

Simulação em laboratório do desaguamento de rejeito de mineração utilizando filtros prensa eletrocinéticos

Rosenaire Rezende de Souza

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/NUGEO), Ouro Preto, Brasil, rosenaire@yahoo.com.br

Lucas Deleon Ferreira

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/NUGEO), Ouro Preto, Brasil, lucas@em.ufop.br

Nancy Raphaela Souza Lopes

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/NUGEO), Ouro Preto, Brasil, r_nnancy@hotmail.com

Romero Cesar Gomes

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/NUGEO), Ouro Preto, Brasil, romero@em.ufop.br

Bruno de Oliveira Costa Couto

Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP/NUGEO), Ouro Preto, Brasil,
bruno.couto.amb@gmail.com.

RESUMO: A disposição de rejeitos de mineração em forma de polpa é tradicionalmente realizada em barragens de rejeito, contudo tal procedimento demanda grandes áreas, acarreta significativos impactos socioambientais e está associado a riscos. Além disso, recentes acidentes relacionados à essas estruturas despertaram questionamentos e inseguranças quanto a esse método de disposição. Dessa forma, pesquisas envolvendo metodologias alternativas de disposição de rejeitos de mineração são desenvolvidas em todo o mundo. O presente trabalho está inserido no contexto de apresentar metodologias alternativas de disposição de rejeitos de mineração na forma de polpa, esses materiais são normalmente escoados em calhas ou bombeados em tubulações sendo depositados em estruturas de contenção denominadas barragens de rejeito ou em cavas exauridas. Nesse artigo são apresentados resultados de testes em escala laboratorial que buscam avaliar o potencial da utilização de fenômenos eletrocinéticos em filtros prensas para o desaguamento de um rejeito de mineração de bauxita. Para tanto, foram realizados ensaios de desaguamento eletrocinético em um equipamento de laboratório, sendo simuladas condições semelhantes às utilizadas em filtros prensa comerciais. Durante os experimentos as variáveis analisadas foram a espessura da torta e a diferença de potencial elétrico aplicado entre os elementos filtrantes, o tempo de execução do ensaio e a pressão utilizada para simular o desaguamento mecânico do filtro prensa foram iguais em todos os ensaios. Os parâmetros monitorados em cada experimento foram o fluxo de água drenada, a corrente elétrica gerada entre os eletrodos e a variação do percentual de sólidos. Os resultados demonstram um significativo aumento do fluxo de água drenada resultando em um aumento do percentual de sólidos final do rejeito tratado. Esses experimentos buscam consubstanciar trabalhos em escala industrial utilizando filtros prensa que utilizem fenômenos eletrocinéticos

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento de rejeitos de mineração; Filtragem de rejeitos de mineração; Fenômenos eletrocinéticos; Eletrosmose; Filtros Prensa.

1 INTRODUÇÃO

A exploração de bens minerais está intimamente associada à geração de resíduos

industriais provenientes das diversas atividades relacionadas à mineração. A relação entre a quantidade de minério e resíduos produzidos durante os processos de lavra e beneficiamento

do bem mineral é muito variável e dependente da natureza do minério e das características do processo de beneficiamento. Contudo, o processo de disposição dos resíduos de mineração nunca foi uma atividade prioritária, apesar de ser um importante processo desenvolvido pela mineração.

Entretanto, com o aumento da produção mineral e, conseqüentemente, da geração de resíduos, que a indústria da mineração presenciou nas últimas décadas, o que se viu foi uma crescente preocupação com as atividades relacionadas à disposição de resíduos. Esse interesse crescente estava associado à disponibilidade e liberação de novas áreas de disposição de resíduos, que se tornavam cada vez mais complexas e dispendiosas à medida que se aprimora a legislação ambiental do país.

Outro fato que tem despertado o interesse nacional para às atividades de disposição de resíduos da mineração, são os recentes acidentes ocorridos nas últimas duas décadas com especial destaque ao acontecido na barragem de Fundão da empresa Samarco no final do ano de 2015.

O presente contexto, vem ocasionando a necessidade de desenvolvimento de estudos em busca de técnicas alternativas para disposição e desaguamento de rejeitos, de forma a aumentar a segurança e vida útil das barragens de rejeito. Pois, conforme nos aponta Pirete e Gomes (2013), os resíduos dispostos em forma de lama apresentam, por vezes, elevado potencial de liquefação. Além dessas técnicas, existem estudos que buscam propiciar a disposição de resíduos desaguados ou filtrados que dispensam a utilização de tais estruturas de contenção.

