

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RODRIGO PFEIFER GASPERIN

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CONDENSADOR EVAPORATIVO SOB
INFLUÊNCIA DE ABALOS SÍSMICOS**

CAXIAS DO SUL

2014

RODRIGO PFEIFER GASPERIN

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CONDENSADOR EVAPORATIVO SOB
INFLUÊNCIA DE ABALOS SÍSMICOS**

Relatório de Estágio II, apresentado à
Universidade de Caxias do Sul, como
requisito parcial à conclusão do curso de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: MSc. Paulo Roberto Linzmaier

CAXIAS DO SUL

2014

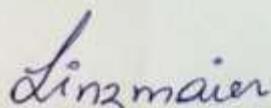
RODRIGO PFEIFER GASPERIN

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM CONDENSADOR EVAPORATIVO SOB
INFLUÊNCIA DE ABALOS SISMÍCOS**

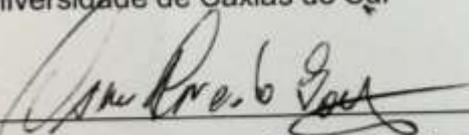
Relatório de Estágio II, apresentado à
Universidade de Caxias do Sul, como
requisito parcial à conclusão do curso de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Aprovado em 02/12/2014

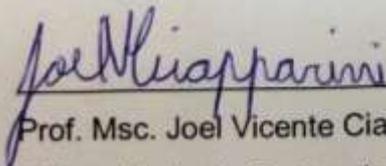
Banca examinadora



Prof. Msc. Paulo Roberto Linzmaier
Universidade de Caxias do Sul



Prof. Dr. Msc. Oscar Alfredo Garcia de Suarez
Universidade de Caxias do Sul



Prof. Msc. Joel Vicente Ciapparini
Universidade de Caxias do Sul

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de um modelo estrutural de um condensador evaporativo sobre efeitos sísmicos. O objetivo do trabalho é a verificação aos padrões mínimos estruturais estabelecidos na ASCE 7. Na revisão bibliográfica deste trabalho é apresentada a fundamentação conceitual de vibrações em abalos sísmicos assim como os cálculos analíticos para a simulação dos esforços da estrutura sobre estes efeitos. Em seu desenvolvimento apresenta os esforços e carregamentos sofridos pelo equipamento bem como sua simulação estrutural via ANSYS em elementos de casca, apresentando ainda um comparativo com modelo desenvolvido em vigas e casca no ADINA. Em sua conclusão evidenciando resultados baseado na ASCE 7. O equipamento por fim analisado atende os requisitos mínimos conforme norma.

Palavras-chaves: análise sísmica, vibrações, abalos sísmicos, condensador evaporativo, análise estrutural.

ABSTRACT

In this work presents an analysis of structural model of evaporative condenser about seismic effects . The purpose is a verification of minimum structural requisite set out in ASCE 7. In the literature review of this work and presented a conceptual grounds oscillations at earthquakes as well as the analytical calculations to a structure's efforts simulation about these effects . In your development presents of efforts and hair suffered shipments equipment well as your simulation structural via ANSYS in shell elements , featuring still a comparison with the model developed in beams and shell in ADINA . In conclusion your showing results based on ASCE 7. The results of analyzed meets be aproved with the minimum .

Keywords: seismic analysis, vibration, seismic, evaporative condenser, structural analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama esquemático do condensador evaporativo.	15
Figura 2.2 - Mapa de risco sísmico na América do Sul em função das acelerações máximas prováveis.....	17
Figura 2.3 - Espectros de resposta: (a) deslocamentos; (b) velocidades e (c) aceleração em função do tempo (período).....	20
Figura 2.4 - Acelerogramas com variação no tempo para dois tipos de sismos	21
Figura 2.5 - Fluxo de Processo para análise de estrutura com auxílio CAE	24
Figura 2.6 - Exemplo de elemento tipo viga	28
Figura 2.8 - Exemplo de elemento tipo sólido	29
Figura 2.9 - Representação de elementos e nós.....	30
Figura 2.10 - Representação da estrutura com seus carregamentos e restrições	31
Figura 2.11 - Modulo Estrutura 3D com simplificações	35
Figura 2.12 - Detalhe Ampliado do modulo com simplificações	35
Figura 2.13 - Malha de elementos finitos	36
Figura 2.14 - Visão detalhada da malha de elementos finitos	37
Figura 2.15 - Representação de contatos tipo bonded.....	37
Figura 2.16 - Visão detalhada das restrições e carregamentos	38
Figura 2.17 - Representação de malha	39
Figura 2.19–Representação da deformação em ANSYS	40
Figura 2.20–Representação da deformação em ADINA	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

USA	United States of America
ASCE	American Society of Civil Engineers
TBU	Temperatura do bulbo úmido
ES	Espírito Santo
SC	Santa Catarina
MEF	Método de elementos finitos
CAE	Computer Aided Engineering

LISTA DE SÍMBOLOS

kG	Kilogramas
m/s ²	Aceleração
g	Gravidade
V	Velocidade
C_s	Coefficiente de resposta sísmica
W	Cargas permanentes da estrutura
S_{DS}	Aceleração da resposta espectral
R	Coefficiente de modificação da resposta
I	Fator de importância de utilização
S_{MS}	Aceleração máxima de um espectro de resposta
F_a	Aceleração do solo de acordo com espectro de resposta
S_s	Espectro de resposta da região
m	Massa do oscilador
\ddot{u}	Aceleração
c	Coefficiente de amortecimento
\dot{u}	Velocidade
k	Rigidez do sistema
u	Deslocamento
q	<i>Força aplicada</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	AMBIENTE DE ESTÁGIO	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivos gerais.....	13
1.3.2	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS CONDENSADOR.....	14
2.1.1	Princípio de Funcionamento	15
2.2	SISMICIDADE	16
2.2.1	Sismicidade no Brasil	16
2.3	NORMA ASCE-7	18
2.3.1	Análise pelo Método de Forças Horizontais Equivalentes	18
2.3.2	Exigências de desempenho Estrutural.....	19
2.4	ANÁLISE DINÂMICA	20
2.5	CONCEITOS DE DINÂMICA DE ESTRUTURAS	21
2.5.1	Equação de Equilíbrio Dinâmico.....	22
2.5.2	Sistemas com Vários Graus de Liberdade	23
2.6	ANÁLISE ESTRUTURAL PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	23
2.7	TIPOS DE ANÁLISE	25
2.7.1	Linear e não linear	25
2.7.2	Estática e dinâmica	26
2.7.3	Implícita e explícita.....	26
2.8	TIPOS DE ELEMENTOS.....	27
2.8.1	Tipo Viga	27
2.8.2	Tipo casca	28
2.8.3	Tipo sólido	29
2.8.4	Geração de malha.....	29
2.8.5	Propriedades dos materiais.....	30
2.8.6	Condições de contorno.....	31
2.8.6.1	Restrições.....	31

2.8.6.2	Carregamentos.....	31
3	DESENVOLVIMENTO	32
3.1.1	Interpretação dos resultados	32
3.2	MATERIAIS	32
3.3	LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS	33
3.4	MÉTODOS	34
3.4.1	Preparação do modelo em CAD	34
3.4.2	Método dos elementos finitos – Preparação do modelo.....	36
3.4.3	Verificação de modos de corpo rígido.....	38
3.4.4	Comparativo dos resultados	39
3.5	RESULTADOS.....	40
4	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO A - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS PARA FORÇAS SÍSMICAS	45
	ANEXO B - TABELA DE GRUPO SÍSMICO	46
	ANEXO C - TABELA FATOR DE IMPORTÂNCIA OCUPACIONAL	47
	ANEXO D - TABELA DE COEFICIENTES SÍSMICO PARA ESTRUTURAS	48
	ANEXO E - MAPA DE DETERMINAÇÃO DE ESPECTROS DE RESPOSTA.....	49
	ANEXO F - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS TERRENOS.....	51
	ANEXO G - TABELA CORREÇÃO DO VALOR MÁXIMO DO ESPECTRO DE RESPOSTA.....	52

1 INTRODUÇÃO

Os terremotos são fenômenos naturais inevitáveis, cuja ação pode produzir catástrofes e, portanto, devem ser considerados na hora de projetar uma estrutura em regiões sísmicas. Países com um elevado risco sísmico e de desenvolvimento econômico alto, como os Estados Unidos, Japão, e alguns países da América Latina, fazem uma série de estudos para melhorar o projeto sísmico de novas estruturas.

No dimensionamento sísmico, a resistência e a ductilidade são fatores essenciais no desempenho das estruturas, sejam simétricas ou assimétricas, durante o terremoto. A ductilidade depende do planejamento inicial da estrutura, que incluem os mecanismos de plastificação e distribuição de rigidez.

É essencial para os engenheiros estruturais obter uma melhor compreensão da resposta sísmica de estruturas com distribuições irregulares de massa, rigidez ou resistência, uma necessidade que também tem sido reconhecida pelas normas para projeto de estruturas resistentes a sismos.

O isolamento sísmico de base é uma tecnologia de proteção sísmica especialmente adequada a estruturas cuja vulnerabilidade sísmica tenha de ser reduzida, por constituírem estruturas que devem garantir o seu funcionamento em caso de ocorrência sísmica. Os condensadores integram-se num grupo de equipamentos que quando danificados podem comprometer o funcionamento de redes refrigeradas. Neste sentido, é desejável que estes equipamentos possuam um isolamento sísmico adequado para garantir o seu funcionamento após a ocorrência de um sismo.

Com a necessidade de competitividade no mercado internacional gerou necessidade do produto em exportação atender a esforços de abalos sísmicos para poder ser comercializado nos USA.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na necessidade de expansão, analisou-se o forte mercado americano e seu alto nível de exigência, gerando necessidades de alto padrão dentro de requisitos técnicos destes qual o produto atenda os parâmetros mínimos quanto a resistências

sísmicas analisados pela ASCE, assim entrando com um produto que atenda o mercado.

O efeito dos terremotos em estruturas é um tema que tem sido estudado em todo o mundo, especificamente em zonas onde o risco sísmico é elevado. Atualmente pode ser encontrada uma extensa literatura com diferentes procedimentos, critérios, requisitos e sugestões para o bom dimensionamento sísmico de uma estrutura, além da norma sismo-resistente de cada país.

O Brasil é um país com pouca atividade sísmica e o estudo deste fenômeno nas estruturas é ainda insuficiente, sendo que o país tem uma norma sismo-resistente pouco difundida. A maioria das pesquisas realizadas no campo dos efeitos dos terremotos nas estruturas está relacionada ao controle de vibrações, comportamento de estruturas com algum tipo de contraventamento, com isoladores de base, etc., mas poucos engenheiros tem conhecimento de como este fenômeno associado à forma da estrutura pode aumentar os esforços na mesma.

O conceito de isolamento de base em edifícios e pontes já está sedimentado, mas a extensão da sua aplicação a equipamentos mais leves está numa fase inicial, porém não menos importante devido a funcionalidade destes equipamentos.

Portanto, este trabalho se justifica pela necessidade de se conhecer o comportamento sob a ação de sismos reais das estruturas com alterações na sua configuração estrutural. Este trabalho visa também, realizar a análise do equipamento em questão o condensador evaporativo conforme ASCE.

1.2 AMBIENTE DE ESTÁGIO

A Punto Design Industrial Ltda. criada em 7 de novembro de 2007, atuante em projetos para indústria focada no design e soluções técnicas com valor percebido a seus clientes. A empresa destaca-se pelas idéias inovadoras e seus diferenciais, que atende uma diversificada lista de clientes com necessidades específicas de cada mercado, seja ele nacional ou internacional.

Atualmente o departamento de projetos técnicos é responsável por desenvolver projetos de todos os produtos desenvolvidos pela empresa, em diversos ramos tais como maquinas industriais, produtos de venda a consumidor como a empresas.

O estágio será realizado no departamento de projetos técnicos na empresa, sendo este orientado por Joni Dresch.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos gerais

Analisar um modelo do condensador evaporativo em condições de abalos sísmicos sob os efeitos mínimos requeridos em sua estrutura conforme ASCE.

1.3.2 Objetivos específicos

Baseados no objetivo geral ficam estabelecidos os seguintes objetivos específicos. São eles:

- a) Analisar um modelo estrutural adequado com os objetivos da análise sísmica.
- b) Desenvolver modelo numérico baseado nos esforços sísmicos.
- c) Analisar em software de elementos finitos o comportamento estrutural através da frequência, espectro de resposta, deslocamento e acelerações.
- d) Análise dos requisitos mínimos estruturais para equipamentos conforme ASCE.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordam-se as características gerais dos condensadores evaporativos e seu funcionamento, a sismiscidade de um modo geral no Brasil.

Explana-se a norma ASCE – 7, qual vai explicar os requisitos mínimos estruturais da análise a ser abordada no trabalho para análise sísmica, e suas exigências.

Já no Brasil como no será abordado, existem poucos trabalhos sobre normas sísmo-resistentes, pois é um país com pouca atividade sísmica (Assumpção e Netto, 2000). Entretanto, em países com elevada atividade sísmica é grande o investimento em pesquisas nessa área.

