a metade do peso total que é de 256,76 N.

3.8 Condições de Contorno: Condensadora 48.000 BTU/h

As mesmas considerações iniciais relacionadas a fixação do suporte, usadas para a condensadora de 30.000 BTU/h, serão utilizadas neste caso. A diferença será a magnitude da força aplicada na base do suporte, pois apesar da aceleração da gravidade ser a mesma, a condensadora de 48.000 BTU/h possui uma maior massa.

A Figura (3.10) ilustra o suporte e as condições de contorno aplicadas.

Figura 3.10 - Condições de Contorno Aplicadas.



Fonte: AUTOR, 2021.

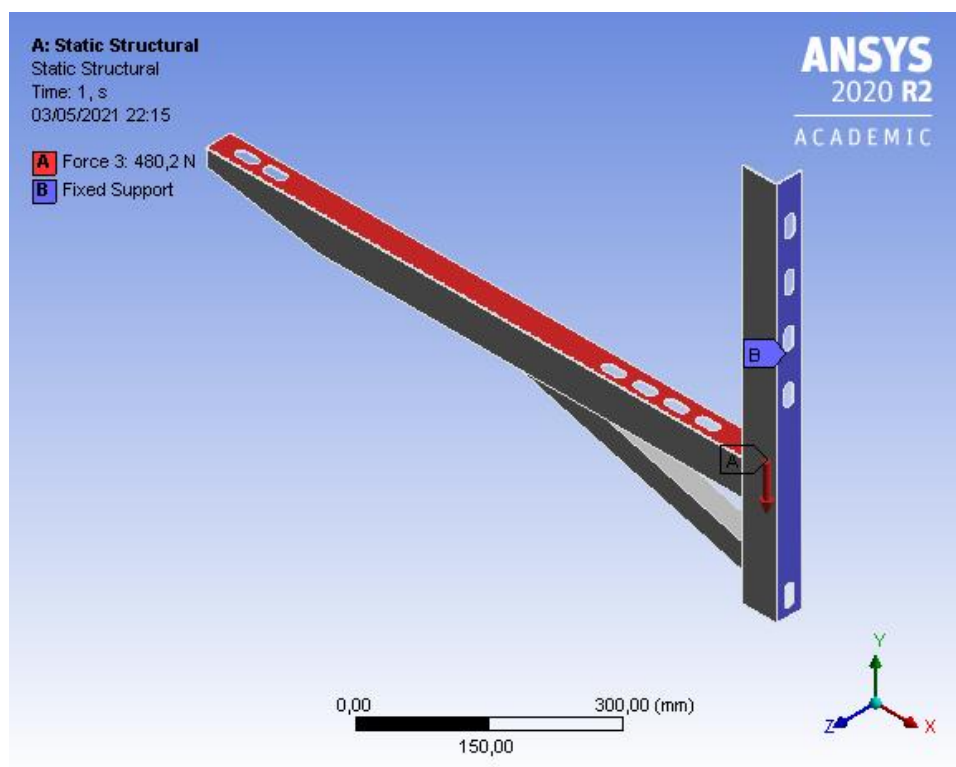
A condensadora de 48.000 BTU/h tem peso total de 931 N. Como foi modelado apenas um dos suportes, a força a ser aplicada nas simulações será considerada como uma carga distribuída ao longo da base do suporte e terá valor de magnitude igual a metade do peso total que é de 465,5 N, aplicada na base do suporte, no sentido negativo do eixo y, e o vetor é representado na cor vermelha como mostrado na Figura (3.10). Também é mostrada a região fixada da peça, na cor azul.

3.9 Condições de Contorno: Condensadora 60.000 BTU/h

Os mesmos parâmetros iniciais adotados para os dois casos anteriores serão usados para a máquina de 60.000 BTU/h. A particularidade será a magnitude da força aplicada ao suporte.

A Figura (3.11) mostra o suporte e as condições de contorno aplicadas.

Figura 3.11 - Suporte e as Condições de Contorno Aplicadas.



Fonte: AUTOR, 2021.

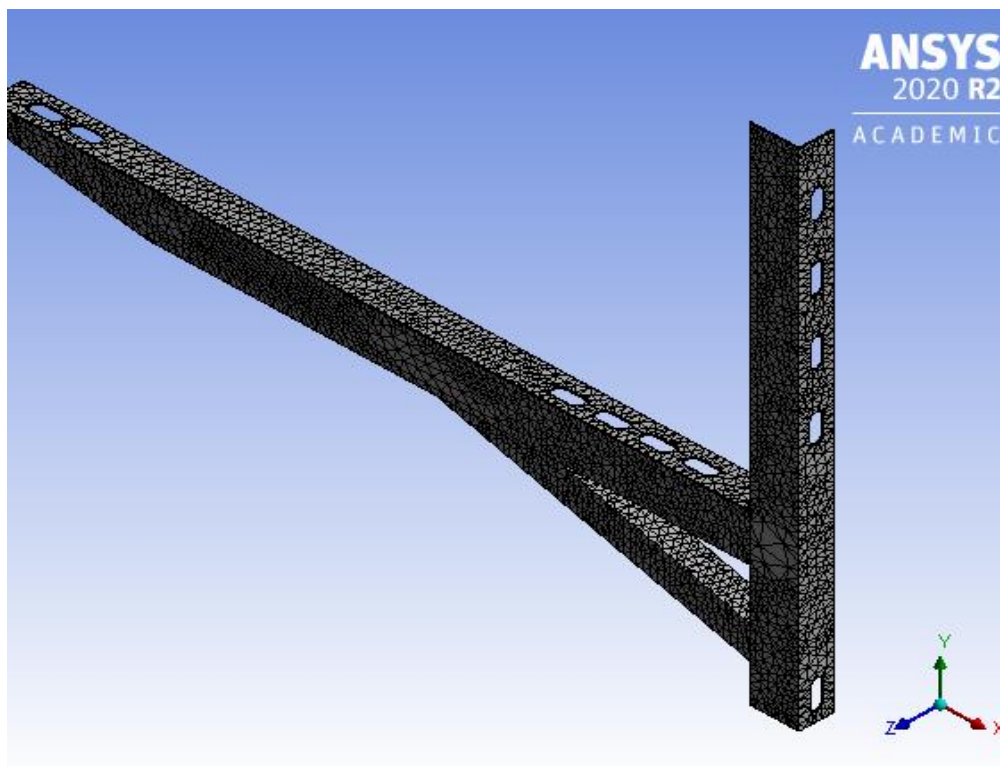
A condensadora de 60.000 BTU/h tem peso total de 960,4 N. Como foi modelado apenas um dos suportes, a força a ser aplicada nas simulações será considerada como uniforme e terá valor de magnitude igual a metade do peso total. Na Figura (3.11) são explicitadas a região fixada da peça, na cor azul, e a força peso de magnitude 480,2 N distribuída ao longo da base do suporte, no sentido negativo do eixo y, com o vetor representado na cor vermelha.

3.10 Aplicação da Malha de Elementos

Definida as condições de contorno e os parâmetros iniciais, bem como as características mecânicas do material que compõe o suporte, a malha de elementos pode ser aplicada ao modelo através do próprio software Ansys.

A Figura (3.12) mostra uma vista aproximada da malha de elementos aplicada ao suporte modelado.

Figura 3.12 - Malha de Elementos Aplicada.



Fonte: AUTOR, 2021.

A ordem do elemento utilizada foi a linear, o elemento geométrico usado para construir a malha foi o triângulo com tamanho de 10 mm e a malha foi gerada sem apresentar erros, sendo composta por um número total de 6.131 nós e 15.456 elementos.

