



Injeção de Consolidação Sob Tanque de Rejeitos

Antônio Felipe de Miranda, Engenheiro Civil, Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda, São Paulo, Brasil, felipe.miranda@solotrat.com.br

George Joaquim Teles de Souza, Engenheiro Civil, Diretor, Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda, São Paulo, Brasil, georgeteles@solotrat.com.br

Ricardo Brendolan, Engenheiro Civil, Gerente Comercial, Solotrat Engenharia Geotécnica Ltda, São Paulo, Brasil, ricardo@solotrat.com.br

Eugenio Pabst, Engenheiro civil, Diretor, Interact Engenharia, São Paulo, Brasil, eugenio@interact.eng.br

Rafael Ribeiro Plácido, Engenheiro civil, Interact Engenharia, São Paulo, Brasil, rafael@interact.eng.br

RESUMO: Devido aos recalques diferenciais ocorridos em um tanque de rejeitos de mineração, com altura de 14,50m e diâmetro de 13,50m, assentado parte em aterro compactado e parte em colúvio, foi necessária a execução da técnica de injeção de consolidação para proporcionar ao subsolo o suporte da carga do tanque. As injeções foram executadas através de tubos manchitados, em linhas verticais e sub-horizontais, em diferentes níveis e direções, para proporcionar a melhor eficiência possível da consolidação do maciço sem capacidade de suporte. Este artigo irá abordar as técnicas aplicadas para a execução da obra, a crescente curva de pressão de injeção conforme o avanço das injeções e os resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Injeção de Consolidação, Recalque, Tubo Manchitado

ABSTRACT: Due to the settlements occurred on a mining tailings tank, with 14.50m height and 13.50m diameter, located partly in a compacted landfill and partly in a colluvium, the solution was consolidation injection to provide tank support. The injections were carried out through manned tubes, in vertical and sub-horizontal lines, on different levels and directions, to provide the best consolidation results. This article is about the used techniques, the increasing injection pressure curve and the results.

KEYWORDS: Consolidation Injection, Uplift, Stained Tube

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



1 Introdução

O tratamento adequado de rejeitos de mineração é de extrema importância para preservar o meio ambiente e as comunidades circunvizinhas. Uma gestão eficiente evita a contaminação de solos e recursos hídricos, minimizando impactos ambientais negativos. Além disso, ao adotar práticas de tratamento, é possível recuperar materiais valiosos presentes nos rejeitos, contribuindo para a economia e a sustentabilidade da indústria. Uma das formas de tratar rejeitos de mineração é através do lançamento desses materiais em reservatórios ou tanques para que adensem sob peso próprio ao longo do tempo, aumentando assim o teor de sólidos antes da exposição à secagem. Geralmente, os tanques para disposição de rejeitos são estruturas robustas e são projetados por meio de documentos normativos oriundos da indústria do petróleo (Assumpção, 2015). Tais reservatórios costumam ser estruturas de grande porte e necessitam de uma fundação adequada para suportar as elevadas cargas durante a operação.

Nesse artigo é apresentado um estudo de caso no qual um tanque para contenção de rejeitos de minério apresentou deslocamentos significativos em sua fundação e necessitou de uma obra de reforço para a resolução do problema de recalques.