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS CONDENSADOR

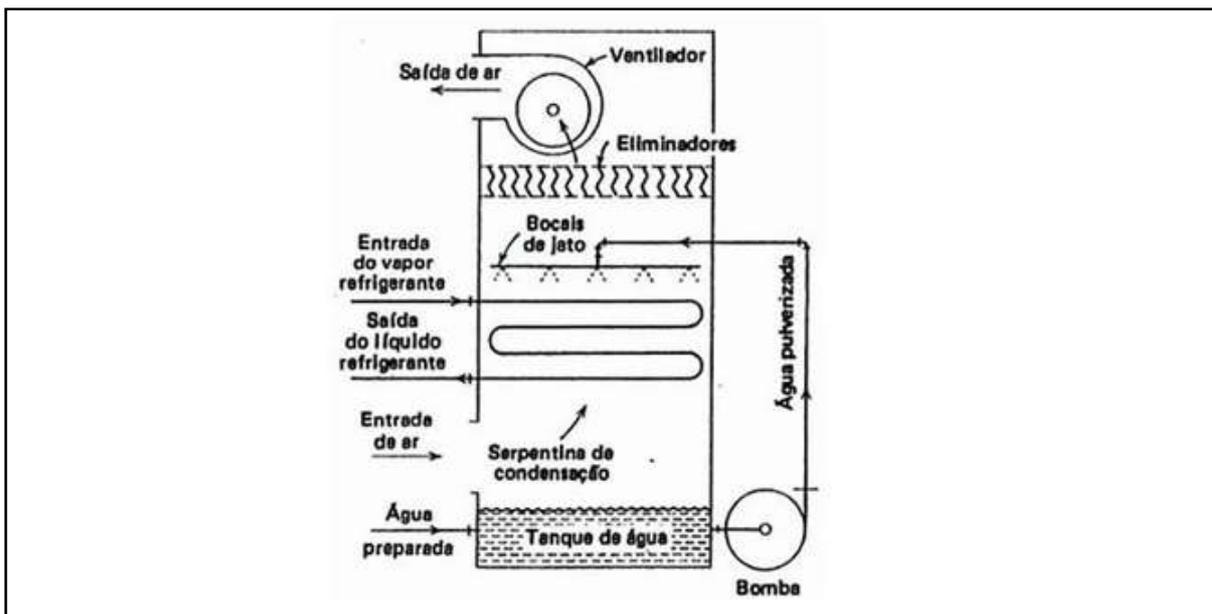
Um condensador evaporativo é essencialmente um dispositivo de conservação de água, com efeito, de um condensador e uma torre de resfriamento combinados dentro de uma unidade.

Como estabelecido previamente, são empregados tanto ar como água. A água, bombeada do reservatório para o topo do coletor de jato, pulveriza as serpentinas de refrigerante e retorna ao reservatório. O ar é puxado para o lado externo da base do condensador pela ação da ventoinha e é descarregado de volta para o lado exterior no topo do condensador.

Embora os processos termodinâmicos reais sejam um pouco complexos, o processo fundamental é o de resfriamento evaporativo. A água é evaporada do jato e da superfície úmida do condensador para o ar, sendo a origem do calor de vaporização, o refrigerante de condensação na serpentina do condensador.

Todo o calor cedido pelo refrigerante no condensador, eventualmente sai do condensador como calor sensível ou como calor latente no ar de escape. Dado que tanto a temperatura quanto o teor de umidade do ar são aumentados quando o ar passa através do condensador, a eficiência do condensador depende, em parte, da temperatura de bulbo úmido do ar que entra. Quanto mais baixa a temperatura de bulbo úmido do ar que entra, mais eficiente é o condensador evaporativo. Segue Figura 2.1 ilustrando o esquema de funcionamento do condensador evaporativo.

Figura 2.1 - Diagrama esquemático do condensador evaporativo.



Fonte:O autor

O condensador evaporativo tem a função de dissipar o calor de um sistema de refrigeração, o qual é constituído pelo calor absorvido pelos evaporadores e o calor (trabalho mecânico) gerado pelos compressores.

Para as mesmas condições de operação, a potência consumida durante o processo de compressão pode variar, dependendo dos diversos tipos de compressores. Exemplo: Compressores alternativos e compressores de parafuso. Por isso, para se determinar a escolha de um condensador evaporativo, é necessário saber exatamente a capacidade de calor absorvida pelos compressores e suas respectivas potências absorvidas. É extremamente importante o conhecimento da temperatura do bulbo úmido (TBU) do local onde o mesmo será instalado. O comportamento da TBU pode variar ao longo do ano e a condição mais severa deve ser considerada no cálculo a fim de evitar subdimensionamento do equipamento.

2.1.1 Princípio de Funcionamento

O gás refrigerante ao ser comprimido pelo compressor, circula através do bloco condensador onde é resfriado por convecção através da manutenção da superfície externa pela água recirculada. Em processo adiabático (sob mesma

pressão) o fluido refrigerante muda de fase Gás – Líquido transferindo grandes quantidades de calor por Kg para a água. O ar forçado com fluxo de baixo para cima em contra corrente com a água, remove o calor da água através da remoção do vapor que é liberado para a atmosfera, este processo garante a movimentação do calor do fluido refrigerante para o ambiente externo da instalação.

2.2 SISMICIDADE

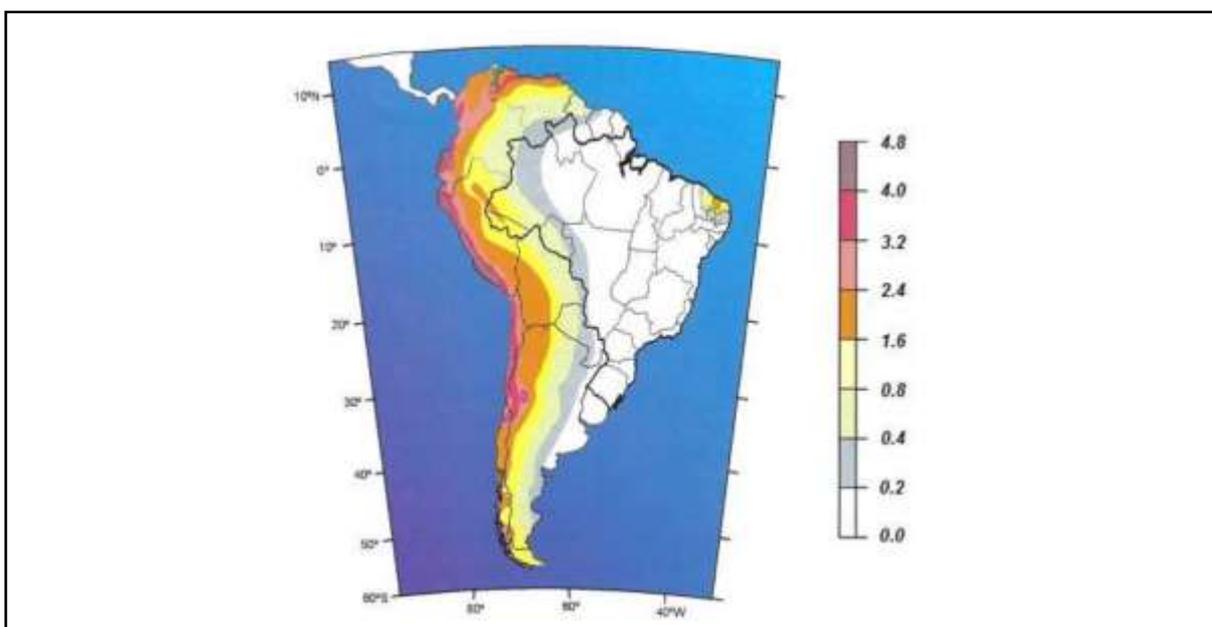
É o estudo do número e intensidade dos sismos que ocorrem numa região. A distribuição geográfica das regiões sísmicas está relacionada com a distribuição dos acidentes tectônicos das diferentes regiões da crosta terrestre. A atividade sísmica está vinculada à sua distribuição espacial e temporal e com as características fisiográficas e geológicas. Um lugar pode ter sismicidade alta ou baixa. O resultado deste estudo é um mapa com os epicentros e o número de terremotos que ocorrem em qualquer período de tempo.

2.2.1 Sismicidade no Brasil

O Brasil era considerado assísmico até pouco tempo atrás por ocupar uma grande parte da estável Plataforma Sul-Americana e por não conhecer a ocorrência de sismos destrutivos (Assumpção e Neto, 2000), mas a idéia de que o Brasil é um país assísmico não é verdadeira. Estações sismológicas distribuídas ao longo do território nacional registram diariamente abalos sísmicos de pequena e média magnitude.

A Figura 2.2 ilustra o risco sísmico na América do Sul, mostrando a aceleração máxima do terreno, em m/s^2 , com a probabilidade de 90% de não ser excedida em um período de 50 anos.

Figura 2.2 - Mapa de risco sísmico na América do Sul em função das acelerações máximas prováveis



Fonte: Assumpção e Neto (2000)

Pode-se observar que as acelerações máximas na região central do Brasil não ultrapassam $0,2 \text{ m/s}^2$ ($0,02g$), mas no estado do Ceará (Nordeste), estes valores podem chegar a $2,4 \text{ m/s}^2$ ($0,24g$).

Apesar da baixa frequência, sismos com magnitudes importantes podem ocorrer no Brasil. Richter observou que o número de sismos em uma determinada região diminui aproximadamente dez vezes para cada incremento de magnitude. No Brasil ocorrem anualmente 20 sismos com magnitudes maiores que três. Pode-se extrapolar então, que sismos com magnitudes acima de sete devem ocorrer no Brasil uma vez a cada 500 anos. Em regiões de alta atividade sísmica como o Chile, por exemplo, sismos desta magnitude ocorrem, em média, uma vez a cada três anos (Assumpção e Neto, 2000).

O maior sismo já registrado no Brasil foi o de Porto de Gaúchos, em 1995 no estado do Mato Grosso, que atingiu 6,2 de magnitude na escala de Richter. Outros sismos importantes como o do Litoral de Vitória (ES) no mesmo ano, de magnitude 6,1 e o do Tubarão (SC) em 1939, de magnitude 5,5, provocaram o desabamento parcial de algumas casas e edifícios pequenos.

2.3 NORMA ASCE-7

De acordo com ASCE – 7 (2002), esta norma fornece requisitos mínimos de carga para o projeto de edifícios e outras estruturas que estão sujeitas a requisitos do código. Fornecendo os requisitos mínimos para dimensionamento sob cargas de ventos, chuva, neve, gelo e terremotos.

Para estruturas o qual não são integradas a construções civis deve-se usar a seção 9.14 da ASCE- 7 (2002) para determinar os requisitos estruturais de uma estrutura conforme a norma.

2.3.1 Análise pelo Método de Forças Horizontais Equivalentes

A análise conforme ASCE -7 (2002) se dá através da força sísmica total na base da estrutura, o qual é determinada pela equação 2.1.

$$V = C_s W \quad (2.1)$$

Nesta expressão C_s é o coeficiente de resposta sísmica e W é o total das cargas permanentes da estrutura, incluindo o peso operacional de todos os equipamentos

O coeficiente de resposta sísmica é definido pela equação 2.2.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I} \quad (2.2)$$

O parâmetro I corresponde ao fator de importância de utilização, que é definido pelo tipo de estrutura escolhido na tabela ANEXO A, posterior se determina o grupo sísmico no ANEXO B, para obter o fator de importância I no ANEXO C.

O R corresponde ao coeficiente de modificação de resposta, que é definido na tabela no Anexo D.

Através da equação 2.3 será definido a aceleração da resposta espectral em curto período de tempo.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

Para determinar S_{MS} o qual é o valor máximo da aceleração de um espectro de resposta utilizamos a equação 2.4.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.4)$$

O valor máximo de aceleração do solo de acordo com o espectro de resposta S_s pode ser encontrado pelo mapa no Anexo F conforme a região a ser analisada.

Na determinação do F_a devemos ter conhecimento sobre o solo, o qual deve ser analisada sua definição na tabela no Anexo G, com a definição da classe do solo obtemos o valor de F_a na tabela que encontra-se no Anexo H.

2.3.2 Exigências de desempenho Estrutural

A ASCE 7 tem indicações sobre aspectos de concepção das estruturas para que estas tenham condições para assegurarem suficiente capacidade resistente e com ductilidade para terem uma resposta adequada a ação sísmica. Pretende a regulamentação garantir o não colapso do equipamento na ocorrência de um sismo raro e limitar os danos face a um sismo freqüente.

Como objetivos principais, a ASCE preconiza que, em caso de ocorrência de um sismo forte, o dimensionamento da estrutura deve garantir os seguintes aspectos:

- a) As vidas humanas serem protegidas;
- b) Os danos sejam limitados;
- c) As instalações de superior interesse (e.g hospitais, serviços de alimentação, proteção civil) são mantidas operacionais.

No caso da ocorrência de um sismo raro (baixa probabilidade de ocorrência) as estruturas não devem causar danos a seu sistema e deverão apresentar uma capacidade residual de resistência após o sismo. Com esse requisito pretende-se garantir a proteção de vidas humanas e limitar danos graves.

No caso da ocorrência de um sismo com maior probabilidade de ocorrência que o sismo de projeto os danos devem ser limitados. Tendo seu limite de deslocamento máximo 10% sobre o comprimento linear analisado.

