

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**ESTUDO DE CASO – ANÁLISE ESTRUTURAL DINÂMICA DA
CASA DE TRANSFERÊNCIA CT-B2C**

AUTOR: ARTUR FELIPE SIQUEIRA GRAVINO
PROF. ORIENTADOR: MARCO ANTÔNIO DE MENDONÇA VECCI

2016

AGRADECIMENTOS

Em um piscar de olhos a vida passa e por isso temos que estar sempre atentos aos detalhes dos dias. Tudo são fases a serem vencidas e neste momento estou aqui agradecendo por mais uma vitória. Agradeço a Deus pela força e paciência, no qual pude sentir sua presença nos momentos de desânimo e estresse.

Não poderia deixar de mencionar uma pessoa muito especial, minha linda esposa Júlia Gravino, mulher virtuosa, companheira e guerreira, obrigado por toda a paciência nos momentos que estive ausente dedicando a esta graduação, reconheço todo o seu carinho e dedicação. Agradeço também aos meus filhos Pedro e Sarah pelos momentos que não pude estar junto e vos deixo aqui, o meu exemplo, para que sempre estejam buscando o caminho do conhecimento.

Resumo

Neste trabalho apresenta-se o dimensionamento dinâmico da casa de transferência CT-B2C, localizada em uma siderurgia brasileira e suas respectivas soluções. Os procedimentos e metodologias utilizadas são mostrados ao longo do texto. Esta edificação é composta de equipamentos como correias transportadoras, contrapeso, chute e separador de rejeitos. Devido a uma alteração no processo de produção foi necessário substituir o separador de rejeitos por uma peneira vibratória. Após modificação e instalação do novo equipamento foi detectada, na edificação, uma velocidade de oscilação acima do previsto em projeto, demandando o redimensionamento dinâmico da edificação para minimizar os efeitos indesejados gerados pela vibração excessiva. Através do dimensionamento dinâmico da estrutura foi identificada a necessidade de enrijecer a estrutura para reduzir a vibração na base da peneira vibratória. O dimensionamento dinâmico foi desenvolvido com auxílio do software SAP2000 R14® e o modelo numérico foi validado comparando-se os valores obtidos computacionalmente com valores experimentais.

Palavras chave: Dimensionamento; Dinâmica; Edificação; Peneira; Vibração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVO	5
3	REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1	Resposta em Regime Permanente do sistema sob Vibração Forçada	6
3.2	Análise Modal.....	12
4	ANÁLISE DINÂMICA DA ESTRUTURA	12
4.1	Modelo Tridimensional	13
4.2	Peneira LH 5' x 12' SD	14
4.3	Análise Da Estrutura Original	17
4.3.1	Análise modal	17
4.3.2	Vibração forçada.....	17
4.4	Análise da Estrutura com Reforços	20
4.4.1	Análise modal	21
4.4.2	Vibração forçada.....	21
1.	CONCLUSÃO	24
2.	REFERÊNCIAS	25
ANEXOS		26
	Anexo A – Tutorial.....	26
	Anexo B – Frequências Naturais da Estrutura Original	44
	Anexo C - Frequências Naturais da Estrutura Modificada.....	48
	Anexo D – Dimensões da Peneira LH 5' x 12' SD.....	52

1 INTRODUÇÃO

É comum em complexos industriais a alteração de projetos sem uma prévia avaliação técnica, no qual muitas vezes é realizada pela urgência na busca de produção. Este método apesar da agilidade pode levar a problemas maiores, como o apresentado neste trabalho. A edificação em estudo é uma casa de transferência em estruturas metálicas, e dentre os equipamentos que compõem seu projeto original há um Separador de Rejeito. Com a substituição deste separador pela Peneira LH5”x12”, foram identificadas vibrações na edificação com velocidades de partícula acima do máximo especificado pelo fabricante do equipamento, o que impossibilitou a utilização do mesmo deixando todo o sistema e seus derivados paralisados. O prejuízo poderia ter sido evitado com a avaliação adequada do problema.

Para a resolução do problema utilizou-se o Software SAP 2000 R14®, sendo gerado o modelo tridimensional com os correspondentes carregamentos. No decorrer do trabalho foi utilizado o método de dimensionamento dinâmico para sugerir reforços na estrutura, afim de minimizar os efeitos das oscilações geradas pela peneira.

O estudo proposto também visa elucidar o método de dimensionamento dinâmico, apresentando uma breve descrição do conceito de vibração harmônica, identificação do problema proposto, levantamento de dados, escolha do software para elaboração dos cálculos, elaboração do modelo virtual com seus respectivos carregamentos, interpretação dos resultados e resolução do problema.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é sugerir alterações e reforços estruturais na edificação onde se encontra a peneira LH 5’ x 12’ SD, de modo a garantir que a movimento na estrutura não exceda a tolerância máxima de velocidade especificada pelo fabricante do equipamento. Para tal, o estudo será realizado através da simulação numérica da estrutura e cenário de funcionamento. Também será estruturado um guia didático para a utilização do software SAP2000 R14® neste problema, indicando os passos necessários para realizar a análise (Apêndice A).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Resposta em Regime Permanente do sistema sob Vibração Forçada

O ponto em que ocorrem as medições de velocidade é representado como um sistema massa-mola viscosamente amortecido de um grau de liberdade sob vibração forçada, como mostra a FIGURA 3.1. A equação (3.1) do movimento harmônico em regime permanente pode ser obtida através da segunda lei de Newton (Ref. ROY R. CRAIG, Jr. and ANDREW J. KURDILA.- Fundamentals of Structural dynamics. 2ª ed, .c1981), com a força de excitação de natureza harmônica $f = f(t)$.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \text{ sen } \omega t \quad (3.1)$$

Onde F é amplitude da força de excitação e ω é a frequência de excitação.

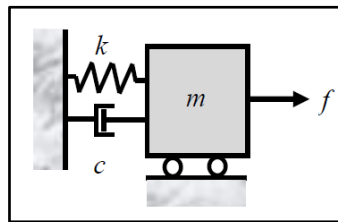


FIGURA 3.1 – Modelo com um grau de liberdade

A solução desta equação diferencial pode ser escrita como a soma de duas parcelas:

$$x = x_h + x_p \quad (3.2)$$

Onde x_h é a solução homogênea e x_p é a solução particular.

A solução homogênea é obtida tornando nula a força externa aplicada, isto é, $f(t) = 0$. A solução homogênea tende a zero com t crescente. Por isso, a solução particular é identificada como resposta de regime permanente. Para uma excitação harmônica conforme (3.1), a solução particular é

$$x_p = A \text{ sen } \omega t + B \text{ cos } \omega t \quad (3.3)$$

$$x_p = X \operatorname{sen}(\omega t + \theta) \quad (3.4)$$

onde

$$X = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (3.5)$$

e

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} \quad (3.6)$$

A equação diferencial (3.1) deve ser satisfeita pela solução particular. As derivadas da solução particular (3.3) são dadas por

$$\dot{x}_p = \omega A \cos \omega t - \omega B \operatorname{sen} \omega t \quad (3.7)$$

e

$$\ddot{x}_p = -\omega^2 A \operatorname{sen} \omega t - \omega^2 B \cos \omega t \quad (3.8)$$

Substituindo (3.3), (3.7) e (3.8) em (3.1), obtém-se

$$m(-\omega^2 A \operatorname{sen} \omega t - \omega^2 B \cos \omega t) + c(\omega A \cos \omega t - \omega B \operatorname{sen} \omega t) + k(A \operatorname{sen} \omega t + B \cos \omega t) = F \operatorname{sen} \omega t \quad (3.9)$$

Igualando-se os coeficientes em seno e cosseno de ambos os lados, obtém-se o sistema

$$\begin{cases} (k - m\omega^2)A - c\omega B = F \\ c\omega A + (k - m\omega^2)B = 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

cuja solução para A e B é dada por

$$A = \frac{(k - m\omega^2)}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} F \quad (3.11)$$

e

$$B = \frac{-(c\omega)}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} F \quad (3.12)$$

Portanto, a solução particular (3.3) é igual a

$$x_p = \frac{(k - m\omega^2)}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} F \operatorname{sen} \omega t + \frac{-(c\omega)}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} F \cos \omega t \quad (3.13)$$

A solução particular na forma (3.4) é mais conveniente por explicitar a amplitude e a fase da solução particular em relação à excitação. Substituindo (3.11) e (3.12) em (3.5) e (3.6), obtêm-se

$$X = \frac{F}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (3.14)$$

e

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{c\omega}{k - m\omega^2} \quad (3.15)$$

A amplitude (3.14) e a fase (3.15) podem ser obtidas em função dos parâmetros: frequência natural ω_n e fator de amortecimento ζ . Divide-se o numerador e denominador destas expressões por k , obtendo-se

$$X = \frac{F}{k} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{m\omega^2}{k}\right)^2 + \left(\frac{c\omega}{k}\right)^2}} \quad (3.16)$$

e

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{\frac{c\omega}{k}}{1 - \frac{m\omega^2}{k}} \quad (3.17)$$

Aplicando a definição da frequência natural, $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$, e do fator de amortecimento, $\zeta = \frac{c}{c_c}$, em (3.16) e (3.17) obtêm-se

$$a = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (3.18)$$

e

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{2\zeta r}{1-r^2} \quad (3.19)$$

onde

$a = \frac{X}{X_e}$ é o *fator de amplificação dinâmica senoidal*;

$X_e = \frac{F}{k}$ é a *amplitude “estática”* e

$r = \frac{\omega}{\omega_n}$ é um parâmetro de frequência adimensional ou *de sintonia*.

Portanto, a solução particular (3.4) fica igual a

$$x_p = A \operatorname{sen} \omega t + B \operatorname{cos} \omega t \quad (3.3)$$

ou

$$x_p = X \operatorname{sen}(\omega t + \theta) \quad (3.4)$$

onde

$$X = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (3.5)$$

e

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B}{A} \quad (3.6)$$

Portanto, a solução particular (3.4) fica igual a

$$x_p = a X_e \operatorname{sen}(\omega t + \theta) \quad (3.20)$$

com a e θ dados por (3.18) e (3.19), respectivamente. As FIGURAS 3.2 e 3.3 ilustram o fator de amplificação a e a fase θ em função da frequência de excitação ou do parâmetro de sintonia r . Cada curva corresponde a um fator de amortecimento. Observa-se que para amortecimentos baixos há uma faixa de frequência em torno da frequência natural na qual os fatores de amplificação dinâmica são altos. Portanto nesta região podem ocorrer vibrações com grandes amplitudes, mesmo quando as amplitudes das forças excitadoras são pequenas. Para frequências próximas de zero, o comportamento do sistema é do tipo estático. Para frequências muito acima da frequência natural há grande redução na amplitude de vibração. Esta faixa de frequências de excitação (por ex. para frequências acima de duas vezes a frequência natural) pode ser indicada em muitas aplicações. O amortecimento é muito importante quando se trabalha com frequências

de excitação próximas da frequência natural. Na ausência de amortecimento (o que não ocorre em sistemas reais) há o fenômeno de ressonância que pode ser mostrado através da equação (3.1) fazendo $c = 0$ e $\omega = \omega_n$.

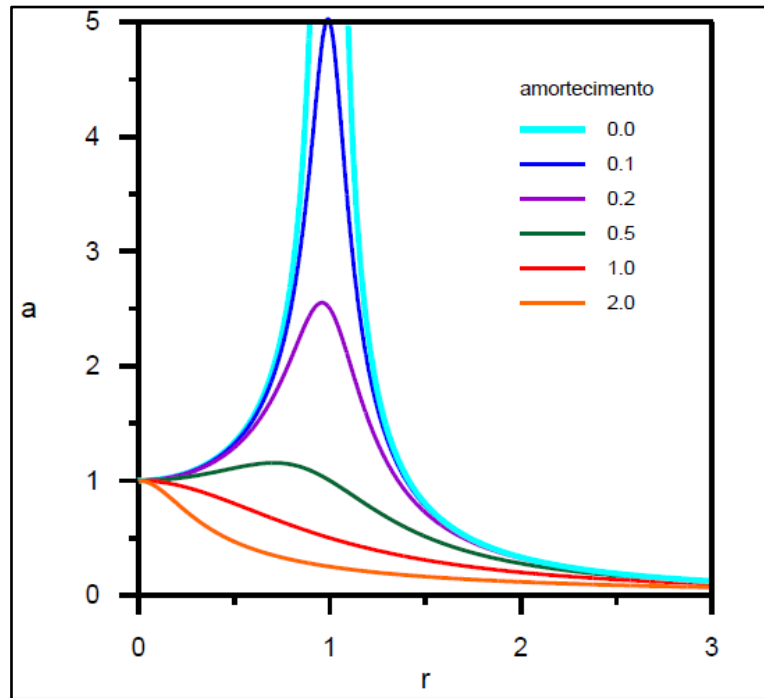


FIGURA 3.2 – Fator de amplificação dinâmica α

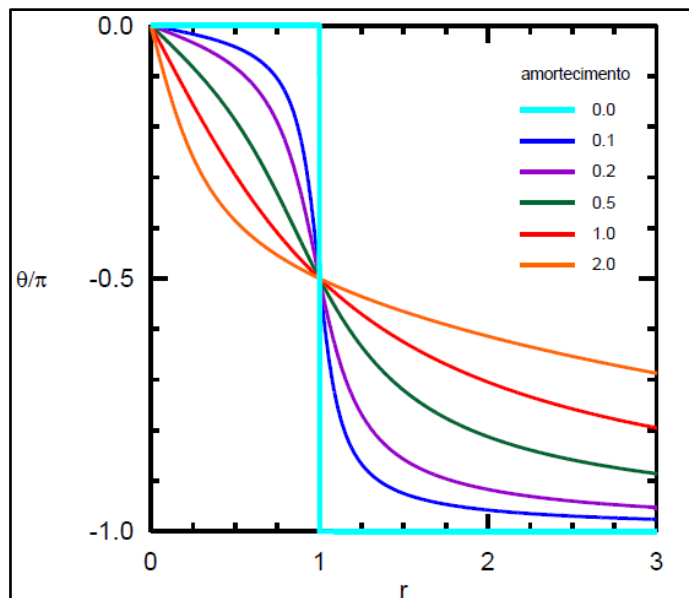


FIGURA 3.3 – Fase de resposta de regime permanente

3.2 Análise Modal

Estruturas com mais de um grau de liberdade possuem diferentes modos de vibrar. Cada modo é definido pela frequência natural, amortecimento modal e forma do modo, e se as propriedades do material ou as condições de contorno de uma estrutura mudam, esses modos irão mudar.

Segundo RAO (2009), quando forças externas agem sobre um sistema, o mesmo está sujeito a algum tipo de vibração forçada. Para um sistema com n graus de liberdade, as equações de movimento que governam o comportamento do mesmo são fornecidas por n equações diferenciais de segunda ordem ordinárias acopladas. A solução dessas equações torna-se mais difícil quando o número de graus de liberdade do sistema n é grande e/ou quando as forças de excitação são não periódicas. Nesse caso, o método da análise modal pode ser usado para resolver o problema.

Nesse método é utilizado o teorema de expansão, e os deslocamentos das massas são expressos como uma combinação linear dos modos normais do sistema. Neste caso, as equações de movimento são desacopladas através de uma transformação linear, levando a um sistema de n equações diferenciais de segunda ordem independentes e a solução dessas equações, é equivalente à solução de n sistemas de um grau de liberdade.

A análise modal proporciona uma base para interpretar o comportamento de estruturas em seus ambientes operacionais. Por exemplo, previsões numéricas de respostas forçadas para investigar diferentes cenários e condições de uso, utilizando um modelo dinâmico virtual. Outra aplicação pode ser na, atualização de modelos ou em modificação estrutural, como neste trabalho.

4 ANÁLISE DINÂMICA DA ESTRUTURA

O estudo será realizado com o software SAP2000 R14®. Será utilizado o modelo tridimensional da edificação, assim como as dimensões e cargas fornecidas pelo fabricante da peneira. Os resultados da análise computacional serão comparados com os valores de velocidade obtidos experimentalmente. Um segundo estudo será realizado a fim de sugerir melhorias à estrutura.

4.1 Modelo Tridimensional

O estudo foi feito tendo o modelo tridimensional da edificação original como base (FIGURA 4.1).