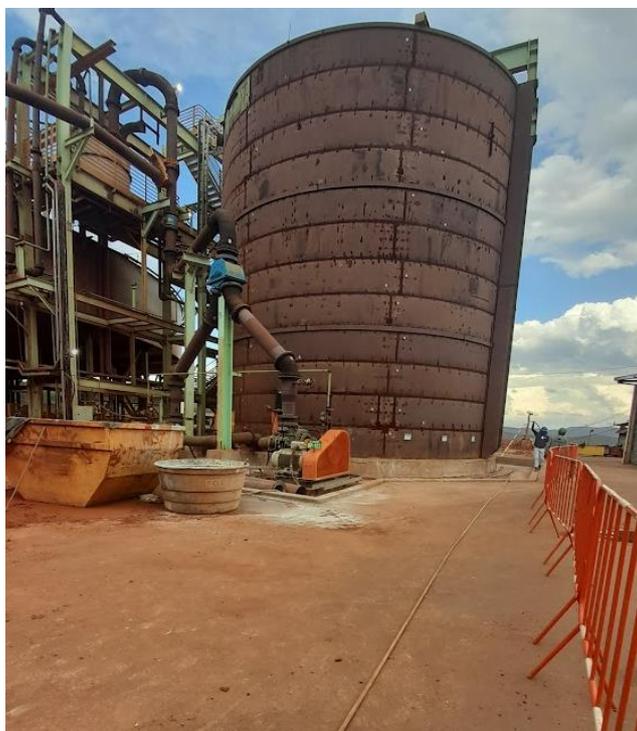


Figura 1. Tanque de disposição de rejeitos filtrados

2 Contextualização do problema

No estágio final de teste, ao iniciar o preenchimento com água, um tanque metálico construído para disposição de rejeitos de minério com 41,30 toneladas, apresentou recalque diferencial excessivo quando estava com aproximadamente 20% da capacidade máxima. Assim

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



que a patologia foi identificada, foi solicitada a paralisação e o esvaziamento do tanque para análises mais detalhadas da estrutura.

3 Análises de Recalque Diferencial

Após a realização de 02 testes de carregamento para análise do recalque, foi concluído que o maior recalque ocorre quando a carga é dobrada de 25% para 50% do volume, a partir daí a taxa de recalque reduz. Notou-se também que não havia recuperação quando a carga era removida e que houve um recalque diferencial acumulado de aproximadamente 0,33 graus.

A figura 2 mostra os recalques acumulados encontrados no tanque após 2º carregamento.

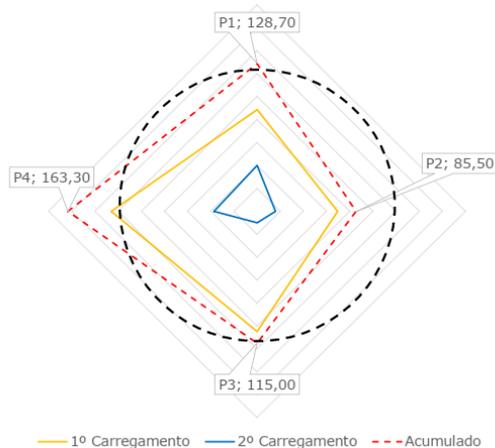


Figura 2. Recalques acumulados

Após ser constatado que realmente houve recalque no tanque de rejeitos a empresa mineradora solicitou que fossem realizados estudos de reforços do subsolo para a recuperação da estrutura de forma que o tanque pudesse retornar às atividades.

4 Solução proposta

Após análises e estudos do problema foi idealizada uma solução para melhoria de capacidade de carga do subsolo. Foi proposto o emprego de injeções de consolidação na base do tanque utilizando calda de cimento.

Para a execução das injeções foi proposto uso de tubo de PVC provido de válvulas manchetes espaçadas a cada 0,50 m. Os tubos foram constituídos de trecho livre e trecho manchetado. Foi determinada a utilização de tubos de PVC branco rígido, para os trechos de injeção mais longos e profundos, de forma a resistir melhor às pressões e temperaturas provenientes das injeções e, a utilização de tubos de PVC marrom rígido, para os trechos de injeção mais rasos e curtos. Foram utilizados dois diâmetros de tubo de PVC, sendo o diâmetro de 32 mm para o trecho manchetado e 40 mm para o trecho livre, de forma a facilitar a instalação e remoção dos obturadores ao longo do trecho não injetado.

As 2 linhas de injeção vertical em volta do tanque foram locadas alternadamente, de forma que os furos da primeira linha ficassem entre os furos da segunda linha.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



A figura 3 apresenta o esquema de disposição das perfurações para a injeção de consolidação. É possível observar o tanque ao meio da figura, com 02 linhas de injeções verticais ao seu entorno e 8 linhas inclinadas, sendo 4 linhas de cada lado.

As linhas inclinadas foram concebidas para cobrir toda área de projeção do tanque sem que houvesse interferências entre elas.

