

# ARes

AMBIENTE & RESÍDUOS

ISSN 2447-7362 Edição 6 - Ano 2 - 2016

Uma parceria  abrelpe

NESTA EDIÇÃO:

Entrevista com  
Pedro Roberto Jacobi,  
Presidente do Conselho  
do ICLEI Brasil

Interview to Pedro Roberto Jacobi,  
Chairman of The Board, ICLEI Brasil

## Gestão de RESÍDUOS:



## A crise financeira e os custos da operação

**WASTE MANAGEMENT:  
THE FINANCIAL CRISIS, AND  
THE COSTS OF OPERATION**



 GRAPPA  
MKT EDITORIAL





# Conexão Academia

*Soil Survey: Innovative Methodology in Brazil, adopted by CTR-RIO for Quality Control of Geomembrane Installations*

## **SOIL SURVEY: METODOLOGIA INOVADORA, NO BRASIL, ADOTADA PELA CTR-RIO, PARA CONTROLE DE QUALIDADE DA INSTALAÇÃO DE GEOMEMBRANAS**

*Priscila Zidan, Rio de Janeiro/RJ, engenheira química com especialização em gestão ambiental, mestrado em viências e MBA em gestão de negócios. Evolui Consultoria Ambiental.  
priscilazidan@evolui.eco.br*

*Paulo Achcar Frigo, Rio de Janeiro/RJ, engenheiro mecânico com especialização em engenharia de petróleo e gás. Certificação PMP. Evolui Consultoria Ambiental.  
luizfrigo@evolui.eco.br*

O ESPAÇO  
DE LIGAÇÃO  
ENTRE A PRODUÇÃO  
ACADÊMICA  
E AS PRÁTICAS DE  
MERCADO



**RESUMO:** A metodologia de Soil Survey, utilizada para a inspeção da integridade de geomembranas, apesar de muito pouco difundida no Brasil, mostra-se muito adequada para minimizar os riscos de iniciar a disposição de resíduos em uma camada de impermeabilização danificada. Estudos canadenses indicam que a densidade de danos por hectare de geomembranas instalada está em média entre quatro e 22 furos. O controle de qualidade utilizado nos aterros brasileiros não inclui, porém, essa metodologia ou similar. Tal fato pode não apresentar consequências perceptíveis no momento, mas que sejam verificadas a longo prazo. Como a existência de aterros sanitários com impermeabilização é relativamente recente no país, o impacto ocasionado por danos na camada de impermeabilização pode não estar ainda sendo percebido. O aterro sanitário da CTR-Rio adotou essa metodologia de monitoramento para o controle de qualidade da geomembrana. Os resultados encontrados, após quatro anos de operação, indicaram densidades de furos variando entre 0,5 e 8 danos/hectare, para 310 mil metros quadrados de área inspecionada. Todos os danos identificados puderam ser reparados antes, no início da disposição dos resíduos, evitando, assim, a ocorrência de impactos ao meio ambiente ou a necessidade de futuros investimentos com a remediação da área.

**PALAVRAS-CHAVES:** geomembrana, controle de qualidade, inspeção, impermeabilização, aterro sanitário, danos na geomembrana.

**ABSTRACT:** The Soil Survey methodology is used for the detection of leaks in geomembranes. Although little known in Brazil is well suited to minimize the risk of placing waste on a damaged liner system. A Canadian study indicates that the density of damages on installed geomembranes is on average between 4 and 22 leaks per hectare. Quality Control measures currently used in Brazilian landfills do not include this type of testing. As the existence of lined landfills is relatively new in Brazil, the impact caused by damage in the protective layers cannot be perceived. The Landfill of CTR-RIO, in Rio de Janeiro (Brazil), adopted this methodology for quality control. The results after 4 years of operation indicated the amount of leaks found range between 0.5 and 8 leaks per hectare for an inspected area of approximately 310,000 square meters. All identified damages could be repaired before the beginning of the waste disposal.

**KEYWORDS:** geomembrane, quality control, inspection, waterproofing, sanitary landfill, geomembrane damage.

**INTRODUÇÃO:** A partir do estabelecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos <sup>(1)</sup>, no Brasil, em agosto de 2010, foi definido o prazo para o encerramento de todos os lixões no país. Apesar de essa meta ter sido recentemente prorrogada <sup>(2)</sup>, um número expressivo de lixões foi encerrado, dando lugar à implantação de aterros sanitários licenciados.