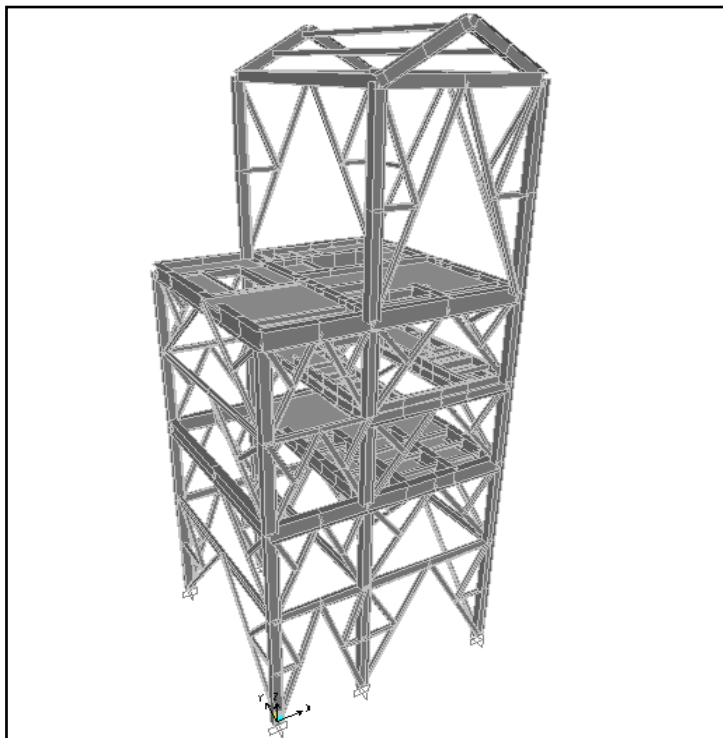


FIGURA 4.1 – Casa de Transferência CT-B2C – CT-B3C

Ao substituir o separador de rejeitos pela peneira, parte do contraventamento da estrutura foi retirada. Para a maior aproximação com a realidade, tais peças também foram desconsideradas no modelo virtual. Todas as ligações são engastadas, conforme indicado no projeto.



FIGURA 4.2 – Divergências estruturais

4.2 Peneira LH 5' x 12' SD

A peneira vibratória horizontal Low-Head (LH) fabricada pela empresa Metso é projetada para a classificação final de produtos, sendo utilizada em processos de lavagem e desaguamento de

minério pela empresa USIMINAS. O modelo LH 5' x 12' SD possui 4800kg de massa, utiliza motor de 25hp e suas dimensões podem ser vistas no Anexo D. As cargas envolvidas no funcionamento da peneira fornecidas pelo fabricante estão listadas na TABELA 4.1. Tem-se que a rotação de operação é de 705 rpm, ou 11,75 Hz. Os carregamentos na superfície de apoio do equipamento estão representados na FIGURA 4.3.

TABELA4.1 – Quadro de Cargas

CARGA POR APOIO DE MOLAS SEM CONSIDERAR MATERIAL (N)								
ESTÁTICA			DINÂMICA					
	VERTICAL (Y)	HORIZONTAL (X,Z)	EM OPERAÇÃO			NA PARADA		
			VERTICAL (Y)	LONGITUDINAL (X)	TRANSVERSAL (Z)	VERTICAL (Y)	LONGITUDINAL (X)	TRANSVERSAL (Z)
F1	13500	± 1350	± 2400	± 1500	± 240	± 27200	± 9800	± 2720
F2	20000	± 2000	± 2400	± 1500	± 240	± 27200	± 9800	± 2720
F3	6730	± 673	---	---	---	---	---	---
PESO TOTAL								7530 kg
PESO VIBRANTE								6300 kg
MOTOR					25HP	10 POLES	60 Hz	
MOVIMENTO TOTAL NOMINAL (NOMINAL STROKE)								14,0 mm
ROTAÇÃO DE OPERAÇÃO								705 rpm
AJUSTE DO MECANISMO						ML 80 - 55%	MR = 44,5 kg.mm	

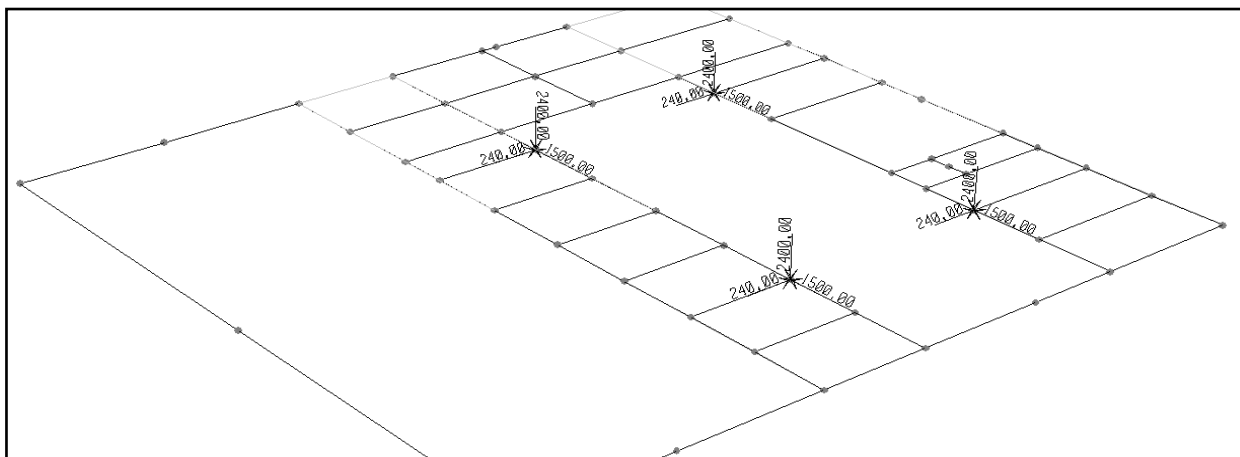


FIGURA 4.3 – Carregamentos Dinâmicos Gerados pela Peneira

Uma vibração excessiva na estrutura foi notada após testar o equipamento. A empresa Metso foi chamada para verificar a rigidez do prédio onde a peneira se encontra, sendo especificado que o movimento da base do equipamento deve ter velocidade inferior a 15 mm/s.

Os resultados da análise realizada pela empresa contratada podem ser vistos na FIGURA 4.4. Observa-se que a velocidade de vibração encontrada em campo é de 25mm/s, acima dos 15mm/s

previstos em projeto. A medição foi realizada com o equipamento vazio e em regime permanente. O ponto de medição foi próximo a base do motor, conforme indicado na FIGURA 4.5.

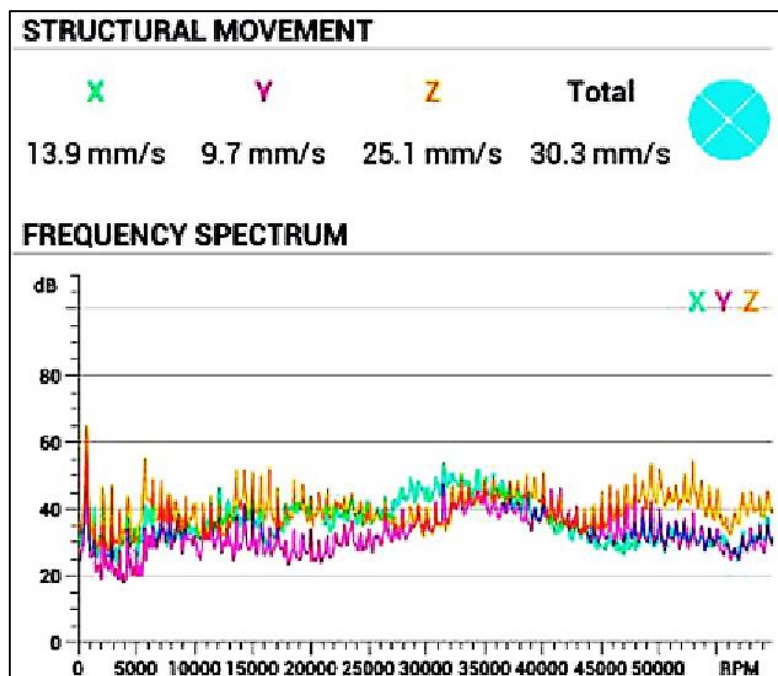


FIGURA 4.4 – Velocidade Máxima de 25,1mm/s

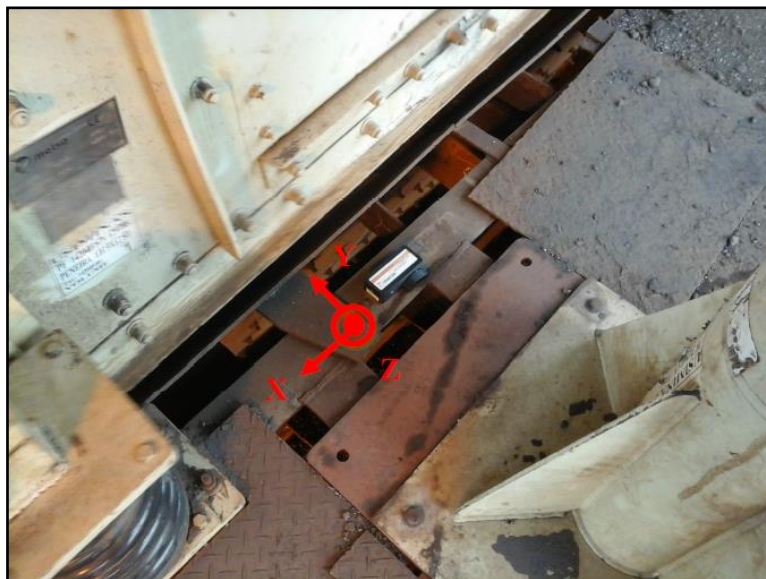


FIGURA 4.5 – Ponto de Medição

O maior deslocamento foi na direção “Z”, ou seja, na direção do movimento da peneira, evidenciando a falta de rigidez das vigas de sustentação. Outro ponto a ser enrijecido é a

plataforma de sustentação da base do motor, que devido à falta de rigidez de toda a estrutura amplifica a vibração devido ao maior esforço proporcionado pela peneira sobre a base.

4.3 Análise Da Estrutura Original

O estudo da estrutura inicial deve validar o modelo computacional e fundamentar futuras modificações. Para isso, os resultados da análise da estrutura inicial devem ser comparados com as medições experimentais, de modo que o modelo é válido caso os valores sejam próximos.

4.3.1 Análise modal

Ao realizar a análise modal da estrutura obtém-se os valores para as frequências naturais, listadas no Anexo B. Ao analisar graficamente os modos de vibração, observa-se que os seguintes modos fazem a estrutura entrar em ressonância no ponto de medição (TABELA 4.2):

TABELA 4.2 – Modos atuantes no ponto de medição.

Modal	14	23	56	64	127
Frequência [Hz]	6,90812	8,88744	16,63033	19,17684	48,07184

A análise modal foi realizada computacionalmente e analisou-se os 150 primeiros modos de vibração da estrutura.

4.3.2 Vibração forçada

Foram simulados os efeitos dinâmicos do equipamento sobre a estrutura utilizando os carregamentos estáticos e dinâmicos mencionados. Foi tomado como referência o resultado do nó próximo ao levantamento realizado pela equipe Metso (Nó 267). Os deslocamentos no nó estão representados na FIGURA 4.4.

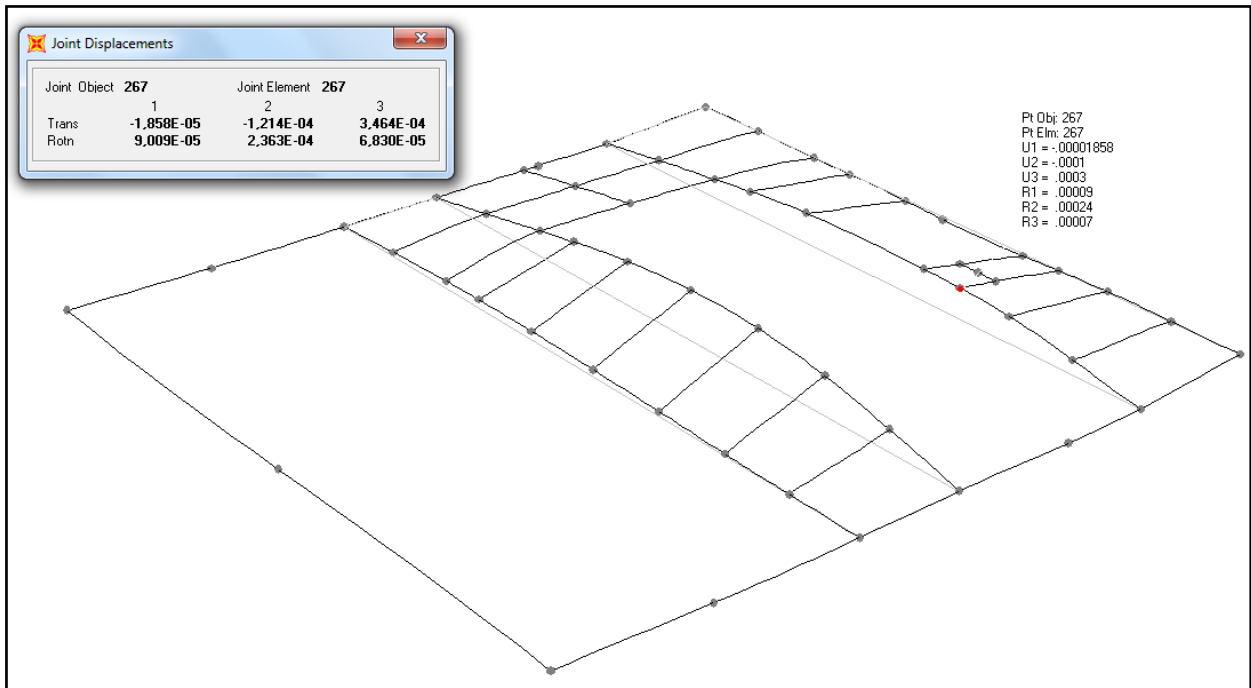


FIGURA 4.4 – Deslocamento no ponto de medição – Nó 267

Conforme apresentado na FIGURA 4.4, o valor de deslocamento devido funcionamento do equipamento calculado computacionalmente é de **0,34638 mm** na direção vertical. Considerando o período permanente de oscilação, foi identificada a velocidade de vibração de **25,6 mm/s**, conforme apresentado nas FIGURAS 4.5 e 4.6 a seguir:

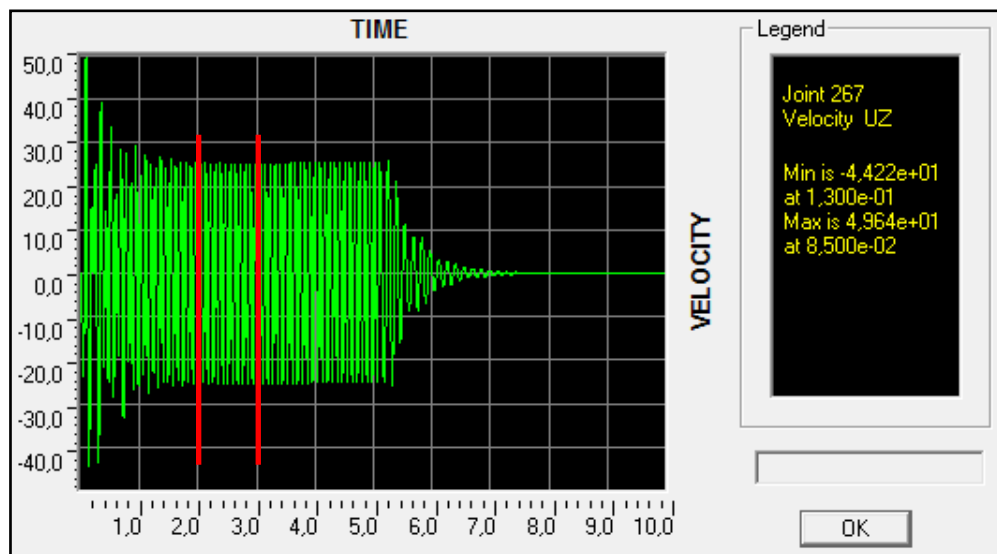


FIGURA 4.5 – Velocidade do nó 267

Para melhor visualização, o período de 2 a 3 segundos da análise está destacado na FIGURA 4.6.

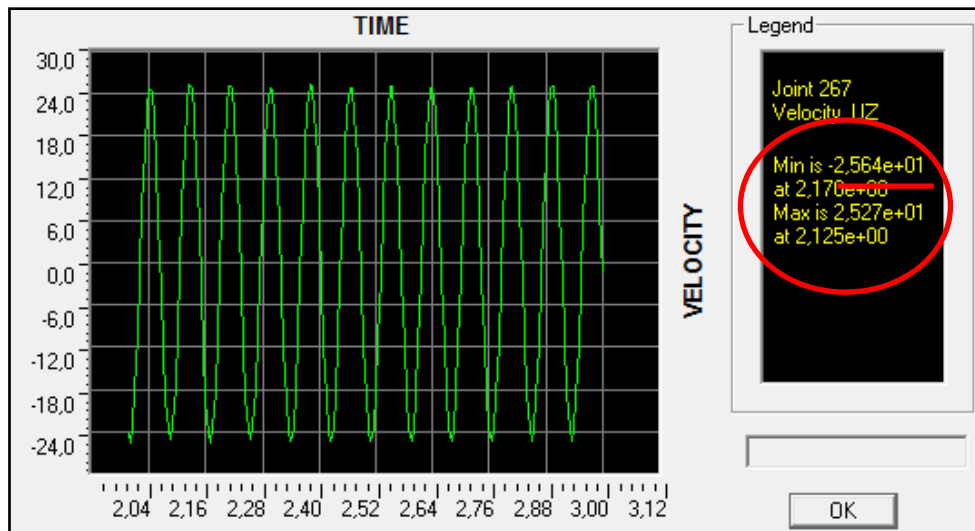


FIGURA 4.6 – Velocidade do nó 267 (2 a 3 seg.)