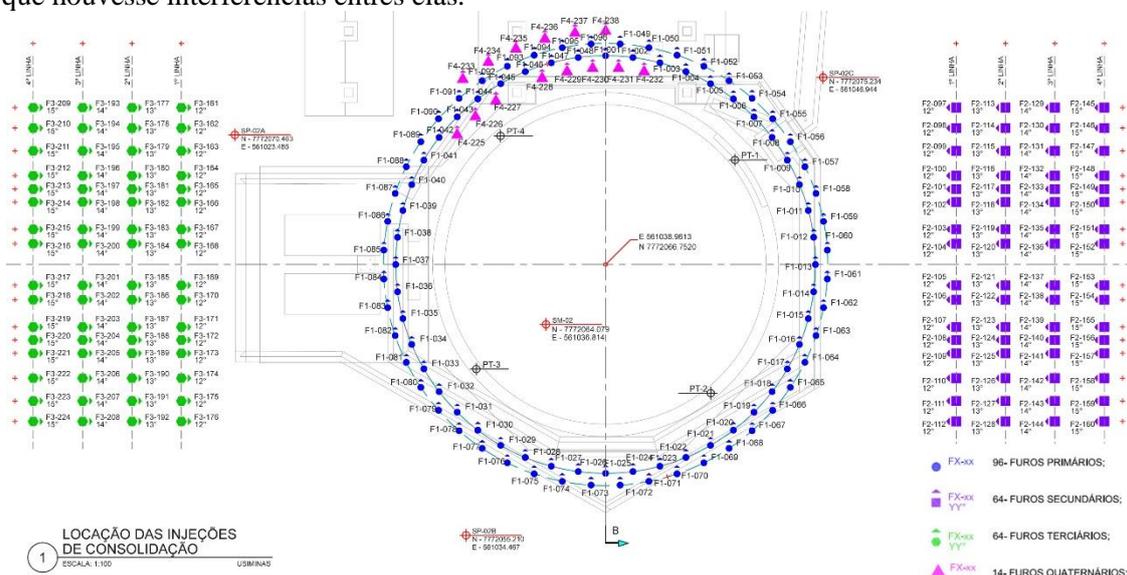


Figura 3. Esquema de disposição das injeções de consolidação

A figura 4 abaixo mostra os furos inclinados da lateral direita, mais longos e profundos, com comprimentos de 30,0 a 36,50 metros e os furos inclinados da lateral esquerda, mais curtos e rasos, com comprimentos de 19,50 metros e 19,0 metros.

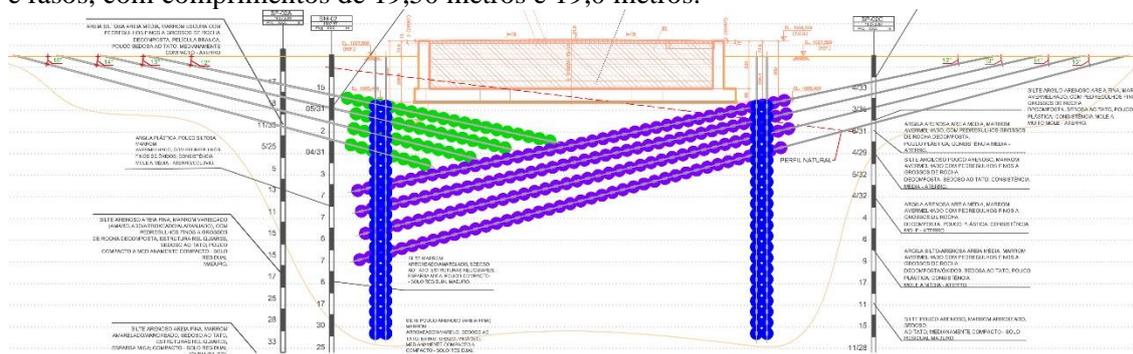


Figura 4. Esquema de disposição das injeções inclinadas

5 Metodologia Executiva

As injeções de consolidação foram divididas em 4 fases, sendo:

- 1ª fase – Furos Primários
- 2ª fase – Furos Secundários
- 3ª fase – Furos Terciários
- 4ª fase – Furos Quaternários

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



5.1 Furos Primários

Deu-se início ao tratamento pelos furos primários, em volta do tanque. O objetivo principal foi realizar uma barreira de fechamento no perímetro circular, confinando o tratamento no terreno abaixo do tanque. Após ser realizada a perfuração, a bainha de preenchimento era realizada e, na sequência, o tubo manchettato previamente preparado, era instalado. As injeções de consolidação foram executadas respeitando um período de 8 a 36 horas após a execução da bainha.

