



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA APLICADA E ESTRUTURAS

ANÁLISE DINÂMICA DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS PARA
MÁQUINAS

CLAYTON AUGUSTO DA SILVEIRA HENRIQUE

Projeto Final de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado por:

Sergio Hampshire de Carvalho Santos
D.Sc., COPPE/UFRJ (Orientador)

Silvio de Souza Lima
D.Sc., COPPE/UFRJ

Francisco José Costa Reis
M.Sc., COPPE/UFRJ

Novembro de 2004



Índice

1	Introdução	1
2	Metodologia	3
3	Parâmetros condensados de representação do solo	5
3.1	Determinação dos parâmetros da interação solo-estrutura	5
4	Modelo Matemático por Elementos Finitos (SAP2000®)	8
5	Modelo Matemático Rígido (FMaq2)	11
5.1	Cargas aplicadas	11
6	Resultados e Conclusões	13
7	Referências	15
7.1	Bibliográficas.....	15
7.2	Programas (Softwares).....	15
8	Apêndice I	16
9	Apêndice II	34
10	Índice de figuras	44
11	Índice de tabelas	45



1 Introdução

É dito que a engenharia é uma atividade rica em experiências, pois cada caso é único e cada empreendimento deve ser tratado de maneira ímpar. Pode-se ver isto, por exemplo, no caso das fundações e especialmente no das fundações de máquinas. Deve-se analisar cada particularidade do equipamento, do solo de fundação, e tentar representar, da maneira mais fiel possível, a interação entre solo e estrutura. Deve-se ainda atentar ao que as cerca, a presença de ocupação humana nas suas proximidades e deslocamentos máximos permitidos, sob o risco da completa ineficácia na utilização do equipamento ou até mesmo de sua perda.

Objetiva-se com este trabalho a comparação, com base na análise dinâmica, entre dois métodos de cálculo de estrutural, para fundações de máquinas. Serão avaliadas as respostas de deslocamentos do centro de massa do conjunto, fundação e equipamentos, as frequências naturais obtidas, e também a verificação do comportamento da estrutura quando alterados alguns parâmetros básicos, tais como a rigidez da estrutura e do solo. A fim de se evitar a análise de um volume de informações de pouca ou nenhuma relevância ao problema, será feita aqui uma variação nos parâmetros considerados como essenciais, sempre buscando refletir as situações encontradas na prática. Portanto serão usados, nas análises apresentadas, parâmetros tipicamente encontrados na prática de projeto para que permita entender melhor o comportamento destas estruturas.

O enfoque do presente trabalho é no universo de fundações superficiais. Os exemplos apresentados serão os de fundações de turbo-geradores, devido ao seu grande uso na atualidade. Sua extrema sensibilidade justifica a preocupação de uma análise correta; tal equipamento é tido pelos fabricantes como perfeitamente balanceado, ou seja, não possui, a princípio, massas rotativas excêntricas ao seu eixo de rotação, o que causaria cargas dinâmicas indesejadas à fundação. Problemas de transporte, mau uso, problemas na instalação e o simples desgaste de peças móveis, podem provocar o desalinhamento e o desbalanceamento da máquina e o conseqüente aparecimento de cargas harmônicas capazes de despertar vibrações, sensações de incômodo e até insegurança às pessoas próximas, sem contar com a possibilidade de vibrações excessivas tais que prejudiquem o funcionamento do equipamento ou até de outros equipamentos localizados em sua proximidade.

Para as análises dinâmicas, serão utilizados programas de grande confiabilidade e de uso corrente no mercado. Assim, será usado o programa FMaq2 [6] apresentado na tese de dissertação de mestrado do M. Sc. Luciano Junger de Carvalho [4]. Este programa é capaz de analisar uma fundação de máquina em bloco, submetida a um carregamento harmônico, sendo seus dados de saída de grande precisão e confiabilidade. O modelo matemático usado por este programa (Modelo de Bloco Rígido) será melhor explicado no item 5 do presente trabalho. Também será feita uma análise por elementos finitos, verificando assim a possibilidade da flexibilidade do bloco de fundação. Para esta última, será utilizado o programa SAP2000® [5], sendo o seu modelo matemático apresentado no item 4. Posteriormente, serão feitas uma comparação dos dados de saída dos programas usados e o estudo das influências das variações dos parâmetros escolhidos, visando a uma melhor compreensão de quais fatores interferem em quais fenômenos e assim aumentando a capacidade do projetista na definição de um dimensionamento mais adequado e ágil.



É importante ainda ressaltar que será usado, sem perda de generalidade, modelos nos quais a fundação é assente sobre um semi-espaço homogêneo representando o solo, ou seja, serão usados modelos nos quais o solo pode ser representado como uma associação de molas e amortecedores sob a forma de parâmetros condensados. Importante também é esclarecer que o presente trabalho não tem a pretensão de revisar as diversas formulações teóricas disponíveis da Análise Dinâmica das Estruturas e da Dinâmica dos Solos. Por este motivo, só serão citadas estas formulações quando necessário e a título informativo e esclarecedor das modelagens apresentadas.



2 Metodologia

O presente estudo teve como ponto de partida e motivação, a análise dinâmica, através de um modelo em elementos finitos, conforme detalhado no item 4 do presente texto, com base em um estudo de um caso real de análise e dimensionamento, da fundação superficial de um turbo-gerador para uma usina termelétrica. Como a malha era pré-existente, foi necessário que, para uma melhor comparação dos modelos, rígido e elástico da fundação, houvesse antes uma análise cuidadosa e a exata compreensão da modelagem utilizada.

Uma vez analisado o modelo, foram feitas diversas alterações: retirada dos carregamentos estáticos; redefinição dos parâmetros representativos do solo e um melhor desenvolvimento das funções de carregamento dinâmico. Após a alteração e compreensão do modelo em elementos finitos, passou-se ao desenvolvimento do nosso modelo de bloco rígido (item 5).

Para a determinação das dimensões deste modelo em bloco rígido, partimos das seguintes premissas necessárias para viabilizar as comparações: o modelo de bloco rígido deveria ser simétrico (imposição do programa computacional que foi usado, FMAq2 [6]); a área da base deveria ser igual à usada no modelo em elementos finitos; o modelo de bloco rígido deveria ter geometria total similar à usada no modelo em elementos finitos; os modelos deveriam apresentar a mesma massa total. Desta forma, tendo a área da base usada no modelo em elementos finitos e sua massa, pôde-se dimensionar um paralelepípedo de 5,87m X 23,25m X 2,37m.

Como o programa utilizado obrigava a que o ponto de carregamento deveria ser coincidente com a origem do sistema de coordenadas, foram preparados dois modelos: com o carregamento gerado pela associação do conjunto Turbina-Redutor (associados em função dos dois equipamentos apresentarem a mesma frequência de trabalho: 87,25Hz) e com o carregamento gerado pelo Gerador que opera na frequência de 60Hz. Em ambos os modelos, a amplitude da força foi a mesma usada no modelo em elementos finitos. No modelo com origem do sistema no centro de massa do conjunto Turbina-Redutor, foi necessária a determinação prévia do centro equivalente do conjunto.

Foi ainda necessária a elaboração de dois modelos matemáticos para cada um dos dois conjuntos de equipamentos excitadores da fundação, devido à consideração de uma variação paramétrica nas características de rigidez do solo. Foram considerados dois tipos de solo, apresentando módulos de rigidez ao cisalhamento diferentes denominados doravante como: $G_{\text{máx}}$ (com $G=160.000 \text{ kN/m}^2$) e $G_{\text{mín}}$ (com $G=27.000 \text{ kN/m}^2$). Para ambos os tipos de solo, usou-se o mesmo valor numérico para o Coeficiente de Poisson $\nu=0,3$, fazendo com que seus módulos de rigidez longitudinais, (módulos de Young), ficassem respectivamente iguais a 416 MPa e 70,2 MPa. A partir dos processamentos do programa FMAq2 com os dados acima, são obtidos os coeficientes de impedância para a representação do solo, que são os três primeiros elementos da diagonal das matrizes de rigidez e amortecimento fornecidas nas saídas do programa, correspondentes aos graus de liberdade translacionais do bloco de fundação, considerado como rígido. Estes coeficientes de impedância foram aplicados, de maneira distribuída, considerando a área da base da fundação, nos elementos de ligação dos modelos em elementos finitos com o solo, concluindo-se assim a elaboração destes modelos.



Quanto à validação ou calibragem dos modelos, desenvolveu-se uma comparação, entre os dois modelos, das frequências próprias e dos modos de vibração (obtidos na análise modal do modelo em elementos finitos e a partir dos deslocamentos determinados na análise com o modelo rígido). Para isso foi utilizada, no modelo em elementos finitos, uma rigidez tal na estrutura que fizesse com que o modelo fosse forçado a responder, de maneira mais próxima possível ao comportamento de bloco rígido, ou seja, não deveria haver deformações internas na estrutura. Isto foi conseguido usando um módulo Young do concreto que representasse um corpo extremamente rígido. Desta forma, não foi alterada a sua massa, que permaneceria constante, e não se alteraria a obtenção das frequências de corpo rígido. Porém, esta metodologia de calibragem não forneceu resultados idênticos com os modelos rígido e flexível, em consequência da fundação real não exibir a dupla simetria considerada como premissa no programa FMaq2. Os modos de vibração no modelo flexível se mostraram fortemente acoplados, mesmo se excitando somente o grau de liberdade de translação na direção vertical Z. A comparação de frequências neste grau de liberdade apresenta uma maior possibilidade de controle e interpretação dos resultados obtidos. As diferenças encontradas são, essencialmente, causadas por esta não simetria do bloco, que faz com que o centro de massa do conjunto total não coincida com o centro equivalente dos elementos de ligação da interface solo-estrutura, ou seja, no modelo em elementos finitos aparece um acoplamento entre os graus de liberdade correspondentes aos sentidos vertical, horizontais e de rotação em torno dos eixos horizontais.

Partimos então para uma verificação dos deslocamentos obtidos sob a ação das cargas aplicadas no centro de massa das máquinas, nas direções X e Z nos modelos analisados pelos programas FMaq2 [6] e SAP2000 [5]. Neste último também foi considerado o módulo de Young do concreto alterado para um valor da ordem de 10^{12} kN/m². Foi verificada e aceita assim uma diferença de no máximo 5% entre os modelos rígidos e elásticos.

Uma vez calibrados os modelos tornou-se então possível analisar os resultados obtidos a partir do SAP2000 [5] para o regime permanente. Resolveu-se então também fazer uma variação nos módulos de Young do concreto de forma a termos as respostas também para os diversos valores de rigidez, de modo a verificar a validade da aplicação da hipótese do bloco rígido. Para não tornarmos excessivamente extenso o trabalho computacional, resolveu-se alterar o módulo de Young em passos de 10 vezes, sendo estes compreendidos entre as ordens de 10^6 kN/m² a 10^{11} kN/m², lembrando que o valor usual está na ordem de 2×10^7 kN/m². Assim, além da comparação das amplitudes dos deslocamentos, pôde-se ver a evolução das deflexões na estrutura, para análise da hipótese de bloco rígido.

As deflexões estudadas são as encontradas no ponto do centro de massa do conjunto fundação-equipamentos e nos nós logo abaixo dos centros de massa dos equipamentos. Para isso, tomaram-se os nós de referência em posições extremas da estrutura nos planos transversal e longitudinal, sendo este último somente para a análise da deflexão localizada no centro de massa do conjunto fundação-equipamentos. Para esta análise, exportou-se os deslocamentos destes nós para uma planilha em Excel. Desta forma pôde-se, com o uso dos nós de referência, traçarmos uma reta e assim verificarmos a distância do ponto analisado a esta reta.

3 Parâmetros condensados de representação do solo

Nos modelos em parâmetros condensados, as características de rigidez e de dissipação de energia do solo são representadas através de molas e amortecedores acoplados aos seis graus de liberdade.

3.1 Determinação dos parâmetros da interação solo-estrutura

Seja uma fundação rígida de massa m (Fig. 1), superficial, assente sobre um semi-espaço homogêneo, isotrópico e elástico, submetida a um carregamento harmônico em seus seis graus de liberdade.

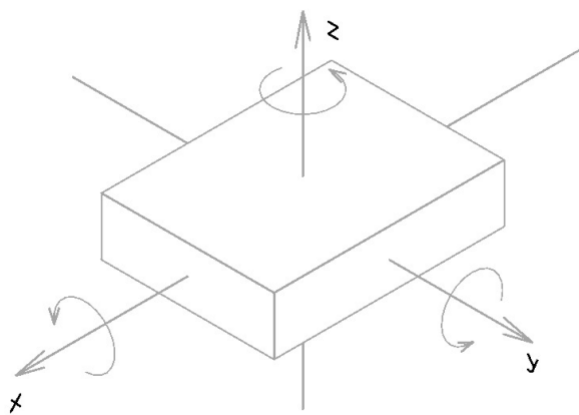


Figura 1 - Bloco Rígido e seus graus de liberdade

Sabe-se que sempre é possível representar um carregamento genérico como uma superposição de carregamentos harmônicos, através da transformada de Fourier. O problema geral de fundações rígidas submetidas a carregamentos dinâmicos fica então resolvido com a obtenção de parâmetros condensados $K(\omega)$, $C(\omega)$, dependentes da frequência de excitação ω (fig. 2).

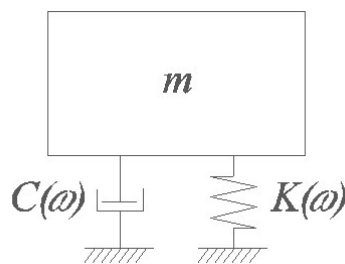


Figura 2 - Parâmetros condensados

No caso específico de fundações diretas sobre solo homogêneo, torna-se possível a obtenção de soluções, com bom grau de aproximação, empregando-se parâmetros independentes da frequência de excitação. Estes parâmetros foram propostos por Lysmer [2] em seu modelo análogo para vibrações verticais; este modelo foi generalizado por Hall para



os demais graus de liberdade da fundação. Apresenta-se assim a tabela I de parâmetros condensados, para o caso proposto, conforme resumido por Richart [3], a partir de resultados obtidos por vários pesquisadores. Nesta tabela são fornecidas, para cada grau de liberdade, as constantes de mola e as frações de amortecimento crítico expressas em função dos parâmetros B (frações de massa).