A velocidade encontrada pelo relatório da equipe Metso é de **25,1 mm/s**. A diferença do resultado real para o analítico é **1,8%**, o que valida o método de cálculo utilizado.

Ao localizar a curva da velocidade no domínio da frequência do nó 267, representada na FIGURA 4.7, observa-se que a frequência em que o ponto mais se excita é de 6,9 Hz, valor abaixo da frequência de funcionamento da máquina.

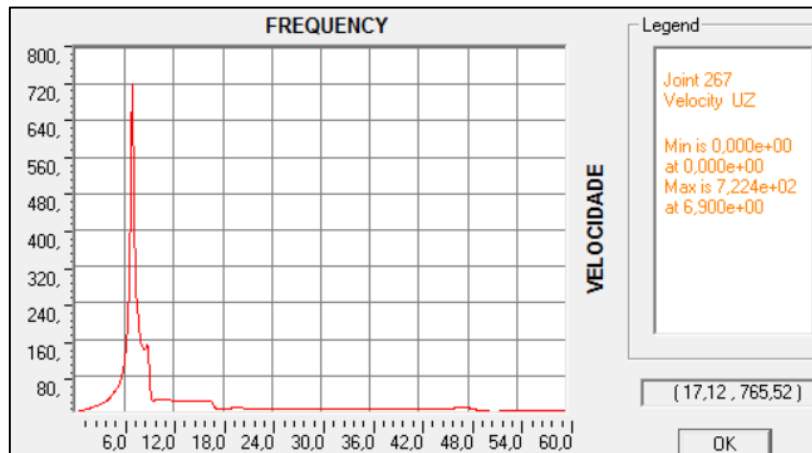


FIGURA 4.7 – Velocidade no domínio da frequência.

4.4 Análise da Estrutura com Reforços

A partir dos resultados obtidos na seção 4.3.2, aplicou-se reforços na estrutura de modo a aumentar sua rigidez e reduzir a velocidade de vibração. O reforço adotado é composto de um sistema treliçado sob a viga de sustentação da peneira, conforme apresentado nas FIGURAS 4.8 e 4.9:

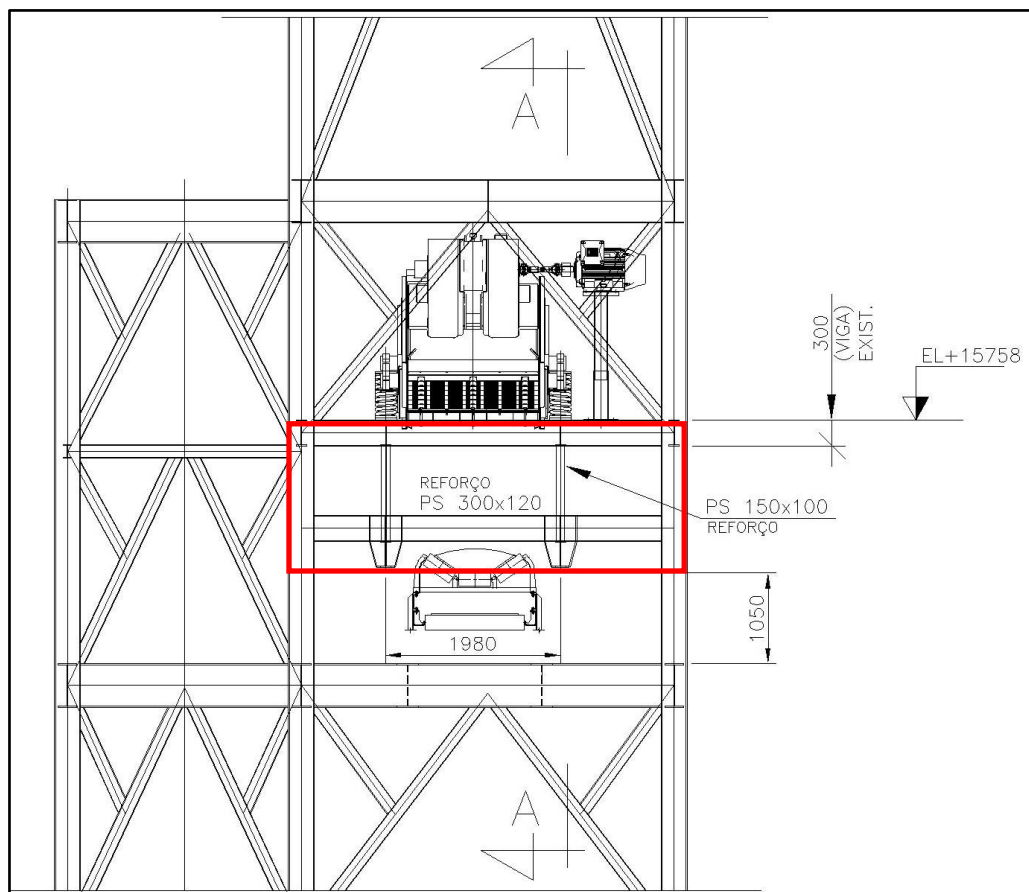


FIGURA 4.8 – Vista Frontal do sistema de reforço

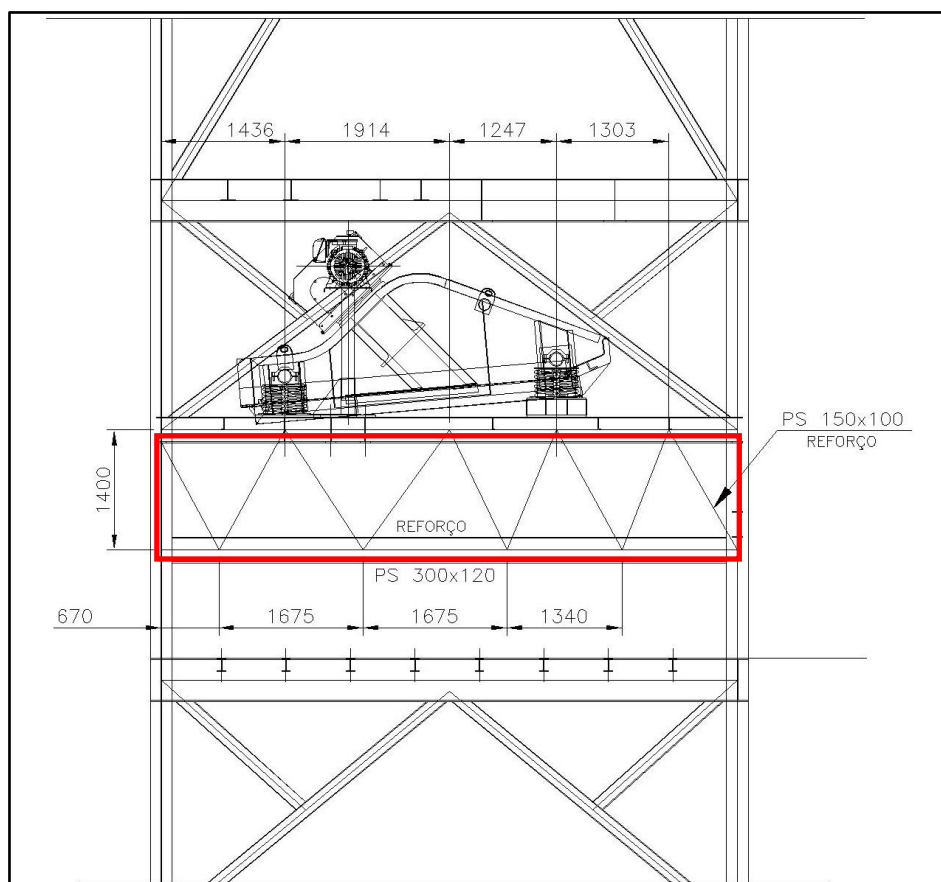


FIGURA 4.9 – Corte A do sistema de reforço

4.4.1 Análise modal

Realizou-se a análise modal da estrutura com os reforços. Os modos de vibração e frequências atuantes no ponto de medição encontram-se na TABELA 4.3, e os demais no Anexo C.

TABELA 4.3 – Modos atuantes no ponto de medição.

Modal	56	68	95	133
Frequência [Hz]	16,553	22,14	28,10	48,26

4.4.2 Vibração forçada

Ao simular os efeitos do equipamento em funcionamento sobre a estrutura, utilizando novamente os carregamentos estáticos e dinâmicos fornecidos, os deslocamentos no nó de (FIGURA 4.10):

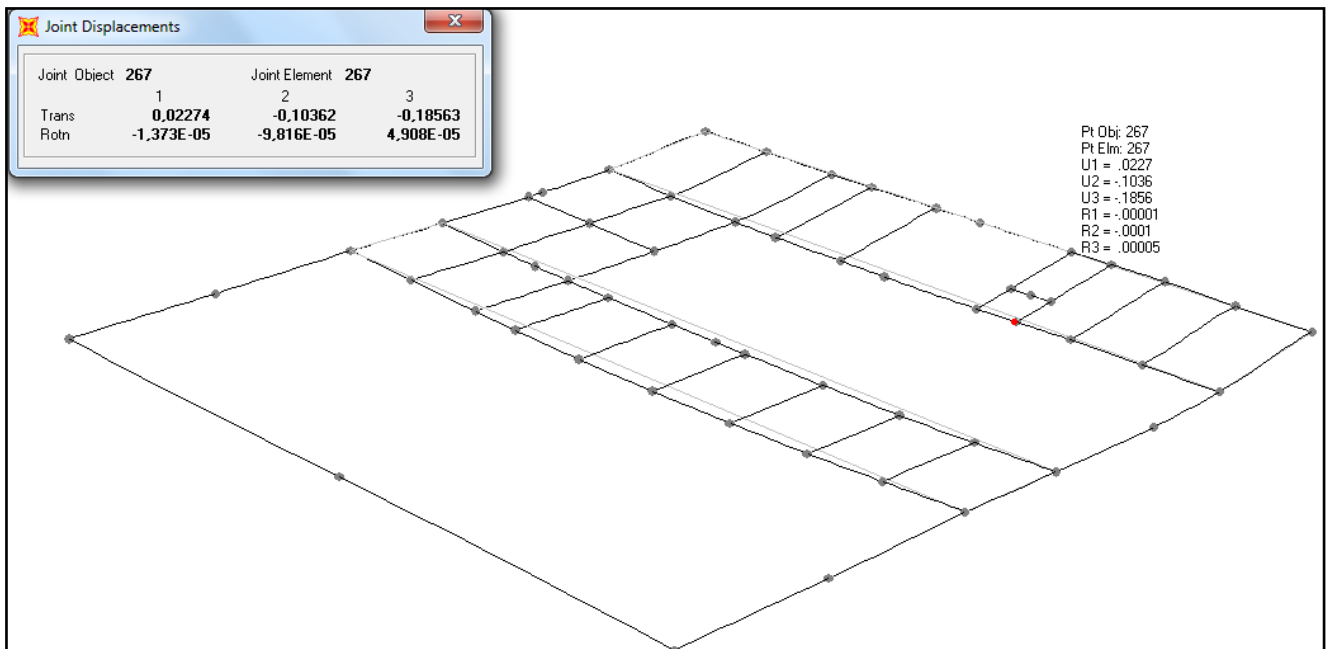


FIGURA 4.10 – Deslocamento no ponto de medição – Nó 267

O valor de deslocamento devido aos efeitos estáticos e dinâmicos na estrutura reforçada na direção vertical é de **0,18563 mm**. Considerando o período permanente de oscilação, foi calculada a velocidade de vibração de **14,2 mm/s**, conforme apresentado nas FIGURAS 4.11 e 4.12:

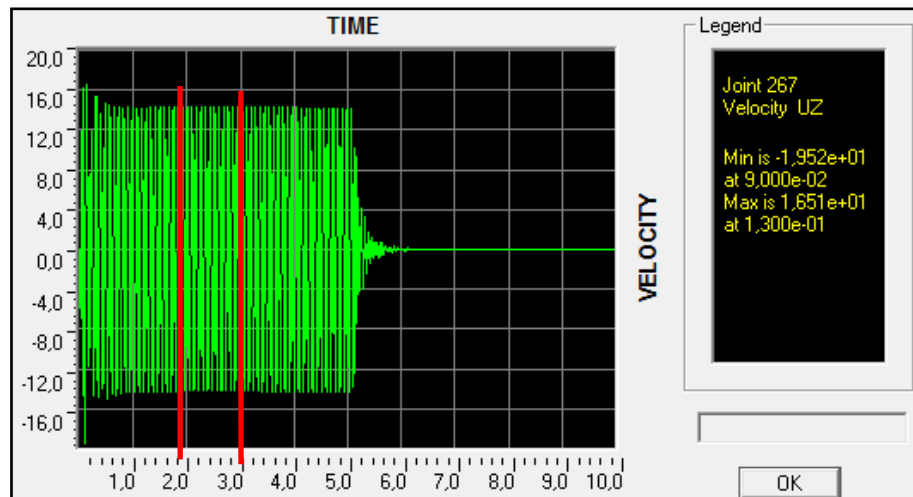


FIGURA 4.11 – Velocidade do nó 267

Para melhor visualização, o período de 2 a 3 segundos da análise está destacado na FIGURA 4.11.

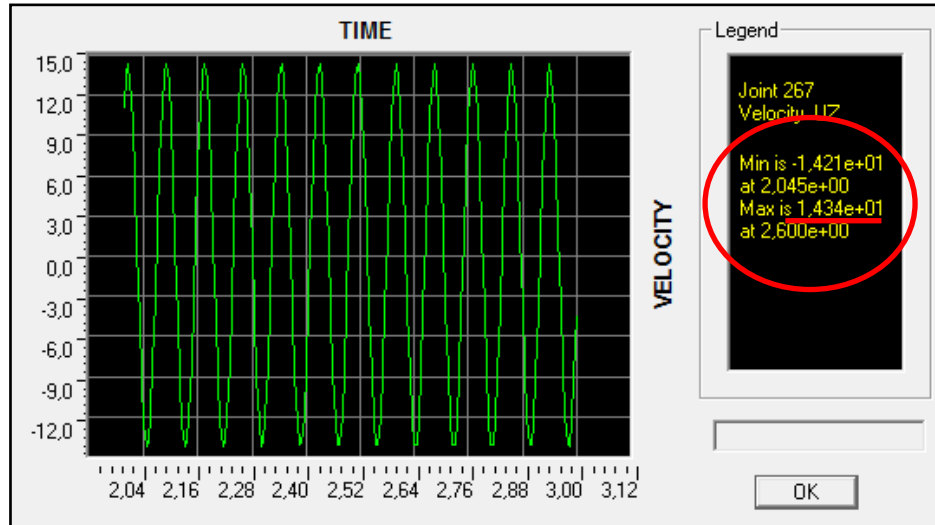


FIGURA 4.12 – Velocidade do nó 267 (2 a 3 seg.)

Nota-se através da curva da velocidade no domínio da frequência para o nó 267, representada na FIGURA 4.13, que a frequência em que o ponto mais se excita é de 16,5 Hz, valor acima da frequência nominal de funcionamento do equipamento.

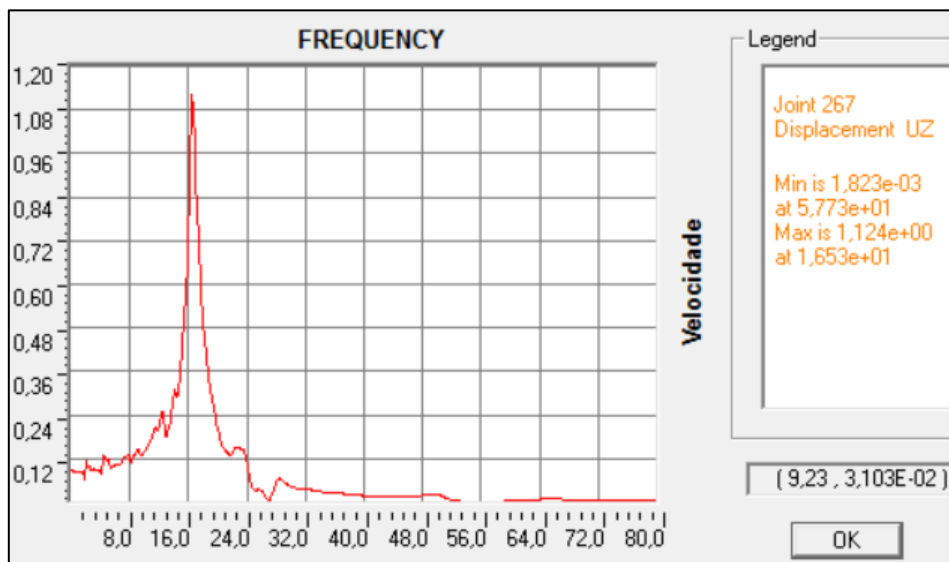


FIGURA 4.13 – Velocidade no domínio da frequência.