2.4 ANÁLISE DINÂMICA

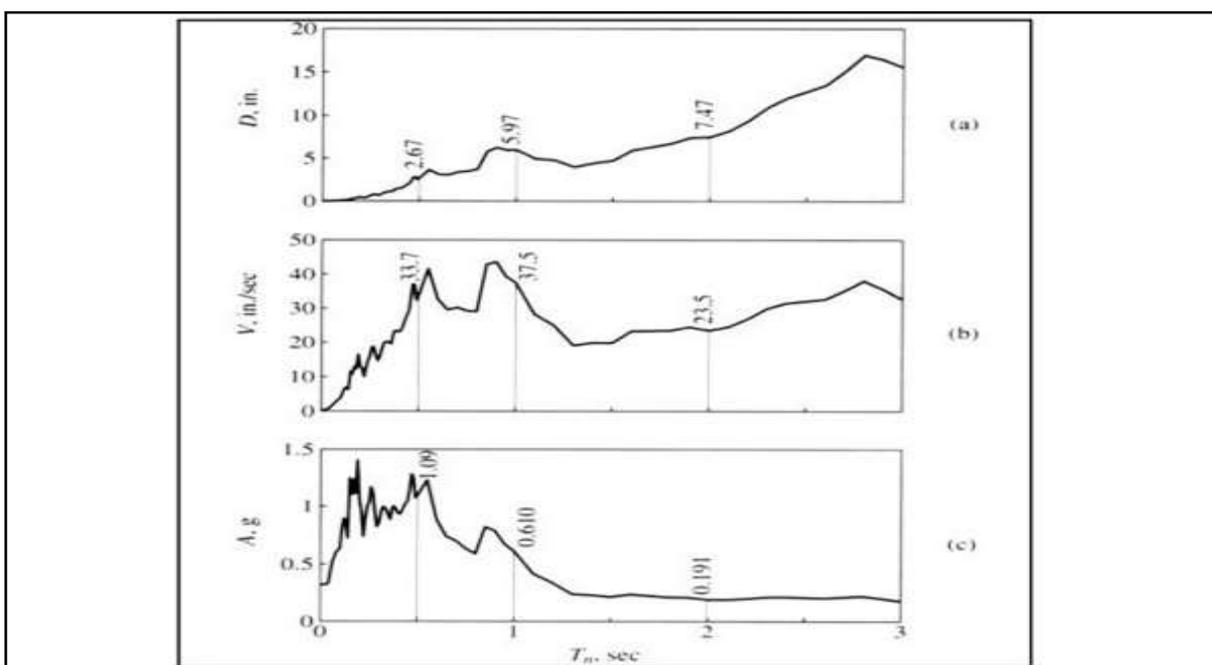
De acordo com Lima e Santos (2008), a análise dinâmica, utilizada para análise sísmica de estruturas, pode ser por meio de espectro de resposta e histórico no tempo.

É de suma importância considerar os espectros de respostas na análise sísmica para análise da aceleração da base, pois os abalos sísmicos produzem acelerações diretas sobre as estruturas.

O espectro de resposta é um gráfico que apresenta apenas a resposta máxima em termos de deslocamentos, velocidades e aceleração em função do período. No entanto, não é possível obter o tempo da resposta máxima (LIMA e SANTOS, 2008).

O valor obtido no espectro de resposta representa o maior valor obtido graficamente para um oscilador submetido ao evento sísmico.

Figura 2.3 - Espectros de resposta: (a) deslocamentos; (b) velocidades e (c) aceleração em função do tempo (período)



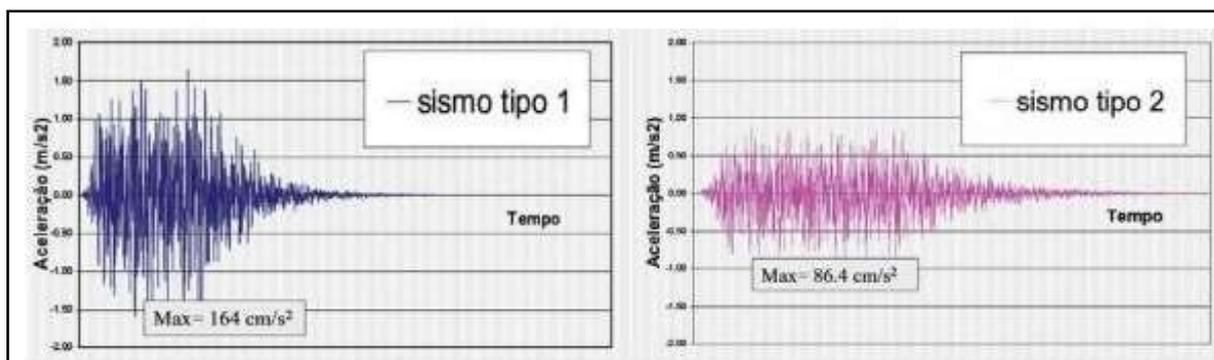
Fonte: Estevão (2011)

Em geral, a análise sísmica nas estruturas tem como objetivo conhecer os valores máximos que a mesma está submetida, e não conhecer a evolução da resposta ao longo do tempo. Logo, aplica-se o espectro de resposta na análise dinâmica (GUERREIRO, 1999).

Para determinado local e característica do sismo se tem um espectro de resposta específico, logo, existe para ações sísmicas ocorridas em local de interesse o espectro de projeto, determinado estatisticamente, que se aplica em todas as direções ortogonais observadas, quando for aplicado verticalmente, suas ordenadas corresponderão a 50% da direção horizontal (LIMA e SANTOS, 2008).

Na análise com histórico de acelerações no tempo, é verificado um protótipo estrutural submetido a movimentos de aceleração na base, sendo que deve haver compatibilidade com os espectros de projeto adotado (LIMA e SANTOS, 2008).

Figura 2.4 - Acelerogramas com variação no tempo para dois tipos de sismos



Fonte: LIMA E SANTOS (2008)

2.5 CONCEITOS DE DINÂMICA DE ESTRUTURAS

Neste capítulo abordam-se os conceitos gerais da dinâmica de estruturas e a sua aplicação para a análise sísmica. Em seguida, é tratada a questão da resposta das estruturas submetidas à ação sísmica e método de análise.

A ação sísmica é uma ação dinâmica que se traduz por uma aceleração do solo. Por esta razão, são primeiro apresentados os conceitos básicos de dinâmica que, posteriormente, são adaptados para a análise sísmica de estruturas. Começa-se por apresentar as equações que regem a dinâmica de um oscilador de um grau de liberdade, sendo depois explicados os conceitos relativos a osciladores com vários graus de liberdade, nomeadamente através da análise modal.

2.5.1 Equação de Equilíbrio Dinâmico

Diversos problemas de equilíbrio dinâmico são regidos pela equação 2.5 fundamental da dinâmica que, no caso de um oscilador de um grau de liberdade pode ser escrita da seguinte forma:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = q(t) \quad (2.5)$$

em que:

$u(t)$ é o deslocamento do oscilador no instante t , $\dot{u}(t)$ e $\ddot{u}(t)$ são, respectivamente, a primeira e segunda derivada de u em ordem ao tempo, ou seja, a velocidade e a aceleração no instante t . Trata-se, portanto, de uma equação diferencial.

m é a massa do oscilador

c é o coeficiente de amortecimento

k é a rigidez da mola

$q(t)$ é a força aplicada ao sistema no instante t .

A solução geral da equação diferencial é composta pela soma da solução da equação homogênea, $u_h(t)$, com a solução da equação particular, $u_p(t)$. A solução da equação homogênea é designada por regime transitório uma vez que o efeito do amortecimento a leva a atenuar-se ao longo do tempo. Já a solução da equação particular é designada por regime permanente.

A equação fundamental da dinâmica pode, também, ser escrita na seguinte forma representada pela equação 2.6:

$$\ddot{u}(t) + 2\lambda c\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = \frac{q(t)}{m} \quad (2.6)$$

em que:

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ é a frequência angular do oscilador

$\lambda = \frac{c}{2m}$ quantifica o amortecimento definindo-se o coeficiente de

amortecimento relativo como $\zeta = \frac{\lambda}{\omega}$.

Quando $\zeta = 1$, o amortecimento é designado por amortecimento crítico e a resposta em regime livre do sistema deixa de ter caráter oscilatório. Na maioria dos casos da dinâmica estrutural o amortecimento é pequeno ($\zeta < 20\%$) pelo que a resposta em regime livre é sempre oscilatória e, de acordo com [CLOUGH & PENZIEN, 2003], a frequência amortecida pode ser considerada igual à frequência não amortecida ω para valores muito pequenos de amortecimento.

2.5.2 Sistemas com Vários Graus de Liberdade

As ações geradas durante um terremoto não são apropriadamente forças aplicadas diretamente na estrutura, mas sim forças de inércias que resultam dos movimentos da mesma de acordo com Clough (1975). Dessa forma, a aceleração do solo aparece do lado direito da equação diferencial que governa a resposta de uma estrutura à terremotos.

Na representação para vários graus de liberdade, tem-se a equação 2.6:

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = -\ddot{u}_g(t)[M]\{I\} \quad (2.6)$$

onde, a matriz massa, a matriz amortecimento e a matriz rigidez da estrutura são, respectivamente, $[M]$, $[C]$ e $[K]$. E $\{u(t)\}$ representa o vetor deslocamento da estrutura, $\{\dot{u}(t)\}$ é o vetor velocidade da estrutura e $\{\ddot{u}(t)\}$, o vetor aceleração da estrutura, tal que todos os vetores estão associados ao instante de tempo t , $\ddot{u}_g(t)$ é a aceleração do solo e para o instante t é dada por um número escalar, $[I]$ representa vetor unitário.

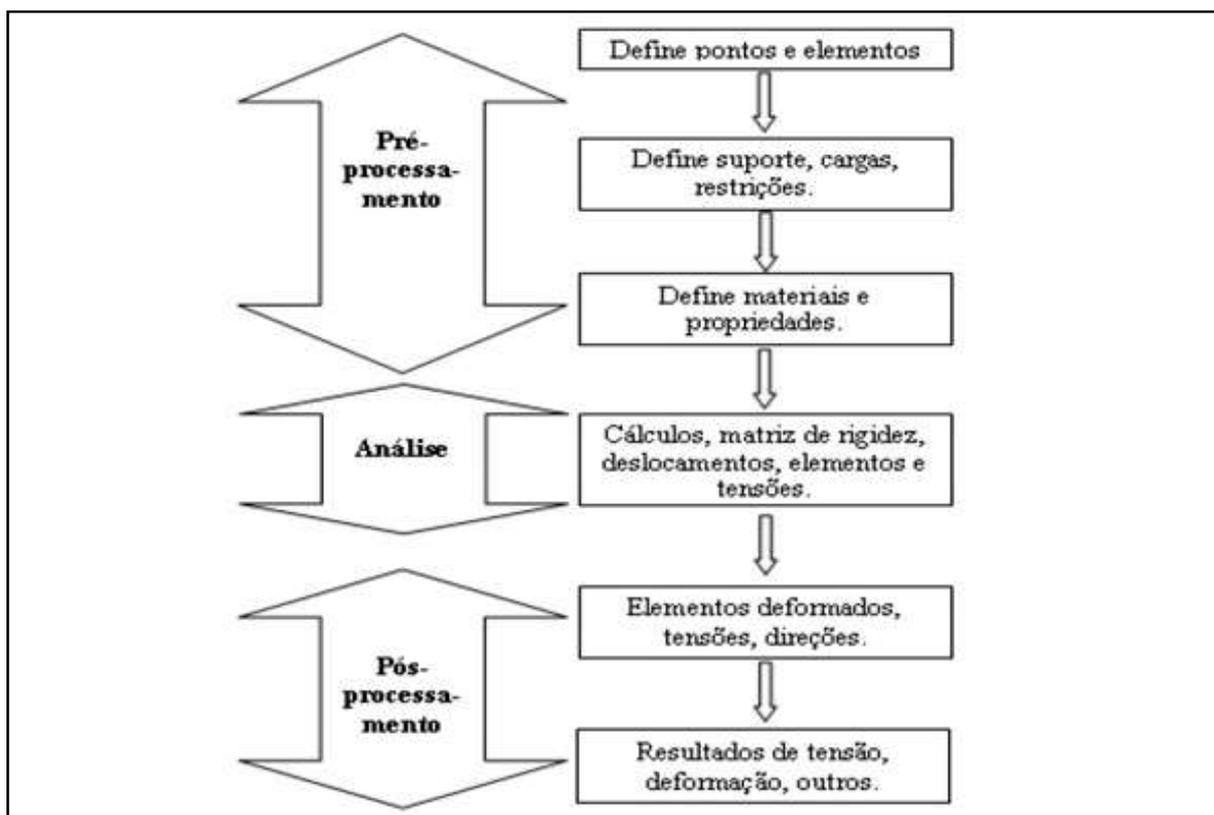
2.6 ANÁLISE ESTRUTURAL PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

De acordo com Cruz e Viecelli (2006), o método dos elementos finitos estuda o comportamento elástico de um corpo contínuo qualquer, submetido a um determinado carregamento, sendo feito mediante a subdivisão, ou discretização deste corpo em porções, chamadas elementos finitos. Desta forma, define-se

discretização ou idealização estrutural o procedimento de transformação da estrutura dada numa outra, constituída por elementos unidos entre si através de um número finito de pontos, chamados nós, e admitindo compatibilidade de seus deslocamentos ao longo das faces comuns dos elementos adjacentes.

De acordo com Ricardo, Miranda e Delijacov (2005), o uso de elementos finitos para análise de estruturas requer procedimentos específicos e um desenho de processo muito bem definido, conforme a figura 2.5. Pode-se verificar que o desenho do processo é dividido em três diferentes etapas que devem convergir para a análise de durabilidade da estrutura, formando um processo iterativo aliado a experiências e banco de dados de cálculos já executados, entre outros fatores.

Figura 2.5 - Fluxo de Processo para análise de estrutura com auxílio CAE



Fonte: Ricardo, Miranda e Delijacov (2005).

