

## ANÁLISE DE EXTENSOMETRIA NA ADEQUAÇÃO DAS MOEGAS DOS EQUIPAMENTOS VV1 E VV2<sup>1</sup>

*Evandro Luiz Cardoso dos Santos<sup>2</sup>*

*Anderson Ferreira Lima<sup>3</sup>*

*Vinícius Donizetti<sup>4</sup>*

*Robson Carvalho<sup>5</sup>*

*Gerson Alves Inácio<sup>6</sup>*

### Resumo

Este tema aborda o redimensionamento das moegas dos viradores de vagões VV1 e VV2, com propósito em estabelecer ações de plano de manutenção que possa aumentar a confiabilidade e funcionamento do equipamento sem que haja paradas repentinas. Com base nas técnicas apresentadas neste assunto, podemos detectar as falhas que levavam os viradores de vagões a perder produção gerando alto custo à empresa. Contudo, este tema visa direcionar uma estratégia na qual modernizou parte do equipamento degradado pelas manutenções corretivas, garantindo mais confiabilidade e garantia operacional. A eficiência das técnicas utilizadas na modernização do equipamento gerou um acompanhamento de rotina eficaz nas programações de preventivas sem gerar custos para a manutenção e produção.

**Palavras-chave:** Moegas; Manutenção; Confiabilidade; Garantia operacional.

### THE IMPORTANCE OF IMPROVEMENTS OF FITNESS EQUIPMENT HOPPERS VV1 AND VV2

#### Abstract

This theme addresses the scaling of hoppers and VV1 VV2, purposeful actions to establish maintenance plan that can increase the reliability and operation of the equipment without sudden stops. Based on the techniques presented in this matter, we can detect the flaws that led the car dumpers to lose production causing high cost to the company. However, this theme aims to direct a strategy in which part of modernized equipment degraded by corrective maintenance, ensuring greater reliability and operational assurance. The efficiency of the techniques used in the modernization of equipment generated a routine follow-up on effective preventive schedules without generating costs for maintenance and production.

**Keywords:** Hoppers; Maintenance; Reliability; Operational warranty.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Tecnólogo em Manutenção Industrial da FASF; Analista de Projeto Sênior da Vale.

<sup>3</sup> Tecnólogo em Manutenção Industrial da FASF.

<sup>4</sup> Engenheiro de Projetos Sênior da Vale.

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia; Gerente de Implantação de Obras da Vale.

<sup>6</sup> Mestre em Engenharia; Coordenador do Curso Superior em Manutenção Industrial-FASF.

## 1 INTRODUÇÃO

A Importância deste trabalho é de estabelecer diretrizes de planejamento e execução das atividades envolvidas na intervenção relevante, referente à substituição das moegas e guias dos viradores de vagões VV1 e VV2 da empresa Vale, localizado no terminal da Ilha Guaíba em Mangaratiba, no Estado do Rio de Janeiro.

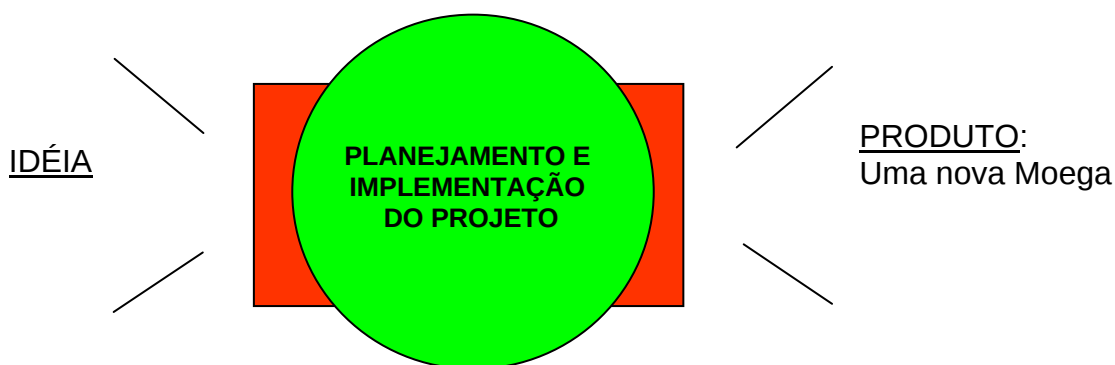
O processo se iniciou em função de um grande número de paradas de emergência e preventivas, no qual causavam o baixo desempenho do equipamento por perda de produção e lucratividade, além de um risco operacional e por fim a depreciação total das estruturas, que estavam totalmente comprometidas na sua forma estrutural e capacitiva para suportar as cargas de impacto acima da nominal.

