

## Detecção de Vazamentos em Geomembranas - Aplicação dos Métodos Geométricos na Indústria de Mineração

Priscila Mendes Zidan

Evolui Consultoria Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, priscilazidan@evolui.eco.br

Luiz Paulo Achcar Frigo

Evolui Consultoria Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, luizfrigo@evolui.eco.br

Matthew Kemnitz

Leak Location Services Inc, Texas, Estados Unidos, mattk@llsi.com

Luciano Sousa Leal

Evolui Consultoria Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, lucianoleal@evolui.eco.br

**RESUMO:** Este trabalho apresenta os resultados da aplicação dos métodos geométricos para detecção de vazamentos em geomembranas instaladas nas barragens de rejeitos da indústria de mineração. Os resultados apresentados foram obtidos em inspeções de campo realizadas em 22 (vinte e dois) diferentes projetos da indústria de mineração, localizados no México e Estados Unidos (Nevada e Michigan) entre 2015 e 2017. O uso do método possibilitou a avaliação de 298.500 m<sup>2</sup> de geomembranas de PEAD instaladas e reparo imediato dos danos identificados. Devido aos seus benefícios em melhorar consideravelmente os procedimentos de garantia da qualidade da camada de impermeabilização, sugere-se que esta técnica seja utilizada para minimizar os riscos ambientais inerentes à operação de barragens de rejeito na indústria de mineração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Métodos Geométricos, Soil Survey, Detecção de Furos em Geomembranas.

**ABSTRACT:** This paper presents the results of the application of the Leak Location Survey to detect leaks in installed geomembranes, for the quality control of the waterproofing layer of the tailings dams. This research consolidates the results obtained in field inspections carried out in 22 (twenty two) different projects, in Mining Industries in Mexico City, Nevada and Michigan between 2015 and 2017. The applications of the Soil Survey methodology enabled the evaluation of 298,500 m<sup>2</sup> of installed HDPE Geomembranes and immediate repair of identified damages. Due to its benefits in greatly improving the control quality assurance procedures for the waterproofing layer, it is suggested that the technique be used to minimize the environmental, technical and financial risks of the mining Industry.

**KEY WORDS:** Geoelectrical Methods, Soil Survey, Geomembrane Leak Detection.

### 1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, o uso de geomembranas tornou-se significativo na indústria de mineração, de acordo com Breitenbach e Smith (2006), tendo aplicações em soluções de revestimento, tanques de evaporação, aterros e pilhas de lixiviação. Tais

materiais têm sido empregados para minimizar as perdas de metais de alto valor, como ouro e cobre, por exemplo, e também para reduzir o potencial de contaminação do solo.

Para garantir a funcionalidade das geomembranas utilizadas, os métodos de controle de qualidade dos materiais e da instalação já são amplamente utilizados na

indústria de mineração. Entretanto, os métodos convencionais empregados não permitem a avaliação da totalidade da área da geomembrana instalada e sua integridade após completa instalação e colocação do solo de cobertura (quando aplicável).

Giroud (2016) sugere, então, a adoção de um Plano de Garantia da Qualidade da Construção para este tipo de obra, no qual estarão previstos testes não destrutivos para avaliar a integridade das soldas, inspeções visuais na geomembrana e a adoção dos métodos geoeletricos de maneira complementar, principalmente para os projetos em que a mão de obra empregada na construção não possui padrão de excelência. Thiel et al (2003) também sugerem a adoção dos métodos geoeletricos nos Planos de Garantia da Qualidade empregados nos projetos.

Segundo Beck et al. (2018), os métodos geoeletricos foram desenvolvidos nos Estados Unidos na década de 1980, e têm sido comercialmente empregado desde 1985, mas em maior escala na indústria de gestão de resíduos. Estes métodos, já estabelecidos através dos padrões normativos internacionais (ASTM, 2015), permitem a identificação de danos extremamente pequenos em inspeções que abrangem a totalidade da área da geomembrana instalada, possibilitando que os reparados sejam feitos antes do início de seu uso. Segundo Giroud (2016), furos de 1 mm são identificados quando a aplicação dos métodos geoeletricos ocorre diretamente sobre a geomembrana. Cita ainda que furos de 0,6 mm podem ser encontrados na geomembrana coberta com até 60 cm de solo de cobertura, no caso da aplicação do método com geomembrana coberta.