O pré-processamento inicia-se na definição geométrica do modelo. Com sua geometria definida, são determinados os materiais e suas propriedades. Em seguida é gerada a malha do modelo, que consiste na sua discretização, ou seja, na sua divisão em elementos. O número de elementos e seu tipo dependem da precisão e qualidade de resultados que se deseja obter. Em regiões de maior interesse é

necessário obter resultados mais precisos, e para isso é feito o refinamento da malha, ou seja, a região é dividida em elementos menores. Geralmente os programas de elementos finitos geram a malha automaticamente e cabe ao engenheiro determinar o grau de refinamento desejável. Por fim são aplicadas as condições de contorno do modelo a ser analisado (restrições de movimento e carregamentos).

O processamento ou análise é a etapa onde são realizados os cálculos matriciais com a finalidade de apresentar os resultados que são os deslocamentos nodais, reações de apoio, tensões, perfis de temperatura, etc. Esta etapa exige grande capacidade computacional.

O pós-processamento é a etapa onde é feita a validação dos resultados. Os resultados são avaliados se são coerentes e satisfatórios ou se é necessário fazer algum ajuste, como por exemplo, alteração da geometria do modelo, refinamento da malha, alteração de alguma condição de contorno ou das propriedades dos materiais, etc.

De acordo com SILVA (2001), em função da atualização do ensino nos cursos de engenharia, os conhecimentos teóricos acerca do MEF vem sendo estudados correntemente pelos alunos de graduação das engenharias mecânica e civil, em virtude da necessidade de se analisarem sistemas estruturais mais complexos, com base no uso de modernas técnicas computacionais. O programa Ansys é de aplicação geral para a análise de problemas de engenharia CAE, (*Computer Aided Engineering*). Basicamente o programa Ansys consiste em um conjunto de sistemas computacionais, cujo procedimento de análise e cálculo se baseia no MEF. Cada sistema computacional acoplado no programa se destina a um determinado tipo de análise. Diversos tipos de análises podem ser procedidos, de modo a simular o comportamento estrutural de um modelo real, com a utilização do programa Ansys.

2.7 TIPOS DE ANÁLISE

2.7.1 Linear e não linear

De acordo com Azevedo (2003), quando analisada uma estrutura sólida, é normal à consideração de que deslocamentos provocados por ações exteriores são

muito pequenos em relação às dimensões dos componentes da estrutura. Neste caso, considera-se que não existe influência da modificação da geometria da estrutura na distribuição dos esforços e tensões, e todo estudo é feito com base na geometria inicial, sem deformação. Neste caso a análise é considerada linear geométrica. Se do contrário, não linear geométrica.

Alguns fatores podem ser determinantes para que seja analisado de forma não linear. Entre eles podem ser citados: quando alguma região da estrutura do modelo ultrapassa o limite de escoamento do material, ocasionando uma deformação plástica em que o modelo ou parte do modelo não se deforma proporcionalmente a tensão a que está sendo submetido. Outro exemplo é quando ocorrem carregamentos que mudam de direção conforme a estrutura está se deformando. Para cada caso deverá ser analisado se os fatores são relevantes para tornar a análise não linear ou se são insignificantes e podem ser ignorados.

2.7.2 Estática e dinâmica

De acordo com Azevedo (2003), as ações sobre a estrutura são em geral dinâmicas, devendo ser considerado as forças de inércia agregadas à aceleração a que cada um de seus componentes fica sujeito. Entretanto, em várias situações as ações ocorrem lentamente, tornando desprezíveis as forças de inércia, e nestas situações pode-se considerar a análise como sendo estática.

2.7.3 Implícita e explícita

Nas análises implícitas uma matriz de rigidez global é calculada, invertida e aplicada para o balanço de forças externas para obter o incremento de deslocamento. Neste método grandes passos de tempo são usados. Para problemas não lineares, o pequeno incremento de tempo pode dificultar a convergência do modelo e por isso não é garantido à utilização deste método.

Em análises explícitas o deslocamento é determinado em um dado instante e é baseado nas condições de equilíbrio dos instantes anteriores. As acelerações são calculadas através da inversão da matriz massa. Para as análises não lineares, as equações são desacopladas podendo ser resolvidas diretamente, ou seja, sem a necessidade da inversão da matriz rigidez.

Existem simulações onde os dois métodos podem ser utilizados, onde os testes são classificados como quase estáticos. Deve-se levar em conta que, quando utilizado o método explícito, pequenos passos de tempo poderão ser necessários e com isso poderia levar um grande tempo de processamento da simulação.

O método das diferenças centrais é o mais comum utilizado em análises explícitas. Acelerações e velocidades são calculadas no tempo e este método não necessita da fatoração da matriz de rigidez para cada passo da solução.

2.8 Tipos de elementos

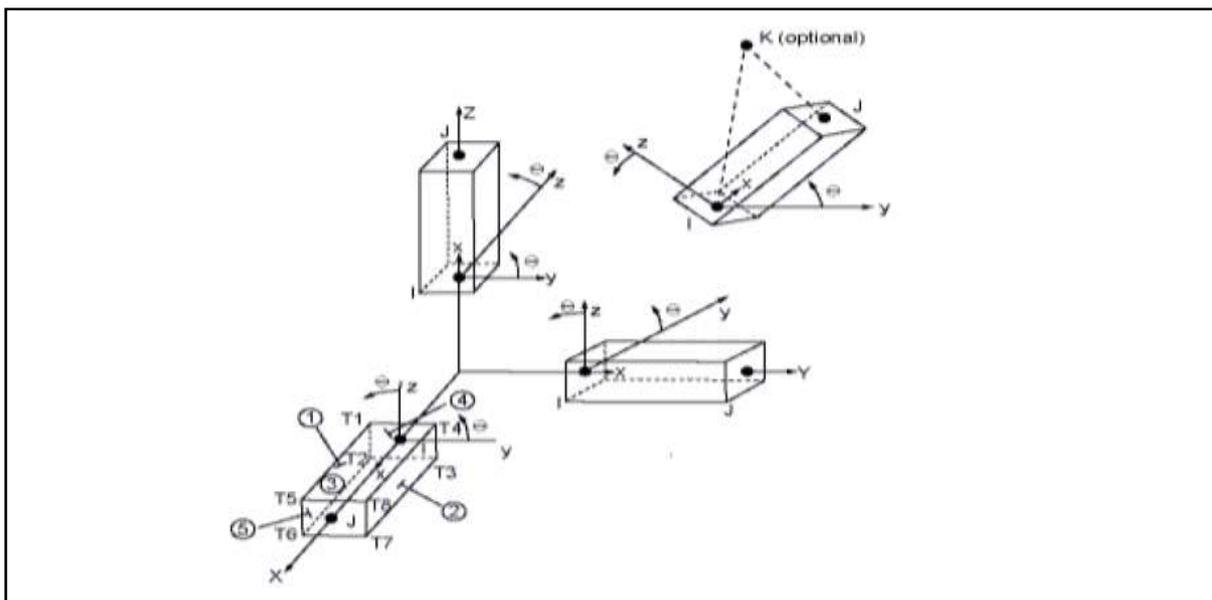
O método em elementos finitos dispõe basicamente de três tipos de elementos para realização de análises: viga, casca e sólido. A escolha do melhor tipo de elemento a ser utilizado na análise vai depender de fatores como a geometria do modelo, capacidade de máquina disponível, os resultados que se deseja obter, tempo disponível para obtenção destes resultados, precisão dos resultados e condições de contorno.

Abaixo são apresentados mais detalhadamente cada tipo de elemento.

2.8.1 Tipo Viga

Elemento simples utilizado em análises globais, onde não é necessário precisão dos resultados. Modelos construídos a partir de elementos de viga podem ser lembrados como aqueles que fornecem informação generalizada do comportamento do sistema. Do modelo de vigas podem ser obtidos resultados de forças de reação, momentos e deflexões que podem ser posteriormente usados como entradas em modelos mais detalhados e complexos. A figura 2.6 exemplifica um elemento tipo viga.

Figura 2.6 - Exemplo de elemento tipo viga



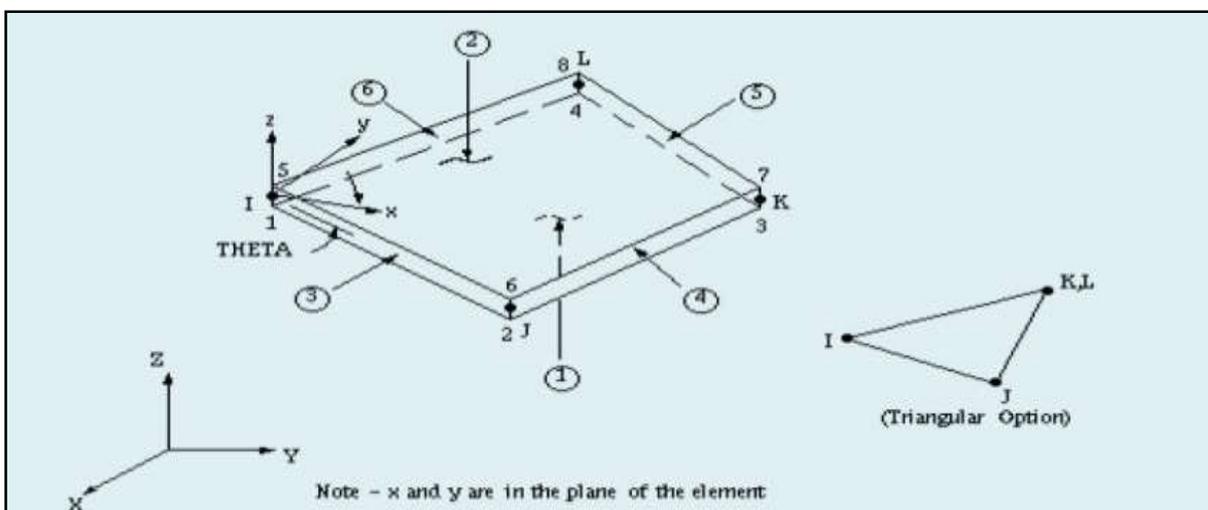
Fonte: OLIVEIRA (2007)

2.8.2 Tipo casca

O termo casca refere-se a elementos planos, podendo também ser curvas que são usados para representar estruturas de parede fina. Uma malha construída com quadriláteros é, geralmente, mais precisa do que uma com triângulos.

Elementos do tipo casca podem fornecer resultados precisos mesmo com uma geometria inicial curva, pois possuem seis graus de liberdade por nó, sendo três de translação e três de rotação. A figura 2.7 exemplifica um elemento tipo casca.

Figura 2.7- Exemplo de elemento tipo casca



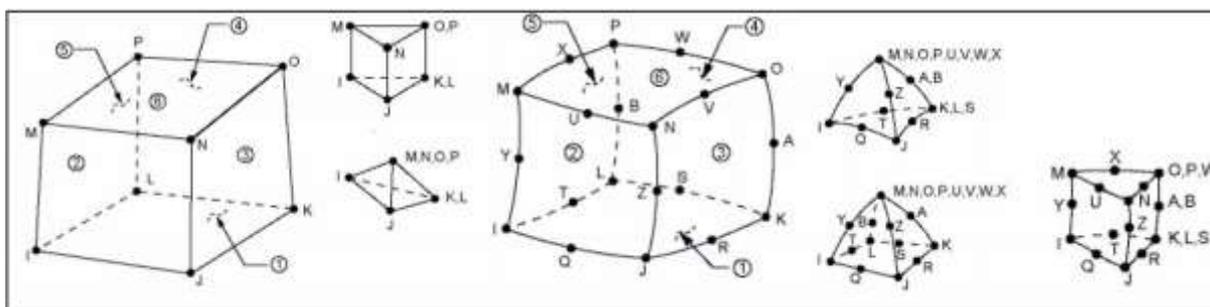
Fonte: ANSYS (2012)

2.8.3 Tipo sólido

Segundo Adams, 1993, uma característica importante desse tipo de elemento é a sua aplicabilidade conjunta com outros elementos para permitir condições de contorno mais complexas.

A geometria real pode ser modelada incluindo soldas, chanfros, saliências, arredondamentos e transições. Contudo, trata-se do tipo de modelo que mais requer tempo computacional. Este elemento apresenta uma ampla capacidade de plasticidade, deslizamento, grandes deflexões e deformações. A figura 2.8 exemplifica um elemento do tipo sólido.

Figura 2.8 - Exemplo de elemento tipo sólido



Fonte: OLIVEIRA (2007)

2.8.4 Geração de malha

Segundo Pinto Filho(2004) a malha é a maneira de se comunicar com o programa de MEF. A precisão da solução depende primariamente da qualidade da malha. E esta qualidade é mais bem definida pela convergência do problema. Os deslocamentos globais devem convergir para um valor estável e os outros resultados devem convergir localmente.

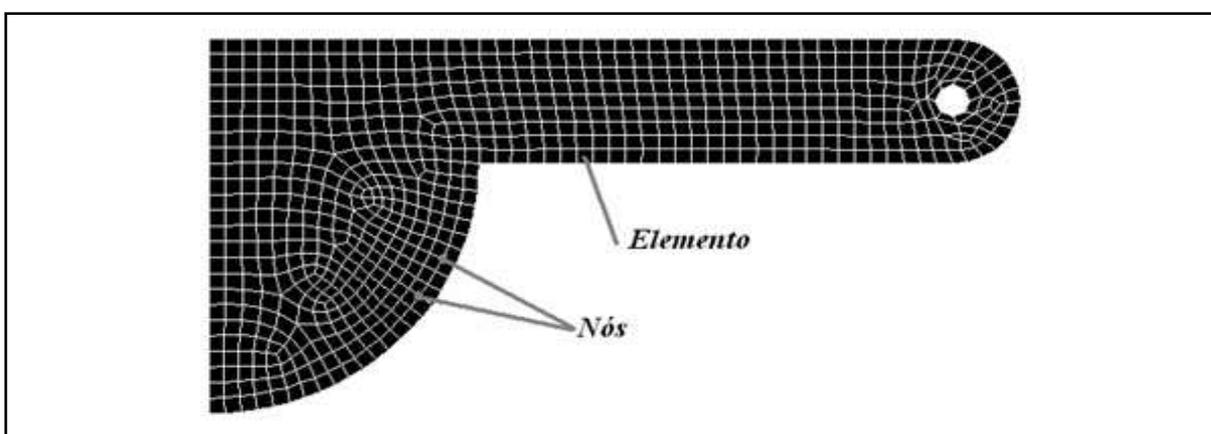
Outra medida mais subjetiva é a aparência da malha, a sua capacidade de representar visualmente a geometria da peça. Uma malha com boa aparência não é necessariamente a melhor malha, mas uma malha com má aparência quase sempre indica um problema.

