

ARTIGO REF: 6910

CARATERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE REJEITADOS MINEIROS ESPESSADOS

Nuno Raposo^{1(*)}, António Topa Gomes²

¹Instituto Politécnico de Viseu (ESTGV), Depart. Eng^a Civil, Viseu, Portugal

²Construct - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depart. Eng^a Civil, Porto, Portugal

(*)*Email*: nraposo@ipv.pt

RESUMO

O presente trabalho apresenta um caso concreto de implementação de uma solução de espessamento de rejeitados. Além da descrição do processo de espessamento, com todos os seus componentes e funcionamento, o trabalho caracteriza o comportamento geotécnico do material espessado. Com esse objetivo apresentam-se e discutem-se ensaios relativos à granulometria, sedimentação e compressibilidade do material rejeitado, com diferentes níveis de teor de sólidos. Dos vários resultados apresentados fica demonstrada a importância do espessamento, uma vez que os rejeitados espessados apresentam segregação quase nula, índices de vazios significativamente menores e compressibilidades também muito inferiores, resultando um ganho relevante do seu comportamento em termos mecânicos e ambientais.

INTRODUÇÃO

A criação de resíduos resultantes da atividade mineira é inevitável e, na maioria das explorações, corresponde a uma percentagem elevada do material extraído do terreno. Toda essa grande quantidade de material sobrando necessita ser depositada de forma adequada. Durante muitos anos, os rejeitados da atividade mineira eram depositados com pouco controlo, criando situações críticas para o ambiente e para a saúde pública (Blight, 2010).

Em muitos casos os paradigmas de valorização do capital limitam os recursos disponíveis para desenvolver ou melhorar a sustentabilidade da atividade mineira. Consequentemente, não é raro que a gestão dos rejeitados resultantes da atividade mineira seja realizada por métodos convencionais de simples despejo em bacias de contenção de lamas, enquanto se utilizam cimentos e inertes extraídos de outros locais para efetuar o enchimento de túneis e galerias já desativados. No entanto, mais recentemente, tem-se assistido a um incremento das explorações mineiras onde os resíduos são processados para que seja possível, reaproveitar tudo o que possa ser útil (Jewell, 2010). Exemplos incluem a reutilização da água de processo, bem como a utilização dos rejeitados no enchimento de galerias enterradas.

Os avanços científicos e de engenharia têm fornecido um grande contributo para gestão dos fluxos de resíduos de mineração de forma mais eficiente e produtiva. Como resultado, as entidades reguladoras têm vindo a licenciar abordagens mais holísticas de gestão de resíduos, uma das quais é a deposição de rejeitados sob a forma de pasta (Jewell e Fourie, 2010).

No presente trabalho apresenta-se um caso de substituição da deposição de rejeitados de modo subaquático (polpa) por rejeitados espessados (pasta), discutindo-se as vantagens desta mudança bem como alguns resultados, maioritariamente resultantes da caracterização geotécnica, dos novos materiais depositados.

A alteração da deposição do modo subaquático para deposição de rejeitados espessados apresentou enormes vantagens de exploração, ambientais e geotécnicas que, resumidamente, se podem apresentar da seguinte forma (Fourie, 2012; Raposo, 2016):

- os rejeitados espessados, ao possuírem um índice de vazios mais reduzido, ocupam menor volume, tendo prolongado o tempo vida útil do local de deposição por vários anos;
- podem ser depositados formando taludes ligeiramente inclinados, aumentando a capacidade volumétrica do depósito de rejeitados;
- apresentam menor deformabilidade e melhores características resistentes, contribuindo para a estabilidade de longo prazo, em especial após o fecho da barragem;
- o processo de espessamento permite recuperar uma grande quantidade de água, que é reaproveitada para o processo industrial;
- passou a haver uma menor quantidade de água para gerir e conseqüente menores riscos estruturais e ambientais inerentes a potenciais roturas, uma vez que a quantidade de água livre no depósito é bastante reduzida;
- deixou de ocorrer segregação, pelo que o depósito se torna menos permeável e geoquimicamente mais estável.