O início dos estudos se deram em equipamento semelhante, o VV3, que está aplicado na mesma planta, para o qual também foram desenvolvidas melhorias e substituições nas moegas. O desenvolvimento se deu com base nas cargas conhecidas na utilização de uma tecnologia empregada por meio de equipamentos *strain gauge ou extensômetro* que visam medir a deformação de uma estrutura. Nesta operação conseguiu-se detectar os pontos principais de deformação do equipamento, que através das cargas aplicadas provenientes dos impactos dos blocos de minérios compactados pela exposição ao tempo de período de chuva e sol, e que fazem com que o produto final se torne uma carga de impacto com grande energia potencial devido a distância do ponto de deslocamento até o impacto direto na estrutura.

Nas intervenções de oportunidades e com base na geração de laudos emitidos dos extensômetros já instalados, foi possível visualizar a zona de plastificação do material, utilizando elementos finitos, saindo da sua forma primária até ao ponto de ruptura e a falha propriamente dita. No fim dos estudos, os mesmos geraram memoriais descritivos matemáticos, onde constatou-se que as cargas aplicadas eram superiores que as previstas no projeto original, e que mereciam desenvolvimento de um novo projeto para suportar estas cargas.

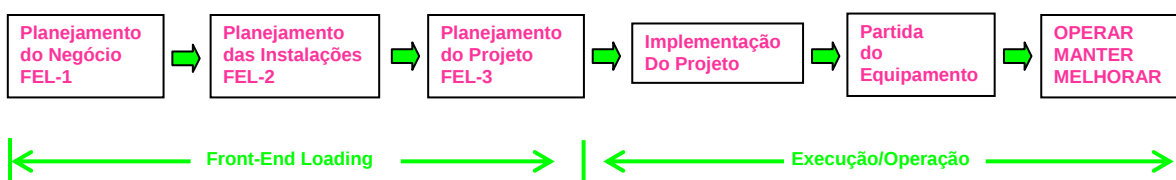
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de desenvolvimento do projeto contou com a aplicação da metodologia de engenharia, chamada – FEL (*Front- End Loading*), que se resume na transformação de uma necessidade de negócio em um plano detalhado para a implementação das instalações físicas. Para conhecer um pouco mais sobre esta metodologia aplicada ao projeto, precisa-se conhecer toda a estrutura gerada na concepção e dar prosseguimento a partir de entradas e saídas, utilizando os portões de decisão (*Gatekeeping*) que geram tomadas de decisões sendo primordiais para o sucesso do empreendimento.<sup>(1)</sup> Os seguintes passos iniciais foram tomados: definição do projeto (Figura 1); definição das etapas do projeto; aplicação do *Front-End Loading* (FEL) e *Gatekeeping* (portões de decisão).



**Figura 1.** Concepção de projeto e processo.

Na aplicação da metodologia o processo é linear, a saída de um processo é entrada para o seguinte e assim dando sequência, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Processo linear.

Na sequência do processo são identificadas as entradas e é dado início aos trabalhos com a estratégia e necessidades do negócio. Com base na coleta de dados de um perfil de perdas, além dos laudos de vibração (extensômetros) e com as cargas conhecidas partiu-se para o processo propriamente dito com o desenvolvimento do projeto conceitual. Na fase do projeto conceitual, são confirmados resultados de pesquisas, objetivos e estratégias definidos anteriormente. Desta forma, pode se verificar se os conceitos estão coerentes.

Em um projeto conceitual, devem ser utilizadas diversas técnicas relacionadas à criatividade para auxiliar no desenvolvimento de idéias que surgiram em fases anteriores e novos conceitos. Podem ser realizados muitos rascunhos e esboços com ou sem elementos inovadores. No entanto, uma coerência com a estratégia da empresa precisa ser enfatizada. Os objetivos devem estar de acordo com a estratégia, restrições e oportunidades que devem ser definidos levando em consideração novas tecnologias e necessidades do mercado. Estes objetivos podem ser reformulados conforme a realidade e podem exigir mudanças de postura com novos problemas e ampliações ou retrações do mercado. Certos limites definidos durante a fase de planejamento devem ser avaliados no projeto conceitual para estudar a viabilidade de fabricação do produto. Nesta fase começaram a serem desenvolvidos os aspectos formais e funcionais do produto que devem estar de acordo com o benefício. O projeto conceitual é uma fase importante do processo de produção onde são desenvolvidas as primeiras idéias concretas em busca da criação de um produto adequado às necessidades a serem implementadas.