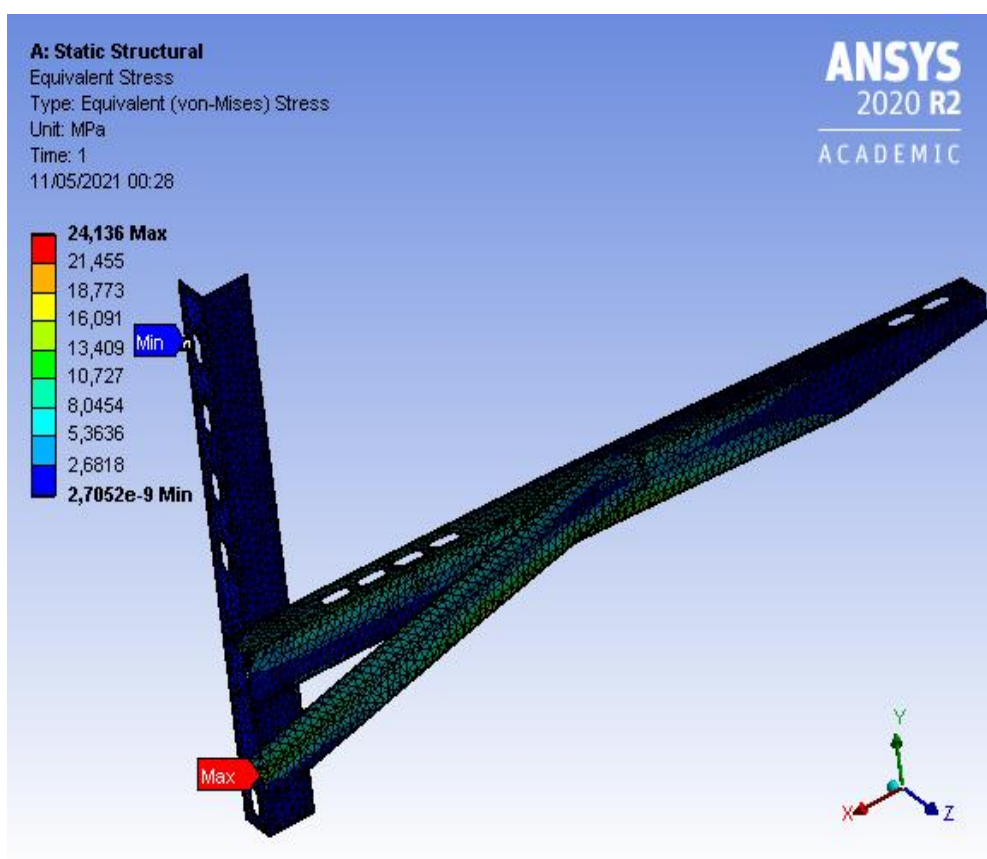
4 RESULTADOS

4.1 Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 30.000 BTU/h

4.1.1 Resultados da análise no Software Ansys

Foram feitas simulações, aplicando-se uma carga de magnitude igual a 256,76 N que corresponde à metade do peso total da condensadora, e obtidos resultados para as tensões máxima e mínima e onde estas estão localizadas, como mostra a Figura (4.1).

Figura 4.1 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 30 KBTU/h.

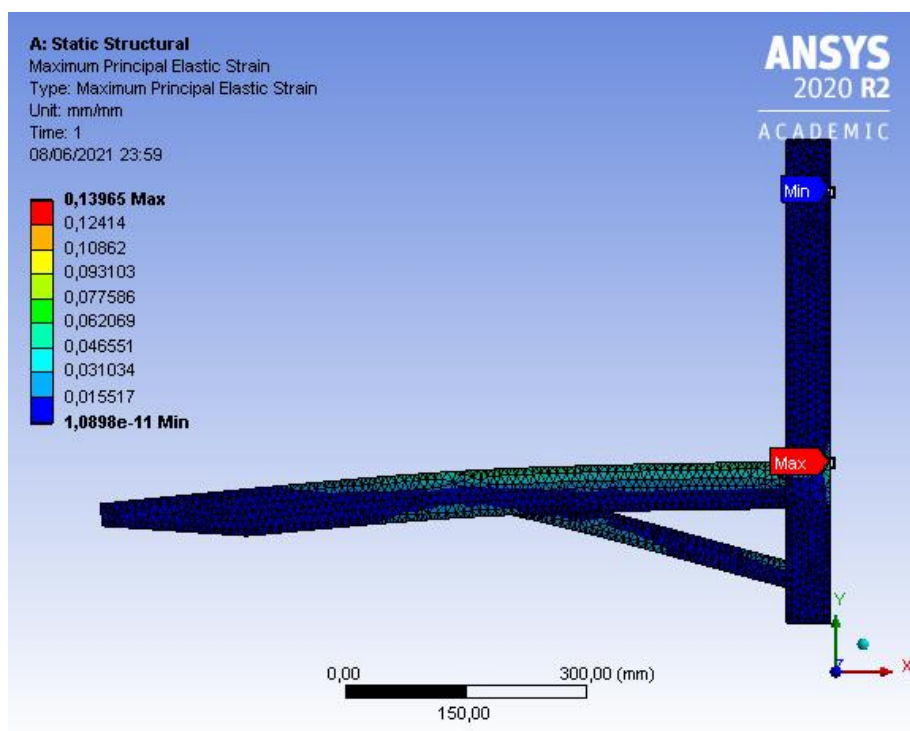


Fonte: AUTOR, 2021.

O ponto de máxima sollicitação está submetido a uma tensão de 24,136 MPa. Este valor está bem abaixo do limite de escoamento do aço SAE 1008 que é de 285 MPa.

Após a aplicação da carga, o suporte sofrerá deformação. O resultado da análise pode ser visto na Figura (4.2).

Figura 4.2 - Deformação do Suporte para Condensadora de 30 KBTU/h.



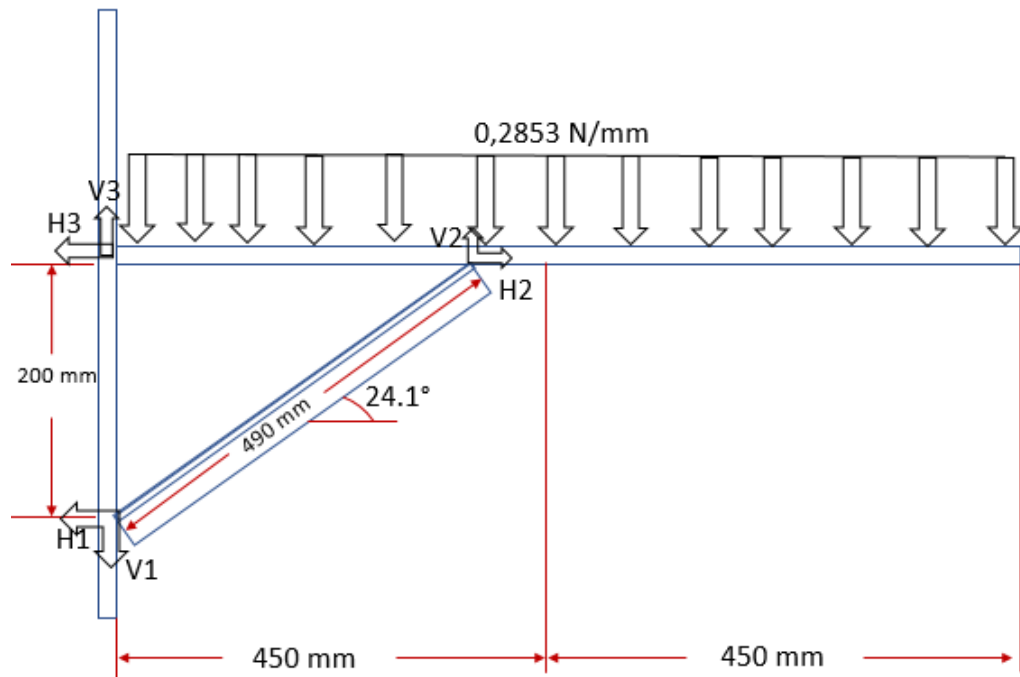
Fonte: AUTOR, 2021.

O resultado da análise mostra que a máxima deformação apresenta valor igual a 0,13965 mm/mm, sendo este imperceptível em escala real.