Resultados de estudos desenvolvidos por Thiel et al. (2005) indicaram que, devido aos altos valores associados a metais e reagentes em solução de lixiviação, o uso de métodos geoeletricos possui um sentido econômico estrito, sem mencionar a minimização dos riscos ambientais para a indústria de mineração. Apesar disso, esta indústria vem empregando a técnica de forma progressiva, nos Estados Unidos, sendo as primeiras aplicações na cidade de Nevada em 1995. Atualmente, esta técnica tem sido mais comumente empregada nos Estados Unidos, Chile, Peru e Argentina.

De acordo com Forget et al (2005), dentre 89 projetos testados, usando métodos geoeletricos durante um período de 10 anos (2.652.000 m<sup>2</sup> de área), em média foram encontrados entre 4 e 22 vazamentos por hectare. Esta variação na quantidade de furos depende do nível de controle de qualidade utilizado durante a instalação da geomembrana. Setenta e três por cento dos danos ocorreram durante a aplicação do material de cobertura sobre a geomembrana, vinte e quatro por cento ocorreram durante a instalação da geomembrana e apenas dois por cento dos danos ocorreram após o início do uso da camada impermeabilizante. Ao contrário da percepção comum, a maioria dos danos não ocorreu devido a procedimentos inadequados de solda da geomembrana.

Zidan e Frigo (2016), apresentou o resultado da aplicação dos métodos geoeletricos aplicados em 310.000 m<sup>2</sup> de área de geomembrana coberta com solo, em um projeto da área de Gestão de Resíduos, localizado no estado do Rio de Janeiro. A densidade de furos obtida ao longo de 4 anos de avaliação foi de 0,5 a 8 furos/10.000 m<sup>2</sup>.

Giroud (2016) relatou os resultados de um estudo desenvolvido em 150 projetos, totalizando 250.000 m<sup>2</sup> de área, onde foram aplicados os métodos geoeletricos diretamente na geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade) para avaliar sua integridade. Nestes estudos, de 5 a 6 furos/hectare de geomembrana foram encontrados ao final da instalação da mesma. Tais resultados foram compatíveis com projetos onde houve a adoção de procedimentos de garantia da qualidade. Em projetos onde estes procedimentos não foram empregados, o número de furos chegou a mais de 25/hectare.

Nosko e Touze (2000) que avaliaram os resultados obtidos na aplicação da mesma técnica em cerca de 3.250.000 m<sup>2</sup>, em mais de 300 sites diferentes, identificaram que a maior parte dos furos acontece na área plana onde foi instalada a geomembrana. E nas áreas planas, as principais causas de furos são as rochas e trânsito de máquinas pesadas.

A norma ASTM D7007 (Práticas Padrão para métodos elétricos para localização de vazamentos em geomembranas cobertas com água ou materiais de terra) (ASTM, 2016), estabelece metodologia adequada para o

controle de qualidade da integridade geomembranosa após a aplicação de material de cobertura. Desta forma, os Métodos Dipolo (nome dado ao método geoeletrico de inspeção em que testa-se a geomembrana coberta com solo ou líquido): Soil Survey e Water Survey, podem ser utilizados para inspecionar geomembranas cobertas com terra ou água, por exemplo. Este método consiste na aplicação uma tensão elétrica no material que reveste a geomembrana para identificar vazamentos de corrente elétrica existentes. Através deste método é possível localizar os danos e repará-lo antes do início de seu uso. (Laine et al., 1993). Os métodos elétricos para localizar vazamentos em geomembranas têm sido praticados em todo o mundo por muitos anos (Laine e Darilek, 1993). A aplicação destes métodos tem sido um requisito obrigatório para aterros sanitários em, pelo menos, 4 estados nos Estados Unidos da América, como, por exemplo, Nova Jérσία, Nova Iorque, Califórnia (Koerner et al., 2016).