Graus de liberdade	Constantes de mola	Fração de massa	Fração de amortecimento
Vertical	$\frac{G}{1-u} b_z \sqrt{ab}$	$b_z = \frac{1-u}{4} \frac{M}{rr^3}$	$x_z = \frac{0,425}{\sqrt{b_z}}$
Horizontal	$2(1+u)G b_x \sqrt{ab}$	$b_x = \frac{(7-8u)}{32(1-u)} \frac{M}{rr^3}$	$x_x = \frac{0,288}{\sqrt{b_x}}$
Rotacional	$\frac{G}{1-u} b_y a^2 b$	$b_y = \frac{3(1-u)I_y}{8rr^3}$	$x_y = \frac{0,15}{(1+b_y)\sqrt{b_y}}$
Torção	$\frac{1+u}{4} G b_x (a^2 + b^2) \sqrt{ab}$	$B_q = \frac{I_q}{rr^5}$	$x_q = \frac{0,50}{1+2b_q}$

Tabela I - Resumo dos parâmetros condensados (Fonte: Richart, Woods & Hall [3])

Sendo:

- G Módulo de elasticidade transversal do solo;
- u Coeficiente de Poisson do solo;
- M Massa total;
- r raio equivalente da fundação;
- ρ massa específica do solo;
- I_z Momento de inércia da massa em relação ao eixo passando pelo centro de massa do bloco e perpendicularmente ao plano de vibração;
- I_y Momento de inércia da massa em relação ao eixo horizontal pelo centróide da área de contato entre o bloco e o solo, perpendicularmente ao plano de vibração;
- a e b Dimensões da fundação (retangular);
- β_n Fração de massa correspondente ao grau de liberdade n ;
- β_n Fração de amortecimento correspondente ao grau de liberdade n ;

Os parâmetros b para fundações retangulares, nosso caso, são fornecidos em função de suas dimensões a e b a partir do gráfico abaixo (Fig. 3), também apresentado por Richart [3]:

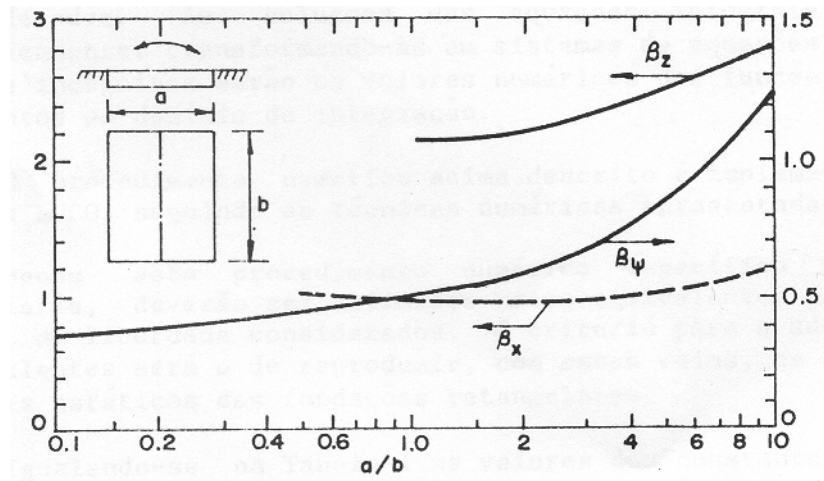


Figura 3- Ábaco de frações de massa para fundações retangulares
 (Fonte: Richart, Woods & Hall [3])

As frações de massa (B) para fundações retangulares são obtidas considerando-se os raios de fundações circulares equivalentes:

Translações:	$r = \sqrt{\frac{ab}{p}}$
Rotações:	$r = \sqrt[4]{\frac{ab^3}{3p}}$
Torção:	$r = \sqrt[4]{\frac{ab(a^2 + b^2)}{6p}}$

Tabela II – Raios equivalentes para fundações retangulares (Fonte: Richart, Woods & Hall [3])

4 Modelo Matemático por Elementos Finitos (SAP2000®)

O modelo apresentado na Fig. 4- B é analisado por elementos finitos. Este tipo de modelo é usado para a análise das fundações dos turbo-geradores, tipicamente encontrado em usinas termo-elétricas. Este modelo foi desenvolvido e analisado, com o do programa SAP2000® [5].

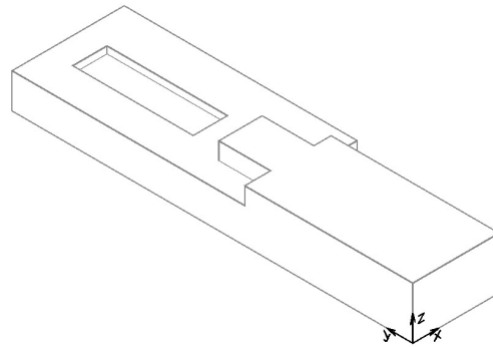


Figura 4 - Modelo real

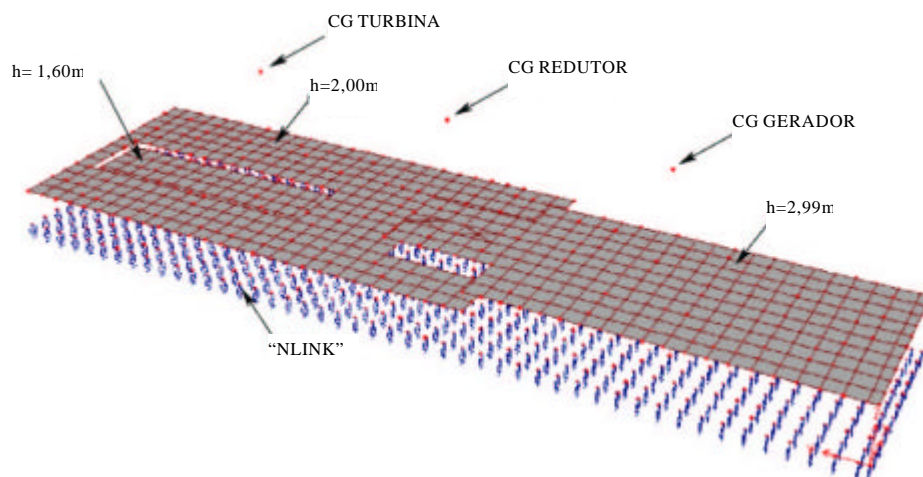


Figura 5- Modelo em elementos finitos

Uma vez que o presente trabalho pretende apenas verificar os efeitos despertados pelas cargas dinâmicas, o modelo acima teve retirado todos os outros carregamentos estáticos e térmicos, necessários para o dimensionamento, porém que são desnecessários para a finalidade objetivada pelo trabalho. São representados no modelo:

- A massa da estrutura;
- As massas dos equipamentos;
- As forças despertadas pelas massas desbalanceadas nos equipamentos.

Estes dados são os imprescindíveis para o caso a ser estudado.

O bloco de fundação foi modelado adotando-se elementos de placa (“shell”) com a espessura equivalente do bloco e dimensões 0,50x0,50m. Como o bloco possui três regiões

com espessuras distintas, uma com 2,99m, outra com 2,00m e uma terceira com 1,60m, foram criadas três propriedades de placa diferentes de forma a representar as espessuras diferentes. Como o SAP2000® [5] considera que a placa é modelada no nível equivalente da metade de sua espessura, os três conjuntos de placas foram modelados na elevação de seus planos médios. A ligação nos contornos, onde os níveis de placas se encontram, foi feito através de “constraints” do tipo “body”. Este tipo de ligação compatibiliza os deslocamentos como corpo rígido.

A interação solo-estrutura foi modelada através das constantes de mola e de amortecimento (parâmetros condensados). Estes elementos estão associados a nós do modelo no plano de elevação 0,00m, definido como o plano de interface entre a estrutura e o solo. Estes nós são ligados aos nós dos planos das placas por “constraints” do tipo “body”. O processo utilizado para a determinação das molas e do amortecimento do terreno foram os definidos no item 2.

As forças foram aplicadas nos nós de apoio dos equipamentos e o seu resumo encontra-se no Apêndice I. Os carregamentos de efeito dinâmico são analisados considerando sua ação ao longo do tempo (“Time History”).

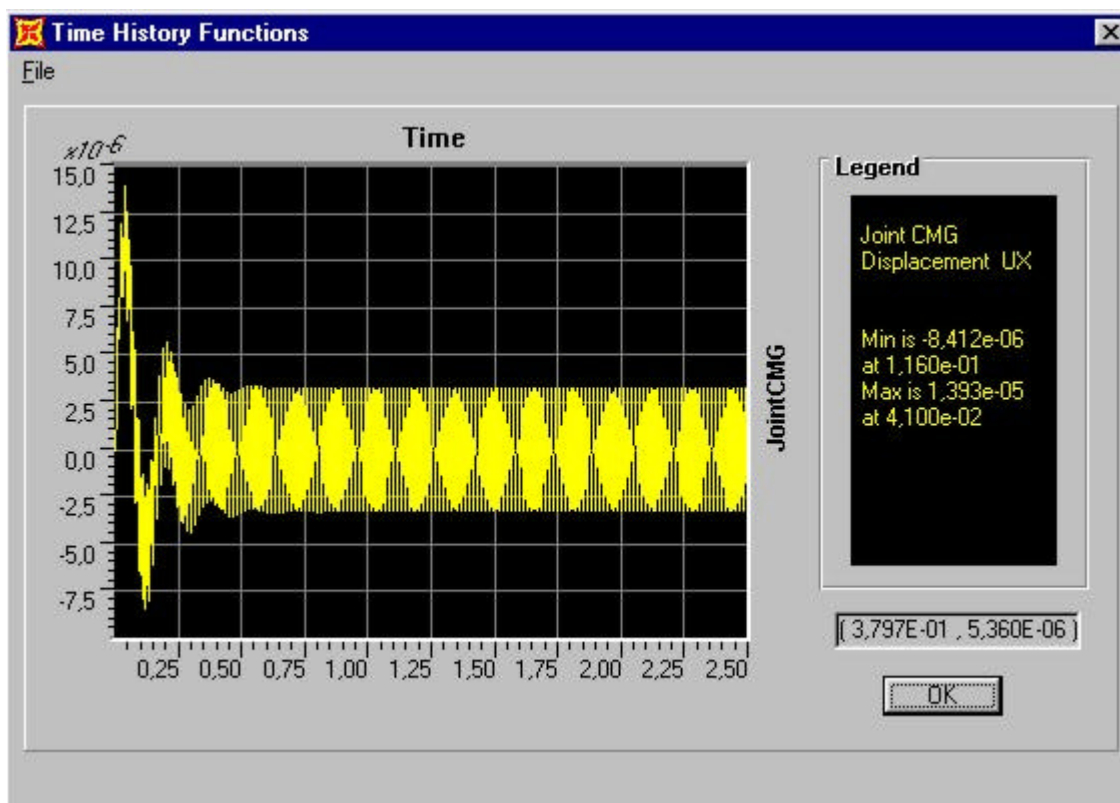


Figura 6 - Saída gráfica dos resultados por "Time History" (Deslocamentos na direção X da fundação considerando ser flexível e em Gmáx)

Foram preparados, ao todo, quatro modelos, de forma a fazer uma análise paramétrica em função do módulo de elasticidade transversal do solo: máximo (Gmáx) e mínimo (Gmín) do terreno de fundação e, para cada um dos casos acima, possuindo módulos de elasticidade



longitudinal do concreto (E) de $3,2 \times 10^7$ kN/m² e $3,2 \times 10^{12}$ kN/m², sendo estes identificados pelas letras **F** e **R**, ao final do nome do arquivo e que servem para representar os comportamentos como bloco flexível e rígido respectivamente. Os arquivos com as entradas de dados fazem parte do trabalho e são fornecidos em meio magnético. Encontram-se no Apêndice I todos os resumos dos dados de saída pertinentes a estes modelos.

5 Modelo Matemático Rígido (FMaq2)

A base desta análise será efetuada no programa FMaq2 [6], apresentado na tese de dissertação de mestrado do M. Sc. L.J. de Carvalho[4]. O desenvolvimento do programa se dá com base nos modelos em parâmetros condensados para a análise de fundações de máquinas submetidas a carregamentos dinâmicos, considerando o bloco de fundação como um corpo rígido, nos seus seis graus de liberdade (Fig.5). Os valores dos parâmetros condensados são obtidos automaticamente pelo programa.

A entrada dos dados é feita com grande facilidade através de qualquer editor de textos não formatável (Ex. Bloco de notas do Microsoft Windows[®]). Para a entrada dos dados é importante frisar que a estrutura de fundação deverá ser duplamente simétrica, tendo a direção Z o sentido positivo para baixo (Fig.5).

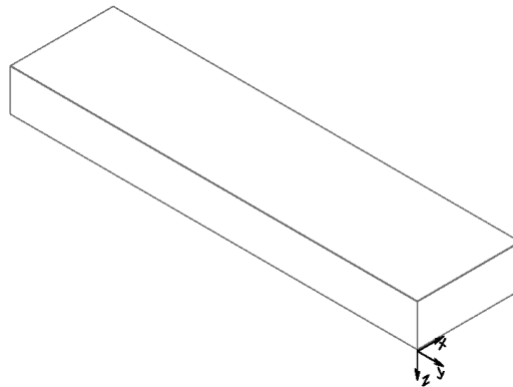


Figura 7 - Modelo de bloco rígido modelado no FMaq2

Como a fundação a ser estudada corresponde a uma estrutura já analisada por elementos finitos, nosso modelo deverá atender de maneira razoável a estrutura já modelada. Para isso, partimos da base, sendo esta definida com mesma área da área do modelo em elementos finitos; a massa total (da estrutura) também deverá ser igual. Formou-se assim um paralelepípedo que terá as cargas, derivadas das massas desbalanceadas, aplicadas no centro de massa do respectivo equipamento, cargas estas que serão formadas por duas forças $F_x(t)$ e $F_z(t)$. As duas, vertical e horizontal, são funções do tempo, porém aplicadas com uma defasagem de 90° , ou seja, $T/4$ (um quarto do período de excitação).

5.1 Cargas aplicadas

As cargas a serem aplicadas no modelo, conforme explicado anteriormente, são cargas que variam em função do tempo, cargas estas sob a forma de:

$$F_x(t) = F_o \cos(\omega t)$$

$$F_z(t) = F_o \sin(\omega t)$$

Sendo, F_o a amplitude da força e ω a frequência circular da máquina.

Estas cargas serão aplicadas no centro de massa dos equipamentos e visam representar forças provenientes de massas desbalanceadas nos equipamentos rotativos. Para



melhor compreensão da forma na qual estas cargas são lançadas no arquivo de entrada, ver o Apêndice II.

Análises geradas

Serão geradas 4 análises ao total, sendo estas:

- GmaxT – Modelo desenvolvido tendo o solo com módulo de elasticidade longitudinal no valor máximo e sob os efeitos gerados pela combinação da turbina e do redutor. São combinadas as massas e encontra-se um ponto para o centro de massa que seja equivalente para os dois equipamentos (o motivo desta associação é devido aos dois apresentarem a mesma frequência de excitação).