A figura 5 apresenta o início da perfuração vertical e também a injeção de um furo.



Figura 5. Perfuração e injeção de consolidação em um furo vertical

Numerados de F1-001 a F1-096 e divididos em dois círculos distintos. Os furos foram injetados de fora para dentro garantindo o confinamento da calda na região de projeção do tanque. As perfurações da segunda linha, mais próxima ao tanque, só foram realizadas quando as injeções da primeira linha estavam finalizadas. Durante a perfuração dos furos verticais foi detectada uma camada de rachão na região em que o tanque apresentou maior recalque, impossibilitando a execução de alguns furos. Foram então adicionados mais furos na região. Imagina-se que a utilização do rachão na construção foi devido a presença de solo mole naquela região.

A figura 6 apresenta o gráfico das injeções do furo F1-091.

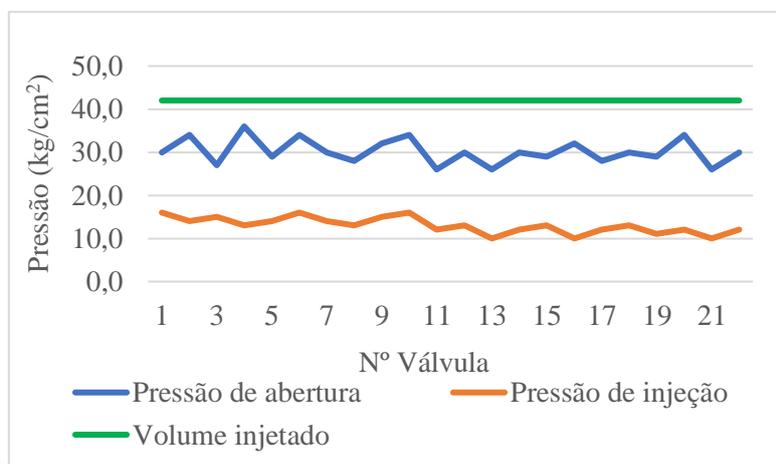


Figura 6. Gráfico de injeção do furo F1-091

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Observa-se no gráfico do furo F1-091 que as pressões de abertura das manchetes variaram de 25 a 35 Kg/cm² e as pressões de injeção de 10 a 15 kg/cm². Algumas tentativas de segunda fase de injeção foram realizadas, porém as pressões de abertura e de injeção se apresentaram muito altas, justificando a paralização. No caso do furo F1-006, por exemplo, as pressões de abertura foram e torno de 50 kg/cm² e de injeção em torno de 36 kg/cm², conforme o gráfico da figura 7, abaixo.