1. CONCLUSÃO

A alta vibração do prédio é proveniente da insuficiência de rigidez na plataforma da peneira vibratória, comprovando o resultado apresentado pela equipe Metso. A estrutura não apresenta picos de ressonância no regime permanente de oscilação. Na condição original pode haver ressonâncias próximo as rotações de 415 Rpm e 533 Rpm, que são os modos de vibração 14 e 23, 6,9 Hz e 8,8 Hz respectivamente. Faz-se assim necessário o uso de um inversor de frequência para partida e parada, de modo a evitar o funcionamento em tais rotações.

Considerando o mesmo ponto de medição feita em campo, o modelo virtual apresenta a velocidade de oscilação em 25,6 mm/s, o que é próximo ao encontrado no físico, 25,1 mm/s. A diferença do resultado real para o analítico é **1,8%**, o que valida o método de cálculo utilizado

Para o aumento da rigidez foi considerado o reforço em treliça abaixo da viga de sustentação da peneira, minimizando o deslocamento e conseqüentemente a velocidade de oscilação. Após a introdução do reforço no modelo virtual, foi calculada a velocidade de 14,2 mm/s no ponto de referência, valor abaixo do permitido em projeto, 15 mm/s. A aplicação dos reforços também torna desnecessário o uso de um inversor de frequência para partida e parada do equipamento, pois o pico de excitação acontece em uma frequência superior ao de funcionamento da máquina.

Ressalta-se que foi sugerido uma alteração na estrutura que iria piorar a situação da estrutura, de acordo com uma análise semelhante realizada utilizando as sugestões dadas. Mostra-se assim a importância de realizar o estudo com a análise dinâmica computacional da edificação.

A análise apresentada é referente aos efeitos dinâmicos, entretanto se faz necessário a verificação estática da estrutura, certificando a resistência das vigas para o novo carregamento.

2. REFERÊNCIAS

ROY R. CRAIG, Jr. and ANDREW J. KURDILA..-Fundamentals of Structural dynamics. 2ª ed, .c1981

RAO, S. *Vibrações Mecânicas*. 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 448p.

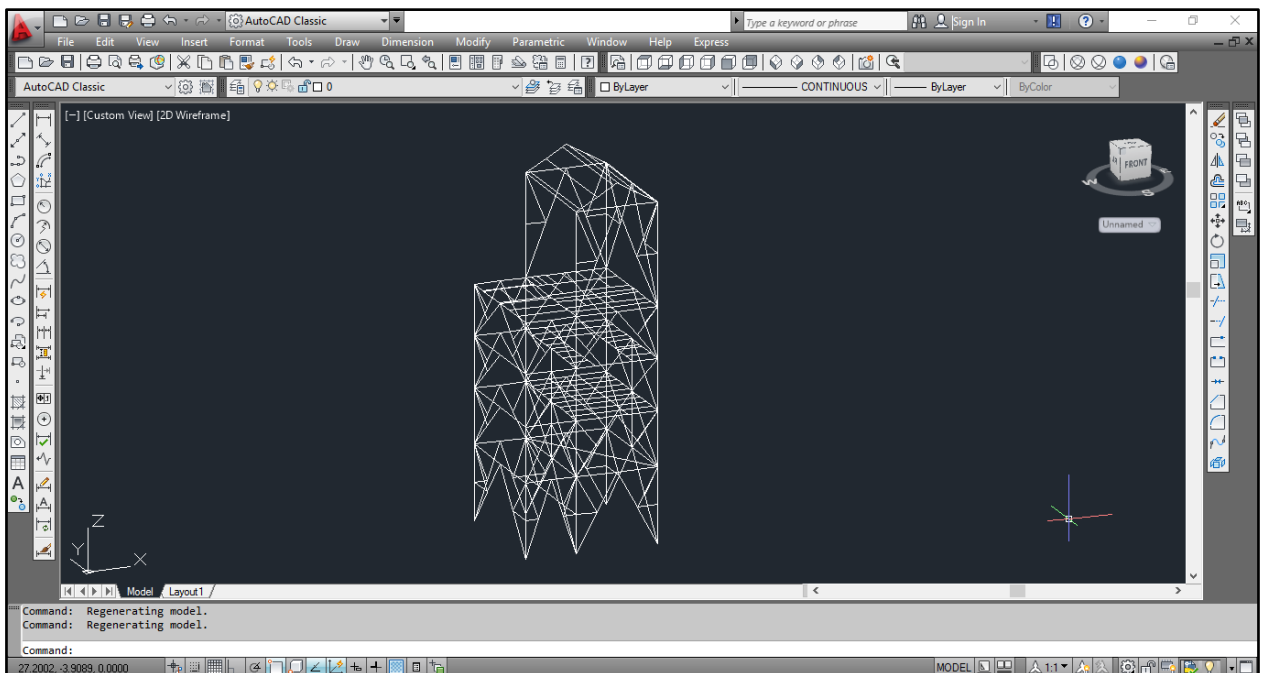
ARAÚJO, A.; HISSAO, J. Relatório de Assistência Técnica N° MBJ170615. Cubatão: Metso, 2015. 4p.

ANEXOS

Anexo A – Tutorial

Criando o modelo em AutoCad

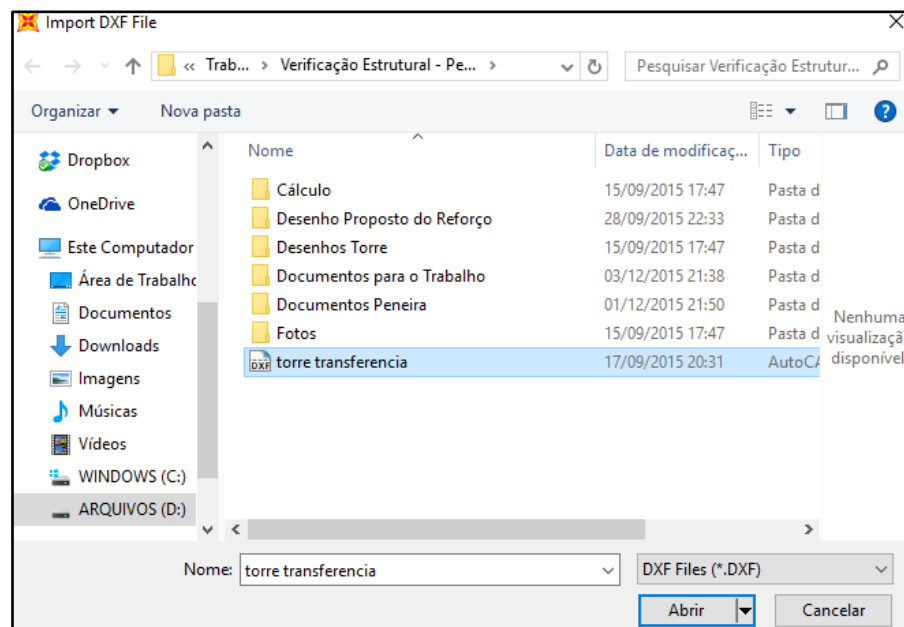
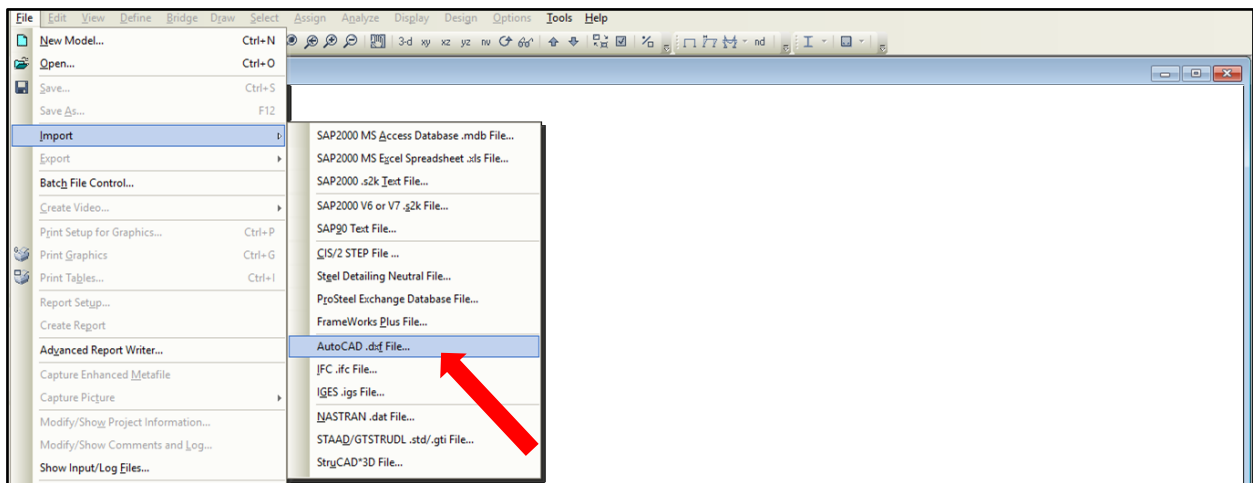
1. Para modelamento da estrutura foi utilizado o software AutoCad, no qual toda a estrutura foi desenhada em Wire frame 3D, conforme as informações coletadas dos desenhos.



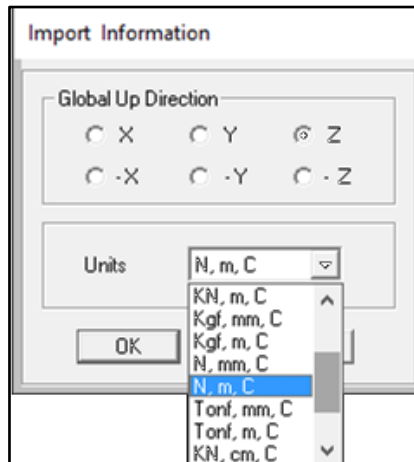
2. O modelamento em barras deverá ser em metros, a unidade que iremos trabalhar nos cálculos.
3. As barras deverão ser segmentadas por nós, não podendo ter mais de 2 nós chegando em uma barra. Será apenas os nós das extremidades.
4. O modelo deverá ser criado com um de seus apoios na coordenada “0,0,0” no AutoCad.
5. Concluído o modelo, selecionar todo o conjunto e incluir dentro de um layer que deverá ser criado previamente. Neste trabalho o nome do Layer será “Estrutura”.

Importando o modelo CAD para o SAP2000

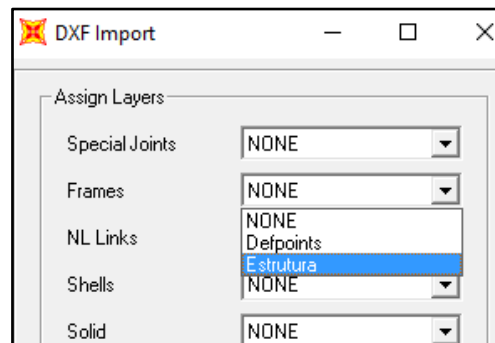
6. O modelo é salvo na extensão “.dxf”, o modelo de arquivo que o SAP2000 consegue importar.
7. Abrir o software SAP2000. Para importar o modelo gerado no AutoCAD ir na aba “File”, “Import”, “AutoCAD .dxf File”. Buscar o arquivo na pasta onde o modelo “.dxf” foi salvo.



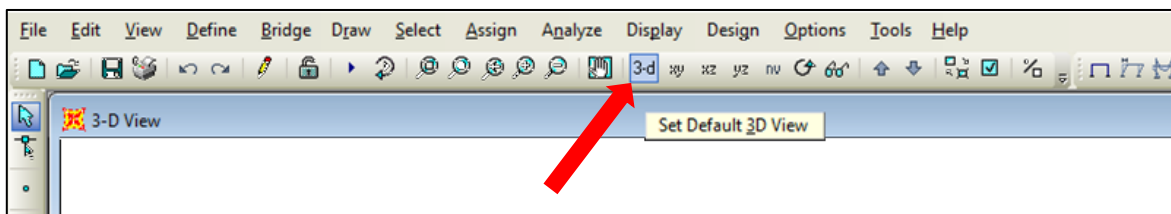
8. Após selecionar o arquivo, será aberto uma caixa flutuante. Deverá selecionar as unidades do modelo. Neste trabalho será utilizado “N,m,C”, Newton, metro, Celsius, respectivamente. A direção do eixo “Z” deve ser conforme padrão do programa (direção vertical).



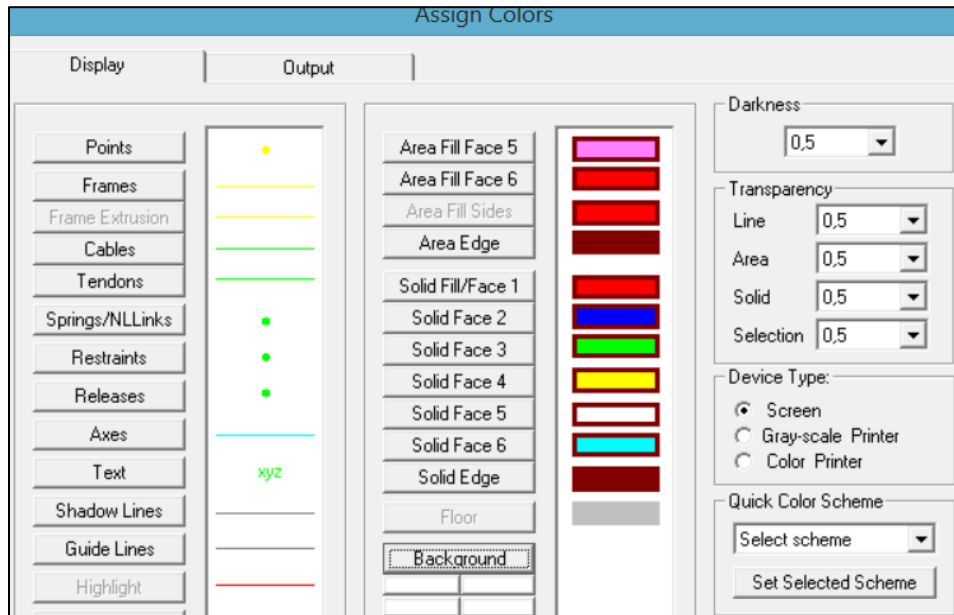
9. Será aberto uma caixa flutuante para a escolha do Layer gerado pelo AutoCAD. Como nosso arquivo são apenas barras, clicar na aba “Frame” e selecionar o nome do layer correspondente ao trabalho. Em nosso modelo o nome é “Estrutura”.



10. Para melhor visualização, clicar na aba “3d”.

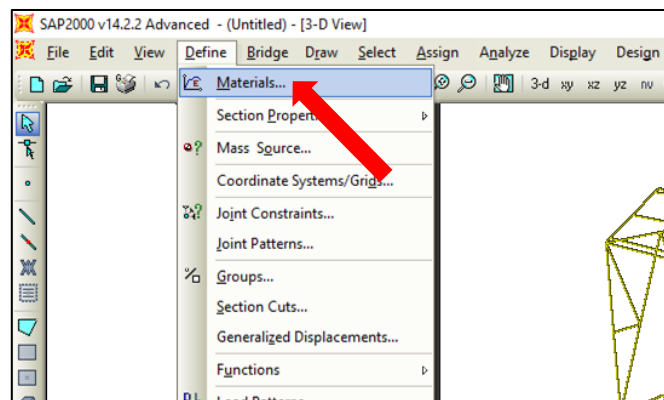


11. Pode-se alterar a cor de fundo da janela em “Options”, “Colors”, “Display...”. Clicar na opção “Background” e escolher outra cor (branco, por exemplo).