Uma malha com boa aparência possui elementos regulares, com boa forma. As transições entre seções devem ser suaves e graduais, sem elementos distorcidos ou parecendo escamas.

Segundo Adams (1993) no MEF o processo de se reduzir o erro local fazendo uso de elementos cada vez menores, ou fazendo uso de elementos que consigam melhor aproximar formas mais complexas ponto a ponto é chamado de convergência. Esse processo é mais bem atingido quando se tem um refinamento da malha em regiões onde se tem mudanças bruscas de curvatura.

Pode-se dizer que malha é a discretização da estrutura do modelo, ou seja, a sua divisão em elementos conectados por nós. A figura 2.9 representa um modelo discretizado onde são identificados os nós e elementos do modelo.

Figura 2.9 - Representação de elementos e nós



Fonte: BONATTO (2007).

Pode-se fazer várias simplificações no modelo para que a malha fique mais adequada. Entre elas pode-se citar a eliminação de raios e chanfros nos cantos de tubos e chapas, furações *gap's* entre uma peça e outra etc.

2.8.5 Propriedades dos materiais

Adams(1993), comenta que a maioria das análises usando o MEF assume que o material é isotrópico e homogêneo. Assumir a homogeneidade do material significa que as propriedades são constantes em todo o volume. Devido ao fato de poucos materiais se comportarem de maneira perfeita, as duas suposições devem ser levadas em conta ao tentar se relacionar os resultados de simulação com a realidade.

As propriedades necessárias à caracterização de um modelo podem variar em função da análise desejada, mas as principais são: módulo de elasticidade,

coeficiente de Poisson, módulo de cisalhamento, densidade, condutividade térmica e calor específico.

2.8.6 Condições de contorno

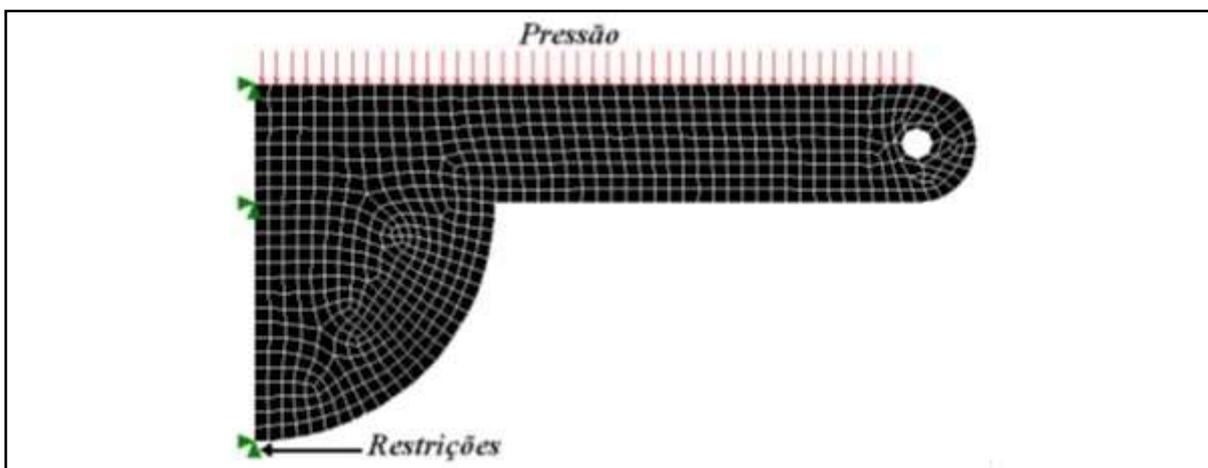
2.8.6.1 Restrições

Definem como a estrutura se relaciona com o meio ambiente (engastamentos).

2.8.6.2 Carregamentos

Definem as solicitações as quais a estrutura está submetida (forças nodais, pressões, momentos, carga térmica, etc.). A figura 2.10 representa um modelo sendo submetido a um carregamento (pressão) com restrições na lateral.

Figura 2.10 - Representação da estrutura com seus carregamentos e restrições



Fonte: BONATTO (2007)

3 DESENVOLVIMENTO

Com objetivo de validar modulo estrutural de um condensador de acordo com os requisitos da resolução ASCE , utilizamos o método de elementos finitos (MEF), Atualmente para todo desenvolvimento de estrutura é necessária à realização de análise dos elementos para atender aos requisitos mínimos a abalos sísmicos.

Este capítulo está dividido em três partes, materiais, levantamento dos carregamentos e métodos. Na etapa de materiais, serão apresentados os materiais utilizados na construção do equipamento, procedimentos construtivos, levantamento dos carregamentos e realização das análise. Na etapa de métodos, serão apresentadas as preparações feitas no modelo numérico e a análise em elementos finitos.

3.1.1 Interpretação dos resultados

Após realizar a análise MEF, será possível determinar se a estrutura proposta atende ou não atende os esforços sísmicos determinados naquela região conforme norma ASCE 7. Caso não atenda aos requisitos, será realizada uma nova análise para que a mesma atenda os requisitos. Não será objetivo deste trabalho, propor alterações na estrutura.

3.2 MATERIAIS

A estrutura metálica do condensador evaporativa é feita de aço inox 304. O aço inox 304 é indicado principalmente para usos planos e em aplicações que requeiram excelente resistência a corrosão excelente capacidade de conformação e excelente soldabilidade. Na industria está presente em tubos, tanques, reatores, colunas de destilação, trocadores de calor, condensadores, nas mais variadas industrias, como por exemplo, de açúcar e álcool, de bebidas, química e farmacêutica, alimentícia, de cosméticos e de derivados de petróleo. Apresenta um limite de escoamento mínimo de 240 MPa, um limite de resistência mecânica de

540MPa, alongamento de 40% e dureza de 160 HRB. Estes valores foram utilizado para calibração das propriedades do material no *software* Ansys.

3.3 LEVANTAMENTO DOS CARREGAMENTOS

O peso próprio da estrutura é calculado pelo programa ANSYS, tornando-se 1723 kg. A sobrecarga adotada é de 800kg devido aos ventiladores e revestimentos não estruturais do equipamento e tubulações.

Na determinação dos carregamentos na estruturas utilizamos a metodologia adotada no capítulo 2.3.

Utilizando o Anexo A definimos a categoria ocupacional do modelo estrutural em análise como Categoria I o qual apresenta baixos riscos a pessoas, determinando seu grupo sísmico conforme Anexo B, como grupo I.

Através desses dados encontramos o fator de importancia ocupacional necessario para o calculo com valor igual a 1.0.

Para determinar R, coeficiente sísmico para estruturas não civis utiliza-se a tabela do Anexo C, onde obtemos a constante de 3,5.

Aceleração da resposta espectral em curto período de tempo devemos levar em consideração o tipo de terreno onde será análise para definir o valor máximo da aceleração de um espectro de resposta, tendo em vista a utilização da equação 2.1 para determinar, utilizamos as tabelas no Anexo E definindo a média das regiões em 10% da gravidade ($9,81\text{m/s}^2$) onde $S_s = 1$.

Em Anexo G definimos a classe do solo onde será realizada análise, sendo escolhida classe E devido a ser mais comum no USA com isto podemos definir F_a pelo Anexo G onde $F_a = 0,9$

Obtemos assim com estes dados o valor de S_{MS} , conforme equação 2.4:

$$S_{MS} = 0,9 \times 1 = 0,9$$

Utilizando a equação 2.3:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0.9 = 0.6$$

Conseguimos agora utilizar a equação 2.2 para conhecer o coeficiente de resposta sísmica.

$$C_s = \frac{0.6}{\frac{3.5}{1}} = 0.17142857$$

Determinando a força sísmica total horizontal na base da estrutura, o qual é determinada pela equação 2.1.

$$V = 0.1714285 \times 1.723 \times 9,81 = 2873,44 \text{ kN}$$

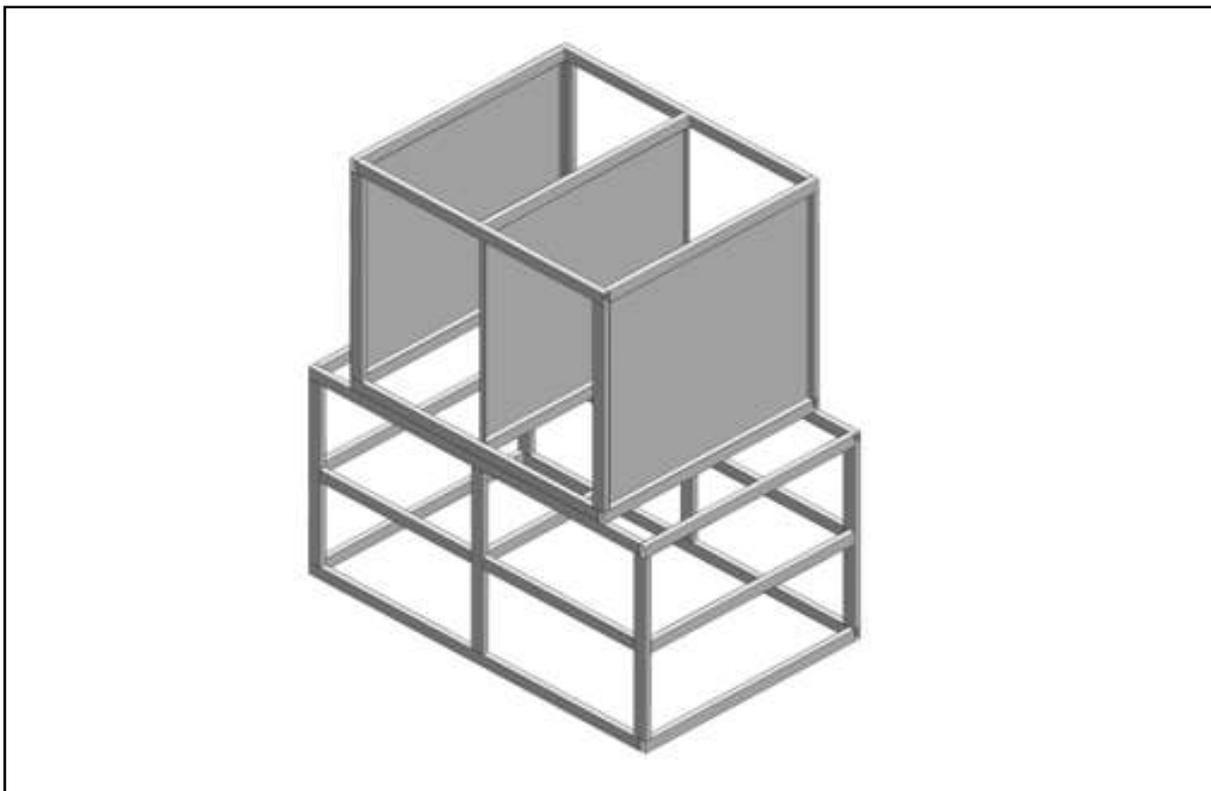
3.4 MÉTODOS

3.4.1 Preparação do modelo em CAD

A primeira atividade realizada foi o projeto e seu modelamento 3D no *software* de CAD, SolidWorks 2012. Este modelo foi utilizado para fazer os detalhamentos necessários à execução do módulo a ser testado experimentalmente, o qual não está incluso neste trabalho os resultados e comparações com modelo experimental. Também foi utilizado como dado de entrada para o *software* de CAE Ansys Workbench 14.0. Foi feita a simplificação do modelo e adequação para a análise MEF, realizado as simplificações de geometria do modelo como, eliminação de raios e chanfros dos cantos das chapas, eliminação de furações, etc. Estas alterações são necessárias principalmente pelo ganho de tempo de processamento da análise e para melhor qualidade da malha dos componentes.