## 2.1 Planejamento

Antes de um produto (no caso – equipamento) ser projetado, devem ser analisados fatores relacionados à identidade do produto, e os recursos de infraestrutura e tecnológicos utilizados pelos concorrentes. Além disso, o equipamento

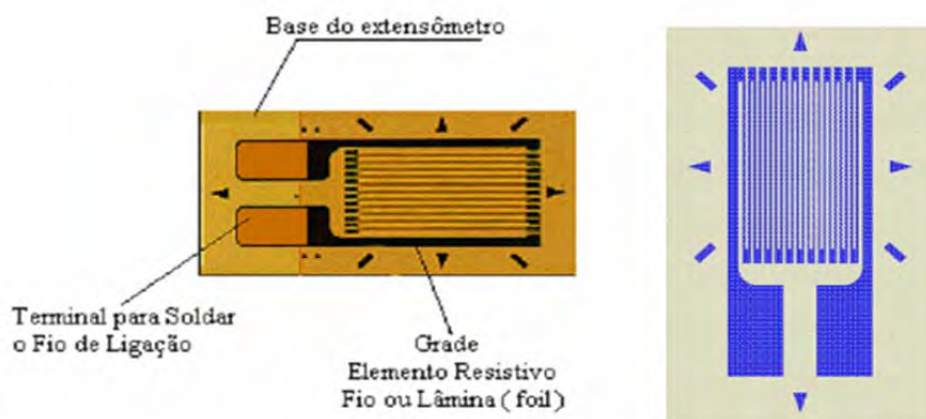
deve ser recebido pelo setor operacional de acordo com suas expectativas, explorando valores de produção, além de uma boa performance operacional.

O planejamento é um processo gerencial, ou seja, pensar em planejamento significa, portanto, pensar em gerenciamento. No desenvolvimento desta etapa foi adotado como tarefa principal o ponto focal logístico, daquilo que viria a ser toda a entrega do projeto na sua forma física, de modo a transportá-lo em seu estado real assim, bem como, armazená-lo próximo ao local da obra. A tática adotada trouxe ao plano uma visualização de todo o conjunto das demais tarefas na qual estavam por vir.

## 2.2. Procedimento Experimental

Nesta fase o ensaio extensométrico foi realizado nas moegas do VV3 após a implantação do projeto de reforços sugeridos para operação com descarga de blocos de minério compactados, a fim de validar as premissas de carga consideradas para dimensionamento do mesmo.

A extensometria de resistência elétrica é uma técnica experimental que permite medir as deformações que ocorrem à superfície de um corpo. Um extensômetro elétrico ou *strain-gage*, é constituído por um fio muito fino colado a um suporte denominado base do extensômetro, como mostrado na Figura 3.<sup>(2)</sup>



**Figura 3.** Configuração básica de um extensômetro.<sup>(3)</sup>

Para ser utilizado o extensômetro é colado na superfície do corpo, quando este se deforma, o extensômetro também se deforma. A medida da variação da resistência elétrica entre os terminais permite quantificar a extensão ocorrida na superfície do corpo, pois a resistência,  $R$ , de um fio condutor é dada pela multiplicação da resistividade específica pelo comprimento do elemento resistivo dividido pela área da seção transversal do elemento resistivo.

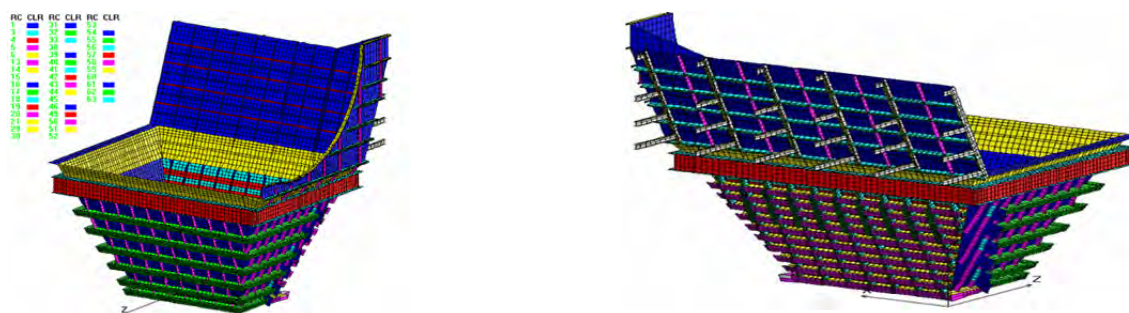
O ensaio extensométrico consiste em medir as deformações estruturais que ocorrem devido aos carregamentos provenientes da operação dos equipamentos. Para que seja possível a medição das deformações, a estrutura que será monitorada deverá ser instrumentada. A instrumentação da estrutura consiste em colagem de sensores diretamente na estrutura, os quais são ligados por meio de cabos a um coletor de sinais. Nesse coletor o sinal analógico coletado é digitalizado por meio de um conversor analógico-digital, além de ser amplificado para aumentar a resolução do sinal e ser filtrado para eliminar possíveis ruídos. Por fim, através de softwares

são fornecidos gráficos dos sinais coletados pelos sensores que ilustram o comportamento da estrutura quanto à deformação sofrida em função do tempo.

No caso das moegas do VV3, o carregamento operacional considerado para medição das deformações foi a descarga de blocos de minério compactada. Com o gráfico dos sensores em mãos é realizada uma comparação teórica x experimental com a principal finalidade de calibrar as premissas iniciais de cálculo. Por exemplo, para as moegas do VV3 admite-se que as informações quanto à propriedade dos materiais e a geometria do problema estão definidas, ficando faltando então, para o completo entendimento do problema, a definição das cargas. Então, no modelo teórico os dados de entrada referentes à carga serão variados até que a estrutura tenha o mesmo comportamento quanto às deformações obtidas no ensaio extensométrico. Dessa forma é obtido o valor experimental do carregamento que até então foi tratado como puramente teórico.