ESPESSAMENTO E TRANSPORTE DOS REJEITADOS

O processo de espessamento dos rejeitados consiste em retirar-lhe uma parte da água de que são constituídos (Slottee, 2014), e está esquematizado na Fig. 1. No caso presente, os rejeitados chegam à instalação de deposição de resíduos com um teor de sólidos médio de 25% (o teor de sólidos corresponde ao peso de partículas sólidas dividido pelo peso total), sendo encaminhados para um tanque de armazenamento de rejeitados, que alimenta os espessadores. À entrada dos espessadores é adicionado o floculante, na razão aproximada de 30 g por tonelada, podendo sofrer ligeiras variações em função da granulometria dos rejeitados. O floculante tem como função agregar as partículas sólidas, facilitando a sua sedimentação.

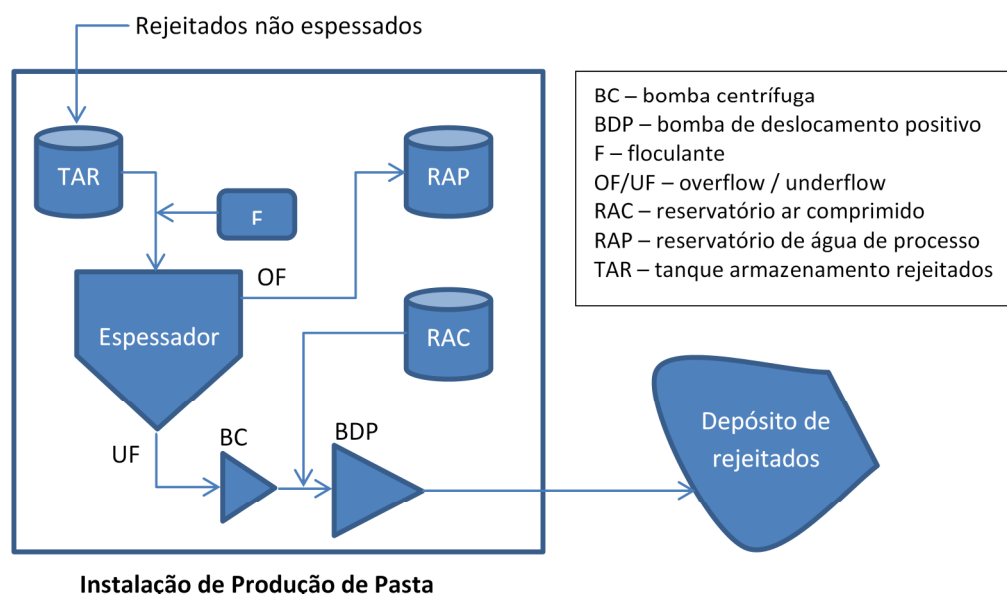


Fig. 1 - Esquema do espessamento e transporte de rejeitados

Cada um dos dois espessadores utilizados nesta instalação tem 18 m de diâmetro e uma altura de 17 m. Os rejeitados ficam no interior dos espessadores durante cerca de 10 horas. O *underflow* dos espessadores tem um teor de sólidos médio de 70%. O *underflow* é bombeado a baixa pressão por uma bomba centrífuga horizontal localizada na base de cada um dos espessadores. Estas bombas primárias transportam o rejeitado desde o fundo do espessador até às bombas de deslocamento positivo. Estas últimas, trabalhando com pressões elevadas, são responsáveis pelo transporte dos rejeitados através de uma rede de tubagens que se abrange todo o depósito. Habitualmente estão ativos dois pontos de deposição de rejeitados, que são alterados a cada 2-3 dias, em função das necessidades.

EFEITO DO ESPESSAMENTO NA CURVA GRANULOMÉTRICA

Um dos aspetos decisivos no que diz respeito ao comportamento dos rejeitados é a granulometria. No gráfico da Figura 2 é possível observar um grande conjunto de curvas granulométricas, determinadas em múltiplas amostras de cada um dos tipos de rejeitados. É notória a regularidade encontrada nos rejeitados espessados (pasta), contrastando com a enorme segregação encontrada nas amostras de rejeitados não espessados (polpa).