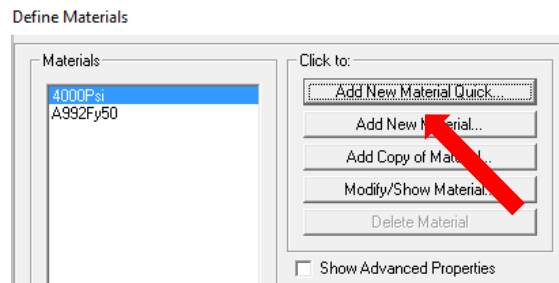


Gerando as propriedades dos elementos:

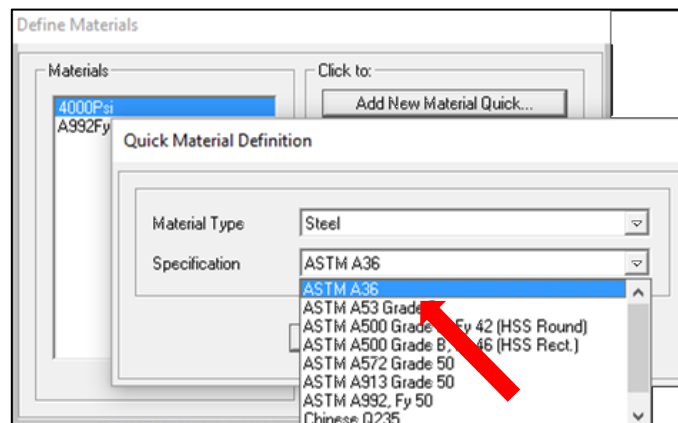
12. Para escolher o material selecionar a aba “Define”, “Materials”



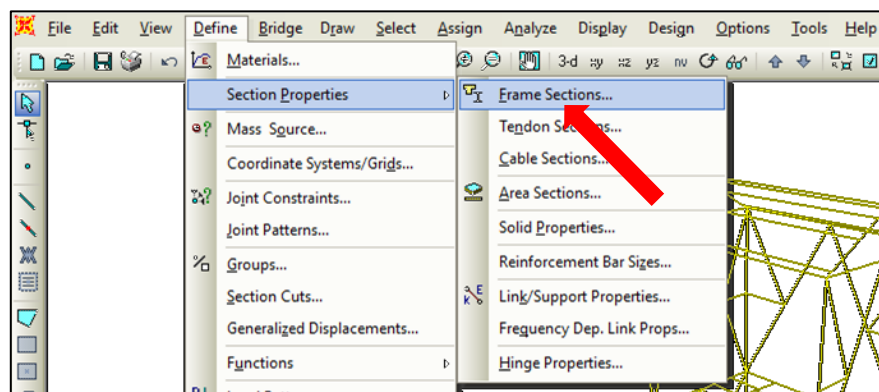
13. Clicar na opção “Add New Material Quick”.



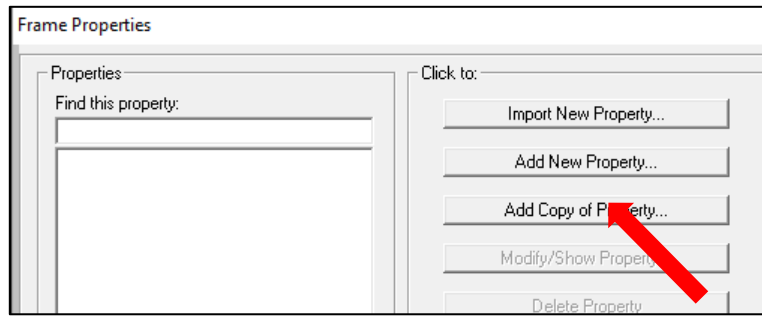
14. As estruturas do modelo são em aço ASTM A-36, então escolher o material correspondente na aba “*Specification*”. Após selecionar o material confirmar as caixas posteriores.



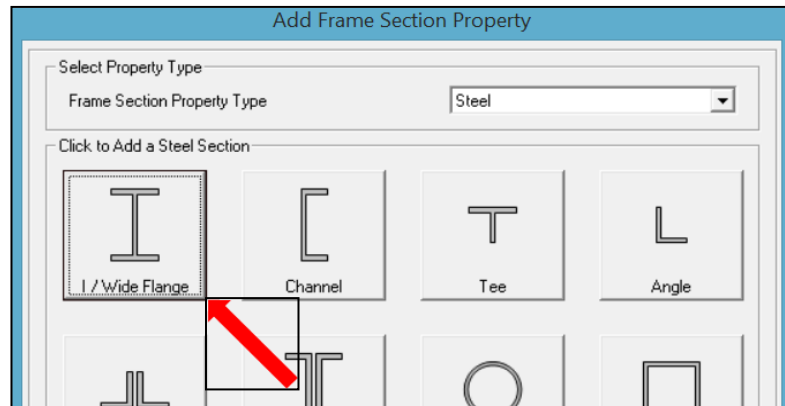
15. Para criar as propriedades das barras, clicar “Define”, “Section Properties”, “*Frame Sections*”.



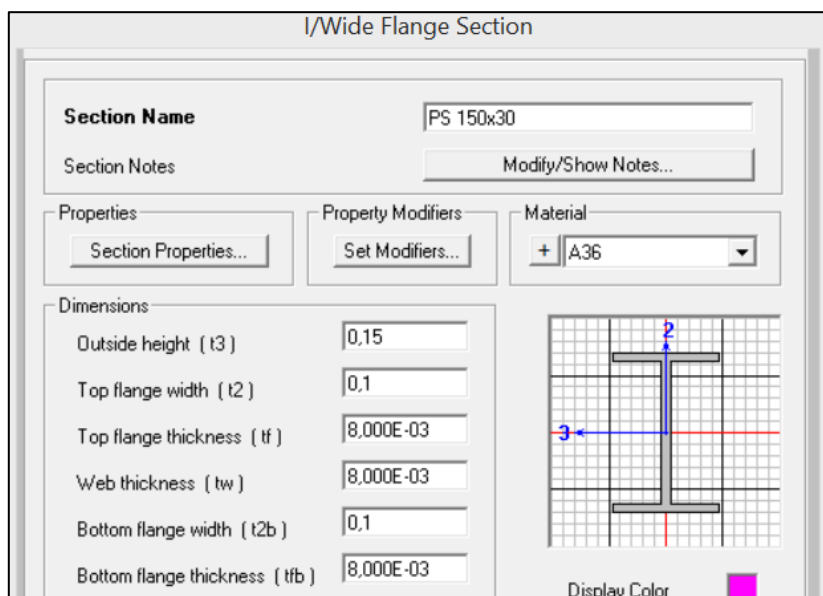
16. Clicar na opção “Add New Property” .



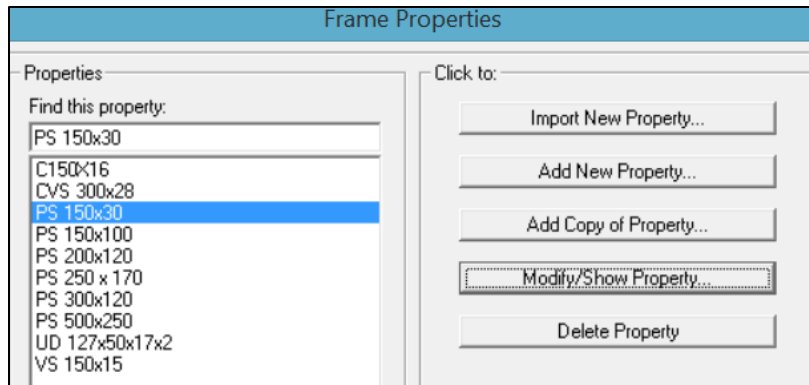
17. Escolher o tipo de viga “Steel”, “Frame Selection Property Type” e a seção transversal usada na estrutura. Todas as seções transversais do projeto devem ser adicionadas.



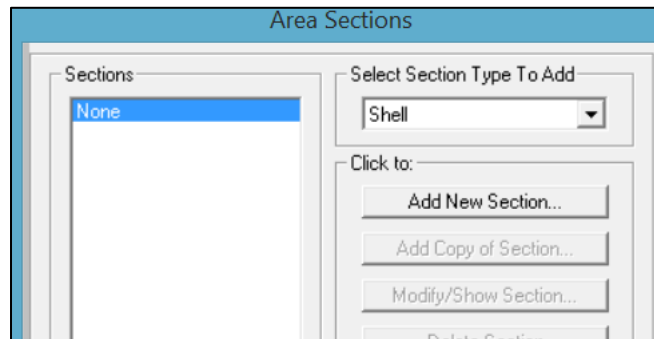
18. Inserir as dimensões e propriedades das seções.



19. Repetir o processo para todas as seções transversais utilizadas



20. Para criar as propriedades dos pisos, entrar na aba “Define”, “Section Properties”, “Area Sections”. Marcar “Shell” em “Select Section Type” e clicar em “Add New Section”.



21. Preencher a caixa como na figura abaixo e confirmar as caixas abertas.

Shell Section Data

Section Name

Section Notes

Display Color

Type

Shell - Thin
 Shell - Thick
 Plate - Thin
 Plate Thick
 Membrane
 Shell - Layered/Nonlinear

Material

Material Name

Material Angle

Thickness

Membrane

Bending

Concrete Shell Section Design Parameters

Stiffness Modifiers

Temp Dependent Properties

Atribuindo propriedades às barras do modelo.

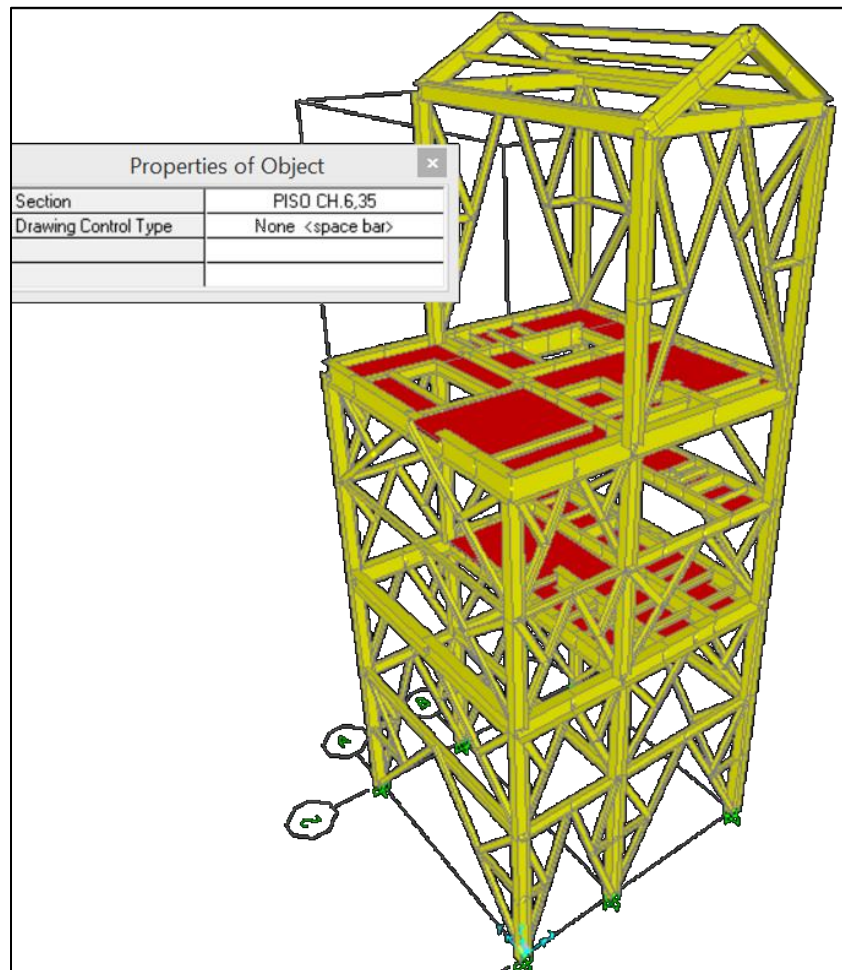
22. Para ver as seções transversais, clicar “View”, “Set Display Options” e marcar “Estrude View”.

Display Options For Active Window

<p>Joins</p> <input type="checkbox"/> Labels <input checked="" type="checkbox"/> Restraints <input checked="" type="checkbox"/> Springs <input type="checkbox"/> Local Axes <input type="checkbox"/> Invisible <input type="checkbox"/> Not in View	<p>Frames/Cables/Tendons</p> <input type="checkbox"/> Labels <input type="checkbox"/> Sections <input type="checkbox"/> Releases <input type="checkbox"/> Local Axes <input type="checkbox"/> Frames Not in View <input type="checkbox"/> Cables Not in View <input type="checkbox"/> Tendons Not in View	<p>General</p> <input type="checkbox"/> Shrink Objects <input checked="" type="checkbox"/> Extrude View <input type="checkbox"/> Hide Objects <input checked="" type="checkbox"/> Show Edges <input checked="" type="checkbox"/> Show Reinforcement Lines <input type="checkbox"/> Show Bounding Boxes	<p>View by Colors of</p> <input checked="" type="radio"/> Objects <input type="radio"/> Sections <input type="radio"/> Materials <input type="radio"/> Color Printer <input type="radio"/> White Background, Black Objects <input type="radio"/> Selected Groups <input type="button" value="Select Groups..."/>
<p>Areas</p> <input type="checkbox"/> Labels <input type="checkbox"/> Sections <input type="checkbox"/> Local Axes <input type="checkbox"/> Not in View	<p>Solids</p> <input type="checkbox"/> Labels <input type="checkbox"/> Sections <input type="checkbox"/> Local Axes <input type="checkbox"/> Not in View	<p>Links</p> <input type="checkbox"/> Labels <input type="checkbox"/> Properties <input type="checkbox"/> Local Axes <input type="checkbox"/> Not in View	<p>Miscellaneous</p> <input type="checkbox"/> Show Analysis Model (If Available) <input type="checkbox"/> Show Joints Only For Objects In View

Apply to All Windows

23. Selecionar os elementos das vigas e pilares de um mesmo tipo e clicar em “Assign”, “Frame”, “Frame Sections...”. Escolher o tipo de seção transversal correspondente ao elemento selecionado e clicar em “OK”. Repetir o processo para todas as linhas do modelo.
24. Selecionar “Draw”, “Draw Poly Area”. Marcar o piso criado anteriormente na caixa flutuante, clicar nos nós que delimitam cada local onde há piso na estrutura e apertar Enter.

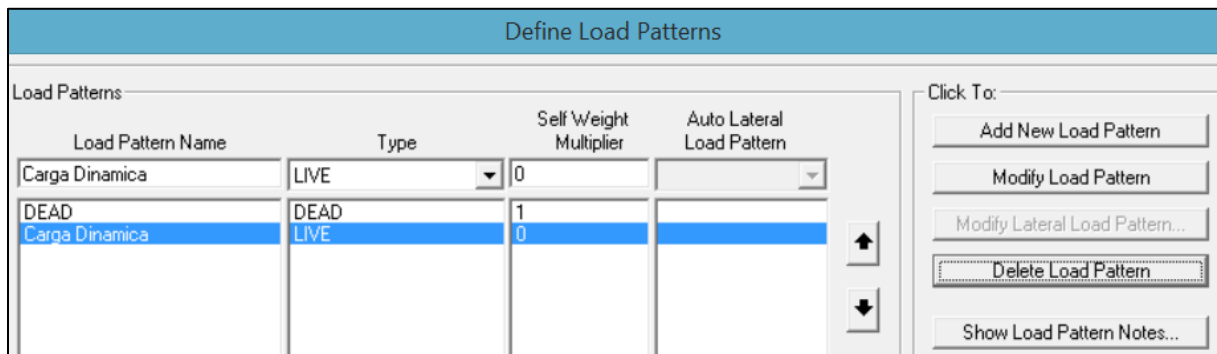


Inserindo as condições de contorno

25. Sendo os elementos engastados, selecionar os nós da base da estrutura e clicar na aba “Assign”, “Joints”, “Restraints”. Marcar todas as opções de restringir todos os graus de liberdade.



26. Definir padrões de carregamento na aba “*Define*”, “*Load Patterns...*”. Criar um padrão do tipo “*Live*” com “*Self Weight Multiplier*” igual a 0, nomeado de “*Carga Dinamica*” neste trabalho.



27. Criar os casos de carregamento em “*Define*”, “*Load cases*” e “*Add New Load Case...*” (ou “*Modify/Show Load Case...*”). Alterar os campos da caixa aberta conforme a figura seguinte para a análise do regime permanente (“*Steady State*”). Manter “*Histeretic Damping*” em 0,05.

Load Case Data - Steady-State

Load Case Name: Carga Dinamica [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...] Load Case Type: Steady State [Design...]

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Solution Type:

- Modal
- Direct

Loads Applied

Load Pattern	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Carga Dinamica	UNIFSS	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Frequency Step Data:

- First Frequency: 0. [Set Additional Frequencies]
- Last Frequency: 80.
- Number of Increments: 400

 Modal Case: None
 Add Modal Frequencies? No
 Num Modal Freq Deviations: 0
 Num Specified Frequencies: 0

Other Parameters:

- Hysteretic Damping: Constant [Modify/Show...]