Parâmetros usados: $E=416000 \text{ kN/m}^2$ $n=0,3$ $r=1,8 \text{ t/m}^3$ $f=87,25 \text{ Hz}$

CGeq*:

Turbina		Redutor		Total	Massa Total	Coord.
A	B	C	D	E	F	
Coorden.	Massa	Coorden.	Massa	$A*B+C*D$	$B+D$	E/F
3	101	2,56	17,5	347,8	118,5	2,935
17,34	101	11,51	17,5	1952,765	118,5	16,479
4,48	101	4,48	17,5	530,88	118,5	4,480

Tabela III - Tabela de cálculo de transposição do centro de massa (Turbina-Redutor)

- GmaxG – Modelo desenvolvido tendo o solo com o módulo de elasticidade longitudinal no valor máximo e sob os efeitos gerados pelas massas desbalanceadas do gerador.

Parâmetros usados: $E=416000 \text{ kN/m}^2$ $n=0,3$ $r=1,8 \text{ t/m}^3$ $f=60 \text{ Hz}$

- GminT – Modelo desenvolvido tendo o solo com módulo de elasticidade longitudinal no valor de 70200 kPa e sob os efeitos gerados pela combinação da turbina e do redutor. Vide GmaxT para a metodologia e o motivo da associação.

Parâmetros usados: $E=70200 \text{ kN/m}^2$ $n=0,3$ $r=1,8 \text{ t/m}^3$ $f=87,25 \text{ Hz}$

CGeq: conforme calculado anteriormente em GmaxT.

- GminG – Modelo desenvolvido tendo o solo com o módulo de elasticidade longitudinal no valor mínimo e sob os efeitos gerados pelas massas desbalanceadas do gerador.

Parâmetros usados: $E=70200 \text{ kN/m}^2$ $n=0,3$ $r=1,8 \text{ t/m}^3$ $f=60 \text{ Hz}$

Para maiores informações sobre estes modelos ver o Apêndice II.

* As coordenadas acima X, Y e Z, respectivamente, são referentes ao sistema adotado no modelo em elementos finitos e, para o lançamento no Fmaq2, alteradas para o sistema adotado no modelo em bloco rígido.



6 Resultados e Conclusões

Os dados de entrada e resultados principais dos processamentos são apresentados nos Apêndices I e II a este trabalho.

O item I.1 apresenta uma tabela-resumo com os seguintes dados de entrada para o SAP2000[®]: tabela com as coordenadas dos nós de aplicação dos carregamentos e tabelas com as coordenadas dos nós para a análise de deflexão, para verificação se o bloco deforma-se elasticamente ou como corpo rígido.

O item I.2 apresenta elevações do modelo nos planos XY (“*Screen shots*” do SAP2000[®]).

O item I.3 apresenta os modos de vibração e suas frequências, obtidas através de uma análise modal no SAP2000[®]. Observa-se claramente que os seis primeiros modos de vibração são os de corpo rígido, identificados a partir do aumento do valor numérico do Módulo de Young do Concreto.

O item I.5 apresenta tabelas com resumos dos deslocamentos e das deflexões encontradas na análise com o SAP2000[®]. Estes resultados indicam que na ordem de grandeza do valor usual do Módulo de Young ($3,2 \times 10^7$ KPa) aparecem ainda deflexões importantes no bloco, ou seja não se configura a hipótese de bloco rígido.

Estes resultados são confirmados nos itens I.6 e I.7, que apresentam comparações entre deslocamentos obtidos com os modelos rígido e flexível, indicando que a consideração do bloco rígido nesta análise, leva a uma importante subestimação dos deslocamentos reais.

O item II.1 apresenta os arquivos utilizados como entrada do programa Fmaq2.

O item II.2 apresenta gráficos com a determinação das frequências dos modos de vibração de corpo rígido, através da análise dos picos das amplitudes dos deslocamentos obtidas com o programa Fmaq2.

O item II.3 apresenta um resumo dos deslocamentos máximos obtidos com o programa Fmaq2, enquanto que os itens II.4 e II.5 os resultados dos deslocamentos obtidos com o Fmaq2 para as condições de solo GMAX e GMIN, respectivamente.

Analisando estes resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

1. Verificando as frequências de excitação dos modos de vibração analisados pelo SAP2000[®] (item I.3), vê-se que a estabilização destas ocorrem somente a partir do modelo com módulo de Young do concreto de $3,2 \times 10^{10}$ kN/m². Assim tomou-se como padrão de um modelo em bloco rígido analisado pelo SAP2000 como sendo os modelos com módulo de Young (E) do concreto de $3,2 \times 10^{11}$ kN/m².
2. Quanto à calibragem dos modelos SAP2000[®] (rígido) e Fmaq2, usando como parâmetro as frequências dos modos de vibração associados à translação na direção Z, verificou-se que as pequenas diferenças dos valores, inferiores a 10% , podem ser aceitas, uma vez que os dois modelos também apresentam diferenças



na sua geometria contribuindo assim para o aparecimento desta pequena diferença.

	<i>SAP2000</i>	<i>FMaq2</i>	<i>Diferença</i>
G _{máx}	11,30	12,35	8,5%
G _{mín}	4,6	5,0	8,0%

Tabela IV - Freqüências do modo de translação em Z

3. Quanto aos deslocamentos de centro de massa, único ponto possível para comparação entre os programas SAP2000[®] (modelo rígido) e FMaq2, por ser este o único ponto de saída dos resultados do FMaq2, vê-se que as diferenças também são pequenas, da ordem de milésimos de micron, porém ultrapassando a 5% em alguns casos, sendo assim perfeitamente desprezíveis.

		<i>SAP2000</i>		<i>FMaq2</i>		<i>Diferença</i>	
		<i>X*</i>	<i>Z*</i>	<i>X*</i>	<i>Z*</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
G _{máx}	Gerador	1,300	1,290	1,293	1,294	0,5%	0,3%
	Turbina	1,290	1,270	1,281	1,291	0,7%	1,6%
G _{mín}	Gerador	0,993	1,000	1,047	1,033	5,2%	3,2%
	Turbina	1,010	0,990	1,034	1,031	2,3%	4,0%

Tabela V - Deslocamentos máximos do centro de massa total

*Valores expressos em micron (μm)

4. Analisando, no modelo flexível em elementos finitos, o deslocamento do centro de massa da estrutura em função da rigidez da estrutura (item I.5), verifica-se que o seu comportamento é irregular e que seus valores mais altos ocorrem quando também ocorre a aproximação das freqüências de excitação com as freqüências naturais da estrutura. Portanto para um adequado dimensionamento de uma fundação como esta, minimizando materiais e recursos, é recomendada uma análise modal prévia do modelo, alterando a sua geometria de forma a afastar as freqüências acima referidas.
5. Através da análise no modelo rígido em elementos finitos pôde-se ter uma visão das deflexões ocorridas na estrutura de fundação e verificou-se que neste exemplo não se pode considerar o comportamento de corpo rígido.



7 Referências

7.1 Bibliográficas

- [1] MAJOR, A. – Dynamics in Civil Engineering – Vols. I and III – Akadémiai Kiadó – 1980.
- [2] LYSMER, J., RICHART Jr., F. E. – Dynamic Response of Footings to Vertical Loading – Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE92(SMI), January 1986.
- [3] RICHART Jr., F. E., WOODS, R. D., HALL Jr., J. R. – Vibrations of Soil and Foundations; Prentice – Hall Inc., 1970.
- [4] CARVALHO, L. J. DE – Análise de Fundações de Máquinas, Tese de Mestrado – UFF – 1988.

7.2 Programas (Softwares)

- [5] SAP2000® – Structural Analysis Program, CSI – Computer and Structures Inc. – Berkley.
- [6] Fmaq2 – Fundações de Máquinas – Carvalho, L. J. de – Análise de Fundações de Máquinas, Tese de Mestrado – UFF – 1988.



8 Apêndice I

Índice do Apêndice I

I.1. Resumo dos dados de entrada do SAP2000®	17
I.2. Elevações nos planos XY (“Screen shots” do SAP2000®)	20
I.2.1. GERADOR.....	20
I.2.2. TURBINA-REDUTOR	21
I.3. Modos de Vibração e suas Frequências (Hz) encontradas no SAP2000®	24
I.3.1. Rigidez mínima do solo: $G_{mín}$	24
I.3.2. Rigidez máxima do solo: $G_{máx}$	25
I.4. Localização e identificação dos nós usados para análise da deflexão	26
I.4.1. Seções	26
I.5. Resumo dos Deslocamentos e Deflexões Encontradas para a Análise no SAP2000®	28
I.6. Diferenças entre os deslocamentos máximos encontrados entre os modelos rígido e flexível do SAP2000®	32
I.6.1. Deslocamento do centro de massa na coordenada X (μm):.....	32
I.6.2. Deslocamento do centro de massa na coordenada Z (μm):.....	32
I.7. Tabela de relações entre deflexões e larguras : d/L (mm/m)	33



I.1. Resumo dos dados de entrada do SAP2000®

- Tabela dos nós de carregamento:

Nós	Coordenadas			Massas Associadas				Cargas Desbalanceadas		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (kg)	Y (kg)	Z (kg)	YY (kg.m)	X (kN)	Z (kN)	YY (kN.m)
A	1,00	5,24	3,00							49,33
A1	4,00	5,24	3,00							-49,33
B	1,00	6,74	3,00							49,33
B1	4,00	6,74	3,00							-49,33
C	2,00	3,24	3,00						-50,0	
C1	3,00	3,24	3,00						-50,0	
D	2,00	8,74	3,00						-50,0	
D1	3,00	8,74	3,00						-50,0	
E	2,50	3,24	3,00					100,0		
F	2,50	8,74	3,00					100,0		
T1	4,50	13,24	2,00						-10,0	-16,53
T2	1,50	13,24	2,00						-10,0	16,53
T3	4,50	15,24	2,00						-50,0	-82,67
T4	1,50	15,24	2,00						-50,0	82,67
T5	4,50	19,24	2,00						-60,0	-99,20
T6	1,50	19,24	2,00						-60,0	99,20
T7	4,50	21,74	2,00						-10,0	-16,53
T8	1,50	21,74	2,00						-10,0	16,53
T9	3,00	15,24	2,00					130,0		
T10	3,00	19,24	2,00					130,0		
LG1	3,50	12,24	3,00						-13,0	-38,48
LG2	2,75	12,24	3,00					39,0	-13,0	
LG3	2,00	12,24	3,00						-13,0	38,48
LG4	3,50	10,74	3,00						-13,0	-38,48
LG5	2,75	10,74	3,00					39,0	-13,0	
LG6	2,00	10,74	3,00						-13,0	38,48
CGGER	2,51	5,64	4,48	164,0	164,0	164,0	245,0			
CGTURB	3	17,34	4,48	101,0	101,0	101,0	23,3			
CGLGEAR	2,56	11,51	4,48	17,5	17,5	17,5	0,5			

Tabela VI - Tabela de nós de aplicação de cargas do SAP2000

Os nós acima são os nós de aplicação de cargas na fundação, cargas estas provenientes das excentricidades dos equipamentos. Os nós que iniciam em T são os nós referentes às



excentricidades da turbina, os que iniciam em LG são referentes ao redutor e os demais referentes ao gerador, excetuando os iniciados em CG que são os centros de massa dos equipamentos.

- Tabela dos nós de análise de deflexão referentes ao centro de massa do conjunto fundação-equipamentos.

<i>Nós</i>	<i>Coordenadas</i>		
	<i>X</i> (m)	<i>Y</i> (m)	<i>Z</i> (m)
CMG ^{1,2}	2,848	10,844	2,037
REF1T ¹	0,00	10,844	2,037
REF2T ¹	6,50	10,844	2,037
REF1L ²	2,848	0,00	2,037
REF2L ²	2,848	23,24	2,037

Tabela VII - Coordenadas de localização dos nós para análise de deflexão referentes ao centro de massa total

- 1 – Os nós acima marcados são nós de base para a análise de deslocamentos no plano **transversal** e localizados passando pelo mesmo plano que contém o **centro de massa** (CM) do conjunto fundação e equipamentos.
- 2 – Os nós acima marcados são nós de base para a análise de deslocamentos no plano **longitudinal** e localizados passando pelo mesmo plano que contém o **centro de massa** (CM) do conjunto fundação e equipamentos.

- Tabela dos nós de análise de deflexão referentes aos nós abaixo dos equipamentos.

<i>Nós</i>	<i>Coordenadas</i>		
	<i>X</i> (m)	<i>Y</i> (m)	<i>Z</i> (m)
GER ¹	2,51	5,64	2,037
REFGE1 ¹	0,00	5,64	2,037
REFGE2 ¹	5,00	5,64	2,037
TUR ²	2,935	16,479	2,037
REFTU1 ²	0	16,479	2,037
REFTU2 ²	6,5	16,479	2,037

Tabela VIII - Coordenadas de localização dos nós para análise de deflexão referentes aos nós abaixo dos centros de gravidade dos equipamentos

- 1 – Os nós acima marcados são nós de base para a análise de deslocamentos no plano **transversal** e localizados passando pelo mesmo plano que contém o **centro de massa** do gerador, sendo REFGE1 o ponto mais a esquerda, REFGE2 mais a direita e GER o ponto



situado logo abaixo do centro de massa do gerador, todos a altura do centro de massa do conjunto fundação e equipamentos.

2 – Os nós acima marcados são nós de base para a análise de deslocamentos no plano **transversal** e localizados passando pelo mesmo plano que contém o **centro de massa** da turbina-redutor, sendo REFTU1 o ponto mais a esquerda, REFTU2 mais a direita e TUR o ponto situado logo abaixo do centro de massa do conjunto turbina-redutor, todos a altura do centro de massa do conjunto fundação e equipamentos.