4.1.2 Cálculos analíticos

Para verificar os resultados das análises obtidos através da aplicação do método dos elementos finitos ao modelo de suporte selecionado, se faz necessário calcular as forças e esforços atuantes na estrutura. Para isso foi feita a simplificação da estrutura nos três casos estudados levando-se em consideração nessas representações apenas a barra horizontal e a barra inclinada, que as regiões de contato entre as partes que compõem o suporte são interligadas através de solda, como acontece no suporte real, e que para o caso da condensadora de 30 KBTU/h a força peso da condensadora é distribuída ao longo de suas dimensões com magnitude de 0,2853 N/mm. A representação das forças é mostrada na Figura (4.3).

Figura 4.3 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 30 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

Os cálculos serão iniciados analisando primeiramente a base do suporte (barra horizontal). Para isso será levado em consideração que a estrutura está em equilíbrio estático, e deste modo é regida pelas seguintes equações:

$$\sum V = 0 \rightarrow V3 + V2 - 0,2853 * 900 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H2 - H3 = 0$$

$$\sum M3 = 0 \rightarrow V3 * 0 + V2 * 447 - 0,2853 * 900 * 450 = 0$$

Geometricamente, obtém-se:

$$H3 = \frac{V3}{\text{tg } 24,1^\circ}$$

Resolvendo o sistema de equações chega-se aos seguintes valores:

$$V2 = 258,49 \text{ N}$$

$$|V3| = 1,72 \text{ N}$$

$$|H3| = 3,85 \text{ N}$$

$$|H2| = 3,85 \text{ N}$$

Aplicando as mesmas equações de somatório de forças verticais e horizontais para o reforço do suporte (barra diagonal) tem-se:

$$\sum V = 0 \rightarrow V_2 - V_1 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H_2 - H_1 = 0$$

Substituindo nas equações os valores encontrados anteriormente para H_2 e V_2 , tem-se:

$$V_1 = 258,49 \text{ N}$$

$$|H_1| = 3,85 \text{ N}$$

Com os valores obtidos acima torna-se possível calcular as tensões que atuam nos elementos que compõem a estrutura. No entanto, antes é necessário encontrar a resultante das forças nos pontos de índices 1, 2 e 3 para os cálculos das tensões nas regiões de contato entre as barras:

$$R_x^2 = V_x^2 + H_x^2$$

Deste modo, tem-se que:

$$R_1 = 258,52 \text{ N}$$

$$R_2 = 258,52 \text{ N}$$

$$R_3 = 4,22 \text{ N}$$

As tensões de cisalhamento nas regiões de união das partes do suporte são:

$$\tau_1 = \frac{R_1}{A_1} = \frac{258,52 \text{ N}}{1 \cdot 32 \text{ mm}^2} = 8,08 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{R_2}{A_2} = \frac{258,52 \text{ N}}{1 \cdot 32 \text{ mm}^2} = 8,08 \text{ MPa}$$

$$\tau_3 = \frac{R_3}{A_3} = \frac{4,22 \text{ N}}{2 \cdot 37 \text{ mm}^2} = 0,06 \text{ MPa}$$

Para os cálculos das tensões normal e de cisalhamento na barra inclinada (reforço do suporte) é necessário decompor as forças V_1 e V_2 , sendo que a componente x está alinhada com a barra inclinada e a componente y está perpendicular. Como essas forças tem a mesma intensidade:

$$V_{1x} = V_{2x} = V_2 \cdot \cos 24,1^\circ = 235,96 \text{ N}$$

$$V_{1y} = V_{2y} = V_2 \cdot \sin 24,1^\circ = 105,55 \text{ N}$$

A área onde as forças atuam é a mesma tanto para as tensões normais quanto para as tensões de cisalhamento, deste modo:

$$|\sigma_{x 1,2}| = |\tau_{x 1,2}| = \frac{235,96N}{2*32mm^2} = 3,69 MPa$$

$$|\sigma_{y 1,2}| = |\tau_{y 1,2}| = \frac{105,55N}{2*32mm^2} = 1,65 MPa$$

Segundo SHIGLEY; MISCHKE & BUDYNAS (2005), para o caso de tensões planas, a tensão de Von Mises é dada por:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{x,y}^2)^{1/2}$$

No cálculo da tensão de Von Mises para a barra diagonal, será utilizado o maior valor de $\tau_{1,2}$ encontrado, tem-se:

$$\sigma' = (3,69^2 - 3,69*1,65 + 1,65^2 + 3*3,69^2)^{1/2} = 7,14 MPa$$

Realizando os mesmos cálculos para as regiões de contato (união) entre as partes do suporte, sabendo que $\tau_1 = \tau_2$ e que nessas regiões ocorre o cisalhamento puro, tem-se:

Para as uniões que ocorrem nos pontos 1 e 2:

$$\sigma' = (0^2 + 3*8,08^2)^{1/2} = 13,99 MPa$$

Para a união que ocorre no ponto 3:

$$\sigma' = (0^2 + 3*0,06^2)^{1/2} = 0,09878 MPa$$

A deformação máxima é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\sigma'}{E} = \frac{13,99MPa}{190*10^3MPa} = 7,36*10^{-5} \frac{mm}{mm}$$

A Tabela (4.1) traz os valores de tensões e deformações encontrados de acordo com cada método.

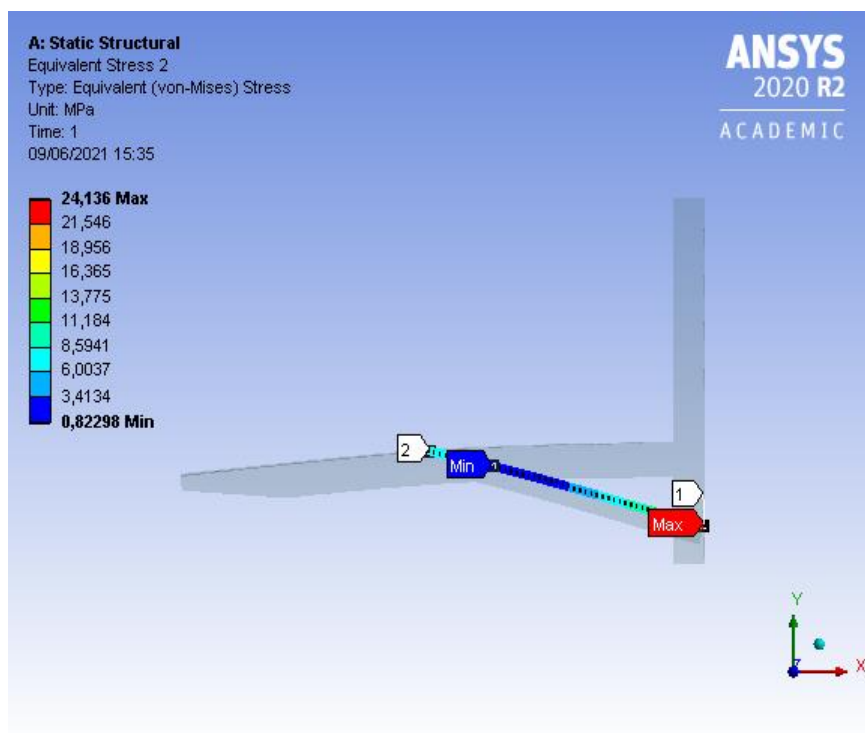
Tabela 4.1 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 30 KBTU/h.

Método	Tensão Máxima (Mpa)	Deformação (mm/mm)
Elementos finitos	24,136	0,13965
Analítico	13,99	$7,36 \cdot 10^{-5}$

Fonte: AUTOR, 2021.