Nesse sentido, um dos processos utilizados é o filtro prensa de correia, que tem sido utilizado para a filtragem de polpas minerais que apresentem granulometria mais grosseira. Como forma de intensificar a filtragem proporcionada por estes equipamentos e para que possam ser utilizados no desaguamento de lamas finas de rejeito de mineração, são propostas associações dos procedimentos convencionais à fenômenos eletrocinéticos. Trabalhos neste sentido têm apresentado resultados significativos, como a aceleração do processo de desaguamento e o baixo consumo de energia adicional, conforme apresentado por Lamont-Black et al (2006) e Fourie et al. (2007).

O presente artigo, tem como propósito investigar o potencial da associação de fenômenos eletrocinéticos em filtros prensa no processo de filtragem de rejeitos. Para tanto, será utilizado o equipamento de laboratório denominado Célula Eletrocinética, que foi desenvolvido por Ferreira (2011). O objetivo é proporcionar a aceleração do processo de desidratação de uma polpa de rejeito com baixo percentual de sólidos. Propondo, assim, uma alternativa de disposição de rejeitos de mineração que alcance um aumento da taxa de recuperação de água no processo, além de uma redução da área de disposição de rejeitos e o aumento da segurança das estruturas de contenção associadas a esse processo.

O processo de filtragem de um resíduo industrial, tal como os rejeitos de mineração em forma de polpa, consiste na separação dos sólidos em suspensão contidos em um líquido. Essa separação é realizada mediante a passagem do líquido através de um meio poroso que retenha as partículas sólidas. O líquido que passa através do meio poroso é denominado de filtrado e o conjunto de partículas sólidas retidas por esse meio poroso (filtro) é chamado de torta.

A filtragem pode ser realizada pela simples pressão hidrostática do líquido sobre o meio filtrante, situação em que a operação é classificada como feita por gravidade, pois o processo se dá pelo próprio peso do material. Contudo, existe a possibilidade de realizar a filtragem através da imposição de uma ação externa. Dessa forma, a filtragem pode ser efetuada de quatro maneiras: a) à vácuo, sendo criada uma pressão negativa debaixo do meio filtrante; b) sob pressão, situação em que uma pressão positiva é aplicada sobre a torta; c) por centrifugação, operação realizada em equipamentos denominados centrífugas, nos quais é realizada a rotação da solução no interior de cestos dotados de paredes filtrantes; d) filtragem hiperbárica, que combinam a ação de vácuo e pressão. Sendo ainda possíveis outros procedimentos de filtragem.

O processo de filtragem sob pressão é realizado a partir da aplicação de uma pressão positiva na polpa que resultará na formação da torta. Ao ser comparada aos demais procedimentos utilizados em filtragem, a torta obtida é caracterizada por menores teores de

umidade.

Os experimentos realizados no presente trabalho, buscaram a simulação do processo de filtração sob pressão positiva. Desse modo, no equipamento utilizado foi aplicada uma pressão da ordem de 20 kPa no rejeito, buscando simular o efeito da pressão positiva. Foram realizados 4 experimentos, sendo o primeiro utilizando apenas pressão e os demais associando os fenômenos eletrocinéticos ao processo, conforme será descrito nos tópicos seguintes.

Os fenômenos eletrocinéticos englobam diferentes processos relacionados ao movimento relativo de fluidos e/ou partículas devido à aplicação de campos elétricos externos ou que resultam na geração de uma diferença de potencial elétrico no interior de um sistema analisado.

Estes fenômenos têm sido motivo de estudos em várias áreas como engenharia e medicina. No caso dos projetos de engenharia, podem ser destacadas as aplicações nos processos de adensamento de solos com baixa permeabilidade hidráulica, na remediação de solos contaminados e também em sistemas de desaguamento de resíduos da mineração.

Os fenômenos eletrocinéticos podem ser classificados em eletroforese, eletrosmose, potencial induzido de fluxo, eletromigração ou migração de íons e potencial de sedimentação. No processo de filtração ou desaguamento de rejeitos da mineração o fenômeno que merece destaque é a eletrosmose, que consiste do movimento relativo da fase líquida em relação a fase sólida em um sistema composto por essas duas fases. Para que o movimento ocorra, torna-se necessária a aplicação de uma diferença de potencial elétrico no interior do sistema, no caso do presente estudo, esse sistema será o rejeito de mineração.