Uma das grandes vantagens da deposição sob a forma de pasta, em detrimento da deposição sem recurso a espessamento, é precisamente o facto de se conseguir limitar, ou até anular, a segregação das partículas presentes na mistura depositada.

O facto de não existir segregação promove a diminuição da suscetibilidade à liquefação do material, pelo maior encaixe/arranjo de partículas de diferentes dimensões existente.

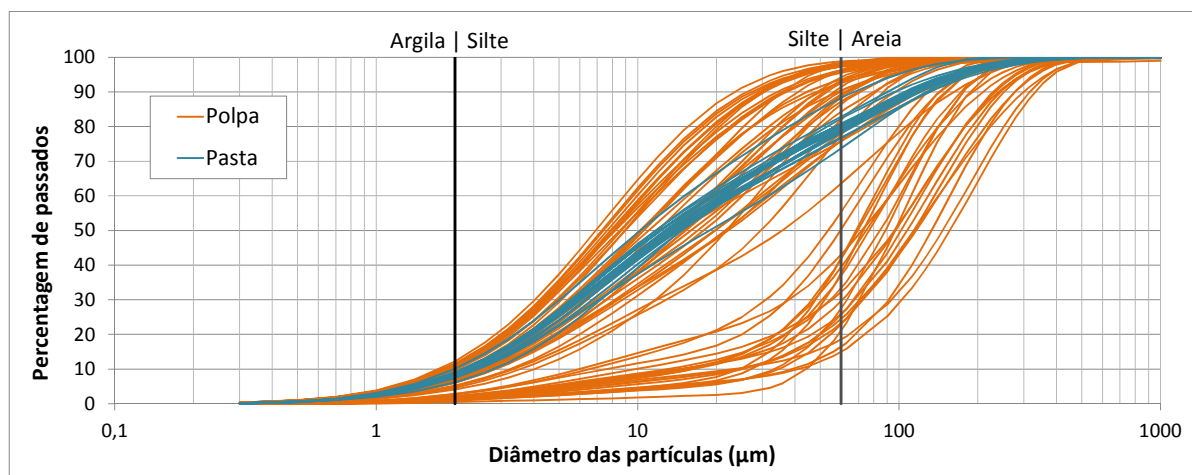


Fig. 2 - Análise granulométrica dos rejeitados não espessados (polpa) e dos rejeitados espessados (pasta), adaptado de Raposo *et al.* (2014).

Sob outro ponto de vista, a inexistência de segregação promove também a redução da permeabilidade geral do depósito, já que deixam de existir lentes horizontais de material arenoso, que, como é sabido, constituem caminhos preferenciais para a percolação. A menor permeabilidade traduz-se numa redução da infiltração e, conseqüentemente, na redução do volume de água de percolação, aumentando ao mesmo tempo o grau de saturação do depósito, o que, no caso de materiais reativos, como são os do presente trabalho, é de importância vital para o equilíbrio geoquímico do depósito.

ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO

Tendo por objetivo estudar os efeitos do espessamento nas propriedades dos rejeitados, foram realizados alguns ensaios em colunas de sedimentação. Para estes ensaios utilizaram-se colunas de acrílico, onde se depositaram rejeitados com grau de espessamento variável, tal como mostra a Figura 3. Para que os resultados fossem comparáveis, cada coluna continha 1200 g de partículas sólidas de rejeitados, mudando apenas a quantidade de água, para que o teor de sólidos variasse entre 25 e 73%.

Na Figura 3a pode observar-se a totalidade das colunas de sedimentação, logo após a deposição dos rejeitados no seu interior. Na Figura 3b observa-se em pormenor as colunas cujo teor de sólidos era de 40, 35 e 30%, respetivamente. Nesta imagem é notória formação de uma camada de água “limpa” sobre os rejeitados em sedimentação.