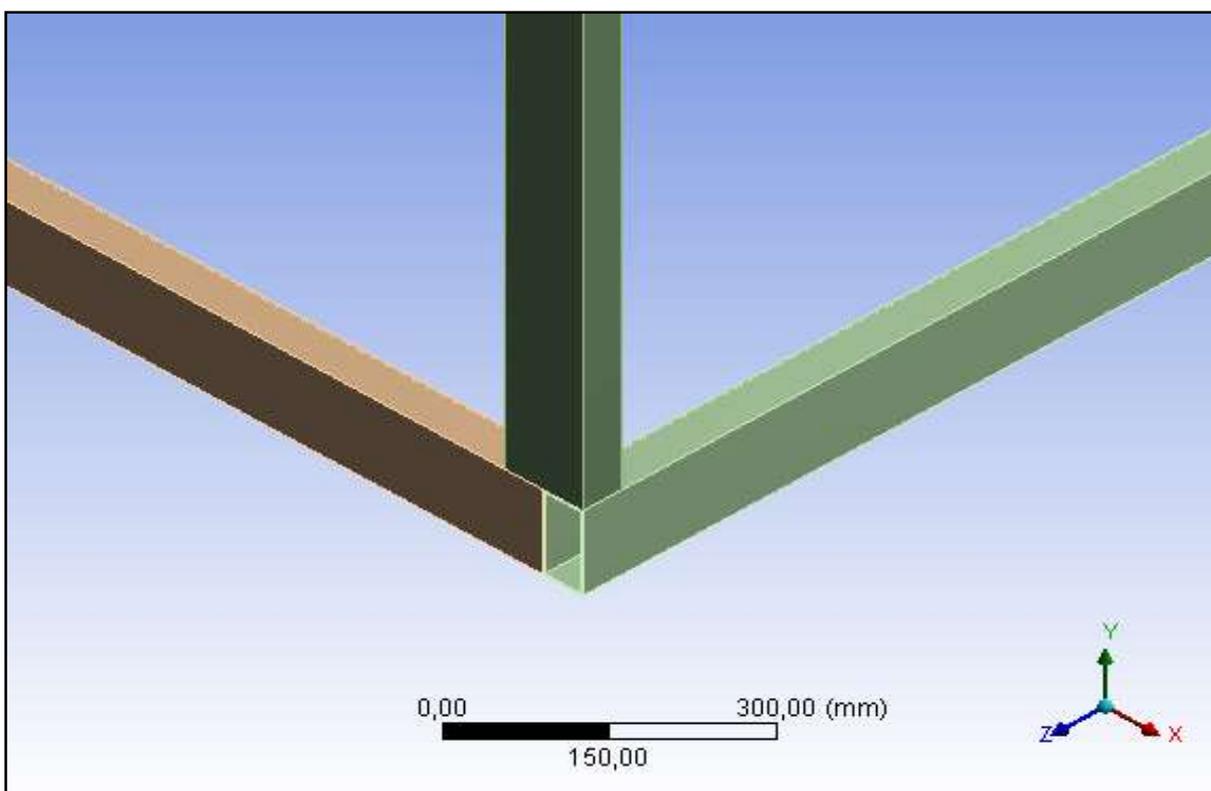
.A figura 2.11 representa o módulo 3D após a realização das simplificações e a figura 2.12 mostra um detalhe ampliado do módulo 3D.

Figura 2.11 - Modulo Estrutura 3D com simplificações



Fonte: Autor (2014).

Figura 2.12 - Detalhe Ampliado do modulo com simplificações



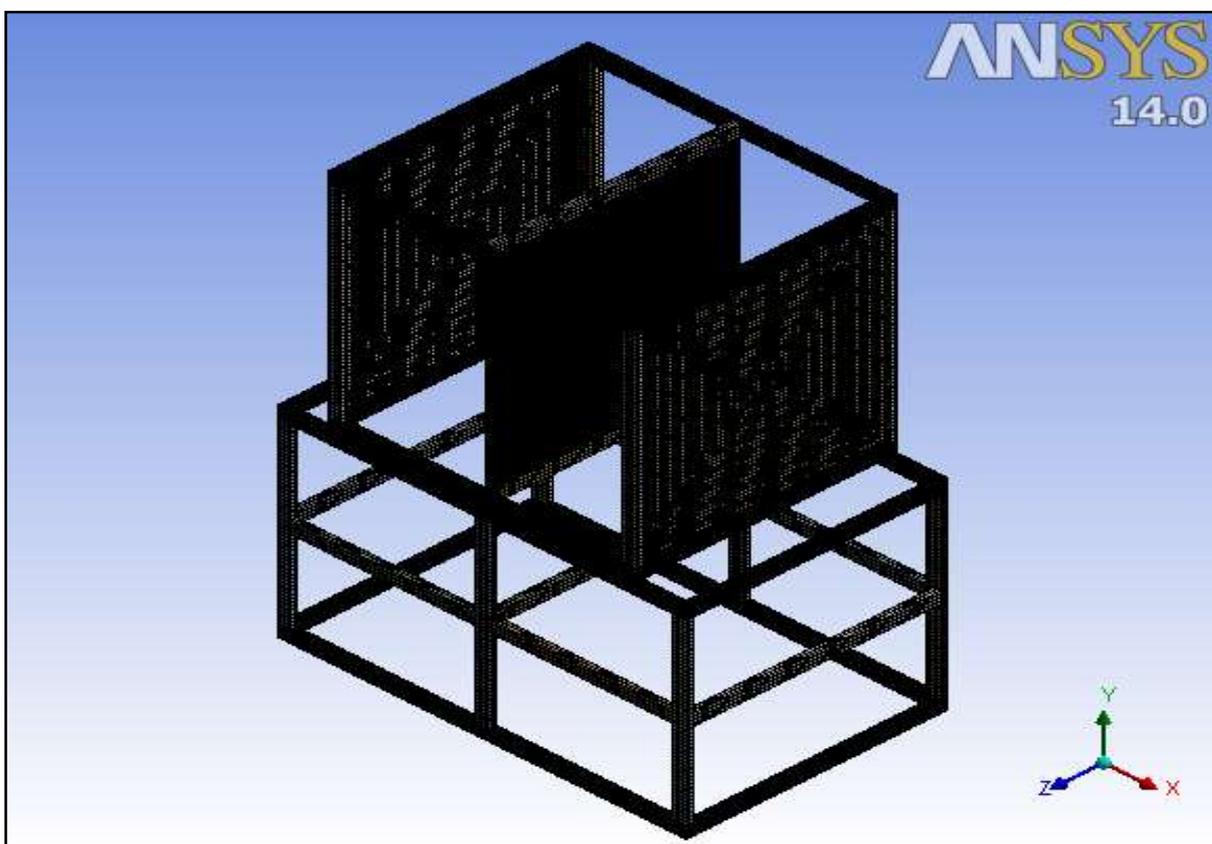
Fonte: Autor (2014).

3.4.2 Método dos elementos finitos – Preparação do modelo

Para as análises MEF utilizaram-se o *software* Ansys 14.0 e um notebook de uso pessoal com processadores Intel Core I7 2.5 GHz e 6 GB de memória RAM Placa de vídeoNVIDIA dedicada de 1TB. Os tempos informados ao longo deste trabalho referem-se às análises processadas com esta configuração de *hardware*.

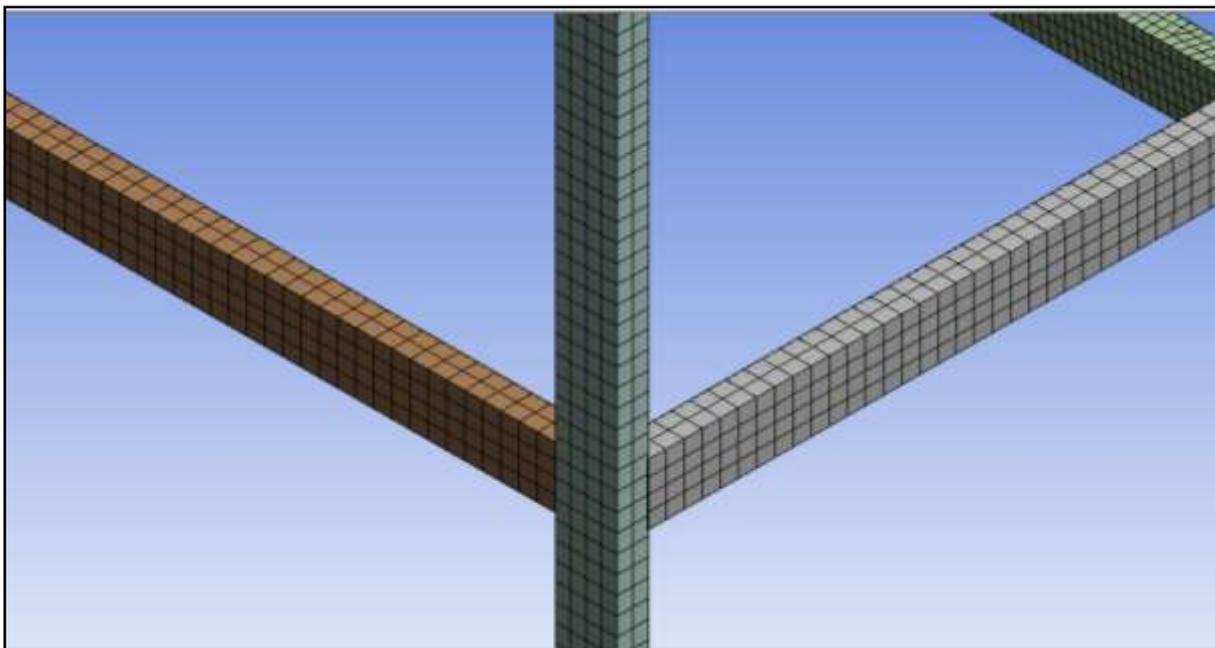
A partir do modelo geométrico 3D do módulo experimental, gerou-se o modelo numérico em elementos finitos. A análise é linear implícita. A malha é composta por elementos tipo casca (Ansys – *Shell* 181). A decisão por utilizarem-se elementos de casca deu-se em função da estrutura do módulo utilizar chapas e tubos de baixa espessura. Utilizou-se elementos com tamanho 30mm, totalizando um número de 127407 nós e 125127 elementos, a figura 2.13 mostra uma visão geral da malha de elementos finitos e a figura 2.14 uma visão mais detalhada da malha.

Figura 2.13 - Malha de elementos finitos



Fonte: Autor (2014).

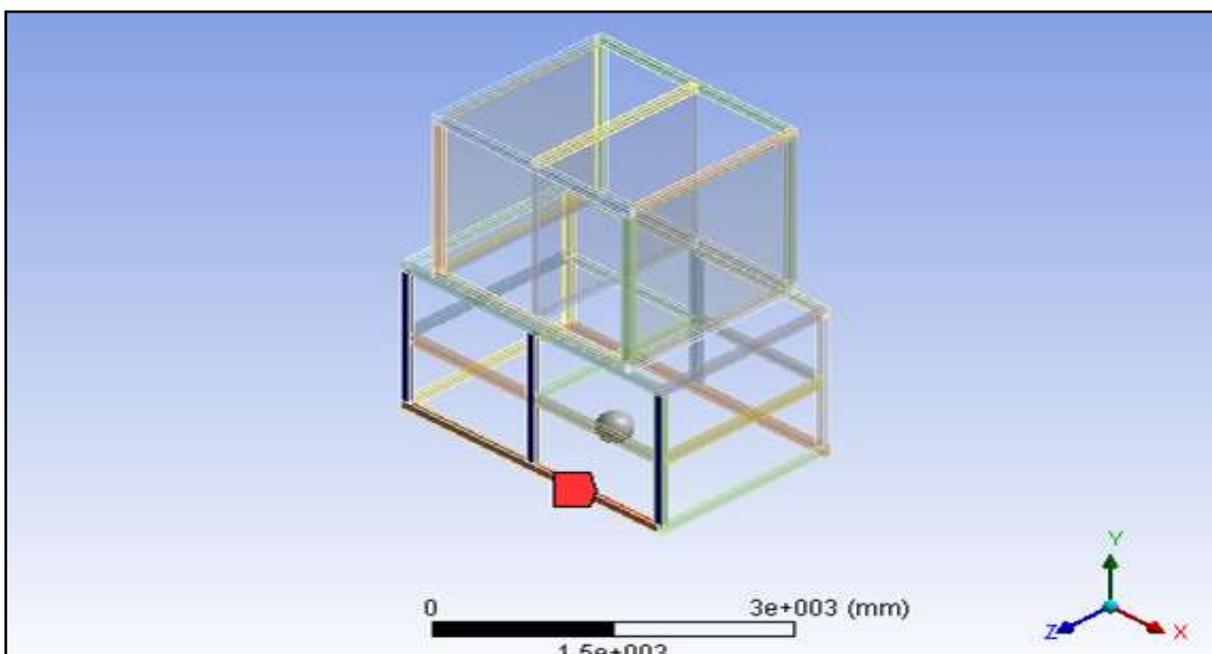
Figura 2.14 - Visão detalhada da malha de elementos finitos



Fonte: Autor (2014).

Na união entre uma peça e outra, em todo o módulo, foram utilizados contatos tipo bonded (contato linear), estes contatos representam que a união é soldada, a figura 2.15 representa um contato do tipo bonded entre um tubo longitudinal e os tubos verticais da lateral.

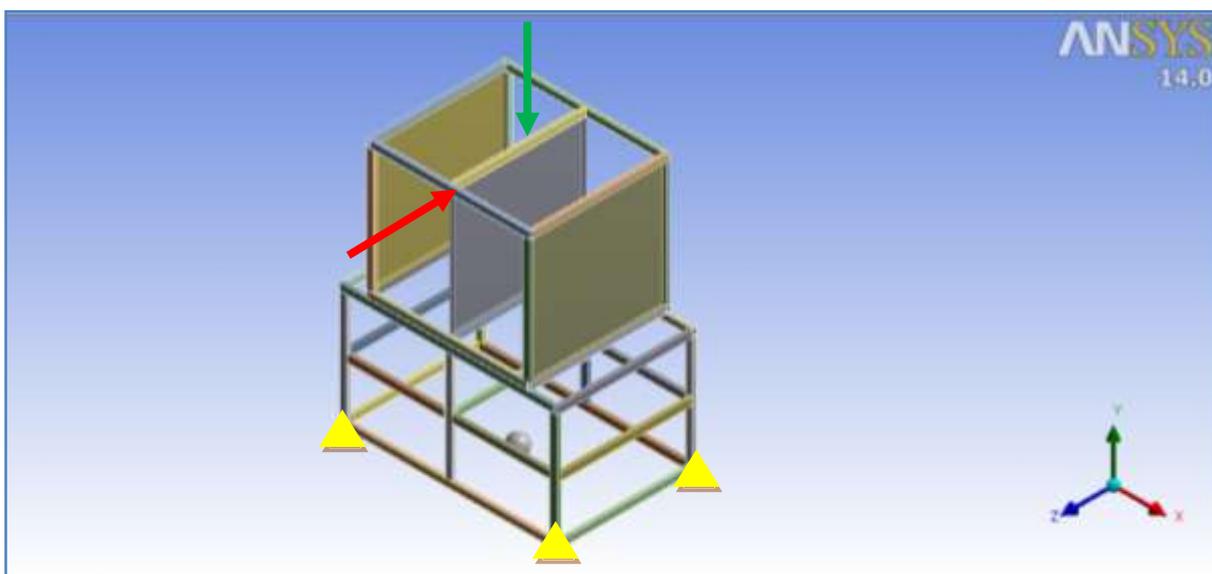
Figura 2.15 - Representação de contatos tipo bonded



Fonte: Autor (2014).