Assim sendo, este estudo apresentará os resultados de três anos de aplicação dos Métodos Geoeletricos para avaliar a integridade da camada de impermeabilização em barragens de rejeitos na indústria de mineração, antes do início de suas operações. O método geoeletrico específico e que foi utilizado ao longo do desenvolvimento deste estudo, chama-se Método Dipolo, de acordo com a ASTM D7007, e será chamado aqui de "Soil Survey".

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os estudos de Soil Survey apresentados aqui foram conduzidos, em sites da Indústria de Mineração, por colaboradores da empresa Leak Location Services Inc., nos Estados Unidos (estados de Nevada e Michigan) e no México, de acordo com a distribuição percentual apresentada na Figura 1.

Como pode ser visto, a maioria dos dados apresentados é originária de Nevada (64% dos projetos) e cerca de um terço dos estudos foram obtidos no México (32% dos projetos). Apenas um projeto foi desenvolvido no estado de Michigan (4% dos projetos).

A maioria das áreas investigadas, ou seja, 82% dos projetos possuem dupla camada de

geomembrana de PEAD para proteger o solo. Apenas 18% dos projetos avaliados tinham apenas uma camada de geomembrana. A espessura das geomembranas instaladas nos projetos estudados variou entre 1,5 e 2mm.

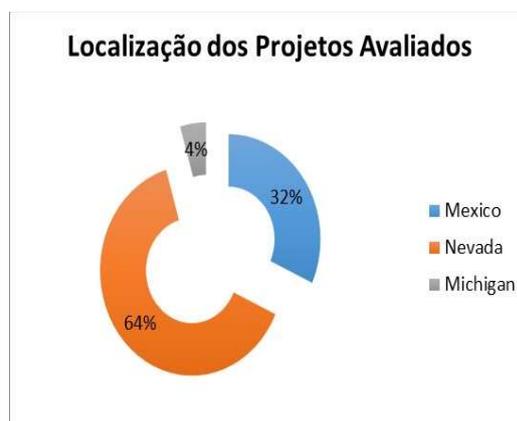


Figura 1. Localização dos Projetos avaliados.

Nos projetos avaliados, em que apenas uma geomembrana foi utilizada, o perfil de impermeabilização foi: solo, geotêxtil, geomembrana e solo de cobertura. Para os projetos onde houve aplicação de dupla camada de geomembrana, o perfil incluiu instalação de geotêxtil drenante entre as geomembranas ou instalação de GCL abaixo da geomembrana secundária.

Este trabalho avaliou os resultados da aplicação do método Soil Survey apenas na camada de geomembrana primária, a qual estava coberta com material sólido (como areia, argila ou similar) compactado. A área total pesquisada, incluindo todos os projetos, foi de aproximadamente 300.000 m<sup>2</sup>.

Os métodos geoeletricos envolvem a aplicação de uma tensão elétrica no material de cobertura que reveste a geomembrana. Esta tensão produz um campo elétrico sem anomalias quando não há vazamentos presentes. Se a geomembrana tiver um furo, a corrente que flui através deste produzirá uma anomalia no campo elétrico medido. Assim, os vazamentos podem ser detectados e localizados. Essas anomalias no campo elétrico são detectadas através de medições sistemáticas sobre a área da geomembrana. A figura 2 é um diagrama que ilustra o método.

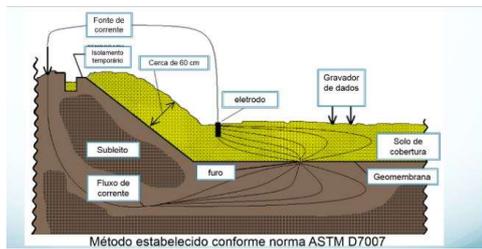


Figura 2. Diagrama ilustrando a metodologia de pesquisa de solo (Leak Location Service, Inc)

As medições do Soil Survey são feitas usando uma malha pré-definida, que determina os pontos de medição na área inspecionada. A malha utilizada neste estudo foi de 3 por 3 metros e as medições foram desenvolvidas a cada 1,5 metros. Os dados foram coletados usando um registrador de dados portátil, como apresentado na Figura 3. Depois da coleta, os dados foram baixados usando o software responsável pelo processamento da informação, permitindo a análise dos mesmos e identificação dos locais onde há furo.