 [OK]

28. Selecionar um dos nós onde são aplicadas as cargas, como mostrado na FIGURA 4.3. Abrir a aba “Assing”, “Joint Loads”, “Forces”. Selecionar “Carga dinâmica” no padrão de carregamento “Load Pattern Name” e inserir as forças atuantes no nó nas direções correspondentes, conforme a TABELA 4.1

Joint Forces

Load Pattern Name: [+ Carga Dinamica] Units: N, m, C

Coordinate System: GLOBAL

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

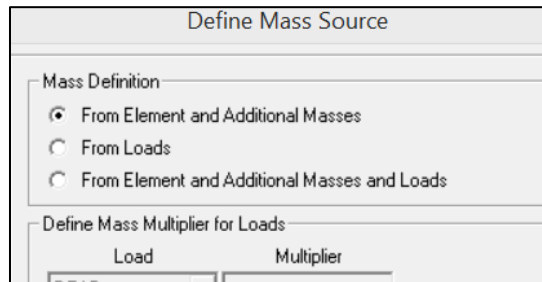
 [OK] [Cancel]

Loads:

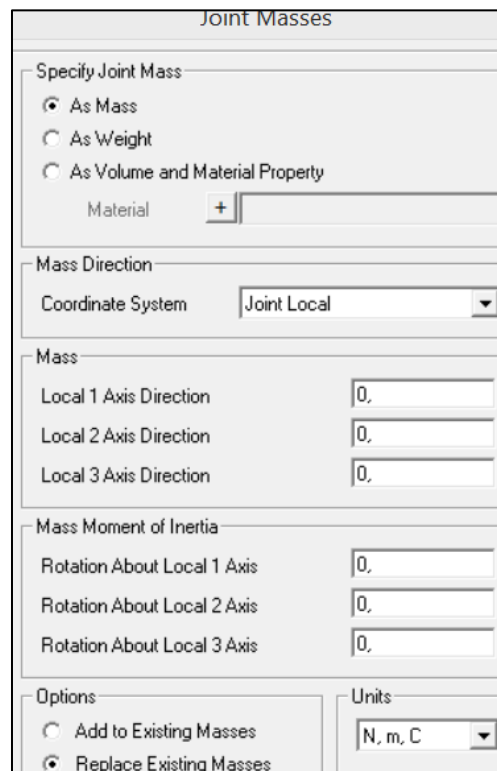
- Force Global X: 240
- Force Global Y: 1500
- Force Global Z: -2400
- Moment about Global X: 0.
- Moment about Global Y: 0.
- Moment about Global Z: 0.

29. Repetir o processo para todos os nós onde há carregamento.

30. Para definir como será a entrada das massas na análise, selecionar a aba “*Define*”, “*Mass Source...*” e deixar a opção “*From Element and Additional Masses*” marcada.



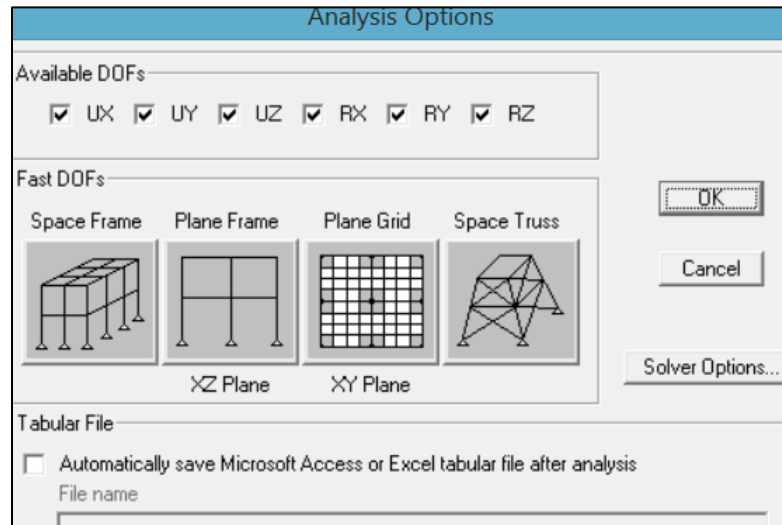
31. Será considerado que o equipamento possui 40% de sua massa total na sua parte frontal e o restante nos apoios opostos. Selecionar um nó referente ao apoio da peneira e clicar nas opções “*Assign*”, “*Joint*”, “*Masses*”. Inserir a massa correspondente ao ponto em todas as direções.



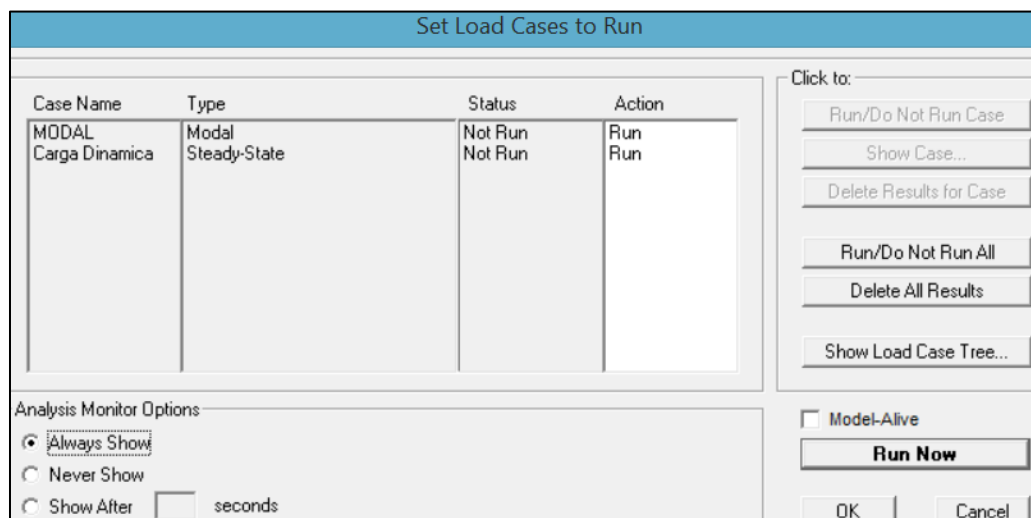
32. Repetir o processo acima em todos os pontos onde há massa concentrada.

Início da análise

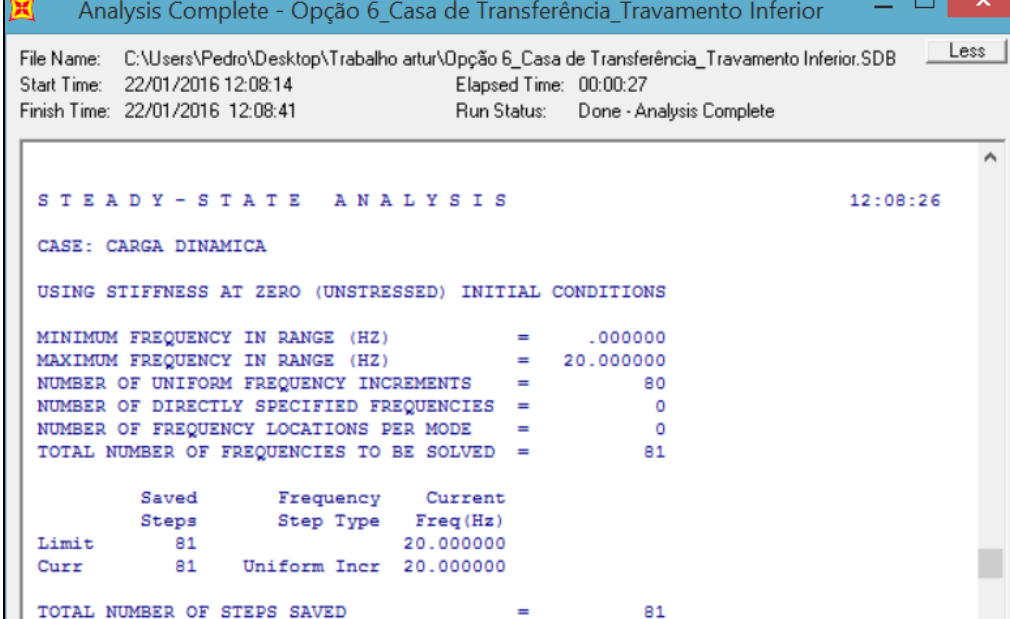
33. Selecionar “*Analyse*”, “*Set Analyses Options...*”. Permitir todos os graus de liberdade em “*Available DOF's*”



34. Selecionar a aba “*Analyse*”, “*Set Load Cases to Run*”. Selecionar os casos “MODAL” e “Carga Dinamica” e clicar em “*Run / Do Not Run Case*” de forma que fique escrito “*Run*” na caixa “*Action*”. Deixar a opção “*Always Show*” marcada em “*Analysis Monitor Options*”. Clicar em “*Run Now*” para iniciar a análise.



35. Após o término da análise, conferir se há algum aviso de problema na caixa flutuante que se abre. Nesta mesma é possível conferir diversas informações da análise realizada.



```
Analysis Complete - Opção 6_Casa de Transferência_Travamento Inferior
File Name: C:\Users\Pedro\Desktop\Trabalho artur\Opção 6_Casa de Transferência_Travamento Inferior.SDB
Start Time: 22/01/2016 12:08:14 Elapsed Time: 00:00:27
Finish Time: 22/01/2016 12:08:41 Run Status: Done - Analysis Complete

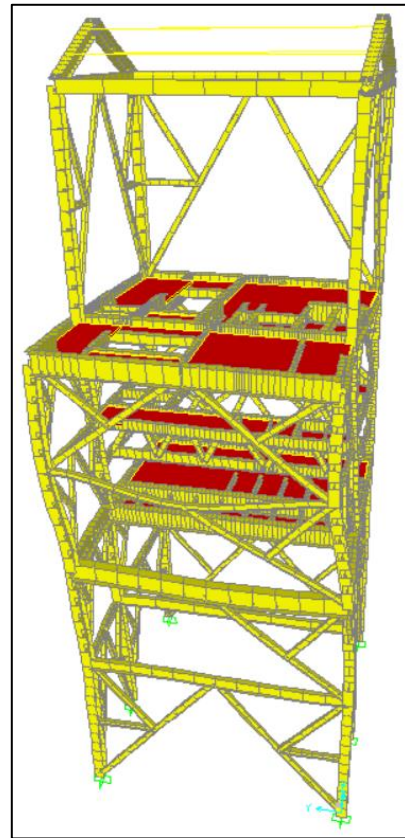
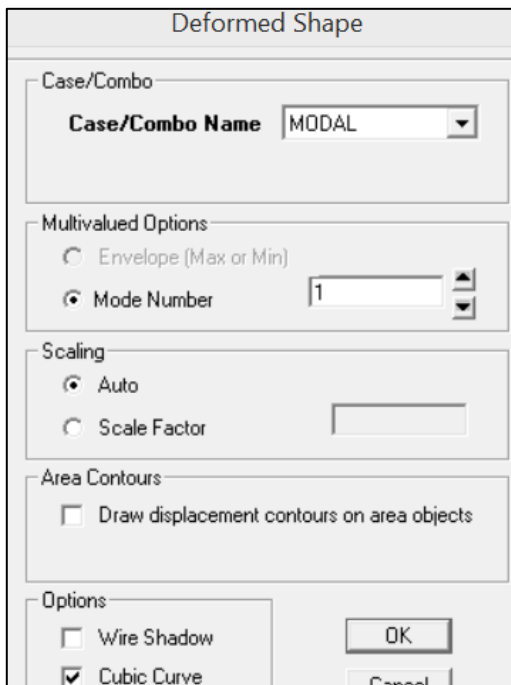
STEADY-STATE ANALYSIS 12:08:26
CASE: CARGA DINAMICA
USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS
MINIMUM FREQUENCY IN RANGE (HZ) = .000000
MAXIMUM FREQUENCY IN RANGE (HZ) = 20.000000
NUMBER OF UNIFORM FREQUENCY INCREMENTS = 80
NUMBER OF DIRECTLY SPECIFIED FREQUENCIES = 0
NUMBER OF FREQUENCY LOCATIONS PER MODE = 0
TOTAL NUMBER OF FREQUENCIES TO BE SOLVED = 81

      Saved      Frequency      Current
      Steps      Step Type      Freq(Hz)
Limit      81
Curr       81   Uniform Incr 20.000000

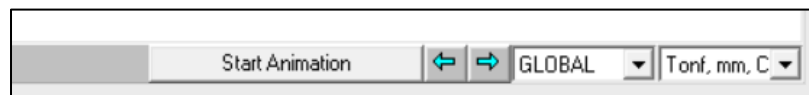
TOTAL NUMBER OF STEPS SAVED = 81
```

Pós-processamento

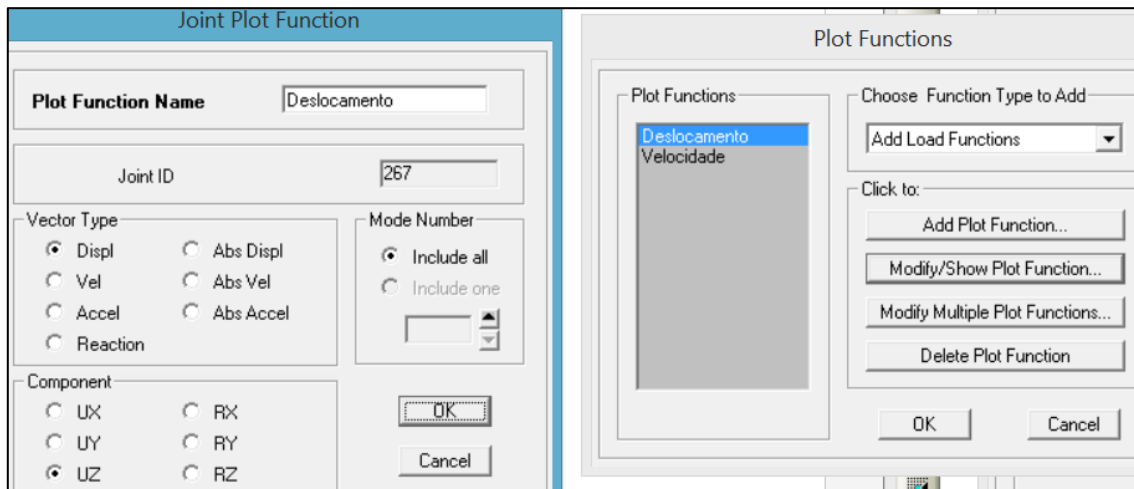
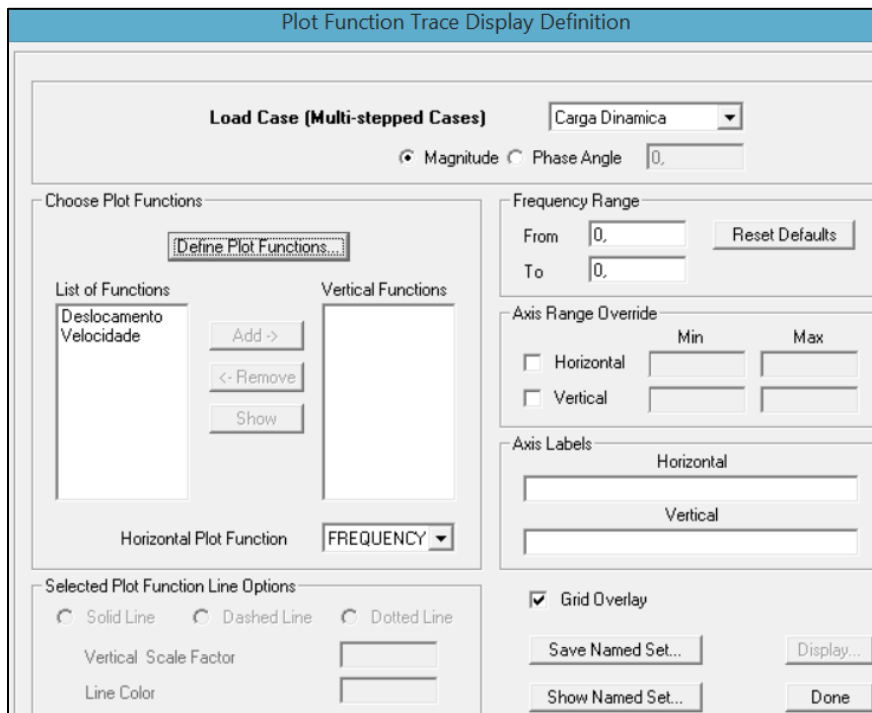
36. Para observar os resultados gráficos da deformação da estrutura referentes aos diferentes padrões de carregamento, seleciona a aba “Display”, “Show Deformed Shape...”. Escolha um caso em “Case/Combo Name” e as opções adequadas para o caso. Para as deformadas modais, selecione “MODAL”, o modo desejado e confirme.