2 PROPRIEDADES DO REJEITO

As simulações apresentadas no presente trabalho foram realizadas com amostras de rejeito provenientes de uma mineração de bauxita. Um resumo das características desse material é apresentado na tabela a seguir.

Os ensaios de caracterização foram realizados nos Laboratórios do Centro Tecnológico de

Geotecnia Aplicada (CTGA) centro de pesquisa que congrega os laboratórios do Núcleo de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto (NUGEO/UFOP). Todos os ensaios de análises físicas do rejeito foram realizados segundo procedimentos padronizados por normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O valor da condutividade elétrica do rejeito (σ^*) está no limite do intervalo de 0,05 – 0,005 S/m, apresentado por Jones et. al (2006) como um parâmetro para obtenção de tratamentos relacionados a adensamento de solos economicamente viáveis.

Tabela 1. Propriedades do rejeito.

Propriedade	Valores
LL	64
LP	30,9
IP	33,1
Gs	2,67 g/cm ³
σ^*	0,005 S/m
CTC	4,88 mol/kg
PCZ	6,81
pH água intersticial	7,91
CEE (água intersticial)	0,0129 S/m
pH (em água destilada)	6,25
pH (em KCl)	6,53
ΔpH	+0,28
Granulometria – com defloculante	
Argila	49,2%
Silte	48,8%
Areia fina	2%

O ponto de carga zero (PCZ) apresentado na tabela 1, foi estimado pela equação apresentada a seguir, proposta por Keng e Uehara (1974).

$$PCZ = (pH_{KCL} \times 2) - pH_{H_2O} \quad (1)$$

A partir da diferença entre os valores de pH do rejeito medidos em água destilada e em solução de KCl, conforme preconiza o manual da EMBRAPA (1997), têm-se o valor de ΔpH positivo. Um valor positivo do ΔpH indica que há predominância de cargas positivas no rejeito, fato que justificaria o sentido de fluxo estabelecido do catodo para o anodo, conforme será apresentado futuramente. Outro fator indicativo da predominância de cargas positivas é o fato do pH da água intersticial ser superior ao valor de PCZ estimado, conforme aponta Alleoni

et. al (2009).

Foram realizados ensaios de difração por raios X no laboratório de Difração por Raios X do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. O resultado deste ensaio é apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Resumo do ensaio de difração por raios-x.

Rejeito de Bauxita			
Caulinita	Goethita	Gibbsita	Hematita

A partir da composição mineralógica do rejeito analisado, percebe-se mais um fator interveniente no sentido do fluxo eletrosmótico, que são coloides de carga variável ou também conhecidos como argilominerais pH dependentes.

No tópico seguinte, serão apresentados os métodos estabelecidos na realização dos experimentos.

3 METODOLOGIA

A simulação do processo convencional de filtragem realizado por um filtro prensa foi realizada com um equipamento de laboratório, desenvolvido por Ferreira (2011), chamado célula eletrocinética e apresentado na figura 1.

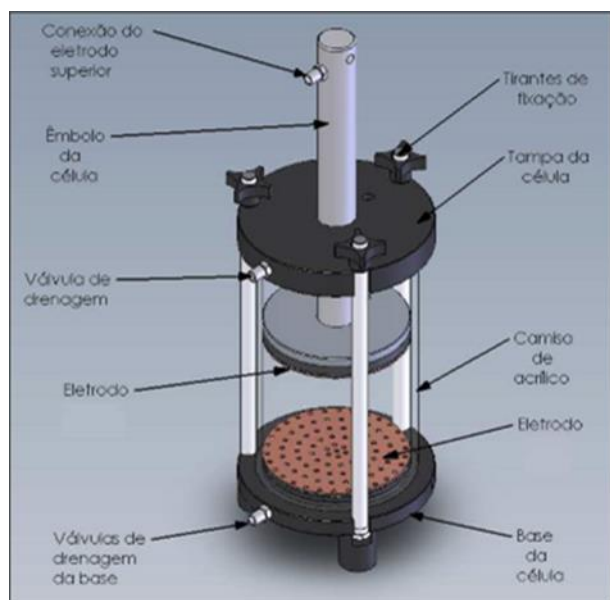


Figura 1. Célula eletrocinética (Ferreira, 2011)