I.2. Elevações nos planos XY (“Screen shots” do SAP2000®)

I.2.1. GERADOR

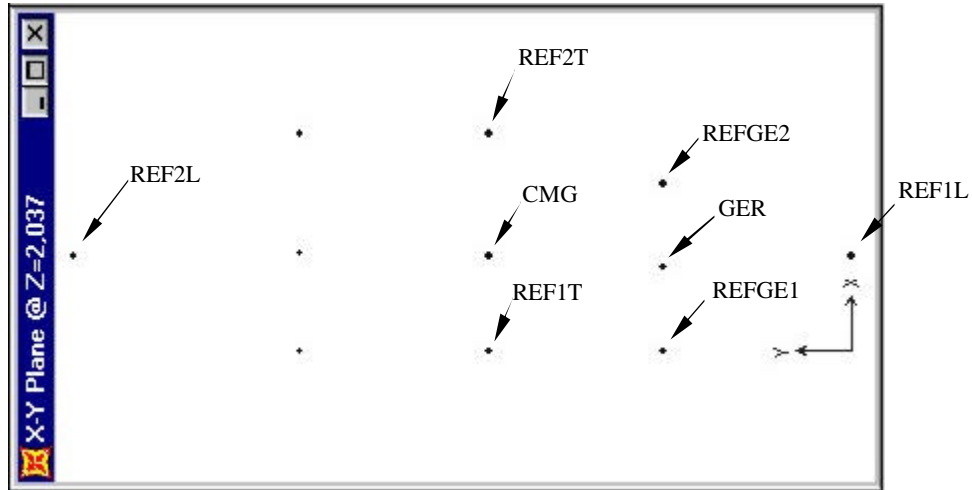


Figura 8 - Elevação 2,037m – nós de referência para análise de deformação

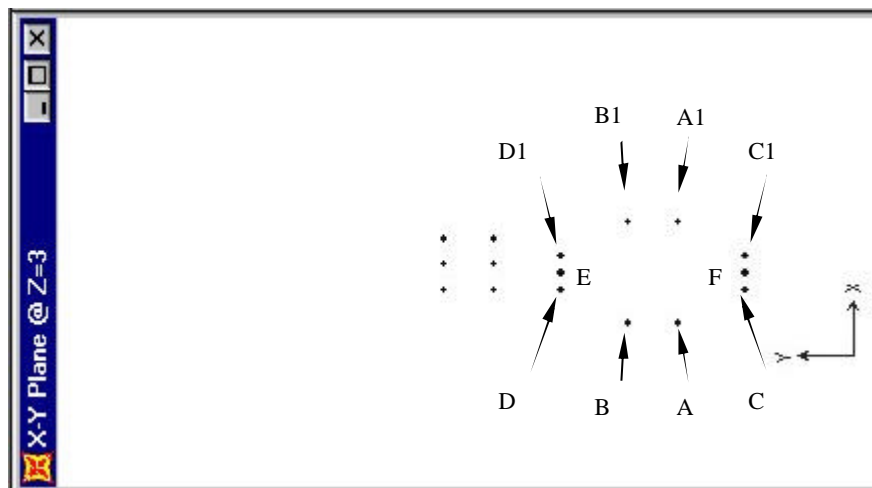


Figura 9 - Elevação 3,00 – nós de aplicação de cargas devidas ao Gerador

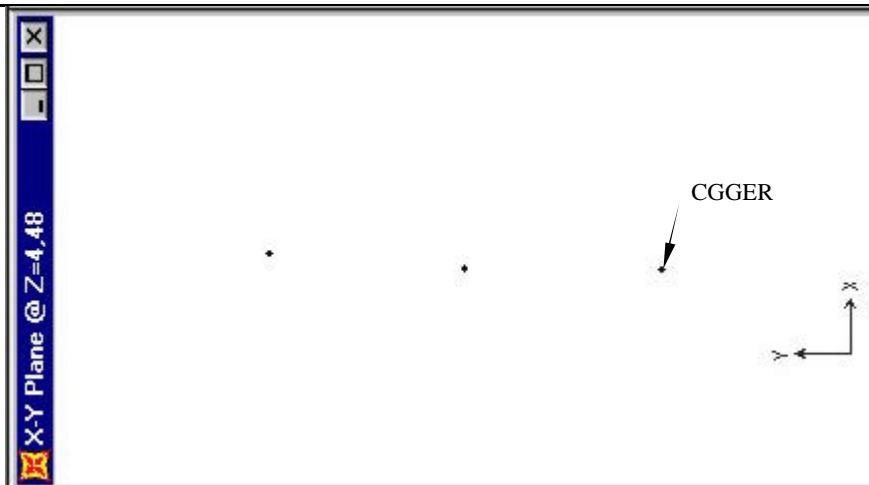


Figura 10 - Elevação 4,48m – Centro de Massa do equipamento (Gerador)

I.2.2. TURBINA-REDUTOR

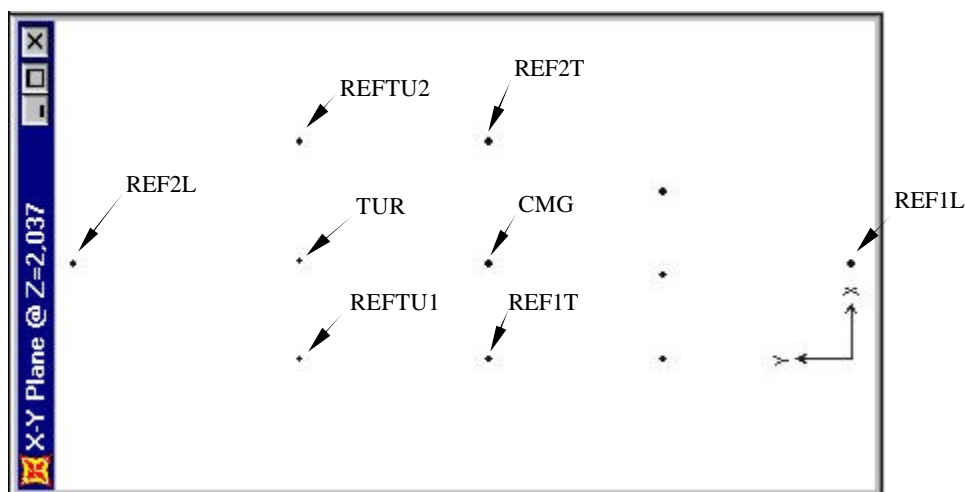


Figura 11 - Elevação 2,037m – nós de referência para análise de deformações

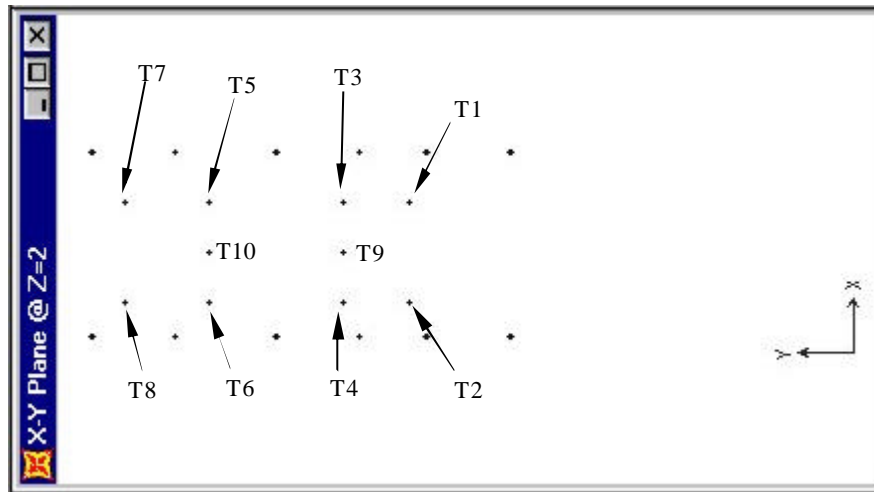


Figura 12 - Elevação 2,00m – nós de aplicação de cargas devidas à Turbina

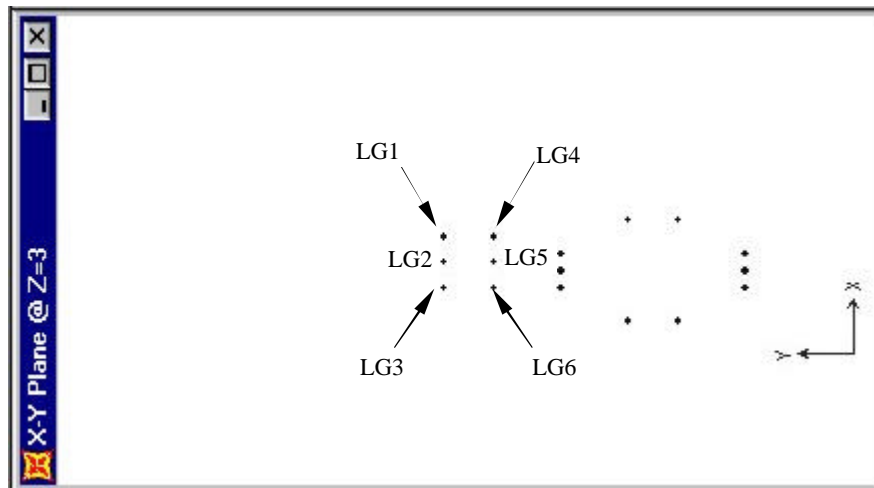


Figura 13 - Elevação 3,00m – nós de aplicação de cargas devidas ao Redutor

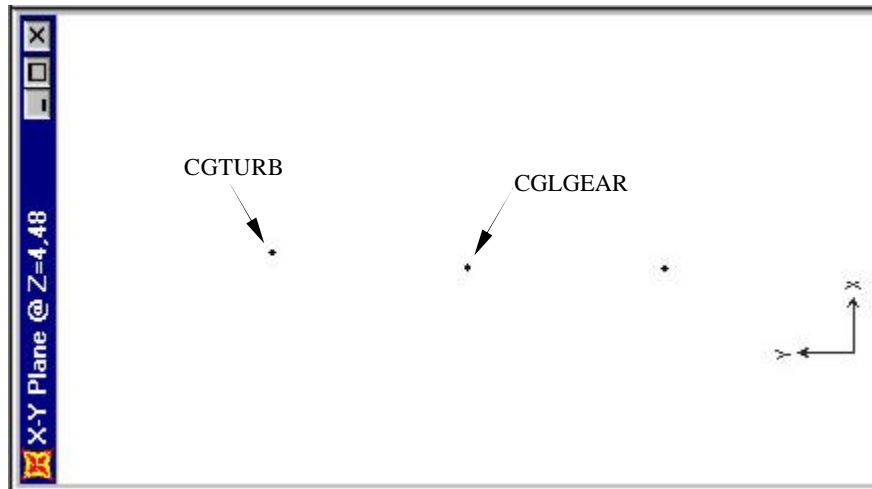


Figura 14 - Elevação 4,48m – Centro de Massa dos equipamentos (Turbina e Redutor)



I.3. Modos de Vibração e suas Frequências (Hz) encontradas no SAP2000®

I.3.1. Considerando rigidez mínima do solo: $G_{mín}$

Modos	$G_{mín}$					
	E (kN/m ²) 3,20E+06	E (kN/m ²) 3,20E+07	E (kN/m ²) 3,20E+08	E (kN/m ²) 3,20E+09	E (kN/m ²) 3,20E+10	E (kN/m ²) 3,20E+11
1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
2	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
3	4,4	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
4	4,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
5	5,6	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9
6	6,2	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7	7,0	13,9	41,6	130,7	413,1	1306,2
8	8,9	24,3	75,5	238,2	753,2	2381,8
9	10,5	31,0	97,2	307,3	971,6	3072,5
10	11,3	31,6	98,7	311,8	985,8	3117,2
11	12,2	35,3	110,6	349,5	1105,0	3494,4
12	14,3	42,2	132,5	418,8	1324,3	4187,8
13	19,2	59,4	187,4	592,3	1873,0	5923,0
14	19,8	60,7	191,2	604,5	1911,7	6045,2
15	20,5	63,1	199,1	629,6	1990,8	6295,4
16	24,0	73,6	232,1	733,7	2320,0	7336,3
17	26,7	83,2	262,6	830,2	2625,3	8301,8
18	29,9	93,1	293,8	928,9	2937,4	9288,8
19	30,7	95,5	301,4	953,0	3013,7	9530,2
20	34,4	107,5	339,5	1073,4	3394,4	10734,0

Tabela IX - Frequências dos modos de vibração encontradas para $G_{mín}$

Os modos de vibração:

Modos	Descrição
1	Deslocamento em X
2	Deslocamento em Y
3	Deslocamento em Z^*
4	Rotação em Z
5	Rotação em X
6	Rotação em Y

* modo que pode ser usado como parâmetro de calibragem entre os modelos calculados no Fmaq2 e no SAP2000®



I.3.2. Considerando rigidez máxima do solo: $G_{máx}$

Modos	$G_{máx}$						
	E (kN/m ²) 3,20E+06	E (kN/m ²) 3,20E+07	E (kN/m ²) 3,20E+08	E (kN/m ²) 3,20E+09	E (kN/m ²) 3,20E+10	E (kN/m ²) 3,20E+11	E (kN/m ²) 3,20E+12
1	5,4	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
2	7,1	9,5	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
3	7,8	11,2	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
4	9,3	11,2	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0
5	10,2	13,9	14,2	14,3	14,3	14,3	14,3
6	12,1	17,1	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
7	14,0	17,3	42,9	131,0	412,9	1305,2	4127,4
8	15,7	26,4	75,9	237,6	750,5	2373,2	7504,5
9	15,9	32,2	97,6	307,4	971,7	3072,7	9716,8
10	16,6	33,9	99,6	312,5	987,5	3122,6	9874,3
11	17,9	37,1	111,1	349,6	1104,8	3493,6	11048,0
12	19,9	43,9	133,0	418,9	1324,0	4186,5	13239,0
13	21,6	60,2	187,6	592,4	1873,1	5923,1	18730,0
14	22,7	61,6	191,4	604,3	1910,6	6041,9	19106,0
15	23,3	64,0	199,6	630,1	1992,4	6300,4	19924,0
16	27,6	74,8	232,2	732,8	2316,8	7326,1	23167,0
17	29,1	83,8	262,3	828,7	2620,4	8286,4	26204,0
18	32,5	93,8	293,8	928,0	2934,3	9279,1	29343,0
19	33,2	96,2	301,5	952,5	3011,6	9523,6	30116,0
20	36,1	107,4	337,3	1066,0	3370,7	10659,0	33706,0

Tabela X - Frequências dos modos de vibração encontrados para $G_{máx}$

Modos de vibração:

Modos	Descrição
1	Deslocamento em X
2	Deslocamento em Y
3	Deslocamento em Z*
4	Rotação em Z
5	Rotação em X
6	Rotação em Y

* modo que pode ser usado como parâmetro de calibragem entre os modelos calculados no Fmaq2 e no SAP2000®