Figura 3. Técnicos coletando dados de campo

### 3 DISCUSSÃO E RESULTADOS

A figura 4 mostra a densidade de furos nos diferentes projetos estudados. Como pode ser visto, dez dos vinte e dois projetos (ou 45% do total de áreas inspecionadas) tiveram densidade de furos variando de 0 a 5/10.000 m<sup>2</sup>. Destes, quatro projetos não tiveram nenhum furo na inspeção. Uma área inspecionada apresentou densidade de 7 furos/10.000 m<sup>2</sup>. Os Outros 45% dos projetos apresentaram densidade variando de 11 a 30 furos, sendo que metade desse grupo identificou ter 11 a 20 danos e a outra metade com 21 a 30 danos. Apenas uma área inspecionada apresentou mais de 31 furos/10.000 m<sup>2</sup>. Neste projeto, desenvolvido no México, utilizou-se apenas uma camada de impermeabilização, e a densidade calculada,

para a geomembrana primária, foi de 41 furos por 10.000 m<sup>2</sup>. Todos os furos identificados, neste projeto, foram ocasionados por punção por rocha. A geomembrana utilizada no projeto estava coberta por solo, mas sem proteção de geotêxtil entre a mesma e o solo. Houve aplicação da geotêxtil apenas abaixo da geomembrana.



Figura 4. Densidade de vazamentos encontrados nas vinte e duas áreas inspecionadas.

Conforme citado por Forget et al (2005) e Giroud (2016), a densidade de furos pode variar conforme o rigor dos procedimentos de garantia da qualidade implantados pelos projetos. Desta forma, a diferença entre as faixas de densidade obtidas nos projetos, pode estar associada ao diferente rigor na aplicação dos métodos de garantia da qualidade adotados nos projetos.

Comparando-se os resultados de densidade de furos obtidos no presente estudo com a variação média de densidade de furos encontrada por Forget et al (2005), obtém-se o gráfico da Figura 5. Nota-se que apenas 32% dos projetos estudados, tiveram densidade de furos variando na faixa de 4-22/10.000 m<sup>2</sup>, que seria a variação encontrada nos estudos desenvolvidos pelo grupo em 2005. Em contrapartida, 45% dos projeto avaliados, apresentaram densidade de furos inferiores aos sugeridos na literatura citada. Apenas 23% apresentou resultados superiores de densidade.

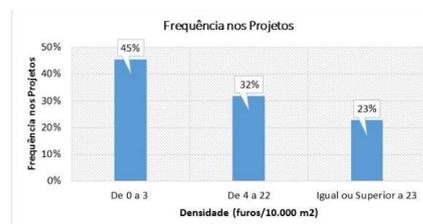


Figura 5. Avaliação da frequência de projetos que apresentou densidade de furos de acordo com estatística da literatura, conforme Forget et al (2005).

Comparando-se os resultados de densidade do presente estudo com os apresentados por Zidan e Frigo (2016), tem-se que 50% dos projetos apresentou densidade de furos dentro da faixa citada nesta literatura, ou seja, 0,5 a 8 furos/10.000 m<sup>2</sup>.

Tais resultados comparativos envolvendo os dados deste estudo e a literatura disponível e acima citada, parecem estar refletir a melhoria nos procedimentos de controle de qualidade da instalação da geomembrana decorrentes dos últimos 10 anos.

As Figuras 6 e 7 mostram imagens de furos típicos e identificados a partir da aplicação do método de Soil Survey para inspecionar geomembranas cobertas com material sólido. A Figura 6 mostra um dano por perfuração de pedra como ocorrido no projeto estudado no México e que apresentou densidade de furos superior a 31 vazamentos / hectare. A Figura 7 mostra um dano por corte, como o encontrado em outro projeto do México em 2017.