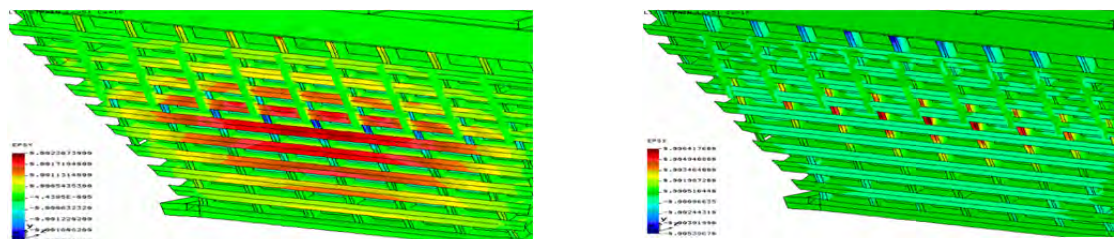
## 2.3 Análise Teórica

Inicialmente é realizada a análise estrutural através do método de elementos finitos.<sup>(4)</sup> Nessa etapa o carregamento considerado é desenvolvido através de métodos puramente teóricos. Na Figura 4 são apresentadas as figuras do modelo de elementos finitos utilizado para a realização da análise teórica.



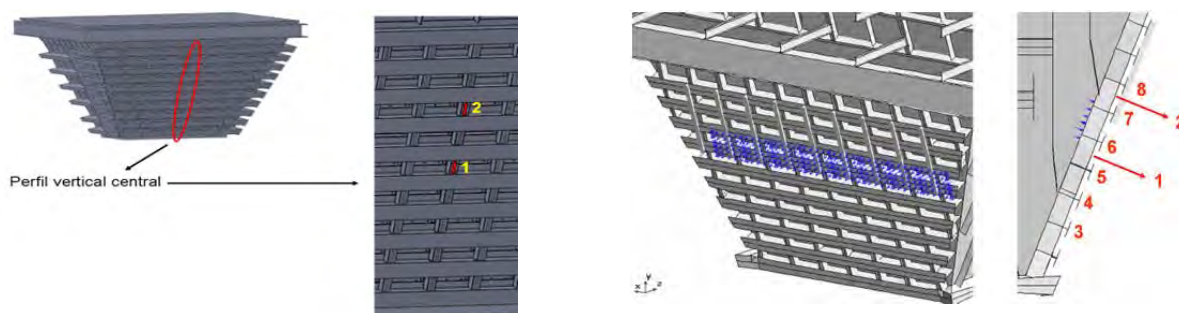
**Figura 4.** Modelo de elementos finitos - Moega VV3: a) frente) e b) traseira.

Após o processamento, os resultados obtidos permitem identificar os maiores pontos de deformação nas posições horizontal e vertical da estrutura, como mostrado na Figura 5, reforçando que para obtenção dessas informações os dados de entrada da análise são teóricos.



**Figura 5.** Distribuição de deformações teóricas direcionais [m/m]: a) direção horizontal e b) vertical.

Os pontos de maior deformação, como mostrado na Figura 6, são então identificados e os mesmos são escolhidos para o monitoramento através das medições experimentais de deformações em campo pelo método da extensometria.

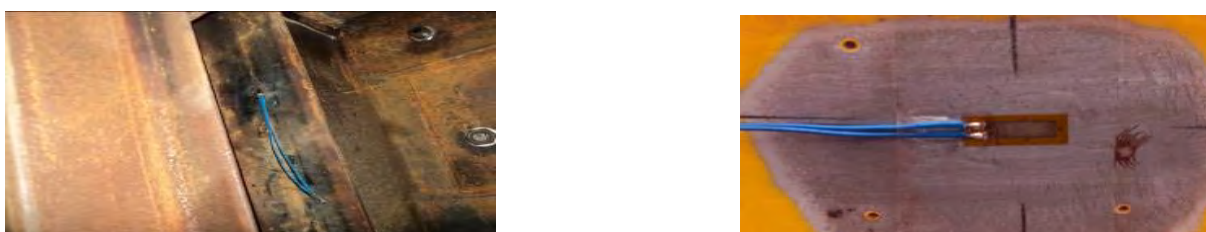


**Figura 6.** Definição dos pontos para extensometria.

## 2.4 Análise Experimental

Em campo os extensômetros são colados na estrutura, e os mesmos são conectados ao coletor de sinais por meio de cabos permitindo assim o início do monitoramento. Durante as medições de deformação foram selecionados os vagões cujo tipo de minério apresenta as características de blocos compactados, porém se as medições efetuadas são referentes ao tipo de descarga desejada só é possível determinar em etapa posterior, onde se tratam e interpretam os dados. Para possibilitar maior facilidade na posterior interpretação dos dados coletados a descarga dos vagões é filmada simultaneamente em tempo real.