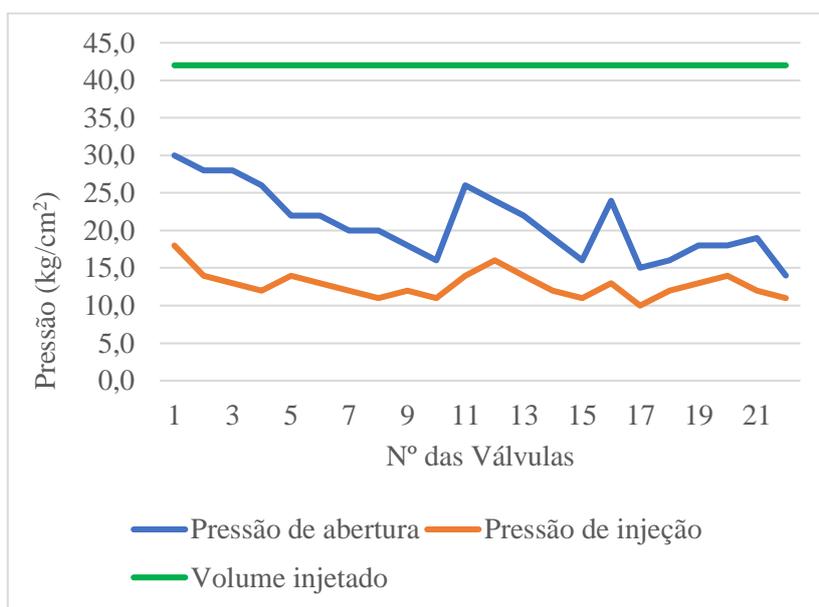


Figura 7. Gráfico de injeção do furo F1-006

5.2 Furos Secundários

Após o término da injeção dos furos verticais (primários), deu-se início a execução dos furos secundários, furos estes à direita do tanque. Devido a base do tanque estar 2,0 metros abaixo da cota de perfuração, eles foram projetados a uma distância e inclinação em relação ao tanque de forma a possibilitar a injeção na região e nas cotas desejadas.

Estes furos foram divididos em 4 linhas distintas e paralelas, e numerados de F2-097 a F2-112, F3-113 a F3-128, F3-129 a F3-144 e F3-145 a F3-160. As perfurações e injeções foram executadas da linha mais afastada do tanque para a mais próxima. A sequência de perfuração foi feita de forma intercalada para que as injeções dos furos fossem finalizadas antes da execução do furo adjacente, evitando que se comunicassem prejudicando a qualidade dos serviços. As linhas foram executadas sempre da cota mais profunda para a mais rasa, garantindo o confinamento e condicionando o caminho da calda injetada sentido a base do tanque.

A figura 8 apresenta a perfuração de um furo inclinado dessa fase.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Figura 8. Perfuração para injeção sub-horizantal

Observa-se no gráfico acima que as pressões do furo F2-160 variaram entre 15 kgf/cm² a 20 kgf/cm², as pressões do furo F2-144 variaram entre 20 kgf/cm² e 25 kgf/cm², as pressões do furo F2-128 e F2-112, variaram entre 35 kgf/cm² e 40 kgf/cm². Isso indica que conforme as injeções foram executadas, de forma ascendente, ocorreu o aumento da resistência do solo e consequentemente o aumento de pressões de injeção.

A figura 9 apresenta a progressão das pressões de injeção nos furos F2-160, F2144, F2-128 e F2-112.

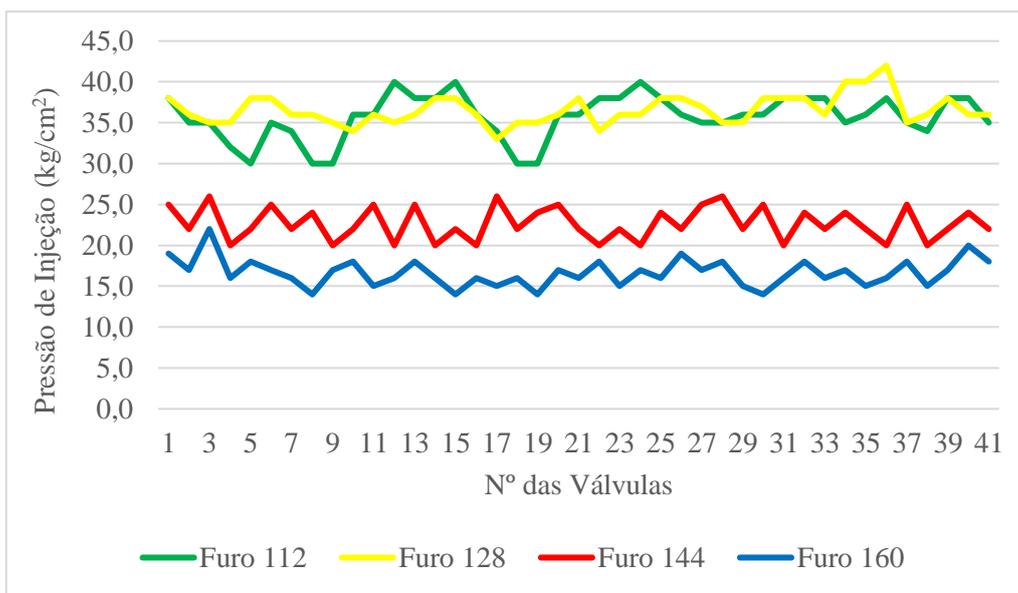


Figura 9. Progressão das pressões nos furos F2-160, F2144, F2-128 e F2-112

5.3 Furos Terciários

Após a conclusão das injeções dos furos secundários deu-se início a execução dos furos terciários, furos estes à esquerda do tanque. Assim como os furos secundários, devido a base do