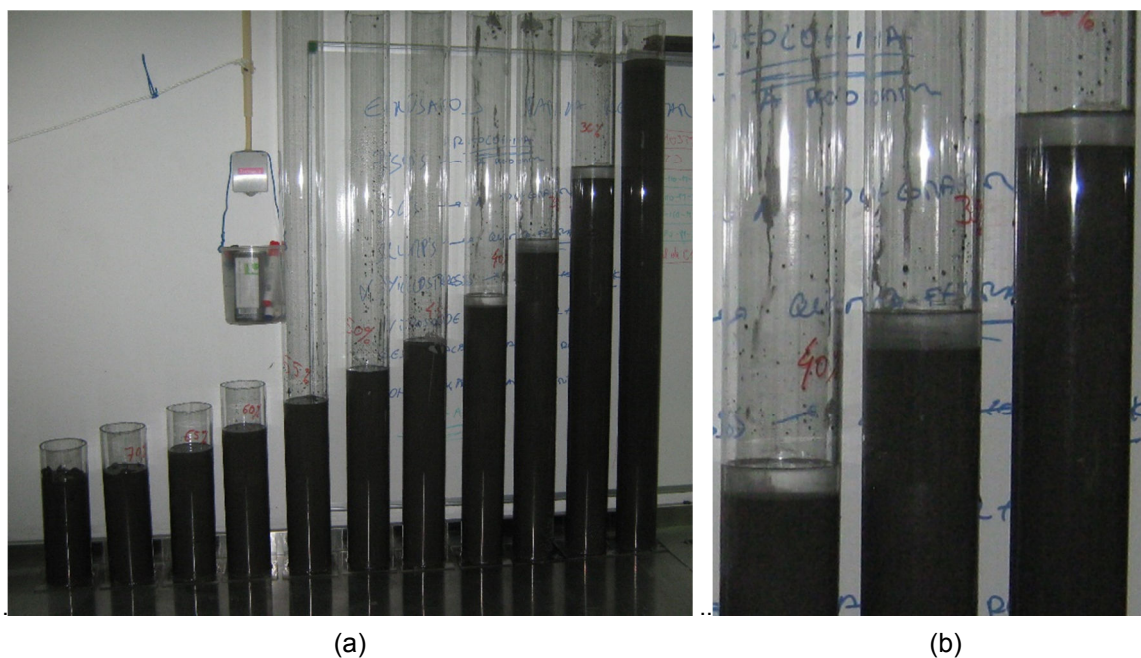


Fig. 3 - Colunas de sedimentação: a) vista geral; b) pormenor das colunas com 40, 35 e 30% de teor de sólidos.

Os assentamentos da superfície dos rejeitados foram medidos a intervalos regulares até ao final da sedimentação. No final do ensaio determinou-se o índice de vazios médio, através da altura final dos rejeitados no interior da coluna.

Na Figura 4 mostra-se a dependência entre o grau de espessamento, traduzido pelo teor de sólidos, e o índice de vazios no final da sedimentação. A figura evidencia a existência de uma forte correlação entre estes dois parâmetros. Quando maior o teor de sólidos no momento da deposição menor o índice de vazios médio na coluna. Este efeito tende a aumentar à medida que o grau de espessamento progride. Aumentando o espessamento de 25 para 55% o índice de vazios de formação decresce de 1,9 para 1,7. No outro extremo da escala, a pequena alteração do teor de sólidos de 70 para 73% leva a que o índice de vazios de formação decresça de 1,3 para 1,1.