I.4. Localização e identificação dos nós usados para análise da deflexão

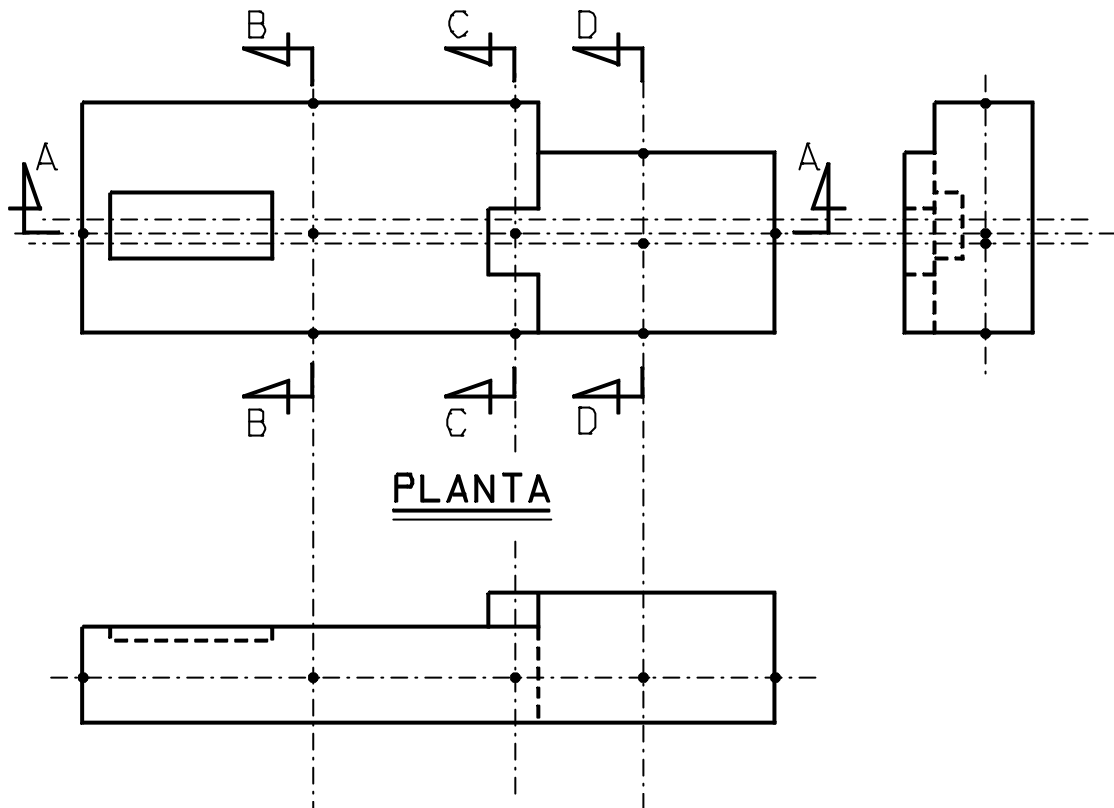


Figura 15 - Planta e vista frontal

I.4.1. Seções

As presentes seções são representações da fundação em um tempo qualquer de operação e a linha pontilhada representa uma deformada hipotética da mesma.

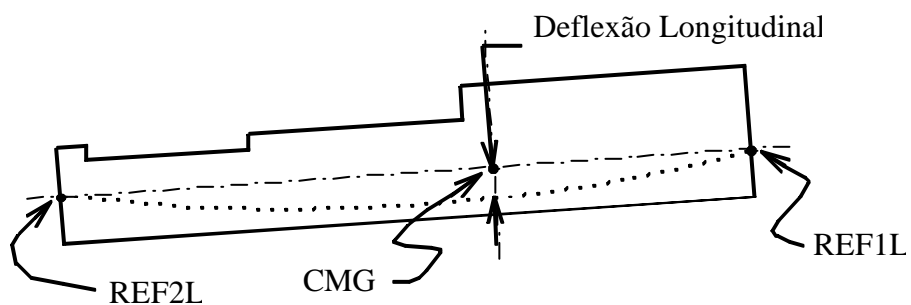


Figura 16 - SECÃO AA

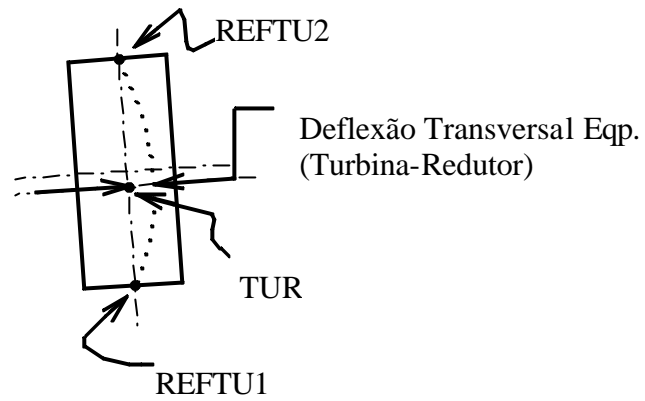


Figura 17 - SEÇÃO BB

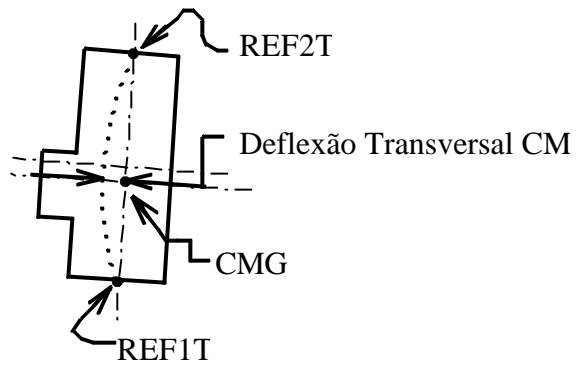


Figura 18 - SEÇÃO CC

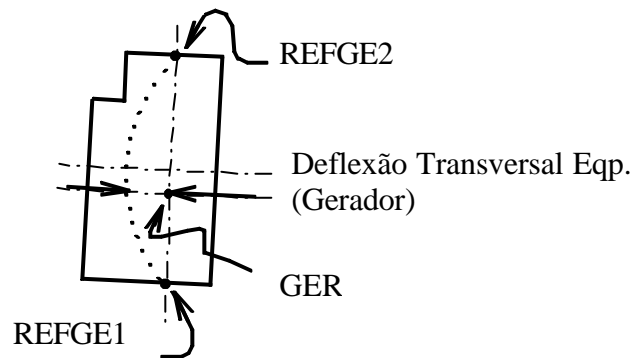


Figura 19 - SEÇÃO DD



I.5. Resumo dos Deslocamentos e Deflexões Encontradas para a Análise no SAP2000®

Gerador

		Gerador						
		Centro de Massa		Equipamento		Deflexões em mm		
		X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Longitudinal	Transversal CM	Transversal Eqp
G _{máx}	3,2E+06	4,060	2,960	2,190	-0,790	1,711	0,792	2,080
	3,2E+07	3,310	2,410	7,260	4,030	1,131	3,220	1,372
	3,2E+08	0,733	1,080	2,000	2,000	0,556	0,129	0,048
	3,2E+09	1,270	1,270	1,930	2,050	0,022	0,007	0,009
	3,2E+10	1,300	1,290	1,910	2,050	0,006	0,006	0,006
	3,2E+11	1,300	1,290	1,910	2,050	0,006	0,006	0,006
G _{mín}	3,2E+06	4,220	2,950	-0,726	-2,090	2,024	0,746	1,879
	3,2E+07	6,270	6,590	8,490	-10,360	2,426	1,812	3,055
	3,2E+08	0,666	1,070	1,960	-1,990	0,606	0,145	0,052
	3,2E+09	1,260	1,260	-2,040	-1,980	0,028	0,011	0,013
	3,2E+10	1,290	1,270	2,040	-1,970	0,008	0,007	0,008
	3,2E+11	1,290	1,270	2,040	-1,970	0,008	0,007	0,009

Tabela XI - Resumo de deslocamentos e deflexões devidos às cargas do Gerador

Turbina

		Turbina-Redutor						
		Centro de Massa		Equipamento		Deflexões em mm		
		X (mm)	Z (mm)	X (mm)	Z (mm)	Longitudinal	Transversal CM	Transversal Eqp
G _{máx}	3,2E+06	2,140	1,280	4,020	2,170	1,355	0,473	2,226
	3,2E+07	5,110	3,960	3,330	2,240	0,139	0,456	7,145
	3,2E+08	0,402	1,640	1,350	1,360	1,427	0,129	0,293
	3,2E+09	0,941	0,828	1,760	1,580	0,602	0,017	0,187
	3,2E+10	0,993	1,000	1,800	1,700	0,007	0,005	0,208
	3,2E+11	0,993	1,000	1,800	1,700	0,007	0,005	0,208
	3,2E+12	0,994	1,000	1,800	1,700	0,005	0,006	0,209
G _{mín}	3,2E+06	2,260	1,280	-2,130	-4,190	1,497	0,535	2,216
	3,2E+07	6,530	4,840	-2,140	-2,820	0,919	0,410	8,679
	3,2E+08	0,650	1,690	1,200	-1,390	1,539	0,110	0,235
	3,2E+09	0,966	0,807	1,570	-1,820	0,621	0,019	0,191
	3,2E+10	1,010	0,990	1,700	-1,860	0,039	0,006	0,214
	3,2E+11	1,020	1,000	-1,710	-1,860	0,006	0,005	0,217

Tabela XII - Resumo de deslocamentos e deflexões devidos às cargas da Turbina-Redutor

Chamou-se de deflexões, as distâncias verticais do ponto analisado a uma reta que contém os nós de referência localizados nas extremidades da fundação. Considerou-se para isso, a



simplificação que a deformação da fundação segue uma curva de segundo grau, no referido plano.

Os nós “**Equipamento**” representam os deslocamentos para um ponto situado a altura do centro de massa e com coordenadas (X, Y) de mesmo valor para as coordenadas do centro de massa do equipamento analisado: gerador ou turbina.