Após definições dos contatos, definiu-se as restrições e os carregamentos calculados anteriormente, na figura 2.16 esta representada pela seta vermelha o carregamento lateral calculado de 2873,44 kN, pela seta verde está representado o peso das peças não estruturais mencionadas 800kg. Nos quatro cantos inferiores representados pelo triângulo amarelo definiu-se restrição do movimento em todos eixos devido ao equipamento estar fixado ao solo.

Figura 2.16 - Visão detalhada das restrições e carregamentos



Fonte: Autor (2014).

3.4.3 Verificação de modos de corpo rígido

Uma maneira de verificar se o modelo está retratando a realidade é utilizar a ferramenta de convergência, disponível no próprio programa, executando a mesma análise diversas vezes e diferenciando o tamanho da malha.

Segundo Grison(2005) a criação de um modelo estrutural de elementos finitos deve ser um processo cuidadoso de forma a evitar possíveis falhas na estrutura.

A verificação do sistema em busca de problemas pode ser realizada pelo próprio programa utilizado na análise. Uma verificação pode ser realizada através de uma análise modal do modelo, verificando se todos os componentes estão ligados de forma adequada. Assim, o modelo estrutural, por tratar-se de um corpo único, deve apresentar os seis primeiros modos de vibração de corpo rígido(6 graus de liberdade), o que indica que o modelo foi gerado adequadamente.

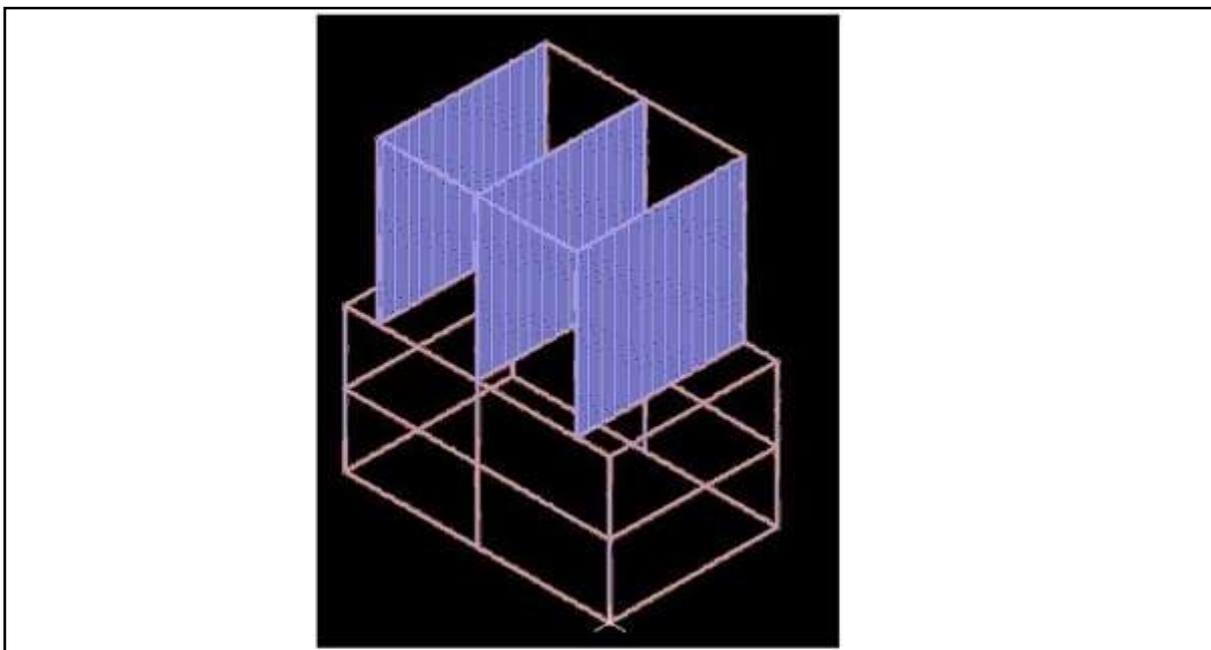
Sendo obtido o primeiro modo de vibração, frequência natural 0 Hz, segundo modo de vibração, frequência 0 Hz, terceiro modo de vibração, frequência 0,0020 Hz, quarto modo de vibração, frequência 0,0024 Hz, quinto modo de vibração, frequência 0,0032 Hz e sexto modo de vibração, frequência 0,0055 Hz.

3.4.4 Comparativo dos resultados

Afim de certificar-se e obter resultados comparativos, utilizou-se o modelo software ADINA 9.0, utilizando os mesmos parâmetros de carregamento fixações . O modelo foi criado diretamente no ADINA através dos elementos de viga (BEAM) e casca (shell).

Na figura 2.17 é possível verificar o modelo com a mesma malha e os mesmos critérios adotados para o ANSYS.

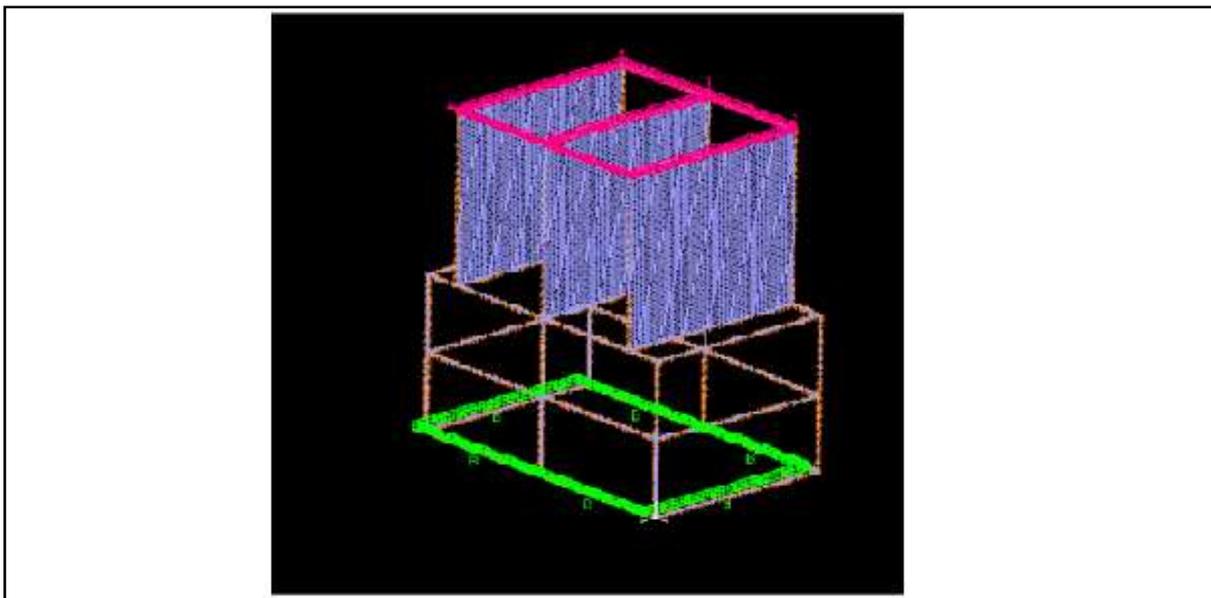
Figura 2.17 - Representação de malha



Fonte: Autor (2014).

Na figura 2.18 estão representados as restrições e forças adotadas conforme parâmetros utilizado anteriormente. As setas verdes representam as restrições em relação ao solo, setas rosas verticais representam 800kg de peças não estruturais e as horizontais a força horizontal calculada dos esforços sísmicos no equipamento.

Figura 2.18 - Representação de malha

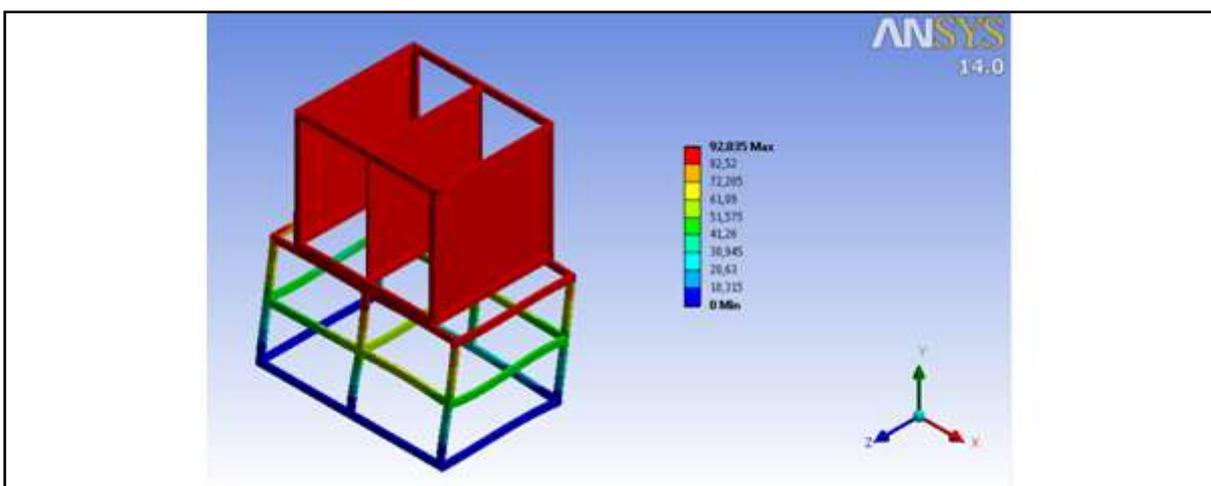


Fonte: Autor (2014).

3.5 Resultados

Na figura 2.19 está representado o modelo sob as influências horizontais da base, o qual podemos visualizar o deslocamento máximo lateral que a estrutura sofreu de 92,835mm, sendo simulado em ANSYS.

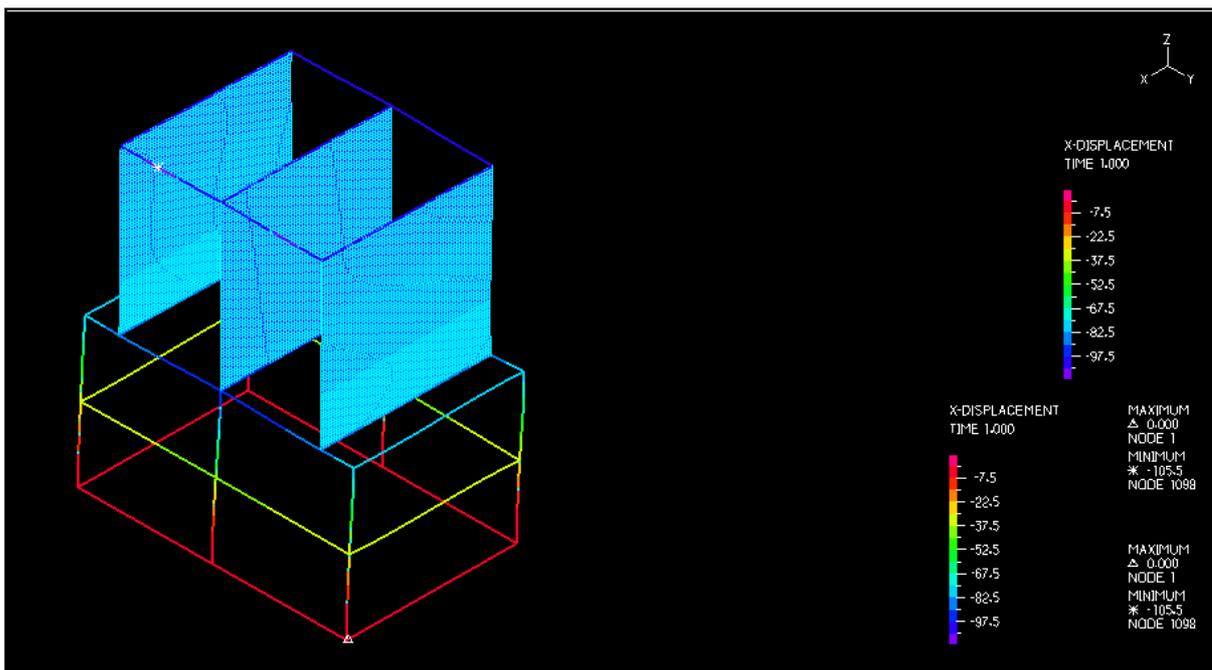
Figura 2.19–Representação da deformação em ANSYS



Fonte: Autor (2014).

Na figura 2.20 representamos o resultado obtido através do ADINA, onde encontramos o deslocamento de 105,5 mm

Figura 2.20–Representação da deformação em ADINA



Fonte: Autor (2014).