O distanciamento do valor de tensão máxima encontrado através do MEF em relação ao encontrado de forma teórica, se deve a concentração de tensão na raiz da barra inclinada. Assim, foi verificado como ocorre a distribuição de tensão ao longo do reforço, como pode ser visto na Figura (4.4):

Figura 4.4 - Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora 30 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

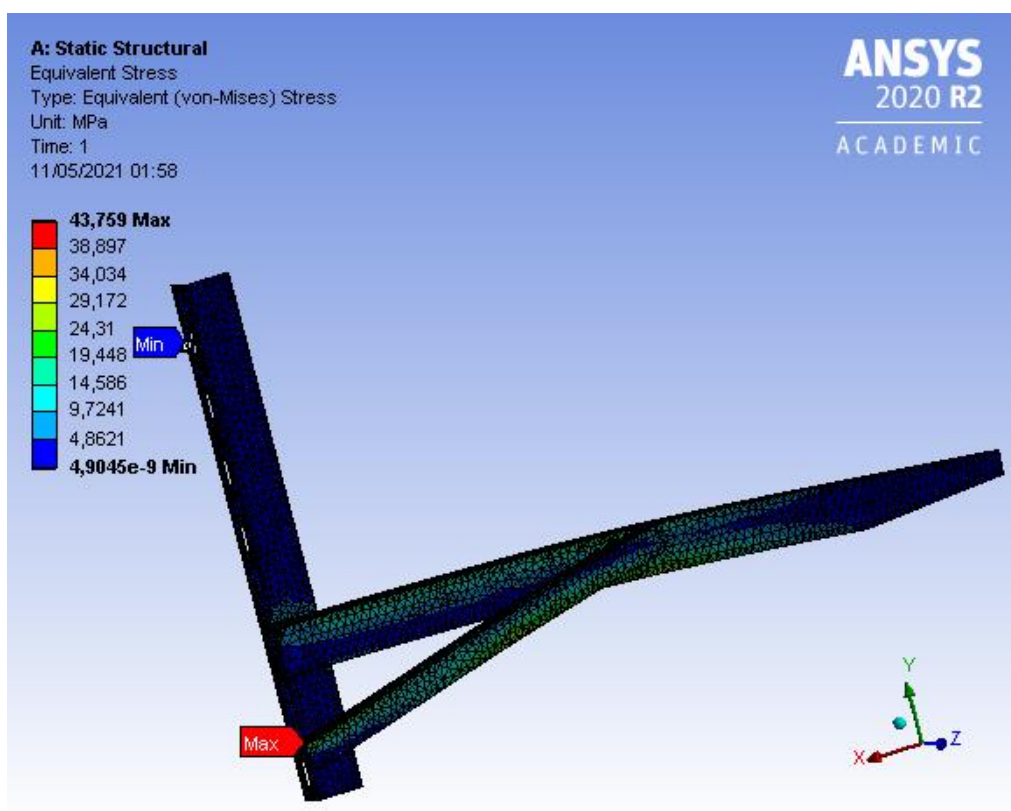
Monitorando os valores de distribuição de tensão ao longo da aresta da barra inclinada é possível notar que os valores se aproximam dos encontrados através dos cálculos analíticos.

4.2 Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 48.000 BTU/h

4.2.1 Resultados da análise no Software Ansys

Também foram feitas simulações, aplicando-se uma carga de magnitude igual a 465,5 N que corresponde à metade do peso total da condensadora, e obtidos resultados para as tensões máxima e mínima e onde estas estão localizadas, como mostra a Figura (4.5).

Figura 4.5 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 48 KBTU/h.

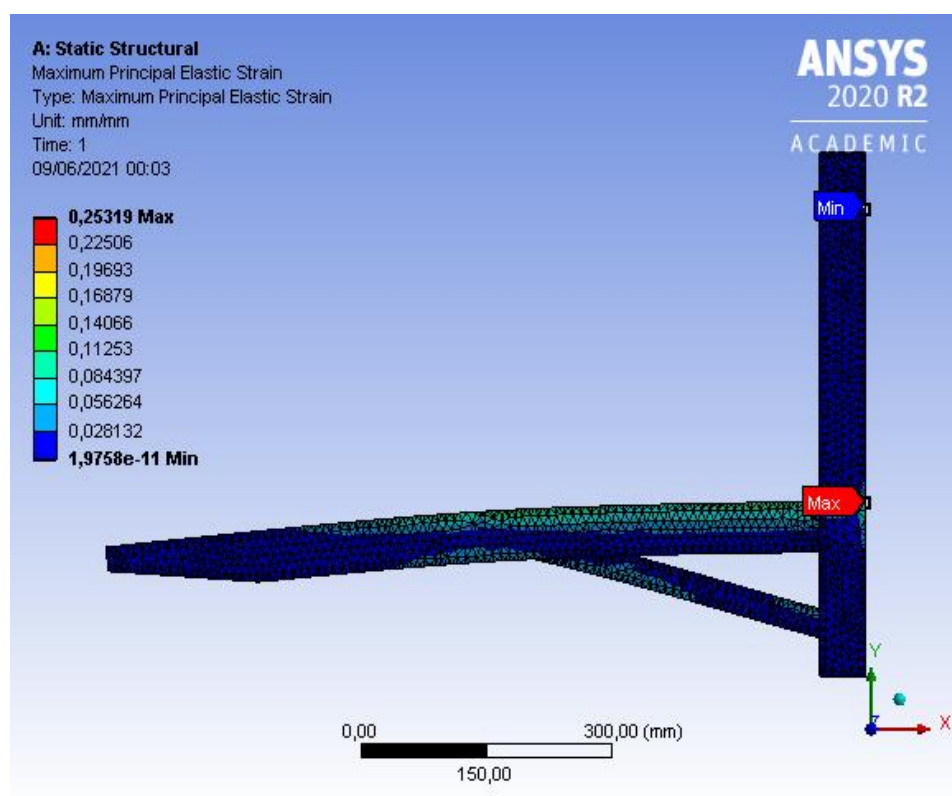


Fonte: AUTOR, 2021.

O ponto mais solicitado está submetido a uma tensão de 43,759 MPa. Este valor está bem a baixo do limite de escoamento do aço SAE 1008 que é de 285 MPa.

Após a aplicação da carga, o suporte sofrerá deformação. O resultado da análise pode ser visto na Figura (4.6).

Figura 4.6 - Deformação do Suporte para Condensadora de 48 KBTU/h.



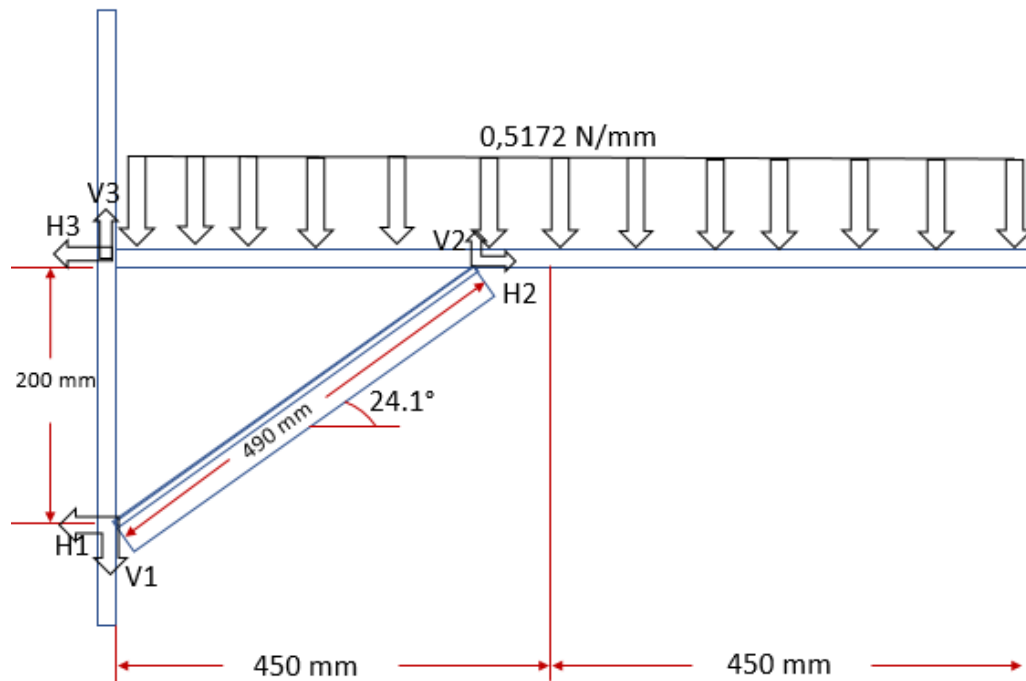
Fonte: AUTOR, 2021.