Os experimentos foram conduzidos de modo que os efeitos da eletrocinética fossem associados à

etapa de carregamento de um filtro prensa que proporciona o desaguamento do rejeito. O processo convencional de filtragem foi simulado por uma pressão da ordem de 20 kPa, valor representativo da etapa de carregamento do filtro prensa que proporciona a formação da torta. Associado ao efeito da pressão, foi aplicada uma diferença de potencial elétrico entre o topo e base da célula eletrocinética através de dois eletrodos posicionados nos extremos da amostra de rejeito.

Já a drenagem de água, durante os experimentos, foi realizada por canais de drenagem presentes no topo do equipamento.

No decorrer dos experimentos, constatou-se que o fluxo eletrosmótico foi estabelecido no interior da amostra de rejeito no sentido do catodo para o anodo, dessa forma, em todos os experimentos o catodo foi posicionado no topo da célula.

A amostra de rejeito foi acondicionada no interior da célula eletrocinética e delimitada por dois elementos filtrantes, os quais são compostos por geotêxtil de poliéster não tecido que estavam posicionados acima dos eletrodos.

As amostras de rejeito utilizadas em todos os experimentos foram homogeneizadas com água destilada de modo que o percentual de sólidos em peso alcançasse o valor aproximado de 30%. O rejeito nesse percentual de sólidos apresenta consistência de lama. Torna-se importante ressaltar que tal processo ocasiona uma diluição das cargas elétricas, fato que acarreta a redução da condutividade elétrica do rejeito e, conseqüentemente, da eficiência do processo de desaguamento eletrocinético.

O tempo de execução dos experimentos foi padronizado em 30 minutos. Outro parâmetro que buscava simular o funcionamento de filtros prensa e foi padronizado nos ensaios é a espessura da torta, para tanto foi escolhido o valor de 5 cm.

Foram realizados 4 ensaios que se diferem entre si pelo valor da diferença de potencial elétrico (ddp) aplicada entre os eletrodos. Sendo que o ensaio 1 foi realizado com ddp igual a zero, buscando representar o desaguamento proporcionado por um filtro prensa convencional, ou seja, que não utiliza fenômenos eletrocinéticos. Para os demais experimentos, foram escolhidos os valores de ddp iguais a 2, 5 e 7 volts. A diferença de potencial elétrico

aplicado no interior da amostra foi mantida constante durante todos os experimentos.

A influência da eletrocinética no processo de desaguentamento do rejeito de mineração será avaliada pela comparação entre os volumes drenados, variação do percentual de sólidos e estimativa de consumo energético em cada experimento. Essas análises serão apresentadas no tópico a seguir.

3 RESULTADOS

No decorrer dos experimentos, foram registrados os valores de volume drenado, a corrente elétrica no interior da amostra e a diferença de potencial elétrico aplicada. A partir desses parâmetros, foram estimados os demais que serão apresentados a seguir.

A figura 2, apresenta o volume total drenado em cada um dos experimentos realizados. Nesta figura percebe-se, claramente, a ação da eletrosmose no processo de desaguentamento das amostras de rejeito. Vê-se que o volume de água drenada aumenta proporcionalmente com o aumento da diferença de potencial elétrico aplicado, sendo tal comportamento reflexo do fluxo eletrosmótico estabelecido na amostra.

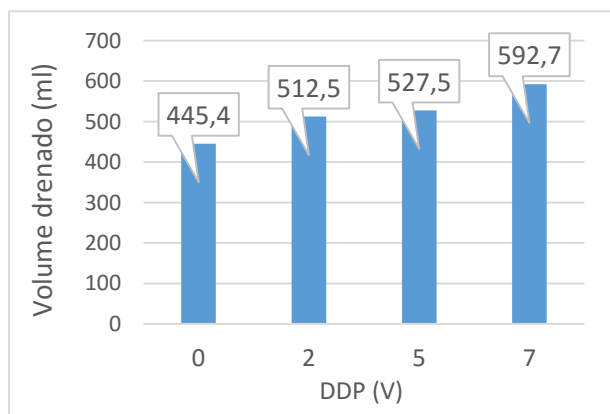


Figura 2. Volume total drenado nos experimentos.