Figura 6. Dano por punção de rocha



Figura 7. Dano por corte

Por fim, os resultados de densidade de furos

encontrados reforçam a necessidade de melhorias contínuas nos procedimentos de controle de qualidade da instalação das geomembranas e de maiores controles na aplicação do solo de cobertura.

A partir dos resultados apresentados neste estudo, tais projetos da Indústrias de Mineração tiveram a oportunidade de reparar cerca de 220 furos em um total de 300 hectares de área inspecionada.

Desta forma, conclui-se que a inclusão do método do Soil Survey, no Plano de Garantia da Qualidade das obras de implantação da Indústria da Mineração, permitiria a identificação e correção de furos e, conseqüente minimização dos riscos ambientais e econômicos decorrentes de futuros vazamentos. Isso significa dizer que, uma vez identificado e reparado um furo, o empreendedor economizará quantias significativas de dinheiro, pois evitará a necessidade de remediar e limpar os danos causados por esse vazamento no futuro.

#### 4 CONCLUSÕES

A partir da avaliação dos resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que a realização de inspeções, utilizando o método do Soil Survey, permite a identificação de furos que não seriam perceptíveis ou identificados pela aplicação dos métodos convencionais atualmente empregados para o controle de qualidade da instalação da geomembrana. A introdução do referido método no Plano de Garantia da Qualidade da Construção permitiria, então, a realização de reparos imediatos na geomembrana, minimizando riscos de perdas de materiais da barragem ou contaminações decorrentes de vazamentos dos materiais estocados.

Considerando os riscos ambientais futuros da não identificação e reparo de furos na geomembrana das barragens de rejeitos, a adoção das inspeções utilizando o método de Soil Survey pode representar uma ferramenta adicional no programa de garantia da qualidade da Indústria de Mineração do Brasil, como já praticado nos projetos estudados em Nevada, México e Michigan.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- ASTM D 7007 (2016). Standard Practice for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM International D 6747 (2015). Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Leak Location of Leaks in Geomembranes, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Beck A., Smith M. and Colmanetti J. (2018), Métodos Geométricos Empregados na Minimização de Perdas de Solução em Pilhas de Lixiviação de Minério, <https://www.researchgate.net/publication/238100562>.
- Breitenbach A. and Smith M., (2006). “Overview of geomembrane history in the mining Industry”. Proceedings 8th International Conference on Geosynthetics. Yokohama, Japan.
- Forget B, Rollin L., Jacquelin T. (2005). “Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes”, Proceed. Sardinia, Sardinia.
- Giroud, J. P. (2016). “Leakage Control Using Geomembrane Liner”, Solo e Rocha vol. 39 n. 3, São Paulo, Brasil – p.213-235.
- Koerner, R.M., Koerner, J.M. and Koerner, G.R. (2016). Status of the Electrical Leak Location Survey (ELLS) Method Among State Environmental Protection Agencies in the USA, Geosynthetic Institute, GSI White Paper #34, Folsom, Pennsylvania, USA.
- Laine, D. and Darilek, G. (1993), “Locating Leaks in Geomembrane Liners of Landfills Covered with a Protective Soil”, Geosynthetics’ 93 – Vancouver, Canada, p. 1403-1412.
- Nosko, V. e Touze-Foltz, N. (2000). “ Geomembrane Liner Failure: modelling of its Influence on Contaminant Transfer”, Eurogeo 2 – Bolonha, Itália.
- Thiel R., Darilek, G. and Laine, D. (2003). “Cutting Holes for testing vs. testing for holes”, GFR Magazine, June/July, p. 20-23.
- Thiel R., Beck A. and Smith M. (2005), “The Value of Geoelectric Leak Detection Services For The Mining Industry”, Geo-Frontier Congress 2005, Austin, Texas, USA – p. 24-26.
- Zidan, P. e Frigo, L.P.A. (2016). “Soil Survey: metodologia inovadora no Brasil adotada pela CTR-Rio, para controle de qualidade da instalação da geomembrana”, Revista Obras e Fundações Geotécnicas, Julho, p. 38-41.