O resultado da análise mostra que a máxima deformação apresenta valor igual a 0,25319 mm/mm, sendo este imperceptível em escala real.

4.2.2 Cálculos analíticos

Assim como no caso anterior, para verificar os resultados das análises obtidos através da aplicação do método dos elementos finitos, também se faz necessário calcular as forças e esforços atuantes na estrutura. A mesma simplificação na representação da estrutura é utilizada, diferindo apenas a magnitude da força peso da condensadora (0,5172 N/mm) distribuído ao longo da estrutura representada, como mostra a Figura (4.7).

Figura 4.7 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 48 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

Os cálculos serão iniciados analisando primeiramente a base do suporte (barra horizontal). Para isso será levado em consideração que a estrutura está em equilíbrio estático, e deste modo é regida pelas seguintes equações:

$$\sum V = 0 \rightarrow V3 + V2 - 0,5172 * 900 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H2 - H3 = 0$$

$$\sum M3 = 0 \rightarrow V3 * 0 + V2 * 447 - 0,5172 * 900 * 450 = 0$$

Geometricamente, obtém-se:

$$H3 = \frac{V3}{\text{tg } 24,1^\circ}$$

Resolvendo o sistema de equações chega-se aos seguintes valores:

$$V2 = 468,6 \text{ N}$$

$$|V3| = 3,12 \text{ N}$$

$$|H3| = 6,98 \text{ N}$$

$$|H2| = 6,98 \text{ N}$$

Aplicando as mesmas equações de somatório de forças verticais e horizontais para o reforço do suporte (barra diagonal) tem-se:

$$\sum V = 0 \rightarrow V_2 - V_1 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H_2 - H_1 = 0$$

Substituindo nas equações os valores encontrados anteriormente para H_2 e V_2 , tem-se:

$$V_1 = 468,6 \text{ N}$$

$$|H_1| = 6,98 \text{ N}$$

Com os valores obtidos acima torna-se possível calcular as tensões que atuam nos elementos que compõem a estrutura. No entanto, antes é necessário encontrar a resultante das forças nos pontos de índices 1, 2 e 3 para os cálculos das tensões nas regiões de contato entre as barras:

$$R_x^2 = V_x^2 + H_x^2$$

Deste modo, tem-se que:

$$R_1 = 468,66 \text{ N}$$

$$R_2 = 468,66 \text{ N}$$

$$R_3 = 7,65 \text{ N}$$

As tensões de cisalhamento nas regiões de união das partes do suporte são:

$$\tau_1 = \frac{R_1}{A_1} = \frac{468,66\text{N}}{1*32\text{mm}^2} = 14,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{R_2}{A_2} = \frac{468,66\text{N}}{1*32\text{mm}^2} = 14,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_3 = \frac{R_3}{A_3} = \frac{7,65\text{N}}{2*37\text{mm}^2} = 0,1034 \text{ MPa}$$

Para o cálculo da tensão normal na barra inclinada (reforço do suporte) é necessário decompor as forças V_1 e V_2 , sendo que a componente x está alinhada com a barra inclinada e a componente y está perpendicular. Como essas forças tem a mesma intensidade:

$$V_{1x} = V_{2x} = V_2 * \cos 24,1^\circ = 427,76 \text{ N}$$

$$V_{1y} = V_{2y} = V_2 * \sin 24,1^\circ = 191,35 \text{ N}$$

A área onde as forças atuam é a mesma tanto para as tensões normais quanto para as tensões de cisalhamento, deste modo:

$$|\sigma_{x 1,2}| = |\tau_{x 1,2}| = \frac{427,76N}{2*32mm^2} = 6,68 MPa$$

$$|\sigma_{y 1,2}| = |\tau_{y 1,2}| = \frac{191,35N}{2*32mm^2} = 2,99 MPa$$

Para o caso de tensões planas, a tensão de Von Mises é dada por:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{x,y}^2)^{1/2}$$

No cálculo da tensão de Von Mises para a barra diagonal, será utilizado o maior valor de $\tau_{1,2}$ encontrado, tem-se:

$$\sigma' = (6,68^2 - 6,68*2,99 + 2,99^2 + 3*6,68^2)^{1/2} = 12,95 MPa$$

Realizando os mesmos cálculos para as regiões de contato (união) entre as partes do suporte, sabendo que $\tau_1 = \tau_2$ e que nessas regiões ocorre o cisalhamento puro, tem-se:

Para as uniões que ocorrem nos pontos 1 e 2:

$$\sigma' = (0^2 + 3*14,65^2)^{1/2} = 25,37 MPa$$

Para a união que ocorre no ponto 3:

$$\sigma' = (0^2 + 3*0,1034^2)^{1/2} = 0,1791 MPa$$

A deformação máxima é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\sigma'}{E} = \frac{25,37MPa}{190*10^3MPa} = 1,34E - 04 \frac{mm}{mm}$$

A Tabela (4.2) traz os valores de tensões e deformações encontrados de acordo com cada método.

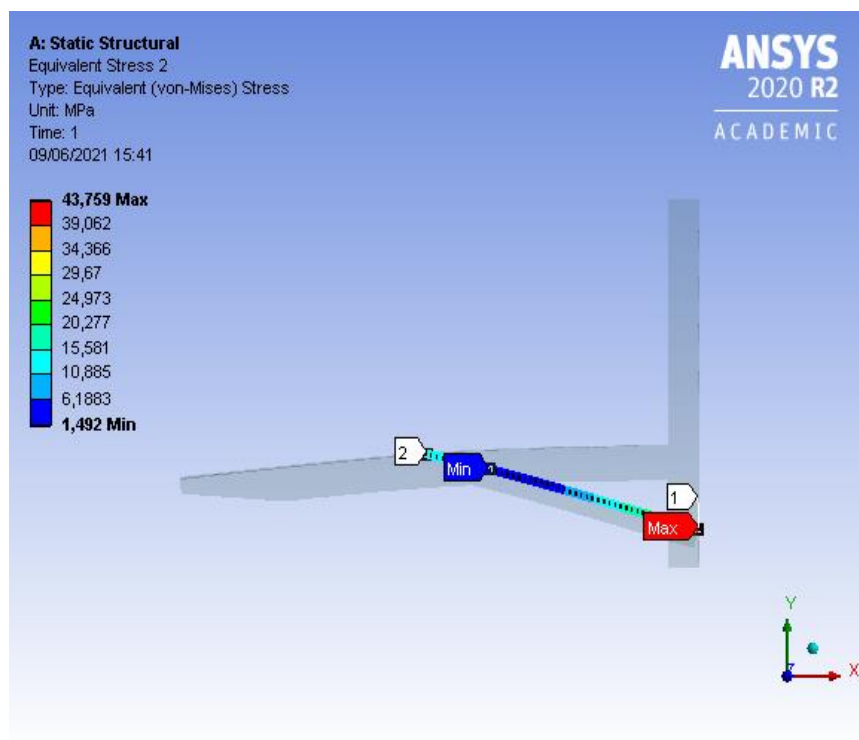
Tabela 4.2 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 48 KBTU/h.

Método	Tensão Máxima (Mpa)	Deformação (mm/mm)
Elementos finitos	43,759	0,25319
Analítico	25,37	1,34E-04

Fonte: AUTOR, 2021.