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



tanque estar 2,0 metros abaixo da cota de perfuração, eles foram projetados a uma distância e inclinação em relação ao tanque de forma a possibilitar a injeção na região e nas cotas desejadas.

Estes também foram divididos em 4 linhas distintas e paralelas, e numerados de F3-161 a F3-176, F3-177 a F3-192, F3-193 a F3-208 e F3-209 a F3-224. As perfurações e injeções foram executadas da linha mais afastada do tanque para a mais próxima. A sequência de perfuração foi feita de forma intercalada para que as injeções dos furos fossem finalizadas antes da execução do furo adjacente, evitando que se comunicassem prejudicando a qualidade dos serviços. As linhas também foram executadas sempre da cota mais profunda para a mais rasa, garantindo o confinamento e condicionando o caminho da calda injetada sentido a base do tanque.

Pelo gráfico abaixo é possível observar que as pressões de injeção do furo F3-212 variam entre 32 kgf/cm² a 37 kgf/cm², as pressões do furo F3-196 variam entre 32 kgf/cm² e 40 kgf/cm², as pressões do furo F3-179 variam entre 35 kgf/cm² e 38 kgf/cm², já as pressões do furo F3-164 variam entre 55 kgf/cm² e 60 kgf/cm².

Devido às altas pressões de abertura e injeção das válvulas manchete, foi necessário realizar a injeção dos furos terciários no mesmo dia da bainha, sendo que as perfurações, bainha e instalação dos tubos eram executadas no período da manhã, e as injeções das válvulas no período da tarde, caso contrário, a abertura das válvulas manchete e, conseqüentemente suas injeções, eram inviáveis.

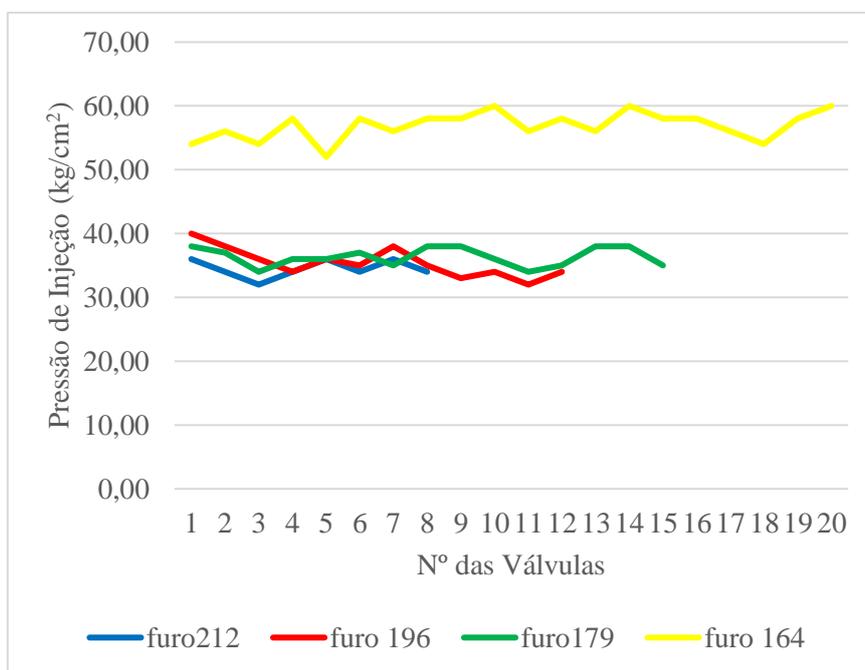


Figura 10. Progressão nas pressões de injeção nos furos F3-212, F3-196, F3-179 e F3-164

5.4 Furos Quaternários

Os furos quaternários foram os furos verticais adicionados no local onde foi constatada a presença de rachão. Estes foram numerados de F4-225 a F4-238.