Apesar de a normatização que estabelece os padrões para licenciamento de aterros <sup>(3, 4)</sup> não definir a implantação de geomembrana em sua base, esse requisito tornou-se exigência mínima pelos órgãos ambientais.

Considerando que a geomembrana é utilizada como o principal agente impermeabilizante, que irá impedir a contaminação do solo e das águas subterrâneas, a verificação de sua integridade após a instalação e antes da disposição dos resíduos torna-se fundamental.

Atualmente, no Brasil, o método de controle de qualidade da instalação da geomembrana mais utilizado é a inspeção da solda (costura).

Esse método, porém, inspeciona apenas um pequeno percentual em área da geomembrana instalada, não identificando possíveis danos causados por outras origens que não a solda.

Além disso, esse teste não inspeciona a geomembrana após a implantação do solo de cobertura, etapa em que ocorre a maioria dos danos, devido à utilização de equipamentos pesados na construção do liner e aplicação efetiva de carga sobre a geomembrana.

O resultado de estudos estatísticos desenvolvidos no Canadá <sup>(5)</sup>, a partir dos dados de monitoramento dos vazamentos em geomembranas, em 89 projetos ao longo de dez anos (2.652.000 metros quadrados de área), identificou que:

- A densidade de danos encontrados nas geomembranas instaladas varia, em média, entre quatro e 22 danos por hectare. Essa variação depende do nível de controle de qualidade adotado na instalação da geomembrana;
- Setenta e três por cento dos danos causados ocorreram durante a aplicação do solo de cobertura sobre a geomembrana, 24% ocorreram durante a instalação da geomembrana e somente 2% dos danos ocorreram após a fase de implantação;
- Ao contrário do que o consenso atual reconhece, a maior parte dos danos não ocorre devido a procedimentos inadequados de solda.



A norma ASTM D7007 (*standard practices for electrical methods for locating leaks in geomembranes covered with water or earthen materials*)<sup>(6)</sup> estabelece metodologia adequada e muito difundida fora do Brasil para controle de qualidade da geomembrana após a aplicação da camada de cobertura: o Soil Survey e o Water Survey (pesquisa em geomembranas cobertas por solo e água, respectivamente).

Tratam-se dos métodos elétricos para a inspeção de geomembranas cobertas (com solo ou água, por exemplo). O princípio desse método é a aplicação de uma diferença de potencial por meio do material plástico para identificar se há alguma passagem de corrente, o que caracterizará que existe dano. Com o uso do método, consegue-se localizá-lo e promover o reparo antes da aplicação dos resíduos<sup>(7)</sup>.

Os métodos elétricos para a inspeção de geomembranas são requisitos obrigatórios para os aterros sanitários em alguns locais nos estados dos Estados Unidos, como é o caso dos estados de Nova Jersey e do Texas<sup>(8)</sup>.

No Brasil, a metodologia do Soil Survey já foi incluída como controle de qualidade da implantação do aterro sanitário da CTR-Rio, em Seropédica.

A adoção de tal prática representa uma segurança relevante para o órgão ambiental, para o empreendedor responsável pela operação do aterro e para as indústrias que dispõem seus resíduos nos aterros.

## METODOLOGIA

O aterro sanitário estudado possui quatro camadas de impermeabilização: 0,50 metro de argila compactada, geocomposto bentônico (GCL), manta de 1,5 milímetros de Pead (Polietileno de Alta Densidade) e outra manta, do mesmo material, com 2 milímetros de espessura. O espaçamento entre as mantas é feito pela aplicação de uma camada drenante constituída por 20 centímetros de areia e tubos de Pead perfurado, os chamados drenos testemunhos e 15 centímetros de argila (logo abaixo da manta de 2 milímetros). A primeira camada de geomembrana, a de 2 milímetros de espessura, é ainda recoberta por uma camada de 0,50 metro de solo compactado, a qual é chamada de selo mecânico.