O distanciamento do valor de tensão máxima encontrado através do MEF em relação ao encontrado de forma teórica, se deve a concentração de tensão na raiz da barra inclinada. Assim, foi verificado como ocorre a distribuição de tensão ao longo do reforço, como pode ser visto na Figura (4.8):

Figura 4.8 - Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora 48 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

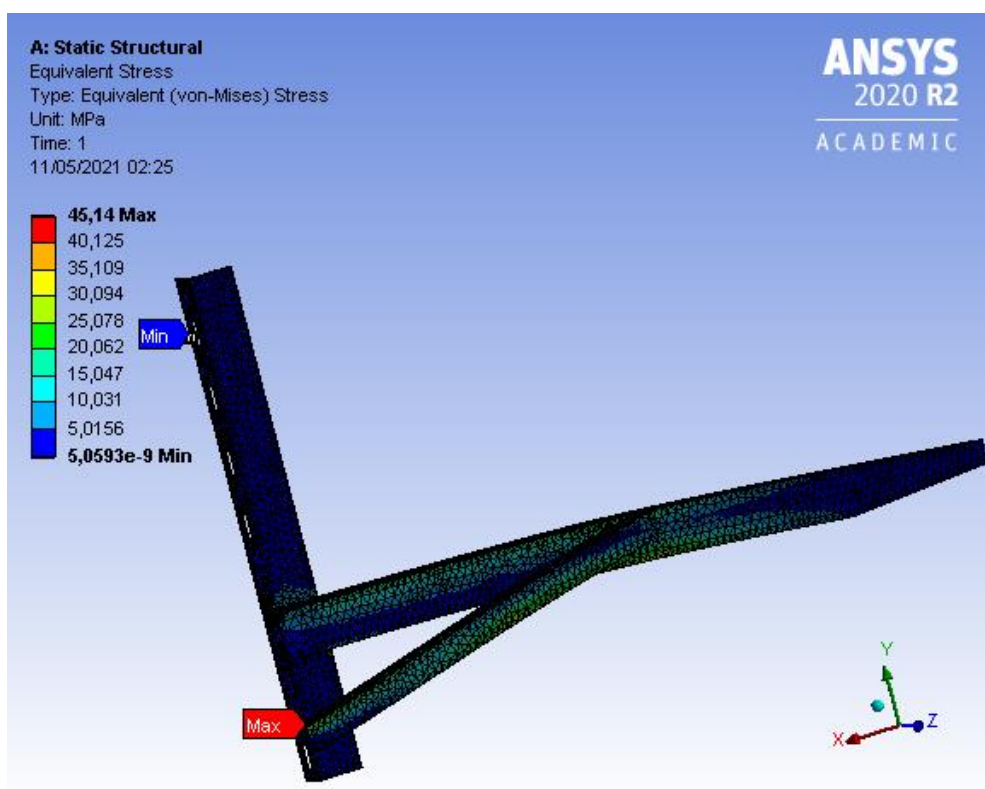
Analisando os valores de distribuição de tensão ao longo da aresta da barra inclinada é possível notar que os valores se aproximam dos encontrados através dos cálculos analíticos.

4.3 Suporte Submetido a Carga Referente Condensadora de 60.000 BTU/h

4.3.1 Resultados da análise no Software Ansys

Por último foram feitas simulações levando em consideração o equipamento de maior porte, aplicando-se uma carga de magnitude igual a 480,2 N que corresponde à metade do peso total da condensadora, e obtidos resultados para as tensões máxima e mínima e onde estas estão localizadas, como mostra a Figura (4.9).

Figura 4.9 - Tensões Máxima e Mínima de Von Mises Modelo 60 KBTU/h.

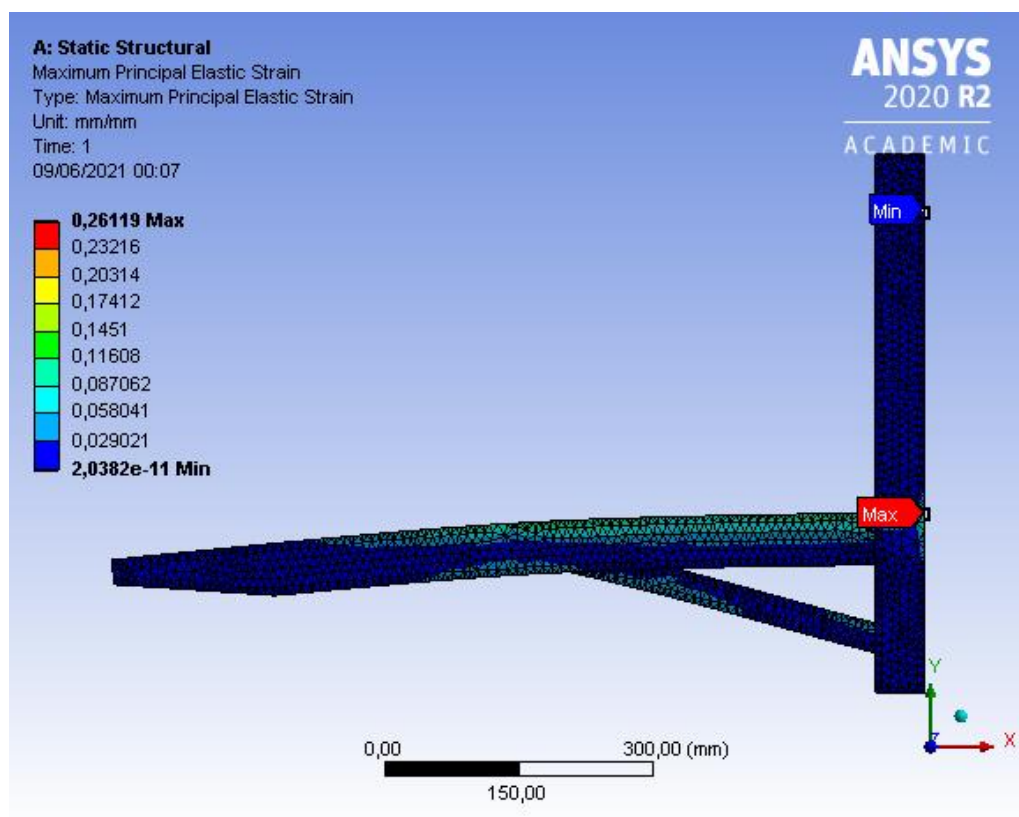


Fonte: AUTOR, 2021.

O ponto mais solicitado está submetido a uma tensão de 45,14 MPa. Assim como nos casos anteriores, este valor está bem a baixo do limite de escoamento do aço SAE 1008 que é de 285 MPa.

Após a aplicação da carga, o suporte sofrerá deformação. O resultado da análise pode ser visto na Figura (4.10).

Figura 4.10 - Deformação do Suporte para Condensadora de 60 KBTU/h.



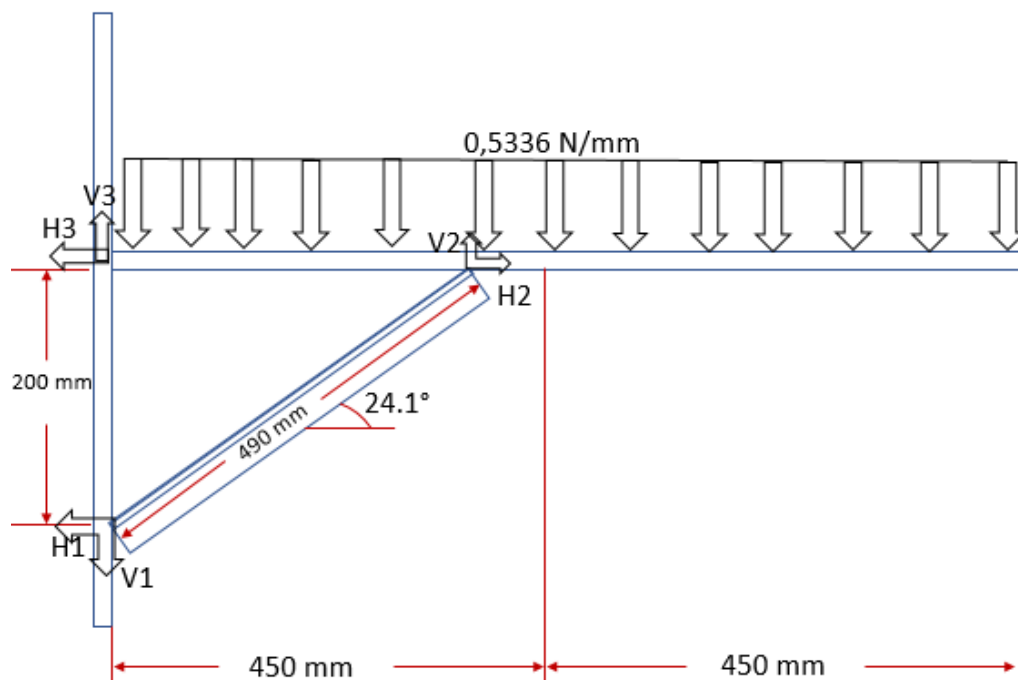
Fonte: AUTOR, 2021.