A figura 11 apresenta o gráfico com as pressões de abertura e de injeção do furo F4-229.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



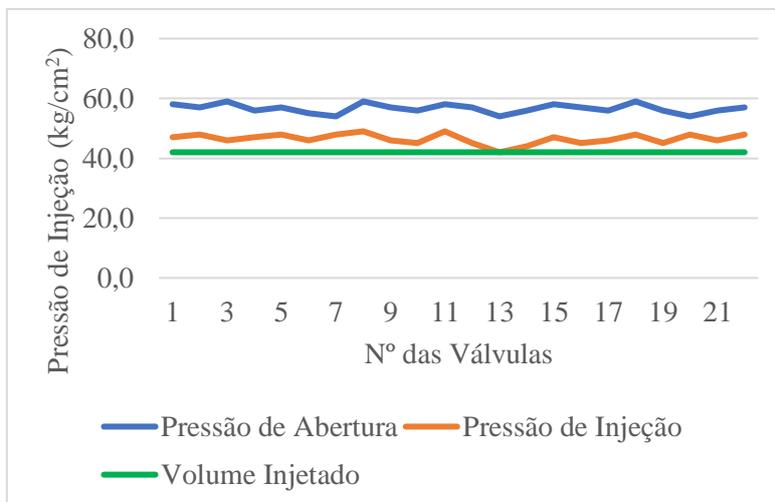


Figura 11. Gráfico com as pressões de abertura e injeção do furo F4-229

Através do gráfico acima é possível observar que as pressões de abertura foram elevadas, variando entre 54 kgf/cm² a 58 kgf/cm² e as pressões de injeção das válvulas manchete variaram entre 42 kgf/cm² e 49 kg/cm². Através das pressões obtidas é possível afirmar que o tratamento do subsolo com a injeção de consolidação foi bem-sucedido. Dessa forma, o tratamento foi dado como finalizado.

6 Nivelamento do Tanque

Após a finalização da injeção de consolidação no subsolo do tanque, a empresa mineradora iniciou os trabalhos de elevação do tanque, através de macacos hidráulicos, para possibilitar o nivelamento da base de apoio.

Com a elevação do tanque foi possível observar que a calda de cimento injetada percolou pelo solo e extravasou sob o fundo do tanque, conforme observa-se na figura 13.

Após o nivelamento da base de apoio do tanque, o mesmo foi novamente assentado e novos testes de carga e operação foram executados, já com o rejeito de minério para filtragem. Os testes apresentaram resultados satisfatórios e as atividades de operação com o tanque puderam ser finalmente iniciadas.



Figura 12. Elevação do tanque sendo realizada através dos macacos hidráulicos.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Figura 13. Calda de cimento presente sob o fundo do tanque

7 Conclusão e Considerações Finais

O tratamento do subsolo do tanque com a injeção de consolidação foi eficaz, melhorando a capacidade de carga do terreno de forma suficiente para suportar o peso de 3.091 toneladas do tanque em operação, sem apresentar novos recalques ou acomodações.

Ficou comprovado mais uma vez que um tratamento de injeção de consolidação bem planejado e executado é capaz de preencher vazios, adensar e compactar o solo, melhorando assim as características geotécnicas do maciço e gerando resultados seguros e confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assumpção, M. E. (2015) *Avaliação de integridade estrutural de um tanque de concentrado de minério de ferro através do método dos elementos finitos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte/MG.

Barbosa, M.V.R.; Barbosa, G.T.M.; Mota, N.M.B.; Cunha, E.P.V.; França, D.C. (2018) *Remediação de Recalques em Edifício em Construção por meio de Injeções de Consolidação – Estudo de Caso*. In: XIX COBRAMSEG – CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – 2018, Salvador. Anais ABMS.

Cambefort, H. (1968) *Inyección de Suelos*, 1ª edición, Barcelona, Espanha, 532p.

Solotrat Engenharia Geotécnica, *Manual de Serviços Geotécnicos*. 6ª Edição. P. 79 - 89. Solotrat Engenharia Geotécnica, 2018. São Paulo. P 80-89.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