No caso de qualquer vazamento de chorocho pela primeira geomembrana (a mais próxima da camada de resíduos), este irá escoar pela camada drenante, sendo coletado pelo dreno testemunho (tubos de Pead).

Na camada de 15 centímetros de argila estão implantados eletrodos que são utilizados para o monitoramento de vazamentos na geomembrana após o início da disposição dos resíduos. Esses eletrodos, porém, não são utilizados para a realização da metodologia do Soil Survey.

O presente estudo avaliou os resultados das inspeções por Soil Survey, desenvolvidas na primeira camada de geomembrana, ou seja, na de 2 milímetros de espessura e que fica logo abaixo do selo mecânico e representa a primeira barreira de impermeabilização que poderá ter contato com o lixo e o chorocho da célula.

Em virtude da complexidade do planejamento associados às atividades de operação e à implantação do aterro sanitário da CTR-Rio, as células de resíduos foram nomeadas

## INTRODUCTION

The establishment of National Politics of Solid Waste (Brazil Presidency of the Republic, 2010), in Brazil, in August 2010, defined a deadline for the closure of all dumps in the country. Despite this deadline (Brazil Presidency of the Republic, 2014) an impressive amount of dumps were closed, giving place to implantation of authorized landfills.

Although the environmental agency that established the standards for landfill installation permits does not require the use of geomembranes (ABNT, 1984 and ABNT, 1987), state agencies require them as a minimum standard.

Considering that geomembrane is used as the main liquid barrier to prevent soil and sub water contamination, the leak location testing after earth material is placed on and before waste disposal becomes essential.

Currently, the most common quality control method used to inspect geomembranes in Brazil is the weld seams test. However, this method tests only a very small percentage of total geomembrane area installed, without identifying potential damages not caused by seam welding.

In addition this method does not test the geomembrane after the earth materials placement stage when more significant amounts of damages have occurred due to use of heavy equipment to construct the liner and the effective load application over the geomembrane.

The statistics researched using monitoring data of geomembrane leaks developed in Canada (Forget et al, 2005), in 89 projects during a 10 years period (2,652,000 m<sup>2</sup> of area), show that the density of geomembrane damages varied, on average between 4 and 22 per hectare. This variation depends on the level of quality control used during the geomembrane installation. Seventy three percent of the damages occur during the application of overlying earth material on the geomembrane, twenty four percent occur during the installation of geomembrane and only two percent of the damages occur after the landfill construction. Contrary to the common perception, the majority of damages do not occur due to inadequate weld procedures so the testing regime should be expanded.

ASTM D7007 (Standard Practices for electrical methods for locating leaks in geomembranes covered with water or earthen materials) (ASTM, 2016), establish adequate methodology out of

<sup>1</sup>David C. Wilson, Department of Civil and Environmental Engineering, Skempton Building, South Kensington Campus, Imperial College London, London, SW7 2AZ, UK Email: waste@davidcwilson.com



conforme uma codificação específica, a qual chamaremos genericamente por células de A a G.

As áreas referentes a cada uma das células implantadas e testadas pela metodologia do Soil Survey seguem apresentadas na figura 1, abaixo.

Os resultados do presente estudo referem-se às pesquisas realizadas em aproximadamente 31 hectares de células implantadas.