O resultado da análise mostra que a máxima deformação apresenta valor igual a 0,25319 mm/mm, sendo este imperceptível em escala real.

4.3.2 Cálculos analíticos

Como nos dois casos anteriores estudados, para verificar os resultados das análises obtidos através da aplicação do método dos elementos finitos, também se faz necessário calcular as forças e esforços atuantes na estrutura. A mesma simplificação na representação da estrutura também é utilizada para o caso da condensadora de 60.000 BTU/h, diferindo apenas a magnitude da força distribuída representada, como mostra a Figura (4.11).

Figura 4.11 – Forças Atuantes no Suporte para Condensadora de 60 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

Os cálculos serão iniciados analisando primeiramente a base do suporte (barra horizontal). Para isso será levado em consideração que a estrutura está em equilíbrio estático, e deste modo é regida pelas seguintes equações:

$$\sum V = 0 \rightarrow V3 + V2 - 0,5172 * 900 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H2 - H3 = 0$$

$$\sum M3 = 0 \rightarrow V3 * 0 + V2 * 447 - 0,5172 * 900 * 450 = 0$$

Geometricamente, obtém-se:

$$H3 = \frac{V3}{\text{tg } 24,1^\circ}$$

Resolvendo o sistema de equações chega-se aos seguintes valores:

$$V2 = 483,46 \text{ N}$$

$$|V3| = 3,22 \text{ N}$$

$$|H3| = 7,21 \text{ N}$$

$$|H2| = 7,21 \text{ N}$$

Aplicando as mesmas equações de somatório de forças verticais e horizontais para o reforço do suporte (barra diagonal) tem-se:

$$\sum V = 0 \rightarrow V_2 - V_1 = 0$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H_2 - H_1 = 0$$

Substituindo nas equações os valores encontrados anteriormente para H_2 e V_2 , tem-se:

$$V_1 = 483,46 \text{ N}$$

$$|H_1| = 7,21 \text{ N}$$

Com os valores obtidos acima torna-se possível calcular as tensões que atuam nos elementos que compõem a estrutura. No entanto, antes é necessário encontrar a resultante das forças nos pontos de índices 1, 2 e 3 para os cálculos das tensões nas regiões de contato entre as barras:

$$R_x^2 = V_x^2 + H_x^2$$

Deste modo, tem-se que:

$$R_1 = 483,52 \text{ N}$$

$$R_2 = 483,52 \text{ N}$$

$$R_3 = 7,89 \text{ N}$$

As tensões de cisalhamento nas regiões de união das partes do suporte são:

$$\tau_1 = \frac{R_1}{A_1} = \frac{483,52 \text{ N}}{1 \cdot 32 \text{ mm}^2} = 15,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{R_2}{A_2} = \frac{483,52 \text{ N}}{1 \cdot 32 \text{ mm}^2} = 15,11 \text{ MPa}$$

$$\tau_3 = \frac{R_3}{A_3} = \frac{7,89 \text{ N}}{2 \cdot 37 \text{ mm}^2} = 0,1067 \text{ MPa}$$

Para o cálculo da tensão normal na barra inclinada (reforço do suporte) é necessário decompor as forças V_1 e V_2 , sendo que a componente x está alinhada com a barra inclinada e a componente y está perpendicular. Como essas forças tem a mesma intensidade:

$$V_{1x} = V_{2x} = V_2 \cdot \cos 24,1^\circ = 441,32 \text{ N}$$

$$V_{1y} = V_{2y} = V_2 \cdot \sin 24,1^\circ = 197,41 \text{ N}$$

A área onde as forças atuam é a mesma tanto para as tensões normais quanto para as tensões de cisalhamento, deste modo:

$$|\sigma_{x1,2}| = |\tau_{x1,2}| = \frac{441,32N}{2*32mm^2} = 6,9 MPa$$

$$|\sigma_{y1,2}| = |\tau_{y1,2}| = \frac{197,41N}{2*32mm^2} = 3,08 MPa$$

Para o caso de tensões planas, a tensão de Von Mises é dada por:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{x,y}^2)^{1/2}$$

No cálculo da tensão de Von Mises para a barra diagonal, será utilizado o maior valor de $\tau_{1,2}$ encontrado, tem-se:

$$\sigma' = (6,9^2 - 6,9*3,08 + 3,08^2 + 3*6,9^2)^{1/2} = 13,36 MPa$$

Realizando os mesmos cálculos para as regiões de contato (união) entre as partes do suporte, sabendo que $\tau_1 = \tau_2$ e que nessas regiões ocorre o cisalhamento puro, tem-se:

Para as uniões que ocorrem nos pontos 1 e 2:

$$\sigma' = (0^2 + 3*15,11^2)^{1/2} = 26,17 MPa$$

Para a união que ocorre no ponto 3:

$$\sigma' = (0^2 + 3*0,1067^2)^{1/2} = 0,1848 MPa$$

A deformação máxima é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\sigma'}{E} = \frac{26,17 MPa}{190*10^3 MPa} = 1,38E - 04 \frac{mm}{mm}$$

A Tabela (4.3) traz os valores de tensões e deformações encontrados de acordo com cada método.

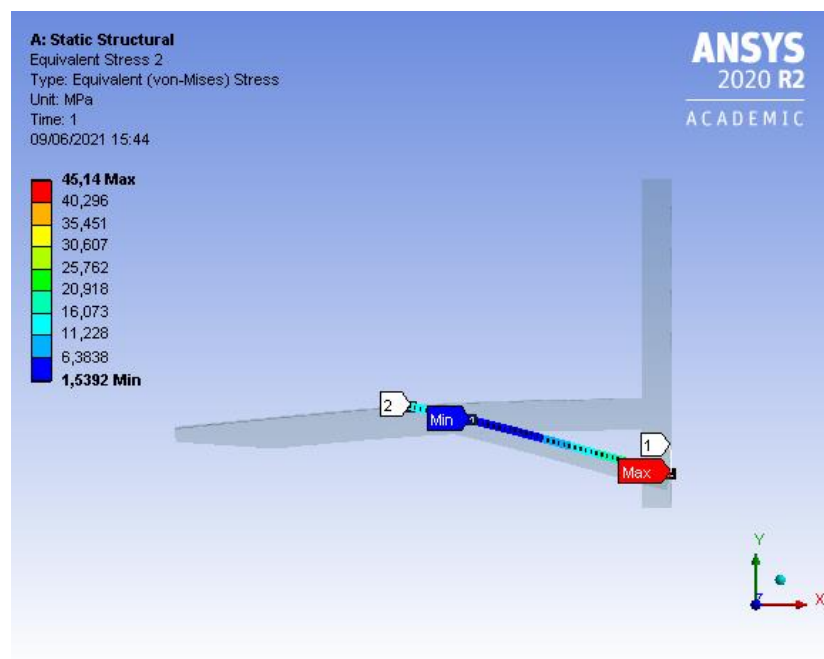
Tabela 4.3 - Tensões e Deformações para Suporte Submetido a Carga da Condensadora 60 KBTU/h.

Método	Tensão Máxima (Mpa)	Deformação (mm/mm)
Elementos finitos	45,14	0,26119
Analítico	26,17	1,38E-04

Fonte: AUTOR, 2021.

O distanciamento do valor de tensão máxima encontrado através do MEF em relação ao encontrado de forma teórica, se deve a concentração de tensão na raiz da barra inclinada. Assim, foi verificado como ocorre a distribuição de tensão ao longo do reforço, como pode ser visto na Figura (4.12):

Figura 4.12 - Tensão de Von Mises na Aresta Condensadora 60 KBTU/h.



Fonte: AUTOR, 2021.

Através da Figura (4.12) que traz os valores de distribuição de tensão ao longo da aresta da barra inclinada é possível notar que os valores se aproximam dos encontrados através dos cálculos analíticos.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos através das simulações e dos cálculos analíticos realizados, bem como as características técnicas dos modelos de condensadoras selecionados para este estudo, é possível atestar a viabilidade técnica e operacional do modelo de suporte selecionado.