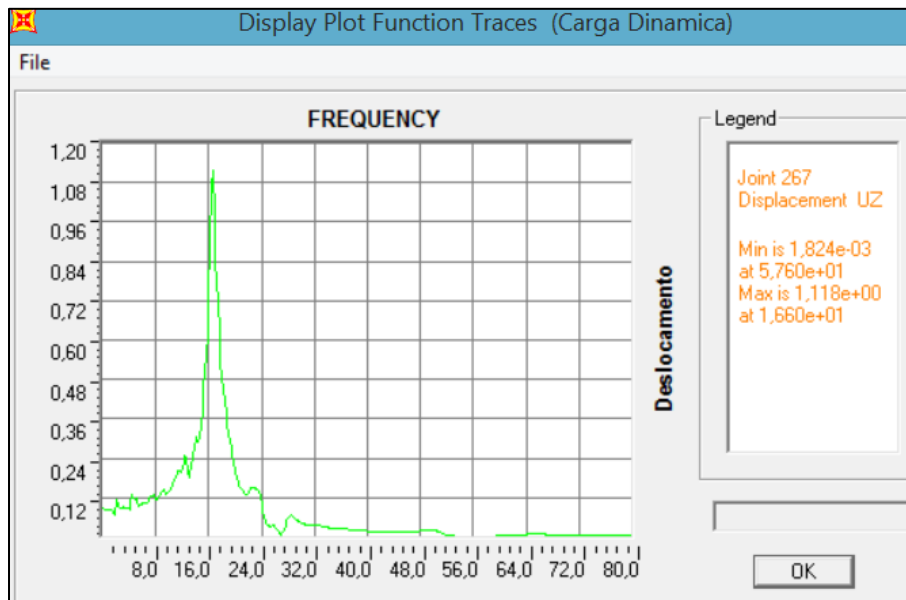
37. Para visualizar o modo de vibração, clicar em “*Start Animation*” na parte inferior da tela. Pode-se transitar entre os diferentes modos de vibração clicando na setas ao lado.



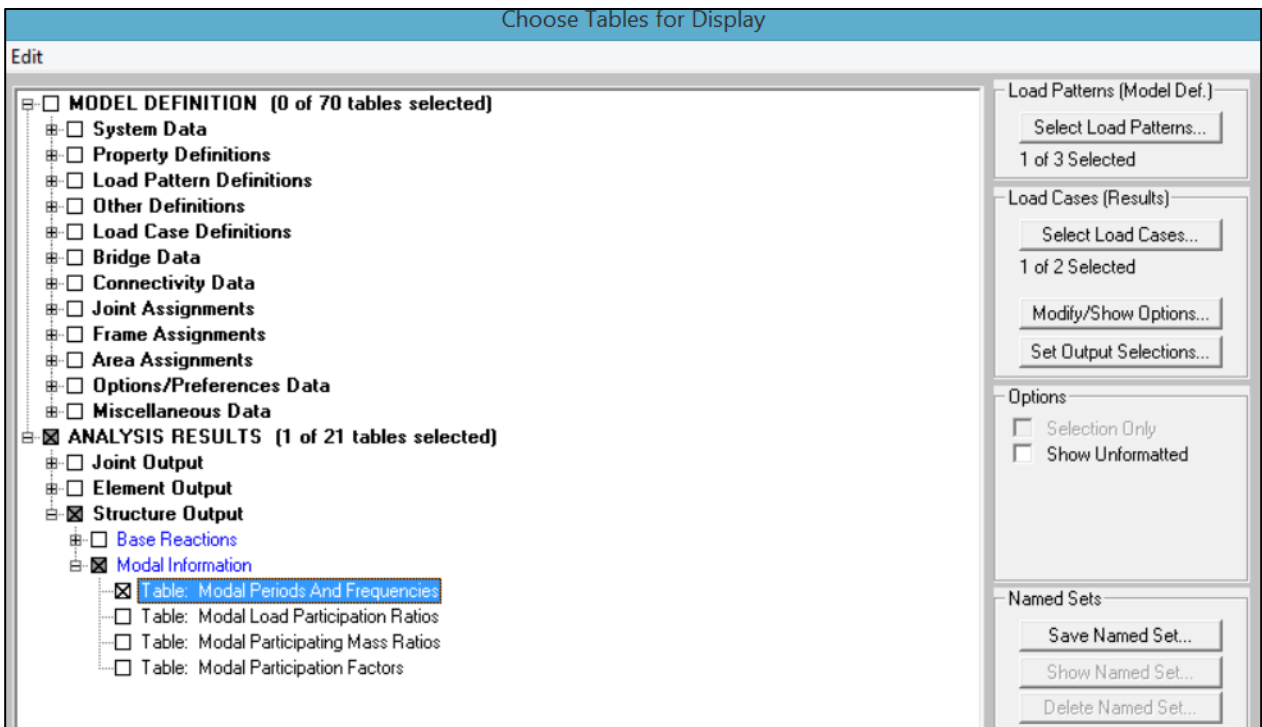
38. Para visualizar as amplitudes do movimento de um nó em função da frequência, selecionar o nó a ser investigado (nó 267) e clicar na aba “*Display*”, “*Show Plot Functions...*”. Selecionar o nó em “*List of Functions*” e clicar em “*Define Plot Functions...*”. Selecionar novamente o nó e clicar em “*Modify/Show Plot Function*”. Renomear o nome da função e escolher quais dados serão exibidos.



39. Na janela “*Plot Function Trace Display Definition*”, seleccionar novamente o nó a ser investigado e clicar em “Add ->”. Marcar “Carga Dinamica” em “*Load Case*” e “*Frequency*” em “*Horizontal Plot Function*”. Clique em “*Display*”.



40. Todas as informações referentes à análise e os resultados para cada nó e elemento se são listadas na aba “*Display*”, *Show Tables...*”. As informações a serem exibidas são selecionadas nas caixas da cascata à esquerda, e pode-se filtrar os casos de carregamento nas opções à direita.



41. Para listar os modos de vibração e frequências naturais, selecionar as caixas “*ANALYSIS RESULTS*”, “*Structure Output*”, “*Modal information*”, “*Table: Modal Periods na Frequencies*”.

Modal Periods And Frequencies							
File View Format-Filter-Sort Select Options							
Units: As Noted					Modal Periods And Frequencies		
	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
▶	MODAL	Mode	1	0,520367	1,9217	12,075	145,79
	MODAL	Mode	2	0,389194	2,5694	16,144	260,63
	MODAL	Mode	3	0,236413	4,2299	26,577	706,34
	MODAL	Mode	4	0,209398	4,7756	30,006	900,35
	MODAL	Mode	5	0,192329	5,1994	32,669	1067,3
	MODAL	Mode	6	0,188686	5,2998	33,3	1108,9
	MODAL	Mode	7	0,175802	5,6882	35,74	1277,4
	MODAL	Mode	8	0,173912	5,75	36,129	1305,3

Anexo B – Frequências Naturais da Estrutura Original

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,520479	1,9213	12,072	145,73
MODAL	Mode	2	0,388183	2,5761	16,186	261,99
MODAL	Mode	3	0,235094	4,2536	26,726	714,29
MODAL	Mode	4	0,209964	4,7627	29,925	895,51
MODAL	Mode	5	0,192896	5,1841	32,573	1061
MODAL	Mode	6	0,190719	5,2433	32,945	1085,4
MODAL	Mode	7	0,175435	5,7001	35,815	1282,7
MODAL	Mode	8	0,173989	5,7475	36,113	1304,1
MODAL	Mode	9	0,16836	5,9396	37,32	1392,8
MODAL	Mode	10	0,168206	5,9451	37,354	1395,3
MODAL	Mode	11	0,164714	6,0711	38,146	1455,1
MODAL	Mode	12	0,1634	6,12	38,453	1478,6
MODAL	Mode	13	0,148346	6,741	42,355	1793,9
MODAL	Mode	14	0,144757	6,9081	43,405	1884
MODAL	Mode	15	0,143019	6,9921	43,932	1930,1
MODAL	Mode	16	0,140196	7,1329	44,817	2008,6
MODAL	Mode	17	0,136939	7,3025	45,883	2105,3
MODAL	Mode	18	0,12961	7,7154	48,478	2350,1
MODAL	Mode	19	0,126587	7,8997	49,635	2463,7
MODAL	Mode	20	0,124762	8,0153	50,361	2536,3
MODAL	Mode	21	0,123796	8,0778	50,754	2576
MODAL	Mode	22	0,113436	8,8155	55,39	3068
MODAL	Mode	23	0,112518	8,8874	55,841	3118,3
MODAL	Mode	24	0,108594	9,2086	57,86	3347,7
MODAL	Mode	25	0,107224	9,3263	58,599	3433,8
MODAL	Mode	26	0,104561	9,5638	60,091	3610,9
MODAL	Mode	27	0,104158	9,6008	60,323	3638,9
MODAL	Mode	28	0,104073	9,6086	60,373	3644,9
MODAL	Mode	29	0,097088	10,3	64,716	4188,2
MODAL	Mode	30	0,095	10,526	66,139	4374,3
MODAL	Mode	31	0,091044	10,984	69,013	4762,8
MODAL	Mode	32	0,090054	11,104	69,771	4868
MODAL	Mode	33	0,089632	11,157	70,1	4914
MODAL	Mode	34	0,084865	11,783	74,038	5481,6
MODAL	Mode	35	0,081689	12,242	76,916	5916,1

MODAL	Mode	36	0,079145	12,635	79,388	6302,5
MODAL	Mode	37	0,078387	12,757	80,156	6424,9
MODAL	Mode	38	0,077846	12,846	80,713	6514,6
MODAL	Mode	39	0,075592	13,229	83,12	6908,9
MODAL	Mode	40	0,075153	13,306	83,606	6989,9
MODAL	Mode	41	0,074691	13,388	84,122	7076,6
MODAL	Mode	42	0,07341	13,622	85,591	7325,7
MODAL	Mode	43	0,071118	14,061	88,349	7805,5
MODAL	Mode	44	0,070851	14,114	88,682	7864,5
MODAL	Mode	45	0,070124	14,26	89,601	8028,3
MODAL	Mode	46	0,069591	14,37	90,287	8151,8
MODAL	Mode	47	0,067741	14,762	92,753	8603,2
MODAL	Mode	48	0,067156	14,891	93,561	8753,7
MODAL	Mode	49	0,06651	15,035	94,469	8924,4
MODAL	Mode	50	0,064401	15,528	97,564	9518,7
MODAL	Mode	51	0,063778	15,679	98,516	9705,5
MODAL	Mode	52	0,063537	15,739	98,89	9779,3
MODAL	Mode	53	0,062186	16,081	101,04	10209
MODAL	Mode	54	0,061774	16,188	101,71	10346
MODAL	Mode	55	0,060686	16,478	103,54	10720
MODAL	Mode	56	0,060131	16,63	104,49	10918
MODAL	Mode	57	0,059728	16,742	105,2	11066
MODAL	Mode	58	0,057905	17,27	108,51	11774
MODAL	Mode	59	0,055693	17,956	112,82	12728
MODAL	Mode	60	0,055671	17,963	112,86	12738
MODAL	Mode	61	0,052909	18,9	118,76	14103
MODAL	Mode	62	0,05284	18,925	118,91	14140
MODAL	Mode	63	0,052742	18,96	119,13	14192
MODAL	Mode	64	0,052146	19,177	120,49	14518
MODAL	Mode	65	0,050616	19,757	124,13	15409
MODAL	Mode	66	0,049382	20,25	127,24	16189
MODAL	Mode	67	0,048568	20,59	129,37	16736
MODAL	Mode	68	0,048155	20,766	130,48	17025
MODAL	Mode	69	0,047919	20,869	131,12	17193
MODAL	Mode	70	0,047258	21,16	132,95	17677
MODAL	Mode	71	0,044996	22,224	139,64	19499
MODAL	Mode	72	0,04499	22,227	139,66	19504

MODAL	Mode	73	0,04433	22,558	141,74	20090
MODAL	Mode	74	0,043971	22,742	142,89	20419
MODAL	Mode	75	0,043732	22,866	143,67	20642
MODAL	Mode	76	0,043587	22,943	144,15	20780
MODAL	Mode	77	0,043137	23,182	145,66	21216
MODAL	Mode	78	0,043093	23,205	145,8	21259
MODAL	Mode	79	0,042324	23,627	148,46	22039
MODAL	Mode	80	0,041596	24,041	151,05	22817
MODAL	Mode	81	0,040727	24,554	154,28	23801
MODAL	Mode	82	0,039926	25,046	157,37	24766
MODAL	Mode	83	0,039729	25,171	158,15	25012
MODAL	Mode	84	0,039515	25,307	159,01	25283
MODAL	Mode	85	0,039437	25,357	159,32	25384
MODAL	Mode	86	0,038684	25,851	162,43	26382
MODAL	Mode	87	0,03753	26,645	167,42	28028
MODAL	Mode	88	0,037307	26,804	168,42	28364
MODAL	Mode	89	0,037217	26,869	168,83	28502
MODAL	Mode	90	0,037194	26,886	168,93	28537
MODAL	Mode	91	0,036492	27,403	172,18	29646
MODAL	Mode	92	0,035663	28,041	176,18	31041
MODAL	Mode	93	0,034479	29,003	182,23	33209
MODAL	Mode	94	0,034227	29,217	183,58	33700
MODAL	Mode	95	0,034023	29,392	184,68	34105
MODAL	Mode	96	0,033737	29,641	186,24	34684
MODAL	Mode	97	0,03313	30,184	189,65	35967
MODAL	Mode	98	0,032396	30,868	193,95	37617
MODAL	Mode	99	0,031777	31,469	197,73	39096
MODAL	Mode	100	0,03168	31,566	198,34	39337
MODAL	Mode	101	0,031445	31,801	199,81	39925
MODAL	Mode	102	0,031247	32,003	201,08	40433
MODAL	Mode	103	0,031138	32,115	201,78	40717
MODAL	Mode	104	0,030628	32,649	205,14	42083
MODAL	Mode	105	0,030533	32,751	205,78	42346
MODAL	Mode	106	0,030271	33,035	207,56	43083
MODAL	Mode	107	0,030017	33,315	209,32	43816
MODAL	Mode	108	0,029854	33,496	210,46	44295
MODAL	Mode	109	0,02955	33,842	212,63	45213
MODAL	Mode	110	0,029126	34,334	215,73	46538

MODAL	Mode	111	0,028978	34,509	216,83	47015
MODAL	Mode	112	0,028896	34,607	217,44	47281
MODAL	Mode	113	0,028685	34,861	219,04	47979
MODAL	Mode	114	0,028342	35,283	221,69	49146
MODAL	Mode	115	0,027611	36,217	227,56	51782
MODAL	Mode	116	0,027004	37,032	232,68	54138
MODAL	Mode	117	0,026817	37,289	234,3	54894
MODAL	Mode	118	0,025718	38,883	244,31	59686
MODAL	Mode	119	0,02542	39,34	247,18	61097
MODAL	Mode	120	0,024227	41,276	259,35	67261
MODAL	Mode	121	0,023288	42,94	269,8	72792
MODAL	Mode	122	0,02283	43,802	275,22	75744
MODAL	Mode	123	0,022366	44,711	280,93	78921
MODAL	Mode	124	0,021828	45,812	287,85	82856
MODAL	Mode	125	0,02177	45,934	288,61	83298
MODAL	Mode	126	0,021385	46,763	293,82	86329
MODAL	Mode	127	0,020802	48,072	302,04	91231
MODAL	Mode	128	0,020563	48,63	305,55	93363
MODAL	Mode	129	0,019485	51,32	322,46	103980
MODAL	Mode	130	0,019403	51,539	323,83	104860
MODAL	Mode	131	0,019219	52,031	326,92	106880
MODAL	Mode	132	0,018831	53,103	333,66	111330
MODAL	Mode	133	0,018727	53,4	335,52	112570
MODAL	Mode	134	0,018572	53,845	338,32	114460
MODAL	Mode	135	0,018423	54,279	341,05	116310
MODAL	Mode	136	0,018175	55,021	345,71	119510
MODAL	Mode	137	0,017312	57,762	362,93	131720
MODAL	Mode	138	0,016823	59,442	373,49	139490
MODAL	Mode	139	0,016625	60,151	377,94	142840
MODAL	Mode	140	0,016552	60,417	379,61	144100
MODAL	Mode	141	0,01634	61,199	384,52	147860
MODAL	Mode	142	0,016306	61,327	385,33	148480
MODAL	Mode	143	0,016286	61,402	385,8	148840
MODAL	Mode	144	0,016269	61,467	386,21	149160
MODAL	Mode	145	0,016202	61,721	387,81	150390
MODAL	Mode	146	0,016083	62,179	390,68	152630
MODAL	Mode	147	0,016065	62,247	391,11	152960
MODAL	Mode	148	0,01567	63,818	400,98	160780
MODAL	Mode	149	0,015626	63,996	402,1	161680
MODAL	Mode	150	0,015595	64,122	402,89	162320