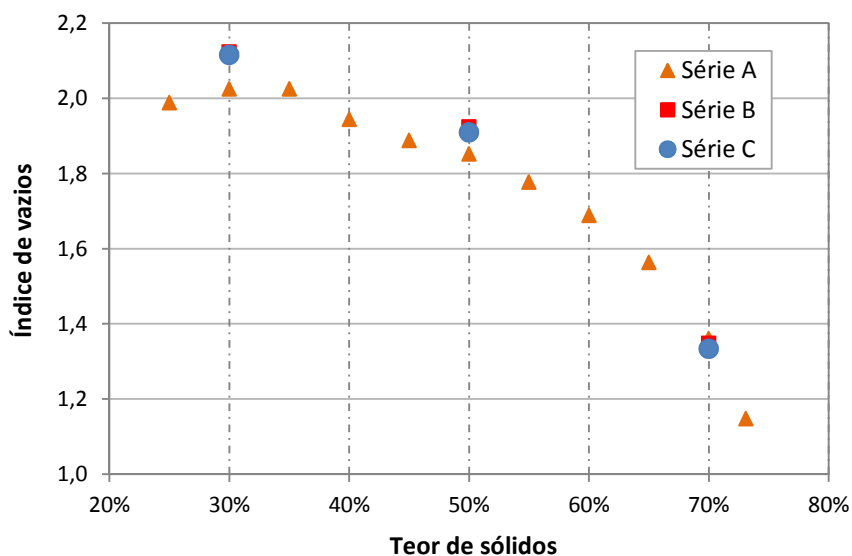


Fig. 4 - Índice de vazios médio no final da sedimentação.

ENSAIOS EDMÉTRICOS

A preparação das amostras para realização de ensaios edométricos obrigou à sedimentação prévia dos rejeitados. Essa sedimentação foi realizada a partir de misturas com diferentes teores de sólidos, de forma idêntica ao que foi apresentado no ponto anterior.

Terminada a sedimentação, procedeu-se à cravação dos anéis do edómetro, tal como ilustra a Fig. 5. Nesta figura nota-se que os rejeitados apresentavam uma consistência muito reduzida, dificultando as operações de preparação das amostras.



Fig. 5 - Cravação do anel do edómetro.

Na Fig. 6 apresentam-se as curvas de compressibilidade de três ensaios edométricos, correspondentes a teores de sólidos de 30, 50 e 70%. Nota-se desde logo uma grande diferença no que diz respeito ao índice de vazios inicial. De facto, embora a tensão efetiva inicial das três amostras tenha sido a mesma, o material mais espessado sedimenta de forma diferente, originando uma amostra mais compacta. Esta diferença na fase inicial traduz-se em diferenças ao longo dos vários escalões de carga. Mesmo para tensões elevadas, 1600 kPa, o índice de vazios das três amostras é diferente, mostrando como é importante o espessamento pré-deposição. Qualquer que seja o nível de tensão, os rejeitados espessados até teores de sólidos de 70% têm um índice de vazios cerca de 15% inferior aos rejeitados não espessados, representados pelas amostras com 30% de partículas sólidas. Verifica-se ainda pela análise da Fi. 6 que as diferenças são mais substanciais nos níveis de espessamento mais elevados: o comportamento dos rejeitados espessados a 50% aproxima-se mais dos rejeitados espessados a 30%. Essa diferença era expectável, já que durante a preparação do ensaios as duas amostras com menor espessamento tinham um comportamento próximo de um fluido, enquanto a amostra com 70% de partículas sólidas apresentava um comportamento semelhante a um gel.