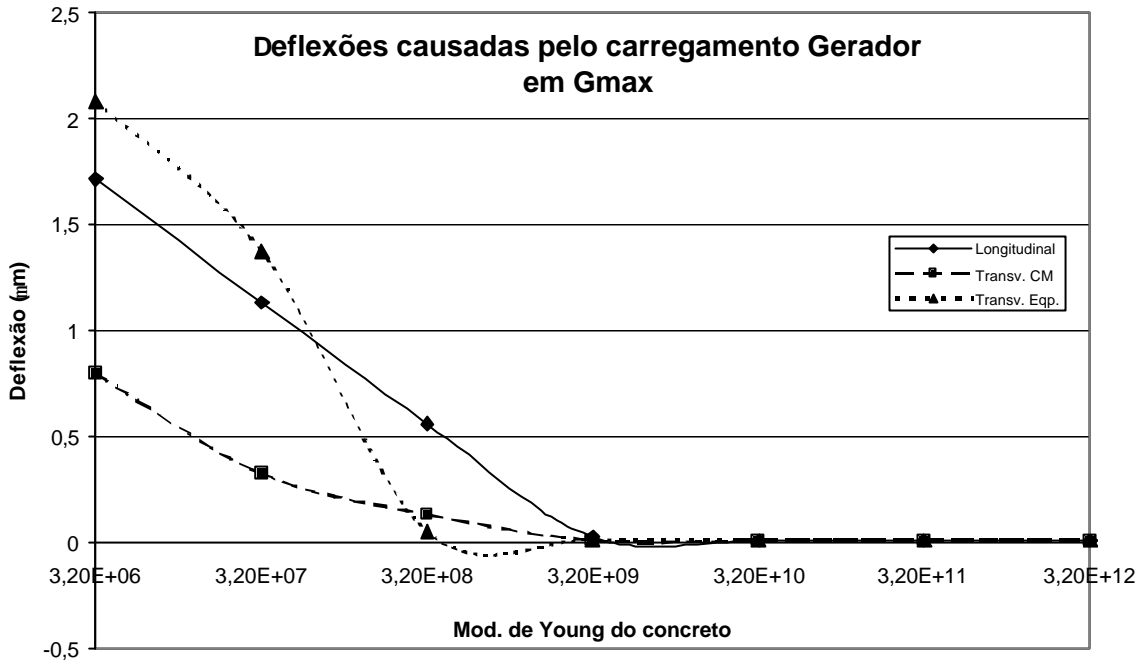


Figura 20

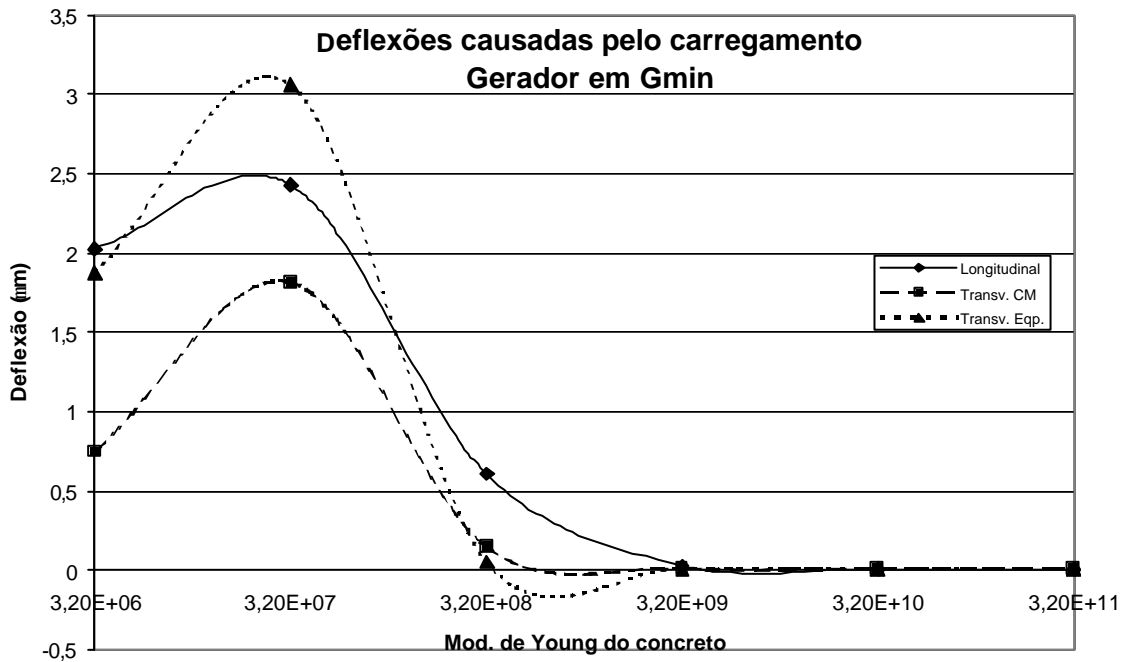


Figura 21

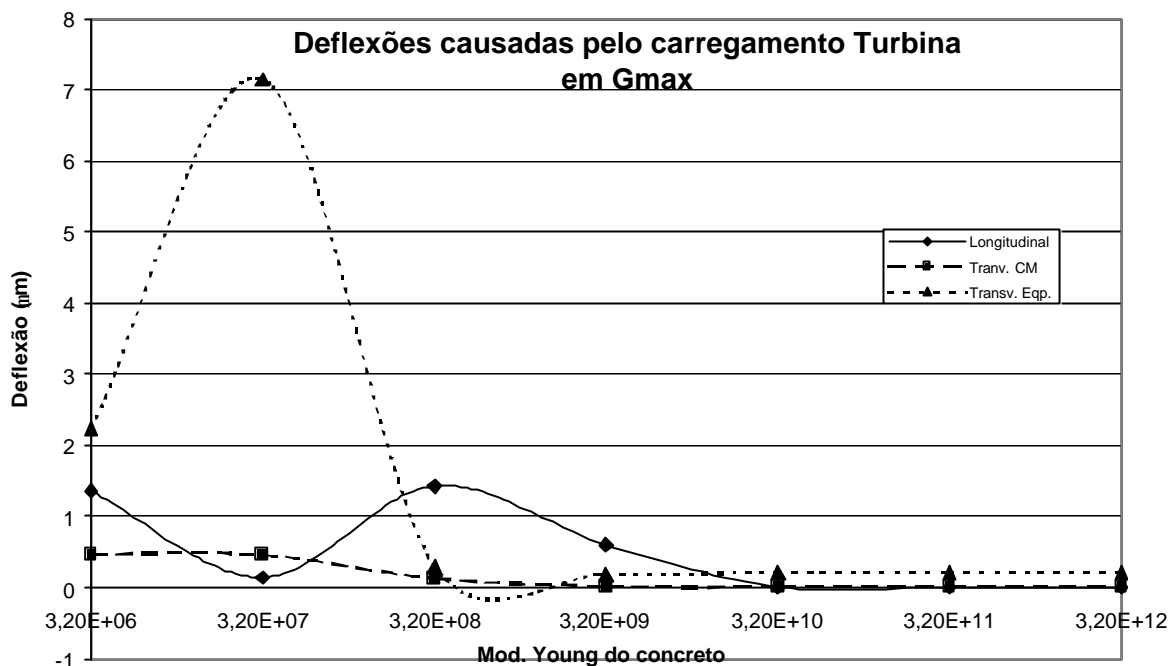


Figura 22

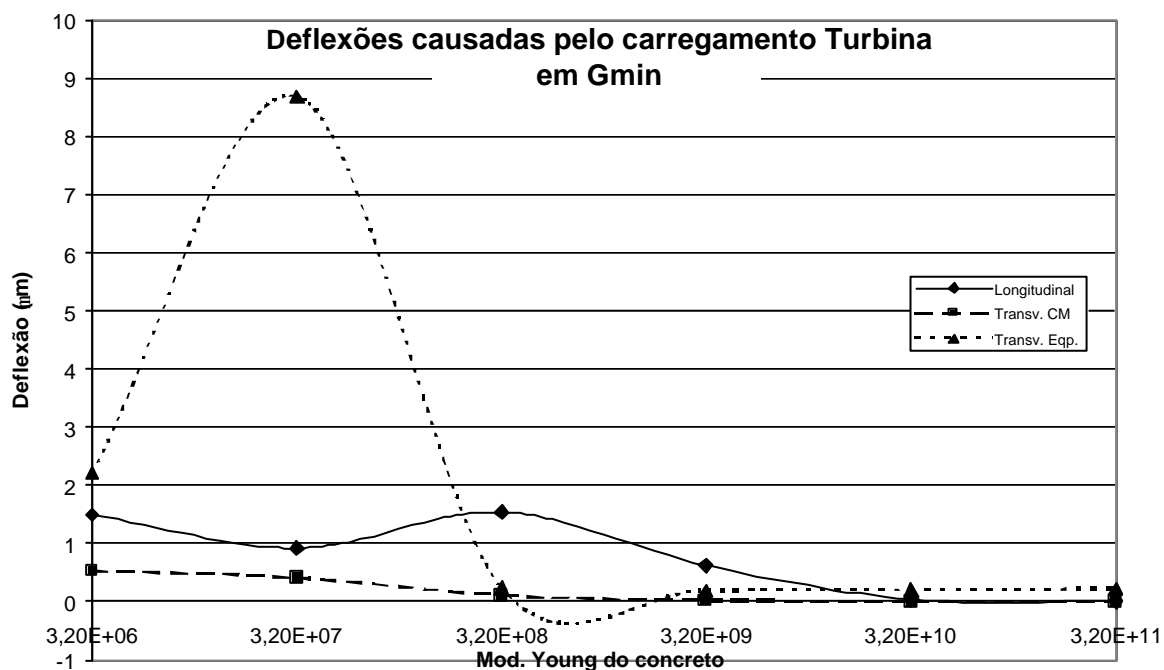


Figura 23



I.6. Diferenças entre os deslocamentos máximos encontrados entre os modelos rígido e flexível do SAP2000®.

I.6.1. Deslocamento do centro de massa na coordenada X (mm):

<i>E do solo</i> (<i>kN/m²</i>)	<i>Eqp.</i>	<i>Rígido</i>	<i>Flexível</i>	<i>Relação</i> <i>Flex/Rig</i>
		<i>SAP2000</i> ®	<i>SAP2000</i> ®	
Máx (416000)	Ger	1,300	3,310	2,5462
	Tur	0,993	5,110	5,1460
Mín (70200)	Ger	1,290	6,270	4,8605
	Tur	1,010	6,530	6,4653

I.6.2. Deslocamento do centro de massa na coordenada Z (mm):

<i>E do solo</i> (<i>kN/m²</i>)	<i>Eqp.</i>	<i>Rígido</i>	<i>Flexível</i>	<i>Relação</i> <i>Flex/Rig</i>
		<i>SAP2000</i> ®	<i>SAP2000</i> ®	
Máx 416000	Ger	1,290	2,410	1,8682
	Tur	1,000	3,960	3,9600
Mín 70200	Ger	1,270	6,590	5,1890
	Tur	0,990	4,480	4,5253



I.7. Tabela de relações entre deflexões e larguras : d/L (mm/m)

		Gerador					
		Deflexões em mm			Relações		
		Longitudinal	Transversal CM	Transversal Eqp	Long./23,24	Transv. CM/6,5	Transv. Eqp/5,5
Gmáx	3,2E+06	1,711	0,792	2,080	0,0736	0,1219	0,4160
	3,2E+07	1,131	0,322	1,372	0,0487	0,0495	0,2744
	3,2E+08	0,556	0,129	0,048	0,0239	0,0199	0,0097
	3,2E+09	0,022	0,007	0,009	0,0010	0,0011	0,0019
	3,2E+10	0,006	0,006	0,006	0,0003	0,0009	0,0011
	3,2E+11	0,006	0,006	0,006	0,0003	0,0009	0,0011
	3,2E+12	0,006	0,006	0,006	0,0003	0,0009	0,0012
Gmín	3,2E+06	2,024	0,746	1,879	0,0871	0,1147	0,3758
	3,2E+07	2,426	1,812	3,055	0,1044	0,2787	0,6111
	3,2E+08	0,606	0,145	0,052	0,0261	0,0224	0,0103
	3,2E+09	0,028	0,011	0,013	0,0012	0,0017	0,0026
	3,2E+10	0,008	0,007	0,008	0,0004	0,0011	0,0002
	3,2E+11	0,008	0,007	0,009	0,0003	0,0011	0,0018

		Turbina-Redutor					
		Deflexões em mm			Relações		
		Longitudinal	Transversal CM	Transversal Eqp	Long./23,24	Transv. CM/6,5	Transv. Eqp/6,5
Gmáx	3,2E+06	1,355	0,473	2,226	0,0583	0,0728	0,3425
	3,2E+07	0,139	0,456	7,145	0,0060	0,0701	1,0992
	3,2E+08	1,427	0,129	0,293	0,0614	0,0198	0,0451
	3,2E+09	0,602	0,017	0,187	0,0259	0,0027	0,0288
	3,2E+10	0,007	0,005	0,208	0,0003	0,0008	0,0320
	3,2E+11	0,007	0,005	0,208	0,0003	0,0008	0,0320
	3,2E+12	0,005	0,006	0,209	0,0002	0,0008	0,0321
Gmín	3,2E+06	1,497	0,535	2,216	0,0644	0,0822	0,3409
	3,2E+07	0,919	0,410	8,679	0,0395	0,0630	1,3352
	3,2E+08	1,539	0,110	0,235	0,0662	0,0169	0,0362
	3,2E+09	0,621	0,019	0,191	0,0267	0,0029	0,0293
	3,2E+10	0,039	0,006	0,214	0,0017	0,0009	0,0329
	3,2E+11	0,006	0,005	0,217	0,0003	0,0007	0,0334

A segunda coluna é referente ao módulo de Young do concreto usado para a análise.



9 Apêndice II

Índice do Apêndice II

II.1. Arquivos de entrada do Fmaq2:	35
II.1.1. Arquivos do GERADOR.....	35
II.1.1.1. Bloco sobre solo com resistência max.: $E= 416000 \text{ kN/m}^2$ - G_{maxG}	35
II.1.1.2. Bloco sobre solo com resistência min: $E= 70200 \text{ kN/m}^2$ - G_{minG}	35
II.1.2. Arquivos da TURBINA-REDUTOR	36
II.1.2.1. Bloco sobre solo com resistência max: $E=416000 \text{ kN/m}^2$ - G_{maxT}	36
II.1.2.2. Bloco sob solo com resistência min: $E= 70200 \text{ kN/m}^2$ - G_{minT}	36
II.2. Freqüências dos modos de vibração (Hz)	37
II.3. Resumo Fmaq2 dos deslocamentos	39
II.4. Resultados Fmaq2 para $G_{\text{máx}}$ (Solo com resistência máxima):	40
II.4.1. Tabela	40
II.4.2. Gráfico	41
II.5. Resultados Fmaq2 para $G_{\text{mín}}$ (Solo com resistência mínima):	42
II.5.1. Tabela	42
II.5.2. Gráfico	43



II.1. Arquivos de entrada do Fmaq2:

II.1.1. Arquivos do GERADOR

II.1.1.1. Bloco sobre solo com resistência max.: $E= 416000 \text{ kN/m}^2$ - GmaxG

0Fundação (Gmax) ARQUIVO: GmaxG.DAT

200.	0.					
0.	0.					
200.	90.					
0.	0.					
0.	0.					
0.	0.					
60.						
99	0.	1.				
1 2 1 1						
2.5	.425	-5.985	3.295	5.87	23.25	2.37
0.	0.	0.	164.			
.425	-10.839	0.	118.5			
5.87	23.25	.425	-5.985	4.48		
0.	0.	0.				
416000.	0.3	1.8				

II.1.1.2. Bloco sobre solo com resistência min: $E= 70200 \text{ kN/m}^2$ - GminG

0Fundação (Gmin) ARQUIVO: GminG.DAT

200.	0.					
0.	0.					
200.	90.					
0.	0.					
0.	0.					
0.	0.					
60.						
99	0.	1.				
1 2 1 1						
2.5	.425	-5.985	3.295	5.87	23.25	2.37
0.	0.	0.	164.			
.425	-10.839	0.	118.5			
5.87	23.25	.425	-5.985	4.48		
0.	0.	0.				
70200.	0.3	1.8				



II.1.2. Arquivos da TURBINA-REDUTOR

II.1.2.1. Bloco sobre solo com resistência max: $E=416000 \text{ kN/m}^2$ - GmaxT

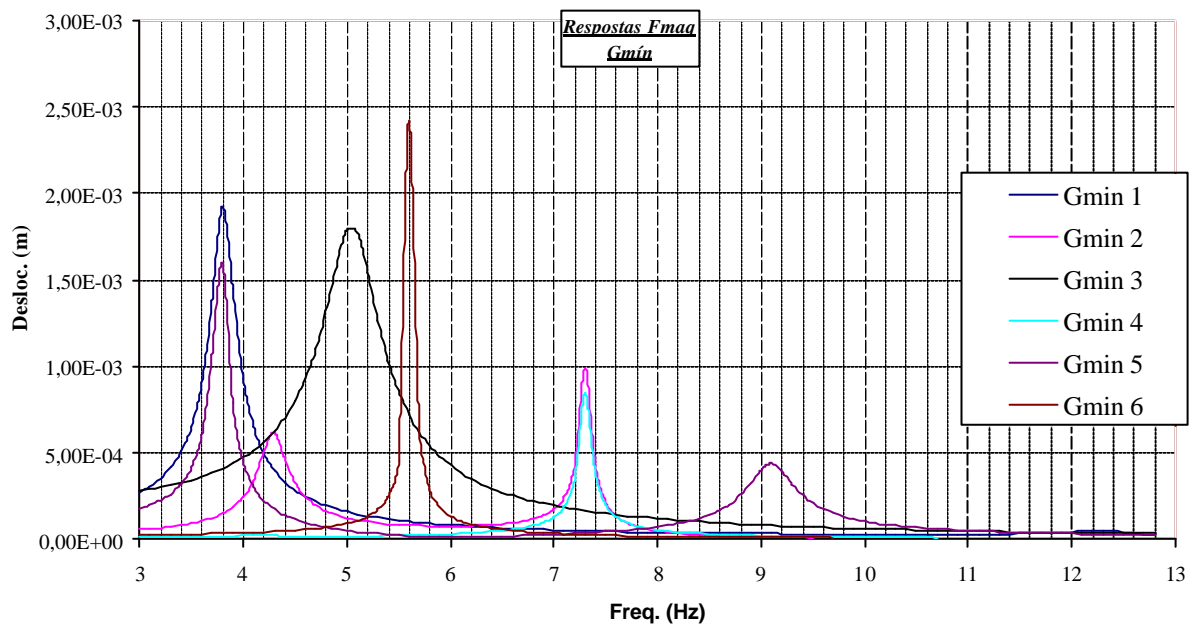
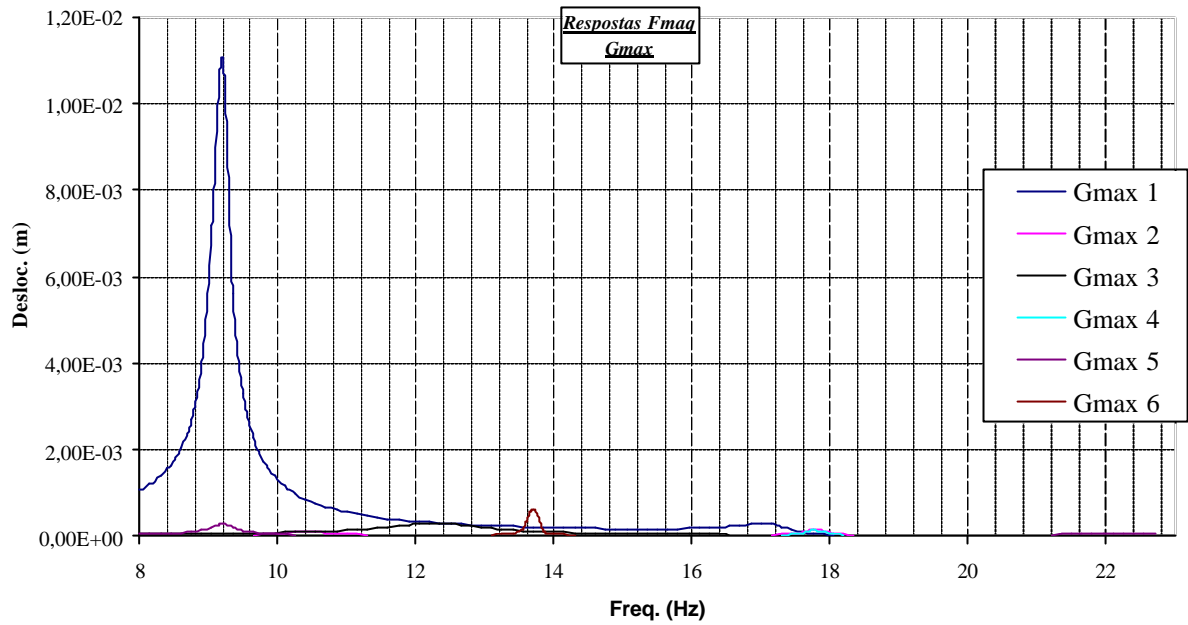
0Fundação (Gmax) ARQUIVO: GmaxT.DAT
338. 0.
0. 0.
338. 90.
0. 0.
0. 0.
0. 0.
87.25
99 0.25 1.
1 2 1 1
2.5 0. 4.854 3.295 5.87 23.25 2.37
-.425 10.839 0. 164.0
0. 0. 0. 118.5
5.87 23.25 0. 4.854 4.48
0. 0. 0.
416000. 0.3 1.8