Para a realização do ensaio os seguintes equipamentos foram utilizados: sistema de aquisição de dados modular ADS 2000-Lynx de 16 canais, notebook Core 2 Duo, 4Gb de memória RAM, marca DELL, extensômetros unidirecionais PA-06-250BA-120L, software de aquisição de sinais AqDados versão 7.02 e software de análise de sinais AqDAnalysis 7. Cabos, fios, conectores, lixadeiras, silicone e adesivo instantâneo (composição éster de cianocrilato). Da Figura 7 a 10 são apresentadas fotos referentes à preparação das medições na moega do virador e alguns equipamentos utilizados.



**Figura 7.** Detalhes dos extensômetros colados no Virador de Vagões.



**Figura 8.** Leitura da posição e proteção do sensor.



**Figura 9.** Extensômetros colados no perfil horizontal e conectados ao cabeamento.



**Figura 10.** Sistema de Aquisição utilizado.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Deformações

A medição é realizada com a finalidade de monitorar a deformação estrutural decorrente da operação de descarga de blocos de minério compactados. Devido à variabilidade do carregamento são realizadas medições de 10 procedimentos de descarga, para posteriormente ser analisadas e então definir quais são as que correspondem a bloco de minério compactado. A Tabela 1 apresenta os valores pico de deformações lidas experimentalmente na estrutura da moega do virador de vagões VV3.

**Tabela 1.** Deformações máximas [ $\mu$ S] nos sensores por amostra

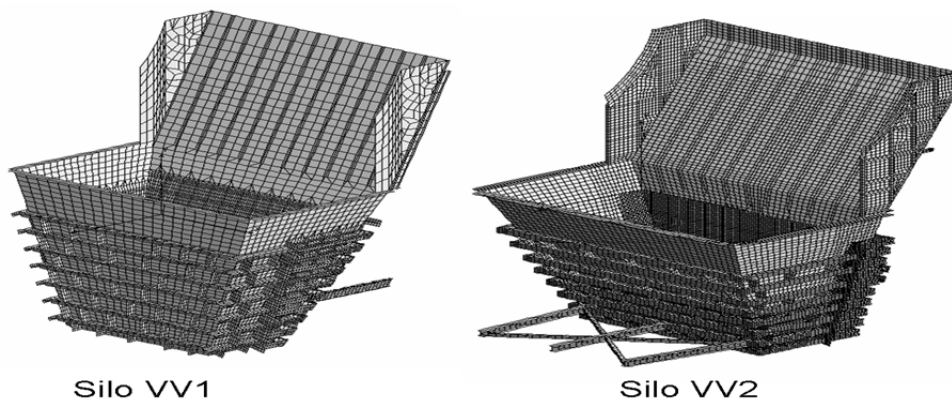
| Eventos     | SENSOR 01 [ $\mu$ S] | SENSOR 02 [ $\mu$ S] | SENSOR 03 [ $\mu$ S] | SENSOR 04 [ $\mu$ S] | SENSOR 05 [ $\mu$ S] | SENSOR 06 [ $\mu$ S] | SENSOR 07 [ $\mu$ S] | SENSOR 08 [ $\mu$ S] |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1ª Amostra  | 199,9                | 565,2                | 524,9                | 563,7                | 699,1                | 868,8                | 704,7                | 642,7                |
| 2ª Amostra  | 119,1                | 782,0                | 459,1                | 596,1                | 853,4                | 1145,0               | 1583,2               | 1613,9               |
| 3ª Amostra  | 213,9                | 543,8                | 500,6                | 539,0                | 831,5                | 1108,2               | 1059,6               | 864,1                |
| 4ª Amostra  | 121,7                | 1210,9               | 349,4                | 607,2                | 904,3                | 1195,0               | 1571,5               | 1302,9               |
| 5ª Amostra  | 379,6                | 106,0                | 983,7                | 1264,8               | 1607,8               | 2071,7               | 1619,8               | 973,9                |
| 6ª Amostra  | 508,5                | 1626,5               | 1001,9               | 1888,0               | 3038,7               | 4181,4               | 3413,5               | 1990,0               |
| 7ª Amostra  | 409,7                | 1208,9               | 830,3                | 1320,7               | 2175,4               | 3038,9               | 2724,3               | 1632,1               |
| 8ª Amostra  | 704,5                | 221,3                | 981,0                | 1680,9               | 2482,7               | 3151,2               | 2113,3               | 1330,4               |
| 9ª Amostra  | 620,5                | 38,3                 | 1571,0               | 1805,9               | 1727,9               | 1813,7               | 1173,2               | 635,8                |
| 10ª Amostra | 100,1                | 324,9                | 560,1                | 794,7                | 1194,3               | 1603,7               | 1339,5               | 1031,9               |

Nota-se que a amostra de número 6 é a de maior valor de deformação, sendo essa a de maior probabilidade de ser utilizada na comparação teórica x experimental.