O critério adotado para verificar a viabilidade foi a comparação das tensões efetivas, comumente chamadas de tensão de Von Mises, com o limite de escoamento do material. Os resultados obtidos através das simulações apresentaram valores bem a baixo do limite de escoamento, mostrando que não houve escoamento em nenhum dos três casos estudados.

Como esperado, os cálculos analíticos demonstraram que quando o suporte foi submetido às cargas mecânicas referentes as condensadoras de maior capacidade de refrigeração (48 e 60 KBTU/h) foram encontrados os maiores valores de tensão de Von Mises, 25,37 MPa e 26,17 MPa, e de deformação, 1,34E-04 mm/mm e 1,38E-04 mm/mm, respectivamente.

Porém realizando-se uma comparação dos resultados, tanto de tensão máxima de Von Mises quanto de deformação máxima, obtidos através das simulações com os realizados através dos cálculos para os três modelos de condensadora observou-se que nenhum dos resultados obtidos de forma analítica ultrapassou os valores esperados que foram obtidos através do Ansys.

Realizando o monitoramento da distribuição de tensão de Von Mises ao longo da aresta do reforço, afastando-se da região de concentração de tensão, verificou-se que os valores encontrados através das simulações se aproximam daqueles obtidos de forma teórica. Mostrando que os resultados encontrados através dos métodos tendem a convergir.

Apesar das simulações e cálculos analíticos demonstrarem que não haveria escoamento, o aço SAE 1008 não é o material mais adequado para aplicação dos suportes que são utilizados na Universidade federal Bahia, dado a proximidade com a orla marítima de Salvador que configura ambiente corrosivo. Para sanar esse quesito, o ideal seria utilizar um material com maior resistência a corrosão como o aço inoxidável. O catálogo do fabricante disponibiliza alguns modelos em aço inox, porém os modelos disponíveis possuem dimensões que não atendem as características desejadas.

5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

Como sugestões de trabalhos futuros, podem ser citados:

- Verificar níveis de vibração na estrutura;
- Realizar estudo para determinar a vida útil do componente para o ambiente de operação apresentado neste trabalho;
- Realizar as simulações e cálculos analíticos para os pontos de fixação dos suportes.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 16655 – 1: Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado — Split e compacto: Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2018. 24 p.

ARAÚJO, E. P.; "Ar condicionado e Exaustão". Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/7455>>. Uniceub, 2011. Acesso em: 19 de jan de 2021.

BAY, L.; “Ar-condicionado Portátil Vale a Pena? Veja qual Aparelho é Melhor Comprar”. Techtudo, 2019.

BHATTI, M. A.; “Fundamental Finite Element Analysis and Applications”. Published by John Wiley& Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2005.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E.; “Fundamentos da Termodinâmica”. Editora Blucher, São Paulo, 8ª edição, 2013.

CARRIER, W. H.; “A Invenção que Mudou o Mundo”. Disponível em: <<http://www.williscarrier.com/1876-1902.php>>. Acesso em: 05 de nov de 2020.

DUFRIO; “O que é um ar condicionado piso teto?”. Blog Dufrio, 2018. Disponível em: <<https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/comercial/o-que-e-um-ar-condicionado-piso-teto/>>. Acesso em 02 de fev de 2021.

DUFRIO; “Conheça os principais tipos de ar-condicionado e suas diferenças”. Blog Dufrio, 2017. Disponível em: < <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/comercial/os-principais-tipos-de-ar-condicionado-e-suas-diferencas/>>. Acesso em 02 de fev de 2021.

DUFRIO; “Ar-condicionado Split Cassete: Por que ele é Ideal para Grandes e Médios Ambientes?”. Blog Dufrio, 2018. Disponível em: <<https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/ar-condicionado-split-cassete-por-que-ele-e-ideal-para-grandes-e-medios-ambientes/>>. Acesso em 03 de fev de 2021.

FRIGELAR; “Por que o Ar-condicionado Cassete pode ser o Melhor para você?”. Blog Frigelar, 2020. Disponível em: < <https://blog.frigelar.com.br/ar-condicionado-cassete-melhor-para-voce/>>. Acesso em 03 de fev de 2021.

FRIGELAR; “Suporte”. Blog Frigelar, 2017. Disponível em: <<https://www.frigelar.com.br/suporte/c>>. Acesso em 10 de jan de 2021.

GIACOMINI, G.; “Ar-Condicionado Split Hi Wall: O que Significa, Como Funciona e Características”. Web Ar condicionado, 2011. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/split-hi-wall>>. Acesso em 21 de jan de 2021.

HULTER; “Catálogo do comprador”. Hulter, 2016. Disponível em: <www.hulter.com.br/catalogo/#book/12>. Acesso em 20 de abril de 2021.

IESSS; “Exemplos Práticos de Aplicações em Análise Estrutural”. ESS Virtual, 2020. Disponível em: <<https://www.esssvirtual.com/ng/student/courses/fundamentos-de-cae-computer-aided-engineering/lectures/03-fea-analise-estrutural-por-elementos-finitos/contents/5ef26804154c690021dd4142>>. Acesso em 23 de fev de 2021.

IESSS; “Exemplos práticos de aplicações em análise de dinâmica dos fluidos (CFD)”. ESS Virtual, 2020. Disponível em: <<https://www.esssvirtual.com/ng/student/courses/fundamentos-de-cae-computer-aided-engineering/lectures/04-cfd-analise-de-escoamentos-utilizando-dinamica-dos-fluidos-computacional/contents/5ef268ac154c690019dd3c59/forum/>>. Acesso em: 23 de fev de 2021.

LOTTI, R. S.; et al.; “Aplicabilidade Científica do Método dos Elementos Finitos”. Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, Maringá, v. 11, p. 35 – 43, 2006.

LUZ, Gelson.; “Aço SAE 1008 Propriedades Mecânicas e Composição Química”. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-sae-1008-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em: 31 de mar de 2021.

MATOS, R. S.; “Refrigeração”. “Disciplina de Refrigeração e Climatização”. 2016. Notas de Aula da Disciplina de Refrigeração e Climatização. Universidade Federal do Paraná.

MIRANDA, P. S. T.; “Método dos Elementos Finitos em Estruturas de Concreto: Revisão Bibliográfica e Exemplo de Aplicação do Método”. 2009. Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará.

MIRLISENNA, G.;” Método dos Elementos Finitos: O que é?”. Blog ESSS, 2016. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/>>. Acesso em: 13 de fev de 2021.

MORAN, M. J.; et al.; “Princípio de Termodinâmica para Engenharia”. Editora LTC, Rio de Janeiro, 7ª edição, 2013.

REFRIPARTS; “Condensadora de Ar condicionado”. Refriparts, 2018. Disponível em: <<https://www.frigelar.com.br/suporte/c>>. Acesso em 08 de jan de 2021.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G.; “Projeto de Engenharia Mecânica”. Editora Bookman, Porto Alegre, 7ª edição, 2005.

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M.; “Refrigeração Industrial”. Editora *Edgard Blücher LTDA*, São Paulo, 2ª edição, p. 1 – 1, 2002.

WEBARCONDICIONADO; “Qual o Melhor Ar-condicionado Janela? Veja 6 Modelos Recomendados”. Blog Web Ar condicionado, 2019. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/qual-o-melhor-ar-condicionado-janela-veja-7-modelos-recomendados>>. Acesso em 08 de fev de 2021.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TERMO DE DECLARAÇÃO DE AUTENTICIDADE DE AUTORIA

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal da Bahia, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, intitulado **Análise de Projeto Estrutural via Elementos Finitos de suporte de Condensadores de Ar condicionado**, é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio - visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte. Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoralⁱ e criminais previstas no Código Penalⁱⁱ, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Salvador, 01 de Junho de 2021.

Leandro Sales Santos

211200150

Nome legível do aluno

Matrícula

Leandro Sales Santos

03664377559

Assinatura

CPF



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ⁱ Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos e dá outras providências.

ⁱⁱ Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.