II.1.2.2. Bloco sob solo com resistência min: $E= 70200 \text{ kN/m}^2$ - GminT

0Fundação (Gmin) ARQUIVO: GminT.DAT
338. 0.
0. 0.
338. 90.
0. 0.
0. 0.
0. 0.
87.25
99 0.25 1.
1 2 1 1
2.5 0. 4.854 3.295 5.87 23.25 2.37
-.425 10.839 0. 164.0
0. 0. 0. 118.5
5.87 23.25 0. 4.854 4.48
0. 0. 0.
70200. 0.3 1.8



II.2. Espectro de respostas de determinação das frequências dos modos de vibração (Hz)





<i>Modos</i>	<i>Rigidez do Solo E kN/m²</i>		<i>Descrição</i>
	<i>Máx 416000</i>	<i>Mín 72000</i>	
1	9,2/17	3,8/12,3	Translação no eixo X
2	10,4/17,75	4,2/7,3	Translação no eixo Y
3	12,35	5	Translação no eixo Z
4	10,25	4,2/7,3	Rotação no eixo X
5	9,2/22,1	3,8/9,1	Rotação no eixo Y
6	13,7	5,6	Rotação no eixo Z

Tabela XIII - Resumo das frequências, dos modos fundamentais, encontradas no FMaq2

Os valores acima foram levantados por observação nos picos obtidos nos espectros de resposta emitidos pelo FMaq2. Para melhor precisão foram utilizados arquivos com melhor resolução, ou seja, menores passos de frequência. As frequências acima encontradas apresentam um erro proveniente no cálculo das inércias rotacionais do modelo, diferença essa que não acontece na determinação da frequência do 3^o modo de vibração.



II.3. Resumo Fmaq2 dos deslocamentos

<i>E do solo</i> (<i>kN/m²</i>)	<i>Arquivo</i>	<i>Centro de Massa</i>	
		<i>X (mm)</i>	<i>Z (mm)</i>
Max	GmaxG	1,293	1,294
416000	GmaxT	1,047	1,033
Mín	GminG	1,281	1,291
70200	GminT	1,034	1,031



II.4. Deslocamentos obtidos no Fmaq2 para G_{\max} (Solo com resistência máxima):

II.4.1. Tabela

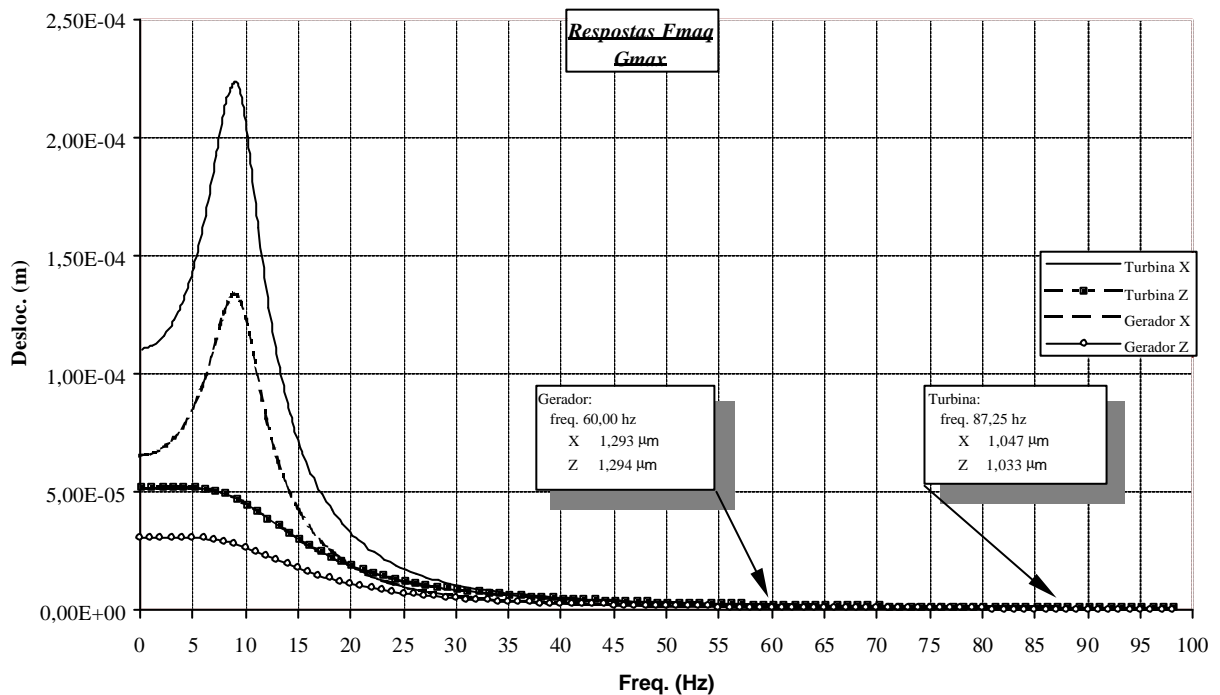
<i>Turbina</i>						<i>Gerador</i>					
<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
0,25	1,11E-04	5,17E-05	50,25	3,27E-06	3,12E-06	0	6,54E-05	3,06E-05	50	1,88E-06	1,87E-06
1,25	1,12E-04	5,18E-05	51,25	3,14E-06	3,00E-06	1	6,61E-05	3,06E-05	51	1,81E-06	1,79E-06
2,25	1,16E-04	5,19E-05	52,25	3,01E-06	2,89E-06	2	6,82E-05	3,07E-05	52	1,74E-06	1,72E-06
3,25	1,23E-04	5,20E-05	53,25	2,89E-06	2,78E-06	3	7,18E-05	3,07E-05	53	1,67E-06	1,66E-06
4,25	1,33E-04	5,20E-05	54,25	2,78E-06	2,68E-06	4	7,74E-05	3,08E-05	54	1,61E-06	1,60E-06
5,25	1,47E-04	5,18E-05	55,25	2,68E-06	2,58E-06	5	8,53E-05	3,07E-05	55	1,55E-06	1,54E-06
6,25	1,67E-04	5,14E-05	56,25	2,58E-06	2,49E-06	6	9,64E-05	3,05E-05	56	1,49E-06	1,49E-06
7,25	1,92E-04	5,05E-05	57,25	2,49E-06	2,40E-06	7	1,11E-04	3,00E-05	57	1,44E-06	1,43E-06
8,25	2,17E-04	4,91E-05	58,25	2,40E-06	2,32E-06	8	1,26E-04	2,93E-05	58	1,39E-06	1,39E-06
9,25	2,23E-04	4,71E-05	59,25	2,31E-06	2,24E-06	9	1,34E-04	2,82E-05	59	1,34E-06	1,34E-06
10,25	2,00E-04	4,47E-05	60,25	2,24E-06	2,17E-06	10	1,24E-04	2,68E-05	60	1,29E-06	1,29E-06
11,25	1,62E-04	4,19E-05	61,25	2,16E-06	2,10E-06	11	1,03E-04	2,52E-05	61	1,25E-06	1,25E-06
12,25	1,28E-04	3,88E-05	62,25	2,09E-06	2,03E-06	12	8,13E-05	2,34E-05	62	1,21E-06	1,21E-06
13,25	1,03E-04	3,56E-05	63,25	2,02E-06	1,97E-06	13	6,46E-05	2,16E-05	63	1,17E-06	1,17E-06
14,25	8,34E-05	3,26E-05	64,25	1,96E-06	1,91E-06	14	5,22E-05	1,97E-05	64	1,13E-06	1,14E-06
15,25	6,91E-05	2,97E-05	65,25	1,90E-06	1,85E-06	15	4,30E-05	1,80E-05	65	1,10E-06	1,10E-06
16,25	5,81E-05	2,70E-05	66,25	1,84E-06	1,79E-06	16	3,59E-05	1,63E-05	66	1,07E-06	1,07E-06
17,25	4,94E-05	2,45E-05	67,25	1,78E-06	1,74E-06	17	3,03E-05	1,49E-05	67	1,03E-06	1,04E-06
18,25	4,24E-05	2,23E-05	68,25	1,73E-06	1,69E-06	18	2,59E-05	1,35E-05	68	1,00E-06	1,01E-06
19,25	3,66E-05	2,03E-05	69,25	1,68E-06	1,64E-06	19	2,22E-05	1,23E-05	69	9,73E-07	9,78E-07
20,25	3,18E-05	1,86E-05	70,25	1,63E-06	1,59E-06	20	1,92E-05	1,12E-05	70	9,45E-07	9,50E-07
21,25	2,78E-05	1,70E-05	71,25	1,58E-06	1,55E-06	21	1,67E-05	1,03E-05	71	9,18E-07	9,23E-07
22,25	2,45E-05	1,56E-05	72,25	1,54E-06	1,51E-06	22	1,46E-05	9,43E-06	72	8,93E-07	8,98E-07
23,25	2,16E-05	1,44E-05	73,25	1,50E-06	1,47E-06	23	1,28E-05	8,67E-06	73	8,68E-07	8,73E-07
24,25	1,92E-05	1,33E-05	74,25	1,45E-06	1,43E-06	24	1,13E-05	8,00E-06	74	8,45E-07	8,50E-07
25,25	1,71E-05	1,23E-05	75,25	1,42E-06	1,39E-06	25	1,00E-05	7,39E-06	75	8,22E-07	8,27E-07
26,25	1,54E-05	1,14E-05	76,25	1,38E-06	1,35E-06	26	8,97E-06	6,85E-06	76	8,00E-07	8,06E-07
27,25	1,39E-05	1,06E-05	77,25	1,34E-06	1,32E-06	27	8,07E-06	6,36E-06	77	7,80E-07	7,85E-07
28,25	1,26E-05	9,84E-06	78,25	1,31E-06	1,28E-06	28	7,29E-06	5,93E-06	78	7,60E-07	7,65E-07
29,25	1,15E-05	9,19E-06	79,25	1,27E-06	1,25E-06	29	6,63E-06	5,53E-06	79	7,40E-07	7,46E-07
30,25	1,05E-05	8,60E-06	80,25	1,24E-06	1,22E-06	30	6,07E-06	5,17E-06	80	7,22E-07	7,27E-07
31,25	9,69E-06	8,06E-06	81,25	1,21E-06	1,19E-06	31	5,57E-06	4,85E-06	81	7,04E-07	7,09E-07
32,25	8,95E-06	7,58E-06	82,25	1,18E-06	1,16E-06	32	5,14E-06	4,55E-06	82	6,87E-07	6,92E-07
33,25	8,30E-06	7,13E-06	83,25	1,15E-06	1,13E-06	33	4,76E-06	4,28E-06	83	6,70E-07	6,75E-07
34,25	7,73E-06	6,72E-06	84,25	1,12E-06	1,11E-06	34	4,43E-06	4,04E-06	84	6,54E-07	6,59E-07
35,25	7,21E-06	6,35E-06	85,25	1,10E-06	1,08E-06	35	4,13E-06	3,81E-06	85	6,39E-07	6,44E-07
36,25	6,75E-06	6,00E-06	86,25	1,07E-06	1,06E-06	36	3,87E-06	3,60E-06	86	6,24E-07	6,29E-07



Turbina						Gerador					
Freq.	X	Z	Freq.	X	Z	Freq.	X	Z	Freq.	X	Z
37,25	6,34E-06	5,68E-06	87,25	1,05E-06	1,03E-06	37	3,63E-06	3,41E-06	87	6,10E-07	6,15E-07
38,25	5,96E-06	5,39E-06	88,25	1,02E-06	1,01E-06	38	3,42E-06	3,23E-06	88	5,96E-07	6,01E-07
39,25	5,62E-06	5,12E-06	89,25	1,00E-06	9,87E-07	39	3,22E-06	3,07E-06	89	5,83E-07	5,87E-07
40,25	5,31E-06	4,87E-06	90,25	9,77E-07	9,65E-07	40	3,04E-06	2,92E-06	90	5,70E-07	5,74E-07
41,25	5,02E-06	4,64E-06	91,25	9,56E-07	9,44E-07	41	2,88E-06	2,78E-06	91	5,57E-07	5,62E-07
42,25	4,76E-06	4,42E-06	92,25	9,35E-07	9,24E-07	42	2,73E-06	2,65E-06	92	5,45E-07	5,50E-07
43,25	4,52E-06	4,22E-06	93,25	9,15E-07	9,04E-07	43	2,60E-06	2,52E-06	93	5,33E-07	5,38E-07
44,25	4,30E-06	4,03E-06	94,25	8,95E-07	8,85E-07	44	2,47E-06	2,41E-06	94	5,22E-07	5,26E-07
45,25	4,10E-06	3,85E-06	95,25	8,76E-07	8,66E-07	45	2,35E-06	2,30E-06	95	5,11E-07	5,15E-07
46,25	3,91E-06	3,69E-06	96,25	8,58E-07	8,48E-07	46	2,25E-06	2,20E-06	96	5,01E-07	5,05E-07
47,25	3,73E-06	3,53E-06	97,25	8,40E-07	8,31E-07	47	2,15E-06	2,11E-06	97	4,90E-07	4,94E-07
48,25	3,57E-06	3,39E-06	98,25	8,23E-07	8,14E-07	48	2,05E-06	2,02E-06	98	4,80E-07	4,84E-07
49,25	3,42E-06	3,25E-06				49	1,97E-06	1,94E-06			

*Os deslocamentos apresentados são do ponto localizado no centro de massa do conjunto fundação-equipamento.