Os volumes totais drenados por cada experimento foram respectivamente 445,4; 512,3; 527,5 e 592,7 ml para os ensaios 1, 2, 3 e 4.

Em relação ao ensaio 1, que simula a atuação de um filtro prensa tradicional, vê-se que o aumento do volume de água drenada foi de aproximadamente 15,1; 18,4 e 33,1%,

respectivamente para os ensaios 2, 3 e 4.

A variação do percentual de sólidos médio da amostra de rejeito foi estimada com base no registro do volume de água drenada. Essa variação é apresentada na figura 3.

Constata-se, na figura 3, que a atuação da eletrosmose no processo de desaguentamento do rejeito torna-se efetiva a partir do primeiro minuto, quando são comparados os ensaios 2 e 3 em relação ao ensaio 1. Sendo que os dois experimentos que utilizaram fenômenos eletrocinéticos só se diferenciaram a partir de 5 minutos de ensaio.

Já o experimento 4, apresenta um distanciamento dos demais em aproximadamente 30 segundos. Analisando a figura 3, vê-se ainda que foram necessários apenas 10 minutos para que o ensaio 4 drenasse o mesmo volume obtido pelo ensaio 1. Isso significa uma redução significativa do tempo de operação na simulação realizada.

O percentual de sólidos final foi superior a 50% em todos os experimentos, conforme nos aponta a figura 3. Conclui-se, pelo formato das curvas apresentadas nessa figura, que seriam alcançados valores superiores com o aumento do tempo do experimento. O menor percentual de sólidos foi obtido pelo experimento 1, que simulou o funcionamento de um filtro prensa tradicional, o valor obtido foi de 52,4%. Em todos ensaios realizados com a associação de pressão e fenômenos eletrocinéticos o percentual de sólidos final foi superior a 60%. Os valores registrados para esses experimentos foram 62,3; 64,3; e 66,8% de percentual final de sólidos, respectivamente para os ensaios 2, 3 e 4.

Considerando a condição inicial da amostra, que possuía 30% de sólidos em todos os experimentos, vê-se que o aumento foi superior a 30 pontos percentuais para todos os experimentos que utilizaram fenômenos eletrocinéticos.

As amostras com percentual final de sólidos superiores a 60% apresentavam consistência de pasta.

Os valores de percentual de sólidos apresentados anteriormente se referem a um valor médio, relacionado ao volume de água drenada.

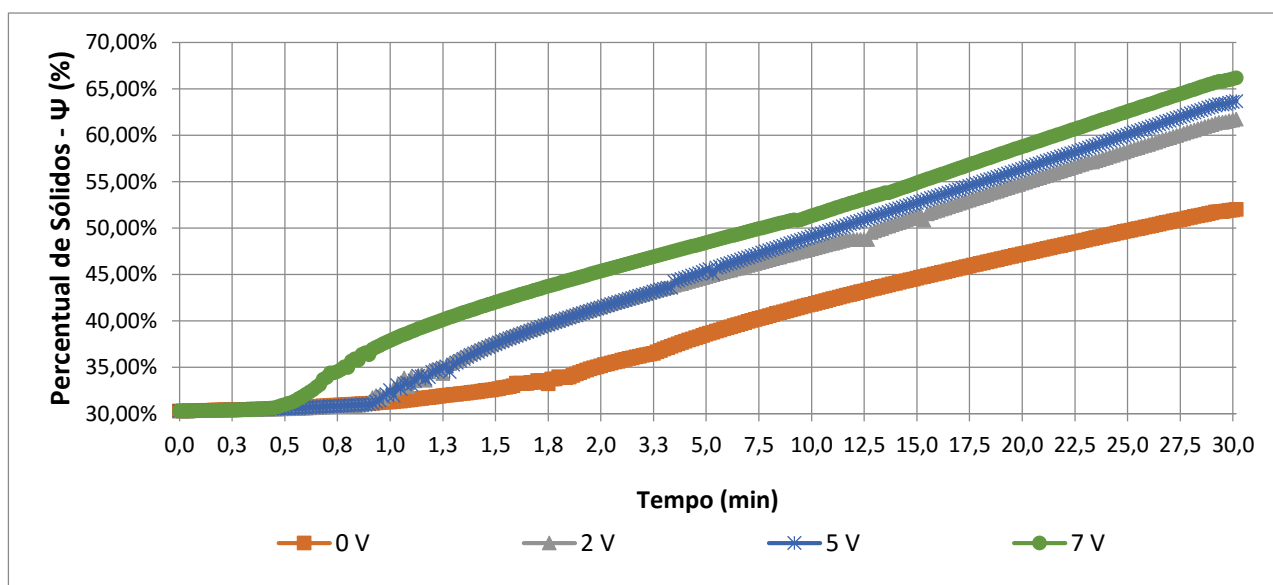


Figura 3. Variação do percentual de sólidos versus tempo.