A seguir, são apresentados os resultados da análise extensométrica discretizadas por amostra. Os resultados dos sensores 1 e 2 (posicionados na vertical) não são apresentados nas discretizações, pois os mesmos não

apresentaram comportamento satisfatório, devido as condições adversas na colagem destes sensores.

A análise estrutural realizada pelo método de elementos finitos considera o projeto proposto que pode ser visualizado na Figura 11 para os dois silos considerados VV1 e VV2.



**Figura 11.** Modelo de elementos finitos – Silos VV1 e VV2.

### 3.2 Tensões Admissíveis

Os materiais utilizados nesta construção são: Aço ASTM A36 para chaparia nas laterais de apoio para as chapas de desgaste e Aço A572 Gr. 50 para os perfis, utilizado nas estruturas de sustentação das cargas, principalmente as de impacto provocadas pela descarga de blocos de minério compactados.

As principais características dos materiais são as seguintes:

**Tabela 3.** Limites de Escoamento.

| AÇO             | $\sigma_e$ |
|-----------------|------------|
| ASTM A-36       | 250 MPa    |
| ASTM A57 Gr. 50 | 345 MPa    |

O valor limite de tensão admissível para fins de cálculo (cargas convencionais), conforme recomendação da AISC é  $\sigma_{adm} = 250 \times 0,6 = 150$  MPa para chaparia e para estrutura para cargas convencionais é  $\sigma_{adm} = 345 \times 0,6 = 207$  MPa.

### 3.3 Análise de Contorno

São consideradas restrições translacionais e rotacionais nos nós de base dos elementos de contato representando as regiões de apoio entre a estrutura do silo e a estrutura de concreto. Consideram-se também estas mesmas restrições nas extremidades das vigas de encosta. As condições de contorno consideradas são restrições translacionais e rotacionais nos pontos de chegada dos chumbadores à estrutura.

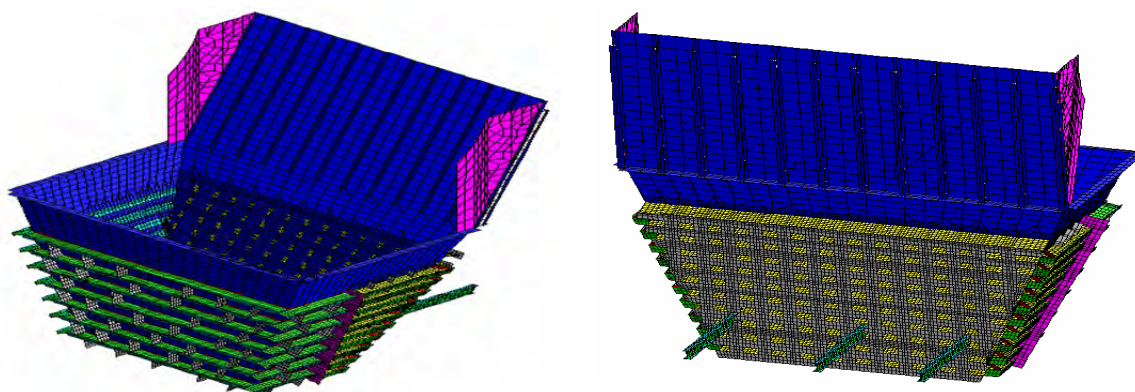
### 3.4 Carregamento Considerados

Carregamento (LC): Peso próprio + Impacto;  
Aceleração da gravidade  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;  
Massa estimada do Silo do VV1 = 103.000 kg;

Massa estimada do Silo do VV2 = 94.980 kg;  
Carga de impacto do minério (\*) = 800.000 kgf;  
Área aproximada do impacto = 4,08 m<sup>2</sup> (Silo VV1);  
Pressão aplicada =  $(800.000 \times 9,81) / 4,08 = 1923529 \text{ N/m}^2$ ;  
(\*) carga obtida através da extensometria realizada na moega do VV3.

A pressão foi aplicada na região do silo que está a 8,5 m abaixo do centro de giro do virador. Essa forma de aplicação simula as condições verificadas em campo através da extensometria nas moegas do VV3.