II.4.2. Gráfico





II.5. Deslocamentos obtidos no Fmaq2 para G_{mín} (Solo com resistência mínima):

II.5.1. Tabela

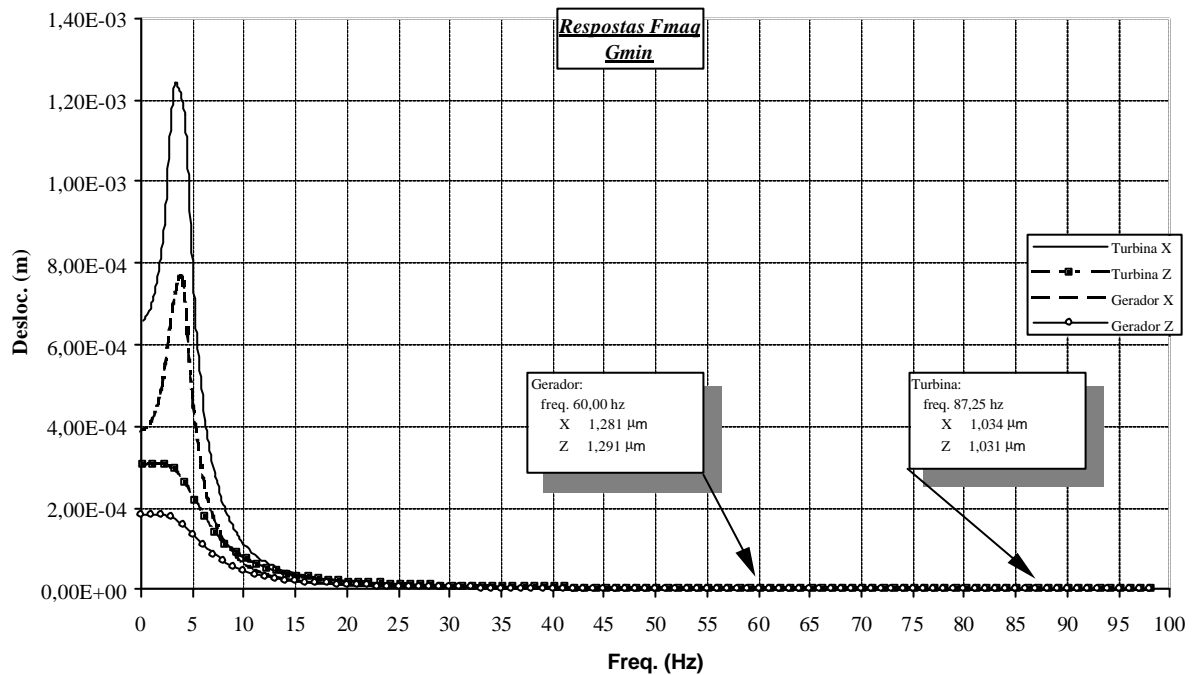
<i>Turbina</i>						<i>Gerador</i>					
<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>Freq.</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
0,25	6,57E-04	3,07E-04	50,25	3,13E-06	3,11E-06	0	3,88E-04	1,81E-04	50	1,84E-06	1,86E-06
1,25	7,18E-04	3,08E-04	51,25	3,01E-06	2,99E-06	1	4,12E-04	1,82E-04	51	1,77E-06	1,79E-06
2,25	8,97E-04	3,07E-04	52,25	2,90E-06	2,88E-06	2	4,98E-04	1,82E-04	52	1,71E-06	1,72E-06
3,25	1,24E-03	2,94E-04	53,25	2,79E-06	2,77E-06	3	6,85E-04	1,77E-04	53	1,64E-06	1,65E-06
4,25	1,16E-03	2,63E-04	54,25	2,69E-06	2,67E-06	4	7,61E-04	1,61E-04	54	1,58E-06	1,59E-06
5,25	6,74E-04	2,20E-04	55,25	2,59E-06	2,57E-06	5	4,63E-04	1,37E-04	55	1,52E-06	1,54E-06
6,25	4,12E-04	1,76E-04	56,25	2,50E-06	2,48E-06	6	2,74E-04	1,11E-04	56	1,47E-06	1,48E-06
7,25	2,75E-04	1,40E-04	57,25	2,41E-06	2,40E-06	7	1,79E-04	8,77E-05	57	1,42E-06	1,43E-06
8,25	1,93E-04	1,12E-04	58,25	2,33E-06	2,31E-06	8	1,23E-04	6,98E-05	58	1,37E-06	1,38E-06
9,25	1,40E-04	9,04E-05	59,25	2,25E-06	2,24E-06	9	8,74E-05	5,63E-05	59	1,33E-06	1,34E-06
10,25	1,05E-04	7,43E-05	60,25	2,17E-06	2,16E-06	10	6,43E-05	4,61E-05	60	1,28E-06	1,29E-06
11,25	8,11E-05	6,20E-05	61,25	2,10E-06	2,09E-06	11	4,89E-05	3,83E-05	61	1,24E-06	1,25E-06
12,25	6,47E-05	5,24E-05	62,25	2,04E-06	2,03E-06	12	3,86E-05	3,23E-05	62	1,20E-06	1,21E-06
13,25	5,30E-05	4,49E-05	63,25	1,97E-06	1,96E-06	13	3,13E-05	2,76E-05	63	1,16E-06	1,17E-06
14,25	4,44E-05	3,88E-05	64,25	1,91E-06	1,90E-06	14	2,61E-05	2,38E-05	64	1,13E-06	1,13E-06
15,25	3,78E-05	3,39E-05	65,25	1,85E-06	1,84E-06	15	2,22E-05	2,07E-05	65	1,09E-06	1,10E-06
16,25	3,27E-05	2,99E-05	66,25	1,80E-06	1,79E-06	16	1,91E-05	1,82E-05	66	1,06E-06	1,07E-06
17,25	2,86E-05	2,65E-05	67,25	1,74E-06	1,74E-06	17	1,67E-05	1,62E-05	67	1,03E-06	1,04E-06
18,25	2,53E-05	2,37E-05	68,25	1,69E-06	1,69E-06	18	1,48E-05	1,44E-05	68	9,98E-07	1,01E-06
19,25	2,25E-05	2,13E-05	69,25	1,64E-06	1,64E-06	19	1,32E-05	1,29E-05	69	9,69E-07	9,76E-07
20,25	2,02E-05	1,92E-05	70,25	1,60E-06	1,59E-06	20	1,18E-05	1,17E-05	70	9,42E-07	9,48E-07
21,25	1,82E-05	1,75E-05	71,25	1,55E-06	1,55E-06	21	1,07E-05	1,06E-05	71	9,15E-07	9,22E-07
22,25	1,65E-05	1,59E-05	72,25	1,51E-06	1,50E-06	22	9,68E-06	9,63E-06	72	8,90E-07	8,96E-07
23,25	1,51E-05	1,46E-05	73,25	1,47E-06	1,46E-06	23	8,83E-06	8,81E-06	73	8,66E-07	8,72E-07
24,25	1,38E-05	1,34E-05	74,25	1,43E-06	1,42E-06	24	8,09E-06	8,09E-06	74	8,43E-07	8,48E-07
25,25	1,27E-05	1,24E-05	75,25	1,39E-06	1,39E-06	25	7,44E-06	7,45E-06	75	8,21E-07	8,26E-07
26,25	1,17E-05	1,14E-05	76,25	1,36E-06	1,35E-06	26	6,87E-06	6,89E-06	76	7,99E-07	8,04E-07
27,25	1,09E-05	1,06E-05	77,25	1,32E-06	1,32E-06	27	6,36E-06	6,39E-06	77	7,79E-07	7,83E-07
28,25	1,01E-05	9,86E-06	78,25	1,29E-06	1,28E-06	28	5,91E-06	5,94E-06	78	7,59E-07	7,64E-07
29,25	9,39E-06	9,20E-06	79,25	1,25E-06	1,25E-06	29	5,50E-06	5,54E-06	79	7,40E-07	7,44E-07
30,25	8,76E-06	8,60E-06	80,25	1,22E-06	1,22E-06	30	5,14E-06	5,17E-06	80	7,21E-07	7,26E-07
31,25	8,20E-06	8,05E-06	81,25	1,19E-06	1,19E-06	31	4,81E-06	4,84E-06	81	7,04E-07	7,08E-07
32,25	7,69E-06	7,56E-06	82,25	1,16E-06	1,16E-06	32	4,51E-06	4,54E-06	82	6,87E-07	6,91E-07
33,25	7,23E-06	7,11E-06	83,25	1,14E-06	1,13E-06	33	4,24E-06	4,27E-06	83	6,70E-07	6,74E-07
34,25	6,80E-06	6,70E-06	84,25	1,11E-06	1,11E-06	34	3,99E-06	4,02E-06	84	6,54E-07	6,58E-07
35,25	6,42E-06	6,33E-06	85,25	1,08E-06	1,08E-06	35	3,77E-06	3,80E-06	85	6,39E-07	6,43E-07
36,25	6,06E-06	5,98E-06	86,25	1,06E-06	1,06E-06	36	3,56E-06	3,59E-06	86	6,24E-07	6,28E-07



Turbina						Gerador					
Freq.	X	Z	Freq.	X	Z	Freq.	X	Z	Freq.	X	Z
37,25	5,74E-06	5,67E-06	87,25	1,03E-06	1,03E-06	37	3,37E-06	3,40E-06	87	6,10E-07	6,14E-07
38,25	5,44E-06	5,37E-06	88,25	1,01E-06	1,01E-06	38	3,20E-06	3,22E-06	88	5,96E-07	6,00E-07
39,25	5,16E-06	5,10E-06	89,25	9,88E-07	9,85E-07	39	3,03E-06	3,06E-06	89	5,83E-07	5,86E-07
40,25	4,90E-06	4,85E-06	90,25	9,66E-07	9,64E-07	40	2,88E-06	2,91E-06	90	5,70E-07	5,73E-07
41,25	4,67E-06	4,62E-06	91,25	9,45E-07	9,43E-07	41	2,74E-06	2,77E-06	91	5,58E-07	5,61E-07
42,25	4,45E-06	4,40E-06	92,25	9,25E-07	9,22E-07	42	2,61E-06	2,64E-06	92	5,46E-07	5,49E-07
43,25	4,24E-06	4,20E-06	93,25	9,05E-07	9,03E-07	43	2,49E-06	2,51E-06	93	5,34E-07	5,37E-07
44,25	4,05E-06	4,01E-06	94,25	8,86E-07	8,84E-07	44	2,38E-06	2,40E-06	94	5,23E-07	5,26E-07
45,25	3,87E-06	3,84E-06	95,25	8,67E-07	8,65E-07	45	2,28E-06	2,30E-06	95	5,12E-07	5,15E-07
46,25	3,70E-06	3,67E-06	96,25	8,49E-07	8,47E-07	46	2,18E-06	2,20E-06	96	5,01E-07	5,04E-07
47,25	3,55E-06	3,52E-06	97,25	8,32E-07	8,30E-07	47	2,09E-06	2,10E-06	97	4,91E-07	4,94E-07
48,25	3,40E-06	3,37E-06	98,25	8,15E-07	8,13E-07	48	2,00E-06	2,02E-06	98	4,81E-07	4,84E-07
49,25	3,26E-06	3,24E-06				49	1,92E-06	1,94E-06			

*Os deslocamentos apresentados são do ponto localizado no centro de massa do conjunto fundação-equipamento.

II.5.2. Gráfico





10 Índice de figuras

Figura 1 - Bloco Rígido e seus graus de liberdade	5
Figura 2 - Parâmetros condensados	5
Figura 3- Ábaco de frações de massa para fundações retangulares (Fonte: Richart, Woods & Hall [3])	7
Figura 4 - Modelo real	8
Figura 5- Modelo em elementos finitos	8
Figura 6 - Saída gráfica dos resultados por "Time History" (Deslocamentos na direção X da fundação considerando ser flexível e em $G_{máx}$).....	9
Figura 7 - Modelo de bloco rígido modelado no FMaq2.....	11
Figura 8 - Elevação 2,037m – nós de referência para análise de deformação	20
Figura 9 - Elevação 3,00 – nós de aplicação de cargas devidas ao Gerador	20
Figura 10 - Elevação 4,48m – Centro de Massa do equipamento (Gerador)	21
Figura 11 - Elevação 2,037m – nós de referência para análise de deformações	21
Figura 12 - Elevação 2,00m – nós de aplicação de cargas devidas à Turbina.....	22
Figura 13 - Elevação 3,00m – nós de aplicação de cargas devidas ao Redutor	22
Figura 14 - Elevação 4,48m – Centro de Massa dos equipamentos (Turbina e Redutor)	23
Figura 16 - Planta e vista frontal.....	26
Figura 17 - SEÇÃO AA.....	26
Figura 18 - SEÇÃO BB	27
Figura 19 - SEÇÃO CC	27
Figura 20 - SEÇÃO DD.....	27
Figura 20.....	30
Figura 21	30
Figura 22	31
Figura 23	31



11 Índice de tabelas

Tabela I - Resumo dos parâmetros condensados (Fonte: Richart, Woods & Hall [3]).....	6
Tabela II – Raios equivalentes para fundações retangulares (Fonte: Richart, Woods & Hall [3])	7
Tabela III - Tabela de cálculo de transposição do centro de massa (Turbina-Redutor)	12
Tabela IV - Freqüências do modo de translação em Z.....	14
Tabela V - Deslocamentos máximos do centro de massa total	14
Tabela VI - Tabela de nós de aplicação de cargas do SAP2000	17
Tabela VII - Coordenadas de locação dos nós para análise de deflexão referentes ao centro de massa total	18
Tabela VIII - Coordenadas de locação dos nós para análise de deflexão referentes aos nós abaixo dos centros de gravidade dos equipamentos	18
Tabela IX - Freqüências dos modos de vibração encontradas para $G_{mín}$	24
Tabela X - Freqüências dos modos de vibração encontrados para $G_{máx}$	25
Tabela XI - Resumo de deslocamentos e deflexões devidos às cargas do Gerador	28
Tabela XII - Resumo de deslocamentos e deflexões devidos às cargas da Turbina-Redutor ..	28
Tabela XIII - Resumo das freqüências, dos modos fundamentais, encontradas no FMaq2.....	38