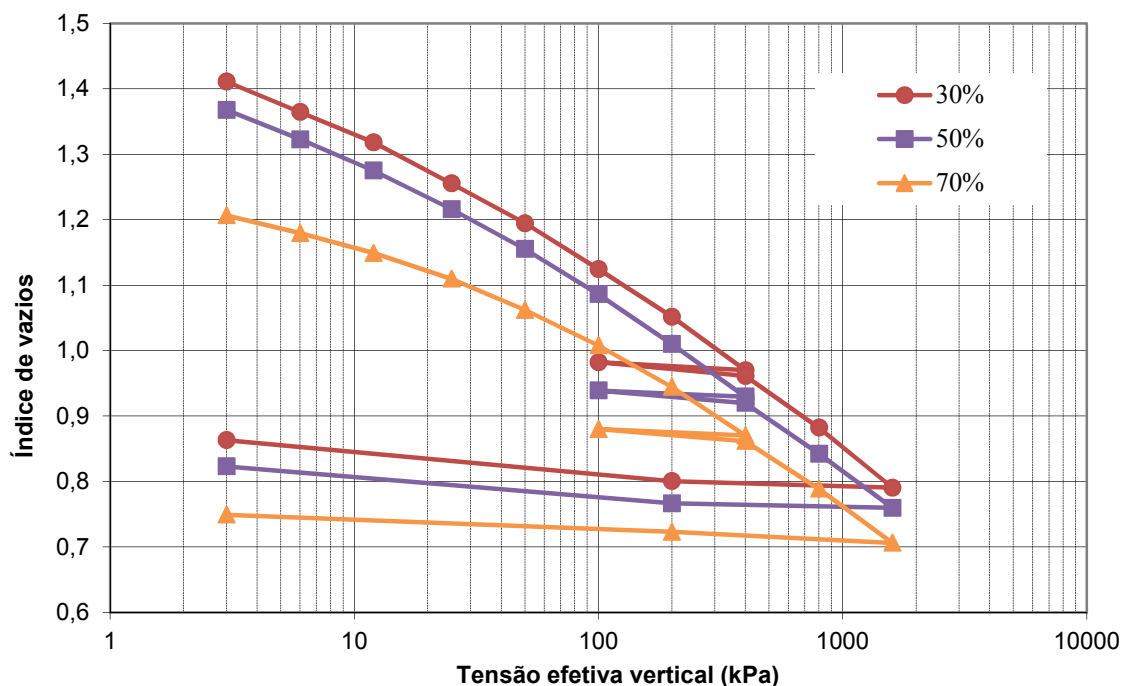


Fig. 6 - Curvas de compressibilidade função do grau de espessamento dos rejeitados.

CONCLUSÕES

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho mostram alguns dos efeitos do espessamento no comportamento dos rejeitados.

As amostras de rejeitados recolhidas *in situ* permitem identificar claramente duas famílias de curvas granulométricas. Os rejeitados não espessados apresentam uma dispersão típica dos materiais depositados subaquaticamente, com níveis de segregação elevados. Contrariamente, as curvas granulométricas das várias amostras de rejeitados espessados formam uma banda estreita, evidenciando a inexistência de segregação.

O volume ocupado pelos rejeitados é um aspeto crucial em qualquer instalação de deposição. Neste âmbito, os ensaios de sedimentação mostraram claramente as vantagens do espessamento: à medida que aumenta o grau de espessamento, o volume ocupado pelos rejeitados após deposição torna-se sucessivamente menor. Os ensaios edométricos reforçaram a conclusão anterior, mostrando que os rejeitados espessados apresentam uma compacidade superior aos rejeitados não espessados, qualquer que seja a tensão vertical aplicada e, por conseguinte, qualquer que seja a espessura do depósito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Instituto Politécnico de Viseu.

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI).



REFERÊNCIAS

[1]-Blight, G. (2010). Geotechnical engineering for mine waste storage facilities. CRC Press, Leiden, The Netherlands.

[2]-Fourie, A.B. (2012). Perceived and realised benefits of paste and thickened tailings for surface deposition. 15th International Seminar on Paste and Thickened Tailings (Jewell, R.J., Fourie, A.B., Paterson, A., ed.), 16-19 April 2012, Sun City, South Africa, 53-64, Australian Centre for Geomechanics, Perth.

[3]-Jewell, R., Fourie, A. (2010). Paste 2010 - 13th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Toronto, Canada.

[4]-Jewell, R.J. (2010). The evolution of paste and thickened tailings. Australian Centre for Geomechanics Newsletter 35, p. 1-3.

[5]-Raposo, N., Bahia, R., Afonso, E., Topa Gomes, A. (2014). Optimization of thickened tailings deposition. 17th International Seminar on Paste and Thickened Tailings (Paste 2014) (Fourie, A.B., Jewell, R.J., Wells, P.S., Zyl, D., ed.), 8-12 June 2014, Vancouver, Canada, InfoMine.

[6]-Raposo, N.P. (2016). Deposição de rejeitados espessados. Caracterização experimental e modelação numérica. PhD Thesis, Universidade do Porto.

[7]-Slottee, J.S. (2014). Problems in designing a paste system. 17th International Seminar on Paste and Thickened Tailings (Paste 2014) (Fourie, A.B., Jewell, R.J., Wells, P.S., Zyl, D., ed.), 8-12 June 2014, Vancouver, Canada, 323-328, InfoMine.