Anexo C - Frequências Naturais da Estrutura Modificada

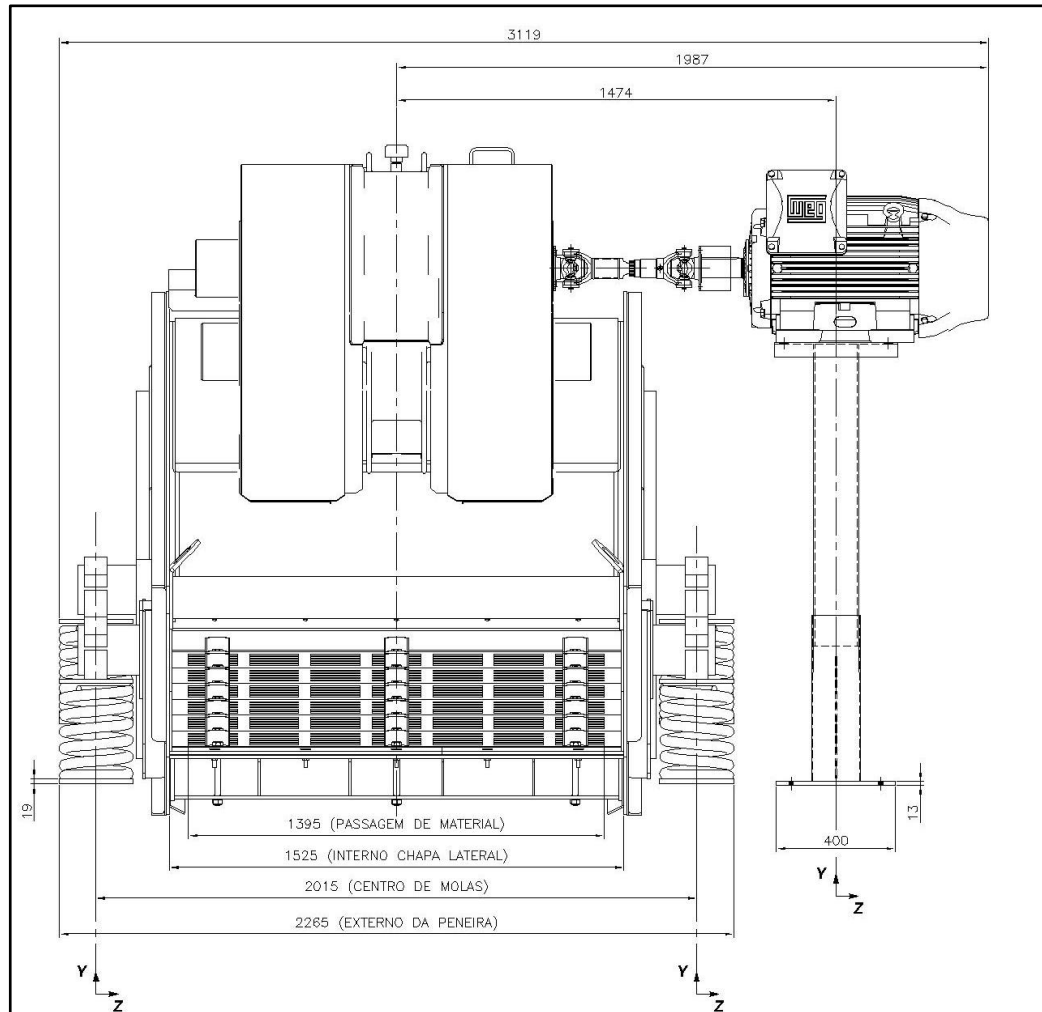
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,520367	1,9217	12,075	145,79
MODAL	Mode	2	0,389194	2,5694	16,144	260,63
MODAL	Mode	3	0,236413	4,2299	26,577	706,34
MODAL	Mode	4	0,209398	4,7756	30,006	900,35
MODAL	Mode	5	0,192329	5,1994	32,669	1067,3
MODAL	Mode	6	0,188686	5,2998	33,3	1108,9
MODAL	Mode	7	0,175802	5,6882	35,74	1277,4
MODAL	Mode	8	0,173912	5,75	36,129	1305,3
MODAL	Mode	9	0,168328	5,9408	37,327	1393,3
MODAL	Mode	10	0,168245	5,9437	37,345	1394,7
MODAL	Mode	11	0,164711	6,0712	38,147	1455,2
MODAL	Mode	12	0,164044	6,0959	38,302	1467
MODAL	Mode	13	0,145521	6,8718	43,177	1864,3
MODAL	Mode	14	0,141322	7,076	44,46	1976,7
MODAL	Mode	15	0,140084	7,1386	44,853	2011,8
MODAL	Mode	16	0,136915	7,3038	45,891	2106
MODAL	Mode	17	0,126448	7,9084	49,69	2469,1
MODAL	Mode	18	0,1255	7,9681	50,065	2506,5
MODAL	Mode	19	0,123872	8,0729	50,723	2572,9
MODAL	Mode	20	0,123008	8,1295	51,079	2609,1
MODAL	Mode	21	0,113258	8,8294	55,477	3077,7
MODAL	Mode	22	0,107677	9,287	58,352	3405
MODAL	Mode	23	0,105637	9,4664	59,479	3537,8
MODAL	Mode	24	0,104557	9,5641	60,093	3611,2
MODAL	Mode	25	0,104158	9,6008	60,324	3639
MODAL	Mode	26	0,104005	9,6149	60,412	3649,6
MODAL	Mode	27	0,097071	10,302	64,728	4189,7
MODAL	Mode	28	0,094906	10,537	66,204	4383
MODAL	Mode	29	0,090072	11,102	69,758	4866,1
MODAL	Mode	30	0,09004	11,106	69,782	4869,5
MODAL	Mode	31	0,089259	11,203	70,392	4955,1
MODAL	Mode	32	0,086039	11,623	73,028	5333
MODAL	Mode	33	0,084588	11,822	74,28	5517,5
MODAL	Mode	34	0,083214	12,017	75,506	5701,2
MODAL	Mode	35	0,080617	12,404	77,939	6074,5
MODAL	Mode	36	0,079398	12,595	79,135	6262,4

MODAL	Mode	37	0,078598	12,723	79,941	6390,6
MODAL	Mode	38	0,077778	12,857	80,783	6525,9
MODAL	Mode	39	0,07556	13,235	83,155	6914,8
MODAL	Mode	40	0,075138	13,309	83,622	6992,6
MODAL	Mode	41	0,074121	13,491	84,769	7185,8
MODAL	Mode	42	0,073282	13,646	85,74	7351,3
MODAL	Mode	43	0,071118	14,061	88,349	7805,6
MODAL	Mode	44	0,070844	14,115	88,69	7865,9
MODAL	Mode	45	0,070289	14,227	89,39	7990,6
MODAL	Mode	46	0,069604	14,367	90,271	8148,8
MODAL	Mode	47	0,067446	14,827	93,159	8678,6
MODAL	Mode	48	0,066716	14,989	94,179	8869,6
MODAL	Mode	49	0,0665	15,038	94,484	8927,2
MODAL	Mode	50	0,064308	15,55	97,705	9546,2
MODAL	Mode	51	0,063744	15,688	98,57	9716
MODAL	Mode	52	0,063505	15,747	98,939	9789
MODAL	Mode	53	0,062186	16,081	101,04	10209
MODAL	Mode	54	0,061824	16,175	101,63	10329
MODAL	Mode	55	0,060729	16,467	103,46	10705
MODAL	Mode	56	0,060379	16,562	104,06	10829
MODAL	Mode	57	0,05818	17,188	108	11663
MODAL	Mode	58	0,057772	17,309	108,76	11828
MODAL	Mode	59	0,055513	18,014	113,18	12811
MODAL	Mode	60	0,055119	18,143	113,99	12995
MODAL	Mode	61	0,052904	18,902	118,77	14105
MODAL	Mode	62	0,052807	18,937	118,98	14157
MODAL	Mode	63	0,052131	19,182	120,53	14526
MODAL	Mode	64	0,050268	19,893	124,99	15623
MODAL	Mode	65	0,049658	20,138	126,53	16010
MODAL	Mode	66	0,048401	20,661	129,82	16852
MODAL	Mode	67	0,047894	20,88	131,19	17211
MODAL	Mode	68	0,045172	22,138	139,09	19347
MODAL	Mode	69	0,044457	22,494	141,33	19974
MODAL	Mode	70	0,044326	22,56	141,75	20093
MODAL	Mode	71	0,043992	22,732	142,83	20399
MODAL	Mode	72	0,043766	22,849	143,56	20610
MODAL	Mode	73	0,043571	22,951	144,21	20795
MODAL	Mode	74	0,04314	23,18	145,65	21213
MODAL	Mode	75	0,043094	23,205	145,8	21259
MODAL	Mode	76	0,0427	23,419	147,15	21652
MODAL	Mode	77	0,042287	23,648	148,58	22077

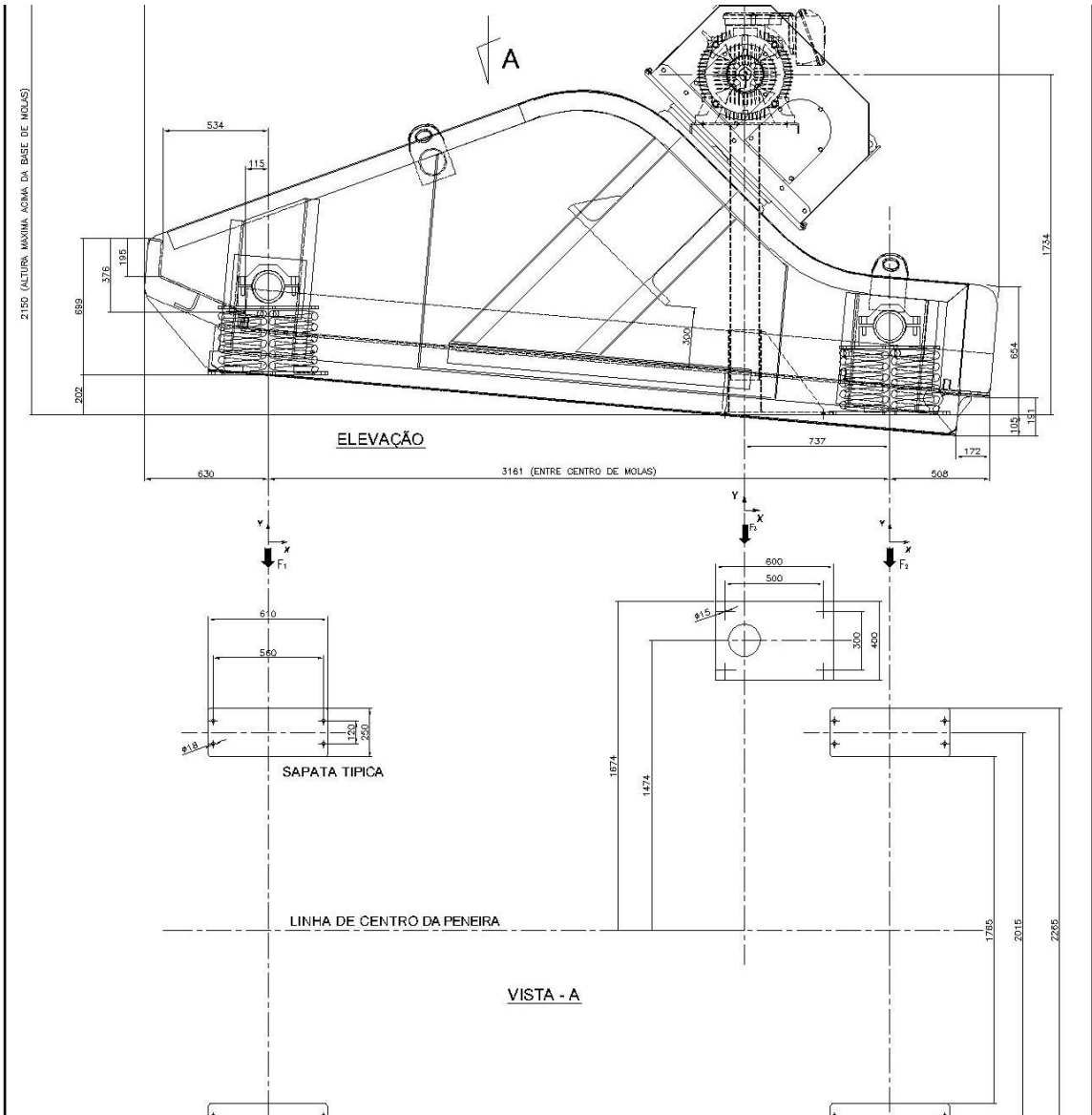
MODAL	Mode	77	0,042287	23,648	148,58	22077
MODAL	Mode	78	0,041942	23,842	149,81	22442
MODAL	Mode	79	0,041329	24,196	152,03	23113
MODAL	Mode	80	0,040714	24,561	154,32	23816
MODAL	Mode	81	0,040484	24,701	155,2	24088
MODAL	Mode	82	0,03964	25,227	158,51	25124
MODAL	Mode	83	0,039442	25,354	159,3	25378
MODAL	Mode	84	0,039408	25,375	159,44	25420
MODAL	Mode	85	0,038892	25,712	161,55	26100
MODAL	Mode	86	0,038719	25,827	162,28	26334
MODAL	Mode	87	0,038707	25,835	162,33	26350
MODAL	Mode	88	0,038546	25,943	163	26570
MODAL	Mode	89	0,037845	26,423	166,02	27564
MODAL	Mode	90	0,037606	26,591	167,08	27915
MODAL	Mode	91	0,037223	26,865	168,8	28492
MODAL	Mode	92	0,037189	26,89	168,95	28545
MODAL	Mode	93	0,036453	27,433	172,37	29710
MODAL	Mode	94	0,036105	27,697	174,02	30284
MODAL	Mode	95	0,035595	28,094	176,52	31159
MODAL	Mode	96	0,03551	28,161	176,94	31308
MODAL	Mode	97	0,034226	29,217	183,58	33700
MODAL	Mode	98	0,034001	29,41	184,79	34148
MODAL	Mode	99	0,033387	29,952	188,19	35417
MODAL	Mode	100	0,033194	30,126	189,29	35830
MODAL	Mode	101	0,032191	31,065	195,19	38098
MODAL	Mode	102	0,03187	31,377	197,15	38868
MODAL	Mode	103	0,031513	31,733	199,39	39754
MODAL	Mode	104	0,03144	31,806	199,85	39938
MODAL	Mode	105	0,031263	31,986	200,98	40391
MODAL	Mode	106	0,031029	32,228	202,49	41004
MODAL	Mode	107	0,030532	32,753	205,79	42351
MODAL	Mode	108	0,030173	33,143	208,24	43365
MODAL	Mode	109	0,030066	33,26	208,98	43673
MODAL	Mode	110	0,029844	33,507	210,53	44324
MODAL	Mode	111	0,029449	33,957	213,36	45522
MODAL	Mode	112	0,029119	34,342	215,78	46560
MODAL	Mode	113	0,028866	34,643	217,67	47379
MODAL	Mode	114	0,0286	34,965	219,69	48265
MODAL	Mode	115	0,028428	35,176	221,02	48849
MODAL	Mode	116	0,028061	35,637	223,91	50136
MODAL	Mode	117	0,027645	36,173	227,28	51656
MODAL	Mode	118	0,027409	36,484	229,24	52550

MODAL	Mode	118	0,027409	36,484	229,24	52550
MODAL	Mode	119	0,026857	37,235	233,95	54733
MODAL	Mode	120	0,026088	38,332	240,85	58008
MODAL	Mode	121	0,025228	39,639	249,06	62029
MODAL	Mode	122	0,024769	40,374	253,68	64352
MODAL	Mode	123	0,024414	40,961	257,36	66236
MODAL	Mode	124	0,023272	42,971	269,99	72896
MODAL	Mode	125	0,023	43,479	273,18	74630
MODAL	Mode	126	0,022729	43,996	276,43	76416
MODAL	Mode	127	0,022581	44,285	278,25	77423
MODAL	Mode	128	0,022377	44,688	280,79	78841
MODAL	Mode	129	0,021947	45,563	286,28	81958
MODAL	Mode	130	0,021828	45,812	287,85	82856
MODAL	Mode	131	0,021581	46,337	291,14	84764
MODAL	Mode	132	0,021386	46,76	293,8	86321
MODAL	Mode	133	0,02072	48,262	303,24	91954
MODAL	Mode	134	0,01988	50,303	316,06	99894
MODAL	Mode	135	0,019713	50,728	318,74	101590
MODAL	Mode	136	0,019272	51,888	326,02	106290
MODAL	Mode	137	0,019106	52,339	328,85	108140
MODAL	Mode	138	0,018856	53,033	333,22	111030
MODAL	Mode	139	0,018561	53,875	338,51	114590
MODAL	Mode	140	0,01852	53,994	339,26	115100
MODAL	Mode	141	0,018178	55,012	345,65	119470
MODAL	Mode	142	0,017312	57,763	362,94	131720
MODAL	Mode	143	0,017288	57,844	363,45	132090
MODAL	Mode	144	0,016806	59,503	373,87	139780
MODAL	Mode	145	0,016617	60,178	378,11	142970
MODAL	Mode	146	0,016583	60,304	378,9	143570
MODAL	Mode	147	0,016316	61,29	385,1	148300
MODAL	Mode	148	0,016297	61,361	385,54	148640
MODAL	Mode	149	0,016216	61,666	387,46	150120
MODAL	Mode	150	0,016203	61,716	387,77	150370

Anexo D – Dimensões da Peneira LH 5' x 12' SD



Vista da Descarga da Peneira



Plano das Base