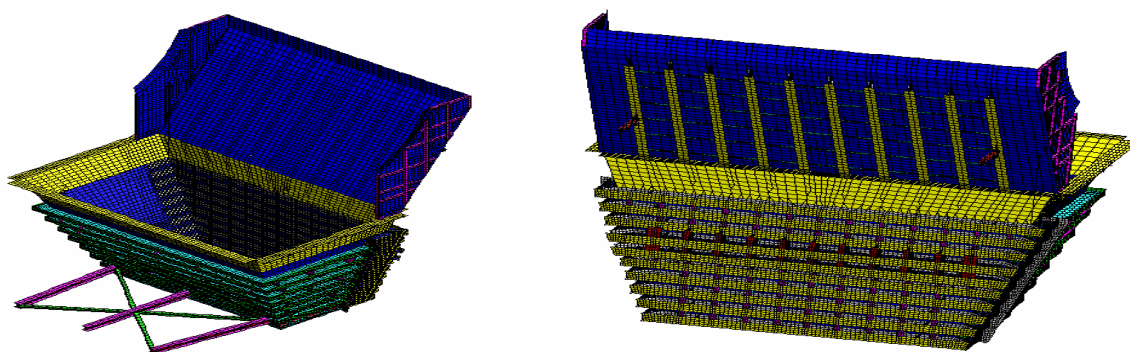
O modelo de elementos finitos e os principais resultados podem ser visualizados nas Figuras 12,13 e 14.



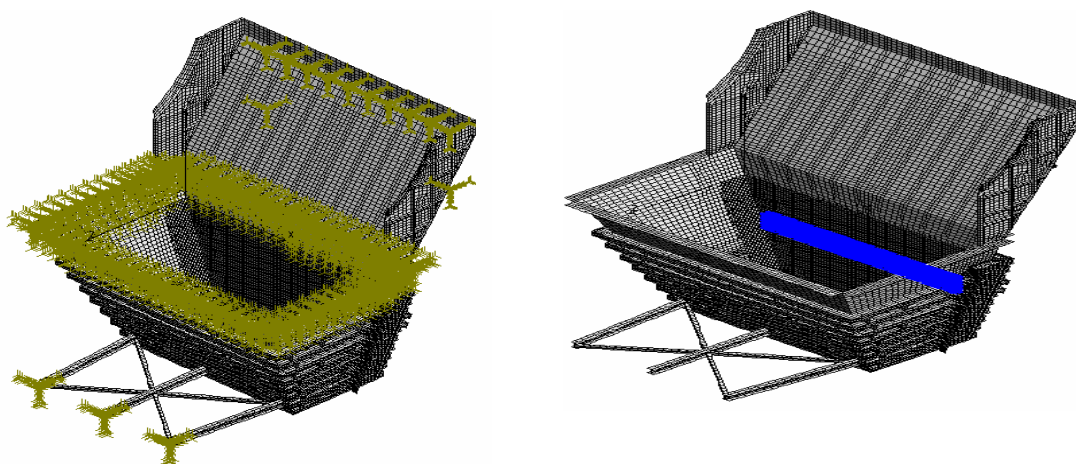
**Figura 12.** Modelo de elementos finitos – Silo VV1– vistas isométricas.



**Figura 13.** Modelo de elementos finitos – Silo VV1: a) Condições de contorno e b) Carregamento LC.



**Figura 14.** Modelo de elementos finitos – Silo VV2– vista isométrica e reforços.



**Figura 15.** Modelo de elementos finitos – Silo VV2: a) Condições de contorno b) Carregamento LC 1.

### 3.5 Tensões e Deslocamentos

Os principais resultados encontrados podem ser vistos na Tabela 4. Os valores de tensões citados são obtidos no cálculo através do critério Von Mises.

O critério de tensão de Von Mises máxima é baseado na teoria de Von Mises-Hencky, também conhecida como Teoria da Energia de Cisalhamento ou Teoria da Energia de Distorção Máxima.

Essa teoria afirma que um material dúctil começa a escoar em um local onde a tensão de Von Mises se torna igual ao limite de tensão. Na maioria dos casos, o limite de escoamento é usado como limite de tensão. Entretanto, o software permite usar a tração máxima ou definir o seu próprio limite de tensão.

$$S_{\text{Von Mises}} \geq S_{\text{limite}}$$

O limite de escoamento é uma propriedade dependente da temperatura. O valor especificado do limite de escoamento deve levar em consideração a temperatura do componente. O fator de segurança em um local é calculado por:

$$\text{Fator de Segurança} = S_{\text{limite}} / S_{\text{Von Mises}}$$

No caso de cisalhamento puro, a tensão de Von Mises pode ser expressa como:

$$S_{\text{Von Mises}} = (3)^{1/2} \zeta$$

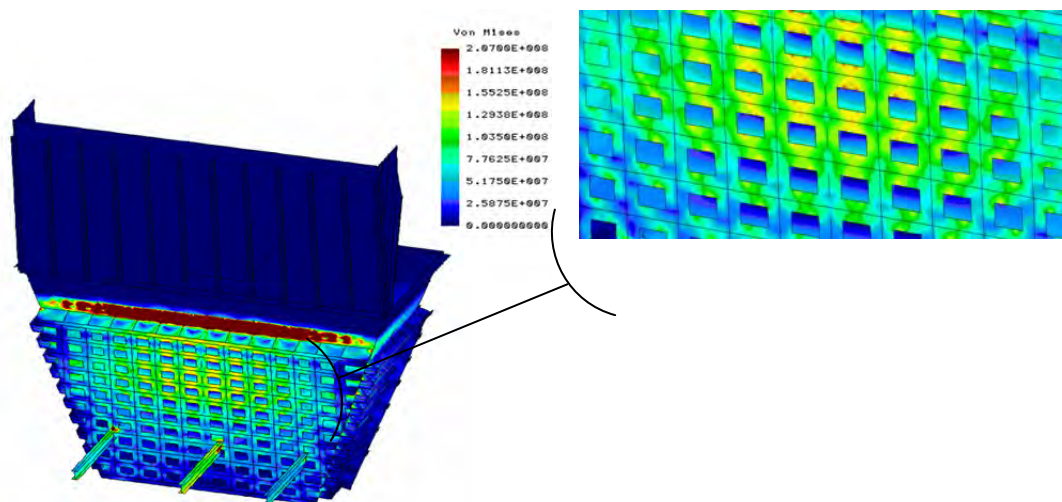
A falha ocorre se:

$$\zeta_{\text{max}} = 0,577 S_{\text{escoamento}}$$

**Tabela 4.** Tensões máximas nos perfis de reforço do Silo do VV1 (Von Mises).

| Carregamento           | Tensão Máxima resultante do carregamento – Von Mises [MPa] | Tensão Admissível dos perfis de reforço do Silo [MPa] |
|------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Peso próprio + Impacto | 173                                                        | 207                                                   |

Os principais resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 16.



**Figura 16.** Modelo de elemento de tensões com detalhes dos perfis de reforço do Silo do VV1.

## 4 DISCUSSÃO

Como a intensidade das tensões no Silo do VV1 é superior às do Silo do VV2 se estipula o mesmo perfil para ambos os silos de forma a padronizar a aquisição de materiais, fabricação e montagem. São observadas tensões elevadas na chapa do costado na região acima dos reforços, desta forma recomendou-se no projeto a inserção de um perfil o mais próximo possível dos perfis I de apoio à alvenaria. Tal recomendação foi utilizada no projeto final. O perfil definido para reforçar os silos é o W 610 x 101 com 77003 cm<sup>4</sup> de inércia (Ix), capaz de absorver impactos gerados pela descarga de blocos de minério compactado.

## 5 CONCLUSÃO

É certo que devido às panes dos equipamentos fora da programação, a manutenção corretiva atuava na falha ou no menor desempenho esperado, que resulta no alto custo da empresa, acarretando perdas e prejuízo à mesma. Sabe-se que a manutenção é a combinação de ações técnicas destinadas a manter ou recolocar um item em perfeito estado no qual possa desempenhar uma função requerida para evitar a degradação dos equipamentos causada pelo desgaste natural ou pelo uso.

Para haver melhorias significativas nas moegas do VV1 e VV2, verificou-se pertinente aplicar um plano de ação para reestabelecer o equipamento e o funcionamento proposto à máquina, a fim de evitar imprevistos que afetam diretamente a produção. Então, para garantir a qualidade de serviço foi empregado técnicas de aplicabilidade experimental, o ensaio de extensometria, para verificar os pontos que ao impactar com os blocos de minério, estavam deformando irregularmente, colocando em risco o equipamento.

Após o término do estudo da extensometria e análise por elementos finitos, foi determinado a correção da especificação do material, por um de maior resistência. Com as orientações propostas pelo desenvolvimento de redimensionamento do equipamento, houve melhoria no desempenho na produção da companhia. Uma sequência de atividades dentro de um plano de manutenção foi apresentada capaz de atender as necessidades, dando suporte inclusive para uma

previsão dos gastos e paradas programadas de manutenção num horizonte determinado.

Contudo é importante ressaltar que, a partir de agora, o sucesso dessa nova estrutura depende do acompanhamento dos profissionais em estar aplicando e supervisionando a manutenção preventiva, de forma que gere menor custo para empresa, evitando falhas das moegas do VV1 e VV2 após a sua modernização, garantindo um bom resultado com qualidade e confiabilidade operacional.

### **Agradecimentos**

À Companhia Vale, sempre colaboradora no desenvolvimento de pesquisas e crescimento de tecnologia em nosso país e a Faculdade Sul Fluminense, pela oportunidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 ROMERO, F.; ANDERY, P. *FEL- Front-End Loading e Lean Delivery Production System*, UFMG, 2010, p. 1-12.
- 2 Apostila de Extensometria. GRANTE-Grupo de Análise e Projeto Mecânico. Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis, 2004, p.1-48.
- 3 Imagens de Extensometria, disponível em: <http://www.google.com.br/search?q=extensometria&hl=pt-BR&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=ZS49UZuxDtOp0AG58YCYDA&sqi=2&ved=0CD0QsAQ&biw=1366&bih=673> Acesso em 08 de março de 2013.
- 4
- 5 ALVES FILHO, A. Elementos Finitos- A Base da Tecnologia CAE. São Paulo: Ed. Érica, 2007.