Analisando os resultados obtidos pelos dois softwares, obtemos um desvio de 12%, levando em consideração como comparativo do modelo em ANSYS o modelo em ADINA se torna aceitável por sua baixa variação.

Observamos também que os modelos por utilizarem diferentes tipos de elementos no ANSYS casca e no modelo ADINA viga para a simulação, obtivemos resultados muito próximos, mas levando em consideração o modelo que utiliza casca tende a ser mais próximo do real devido as baixas espessuras.

4 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido neste trabalho teve como principal objetivo executar a análise estrutural do condensador evaporativo sob influências sísmicas. O procedimento adotado para a concepção das etapas do desenvolvimento do estudo foi baseado em literaturas direcionadas ao tema proposto. A definição das características técnicas foi baseada na NORMA ASCE-7.

No presente trabalho foi abordado a revisão do regulamento para que o modelo estrutura esteja apto para a utilização em território onde abalos sísmicos são frequentes, mostrou-se os requisitos principais que o projeto deve atender em relação aos esforços.

Tendo em vista os resultados e requisitos mínimos especificados na norma ASCE 7, o modelo estrutural proposto seria aprovado devido ao seu deslocamento mínimo obtido através do ANSYS de 92,835mm, tendo em vista que a norma exige 10% sobre seu comprimento linear no sentido do movimento que é igual a 185 mm.

No desenvolvimento da proposta de estudo foi tomado o devido cuidado, para que o projeto fosse executado o mais próximo possível das características técnicas que a norma exige.

Na idealização do modelo CAD, foram respeitadas as proporções geométricas e dimensionais. O cuidado em gerar o modelo computacional mais próximo possível do real, tem influência direta na obtenção de resultados que retratem a realidade.

Desta forma, pode-se considerar que o principal objetivo do trabalho foi alcançado. Sendo que, com o uso de metodologias apropriadas como literaturas e software, foi possível conceber e analisar o comportamento sísmico e obter informações mais detalhadas relativas ao seu comportamento estrutural.

Para um próximo trabalho sugiro utilizar a norma para obter a certificação do modelo estrutural, para isto existe a necessidade de fazer uma análise em escala real, utilizando shaking table em testes de laboratórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, H. **.Chassis Engineering, Chassis Design, Building & Tuning for High Performance Handling**.New York: Hp Books, 1993.

American Society of Civil Engineers (ASCE).**ASCE 7 : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**.Reston, Virginia (2002)

ASSUMPÇÃO, M. S., NETO, C. M. D. **“Sismicidade e estrutura interna da terra”**. In: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, T. R., TAIOLI, F. Decifrando a Terra - 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2000.

AZEVEDO, Álvaro F. M., **Método dos elementos finitos**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Abril 2003.

BONATTO, Ricardo; JUNIOR, Agenor Dias de Meira.**Avaliação do desempenho de elementos estruturais absorvedores de impacto em estruturas veiculares**. Passo Fundo, RS, 2012. Monografia de conclusão do curso, Universidade de Passo Fundo, curso de Engenharia Mecânica, 2007.

CLOUGH, R. W. & PENZIEN, J. (2003).**Dynamics of Structures. Computers & Structures**, Inc, iii ed

CLOUGH, R. W. & PENZIEN, J.MCGRAW-HILLI (1975).**Dynamics of structures**

CRUZ, Magnus Geder Henz; VIECELLI, Alexandre.**Estudo da substituição de aço convencional por aço de baixa liga e alta resistência (BLAR) em módulo estrutural**.Caxias do Sul, RS, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006.

ESTÊVÃO, J. M., SILVA, E., & SILVA, J. (2007). "**Avaliação da Resposta Sísmica de Edifícios Sitos em Solos Brandos Estratificados**". 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica.

FRANCO, M. **Direct along-wind dynamic analysis of tall structures**. São Paulo: Epusp, 1993

GRISON, V. **Ferramentas para análise dinâmica e estrutural de um reboque de linha leve**. Dissertação(Mestrado).UFRGS: Porto Alegre, 2005.

GUERREIRO, Luís. **Revisões de análise modal e análise sísmica por espectro de respostas. Apontamentos da disciplina de dinâmica e engenharia sísmica**. Mestrado em Engenharia de Estruturas. Instituto Superior Técnico, Portugal, 1999.

LIMA, Silvio de S. e SANTOS, Sérgio H. C. **Análise dinâmica das estruturas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

OLIVEIRA, Fernando César Gama. **Avaliação da rigidez torsional de uma estrutura veicular tipo space frame pelo método de elementos finitos com estudo de caso**. Uberlândia, MG, 2006, Artigo para simpósio de pós graduação em engenharia mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica.

PINTO FILHO, R. R.Dissertação (mestrado).**Concepção, projeto e otimização de uma estrutura para aplicação em veículo de uso misto**, Dissertação (mestrado),Uberlândia, MG, 2008.

RICARDO, L.C.H.; MIRANDA, R.J.P.C.; DELIJACOV, S. **Producers to apply finite elements analysis in automotive structures**. University of São Paulo, 2005.

SILVA, Guilherme Santos . **Análise estrutural de chassis de veículos pesados com base no emprego do programa Ansys**. Rio de Janeiro, RJ, 2006, Artigo para Cobenge, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

ANEXO A - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS PARA FORÇAS SÍSMICAS

Nature of Occupancy	Category
<p>Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to:</p> <ul style="list-style-type: none"> Agricultural facilities Certain temporary facilities Minor storage facilities 	I
All buildings and other structures except those listed in Categories I, III, and IV	II
<p>Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to:</p> <ul style="list-style-type: none"> Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area Buildings and other structures with day care facilities with capacity greater than 150 Buildings and other structures with elementary school or secondary school facilities with capacity greater than 250 Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities Jails and detention facilities Power generating stations and other public utility facilities not included in Category IV <p>Buildings and other structures not included in Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing sufficient quantities of hazardous materials to be dangerous to the public if released.</p> <p>Buildings and other structures containing hazardous materials shall be eligible for classification as Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the hazardous material does not pose a threat to the public.</p>	III
<p>Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to:</p> <ul style="list-style-type: none"> Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities Fire, rescue, ambulance, and police stations and emergency vehicle garages Designated earthquake, hurricane, or other emergency shelters Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response Power generating stations and other public utility facilities required in an emergency Ancillary structures (including, but not limited to, communication towers, fuel storage tanks, cooling towers, electrical substation structures, fire water storage tanks or other structures housing or supporting water, or other fire-suppression material or equipment) required for operation of Category IV structures during an emergency Aviation control towers, air traffic control centers, and emergency aircraft hangars Water storage facilities and pump structures required to maintain water pressure for fire suppression Buildings and other structures having critical national defense functions <p>Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing extremely hazardous materials where the quantity of the material exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction.</p> <p>Buildings and other structures containing extremely hazardous materials shall be eligible for classification as Category II structures if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the extremely hazardous material does not pose a threat to the public. This reduced classification shall not be permitted if the buildings or other structures also function as essential facilities.</p>	IV

Fonte: ASCE (2002)

ANEXO B - TABELA DE GRUPO SÍSMICO

		Seismic Use Group		
		I	II	III
Occupancy Category (Table 1-1)	I	X		
	II	X		
	III		X	
	IV			X

Fonte: ASCE (2002)

ANEXO C - TABELA FATOR DE IMPORTÂNCIA OCUPACIONAL

Seismic Use Group	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

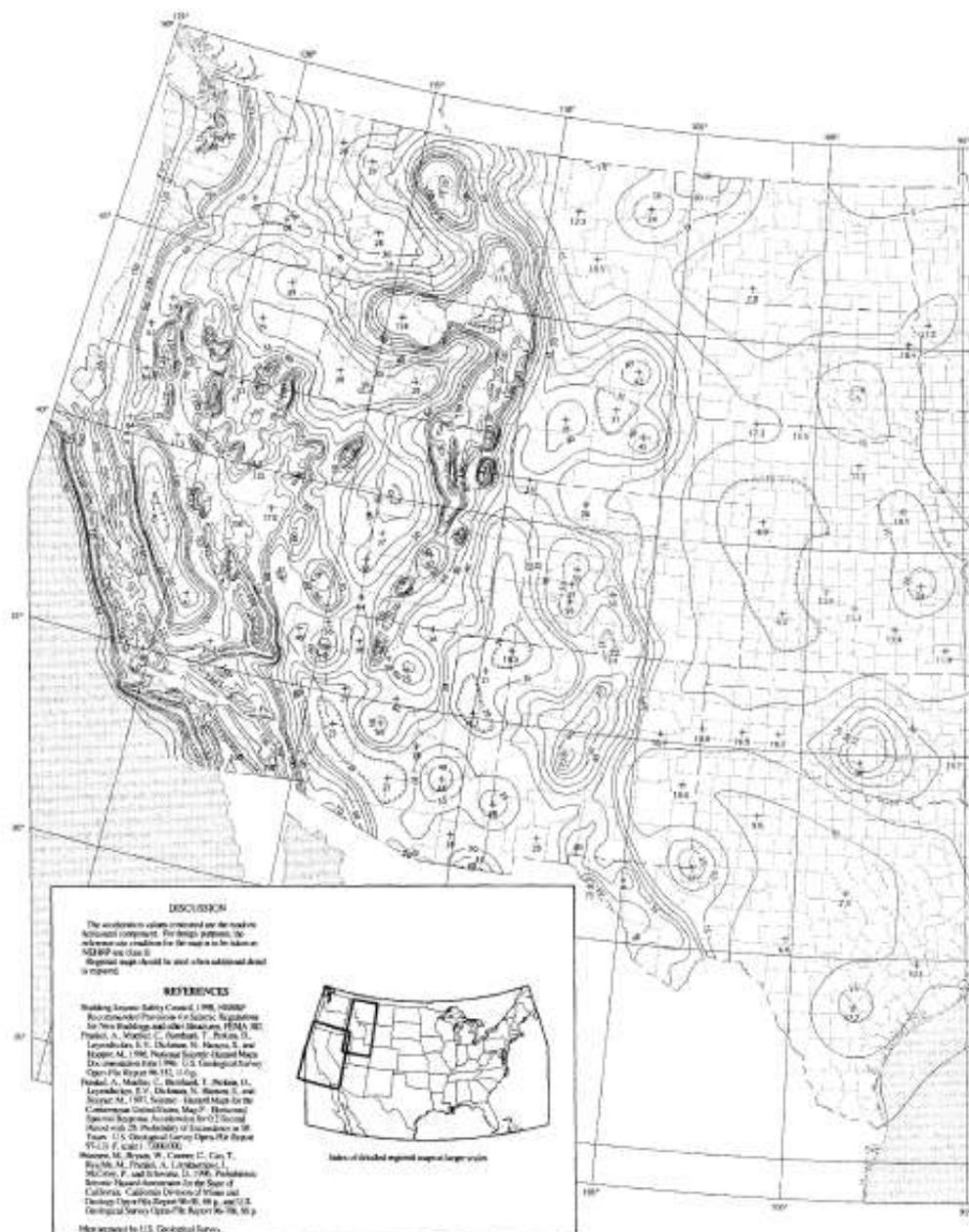
Fonte: ASCE (2002)

ANEXO D - TABELA DE COEFICIENTES SÍSMICO PARA ESTRUTURAS

Nonbuilding Structure Type	R	Ω_0	C_d	Structural System and Height Limits (ft) ^a			
				Seismic Design Category			
				A & B	C	D	E & F
Trussed towers (freestanding or guyed), guyed stacks and chimneys	3	2	$2\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Cooling towers:							
Concrete or steel	$3\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	3	NL	NL	NL	NL
Wood frame	$3\frac{1}{2}$	3	3	NL	NL	50	50
Telecommunication towers							
Truss: Steel	3	$1\frac{1}{2}$	3	NL	NL	NL	NL
Pole: Steel	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Wood	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Concrete	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Frame: Steel	3	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Wood	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Concrete	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	NL	NL	NL	NL
Amusement structures and monuments	2	2	2	NL	NL	NL	NL
Inverted pendulum-type structures (except elevated tanks, vessels, bins, and hoppers)	2	2	2	NL	NL	NL	NL
Signs and billboards	$3\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	3	NL	NL	NL	NL
All other self-supporting structures, tanks, or vessels not covered above or by approved standards that are similar to buildings	$1\frac{1}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	NL	50	50	50

Fonte: ASCE (2002)

ANEXO E - MAPA DE DETERMINAÇÃO DE ESPECTROS DE RESPOSTA



ANEXO F - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS TERRENOS

Site Class	\bar{v}_s	\bar{N} or \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u
A Hard rock	> 5000 ft/s (> 1500 m/s)	not applicable	not applicable
B Rock	2500 to 5000 ft/s (760 to 1500 m/s)	not applicable	not applicable
C Very dense soil and soft rock	1200 to 2500 ft/s (370 to 760 m/s)	> 50	> 2000 psf (> 100 kPa)
D Stiff soil	600 to 1200 ft/s (180 to 370 m/s)	15 to 50	1000 to 2000 psf (50 to 100 kPa)
E Soil	< 600 ft/s (< 180 m/s)	< 15	< 1000 psf (< 50 kPa)
	Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics: — Plasticity index $PI > 20$, — Moisture content $w \geq 40\%$, and — Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F Soils requiring site-specific evaluation		<ol style="list-style-type: none"> 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse 2. Peats and/or highly organic clays 3. Very high plasticity clays 4. Very thick soft/medium clays 	

Fonte: ASCE (2002)

ANEXO G - TABELA CORREÇÃO DO VALOR MÁXIMO DO ESPECTRO DE RESPOSTA

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Acceleration at Short Periods				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>

Fonte: ASCE (2002)