Contudo, ao se desmontar o corpo de prova no interior da célula eletrocinética, percebeu-se que uma pequena parcela de amostra próxima à base, e, portanto, mais distante da fronteira drenante permaneceu com o percentual de sólidos praticamente inalterado.

Dessa forma, torna-se necessário o complemento do presente trabalho avaliando diferentes espessuras de torta visando uma maior homogeneidade do rejeito desaguado ao final do processo. Além disso, novos níveis de ddp e maiores intervalos de ensaios devem ser avaliados.

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados apontam que os efeitos dos fenômenos eletrocinéticos no processo de desaguamento/filtragem do rejeito analisado foi benéfico.

Ao serem comparados os ensaios realizados com associação de fenômenos eletrocinéticos ao processo convencional que utiliza apenas pressão, constatou-se um significativo aumento do volume drenado e, conseqüentemente, do percentual de sólidos final da torta. Além disso, o experimento 4 apresentou resultados semelhantes ao obtido no ensaio de filtro prensa tradicional (ensaio 1) com apenas 1/3 do tempo gasto nesse experimento.

Nos ensaios de desaguamento eletrocinético o consumo energético foi estimado em função do

volume de água drenada, sendo o valor expresso em kWh/m³ drenado. Dessa forma, os valores estimados foram 1,27; 1,03 e 3,21 kWh/m³ de água drenada para os experimentos 2, 3 e 4, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao NUGEO/UFOP (Núcleo de Geotecnia Aplicada da Universidade Federal de Ouro Preto) e ao laboratório de Difração por Raios X do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto pelo apoio na realização dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- Alleoni, L., R., F., e Camargo, O., A. Ponto de efeito salino nulo: Proposição de nomenclatura. B. Inf. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBSC), 18:5-11, (1993).
- Alleoni, L. R. F.; Mello, J. W. V.; Rocha, Wadson Sebastião Duarte da. (2009) eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: Vander de Freitas Melo, Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni. (Org.). Química e Mineralogia do Solo - Aplicações. 1ed.Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 69-129.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 2ª Ed., 1ª reimpressão, Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1997, 212 p.
- Ferreira, L., D., *Desenvolvimento de Equipamento de Laboratório Para o Estudo de Fenômenos Eletrocinéticos no Processo de Adensamento de Rejeitos de Mineração*, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, Tese de Mestrado do NUGEO/UFOP, 144 p., (2011).
- Fourie, A. B., Glendinning, S., Huntley, D. T., Jones, C. J. F. P., Lamont-Black, J., (2007). *Laboratory Evaluation of The Potential for electrokinetic belt filter press*

dewatering of kimberlite slimes. 10th International conference on Paste and Thickened Tailings, PASTE, Perth, Australia.

- Jones, C. J. F. P., Glendinning, S., Huntley, D., T., & Lamont-Black, J. (2006). *Soil consolidation and strengthening using electrokinetic geosynthetics – concepts and analysis*. Engineering Sustainability, ICE, Volume 167, Rotherdam, 411-414.
- Keng, J., C., W., Uehara, G. (1974). *Chemistry, mineralogy and taxonomy of oxisols and ultsoils*. Proc. Soil Crop. Sci., 33, pp. 119-126.
- Lamont-Black, J., Huntley, D., T., Glendinning, S., E Jones, C., J., F., P., (2006). *Case history: the use of electrokinetic geosynthetics (EKG) in belt press dewatering*. 8th International Conference on Geosynthetics, Yokohama, Japan, 535-538.
- Pirete, W. & Gomes, R., C. (2013). *Tailings liquefaction analysis using strength ratios and SPT/CPT results*. Soils and Rocks, Rio de Janeiro – RJ, 36 (1), pp 37-53.