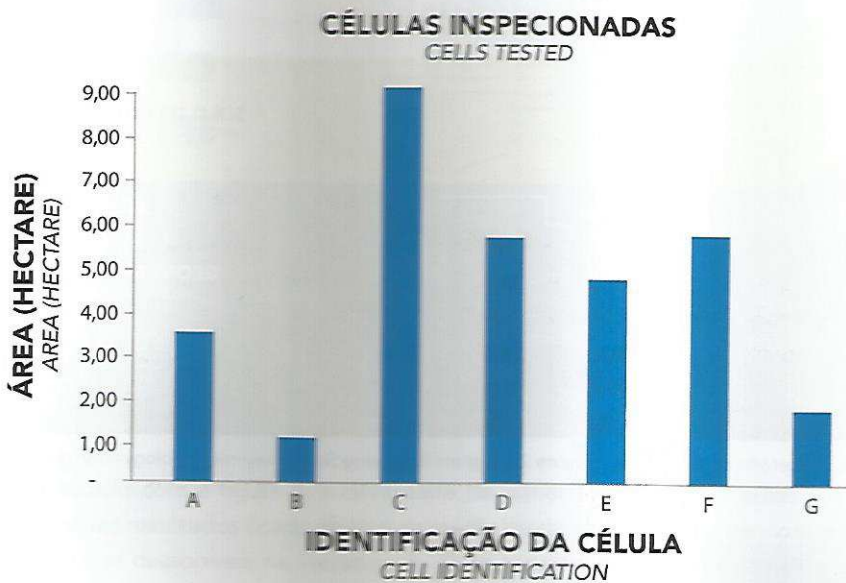


Fig. 1: Identificação e dimensão das células implantadas que foram submetidas ao monitoramento do Soil Survey. / Figure 1: Areas of the cells tested with the electrical leak location survey.

A metodologia do Soil Survey consiste na aplicação de uma tensão elétrica por meio da geomembrana. Essa tensão elétrica irá produzir um campo elétrico uniformemente distribuído quando não existem furos na geomembrana. Caso existam furos, estes são detectados e localizados pela identificação de anomalias no campo elétrico, causado pela fuga de corrente por esses furos. Essas anomalias do campo elétrico são identificadas por meio das medições realizadas em toda área de implantação da manta, em pontos pré-definidos pelos localizados na geomembrana.

Durante a inspeção, utiliza-se uma fonte de tensão ligada a dois eletrodos. O eletrodo fonte é instalado no solo sobre a geomembrana e o eletrodo de retorno será instalado no solo abaixo da geomembrana. A fonte de tensão irá gerar, por meio do eletrodo fonte, um campo elétrico no solo de cobertura. Caso haja furo na geomembrana, haverá fuga de corrente elétrica no sentido do eletrodo de retorno, localizado sob a geomembrana.

O monitoramento de toda a área é realizado a partir da definição de uma malha, pela qual são feitas as medições de campo. O espaçamento da malha utilizado foi de 3 metros e as medições foram feitas a cada 1,5 metro. Os dados de campo foram coletados nos medidores portáteis e depois transferidos para o software que realiza a interpolação dos dados e permite sua avaliação para a localização dos danos.

*Brazil, to the quality control of geomembrane integrity after the placement of overlying material: The Soil Survey and Water Survey.*

*This particular methodology uses an electrical method to inspect geomembranes covered with soil or water, for example. The principle of this method is to apply a voltage across the plastic material to search for any electrical current leaks. Through this method it's possible to locate the damage and fix it before the deposition of waste (Laine et al, 1993).*

*The electrical methods to locate leaks in geomembranes have been practiced worldwide for many years (Laine and Darilek, 1993). Application of these methods has been mandatory requirements for sanitary landfills in some states in the United States of America such as New Jersey, New York, and parts of California (Thiel et al, 2003).*

*In Brazil, the application of Soil Survey methodology was included in the geomembrane Construction Quality Control Program at CTR-RIO Landfill, in Seropédica City, in the State of Rio de Janeiro, Brazil. The adoption of this technology provides relevant security to the environmental agency, the company responsible for the sanitary landfill operation, and industries that dispose of waste.*

#### METHODOLOGY

*The landfill referenced in this paper has four leak resistant layers of thickness from the bottom up: 0.50m of compacted clay, a geosynthetic clay liner (GCL), 1.5mm thick of High Density Polyethylene (HDPE) geomembrane liner, and another layer of HDPE geomembrane liner 2 mm of thickness. Between the geomembranes is a drainage layer with 0.2 m thick layer of sand and perforated HDPE pipes (Drainage Tube Testimony) and a 0.15m thick clay layer just below the 2mm HDPE liner. The primary (top) 2.0 mm geomembrane layer is covered with 0.50 m thick layer of compacted soil, which is called the mechanical seal.*

*In the case of any leachate leakage through the primary geomembrane, the leachate will flow into the drainage layer, and will be collected by the Drainage Tube Testimony pipes.*

*Installed in the 0.15 m clay layer are electrodes for a separate geomembrane monitoring system to be used after waste is placed on the liner system.*

*This paper evaluated the Soil Survey results for the primary geomembrane la-*



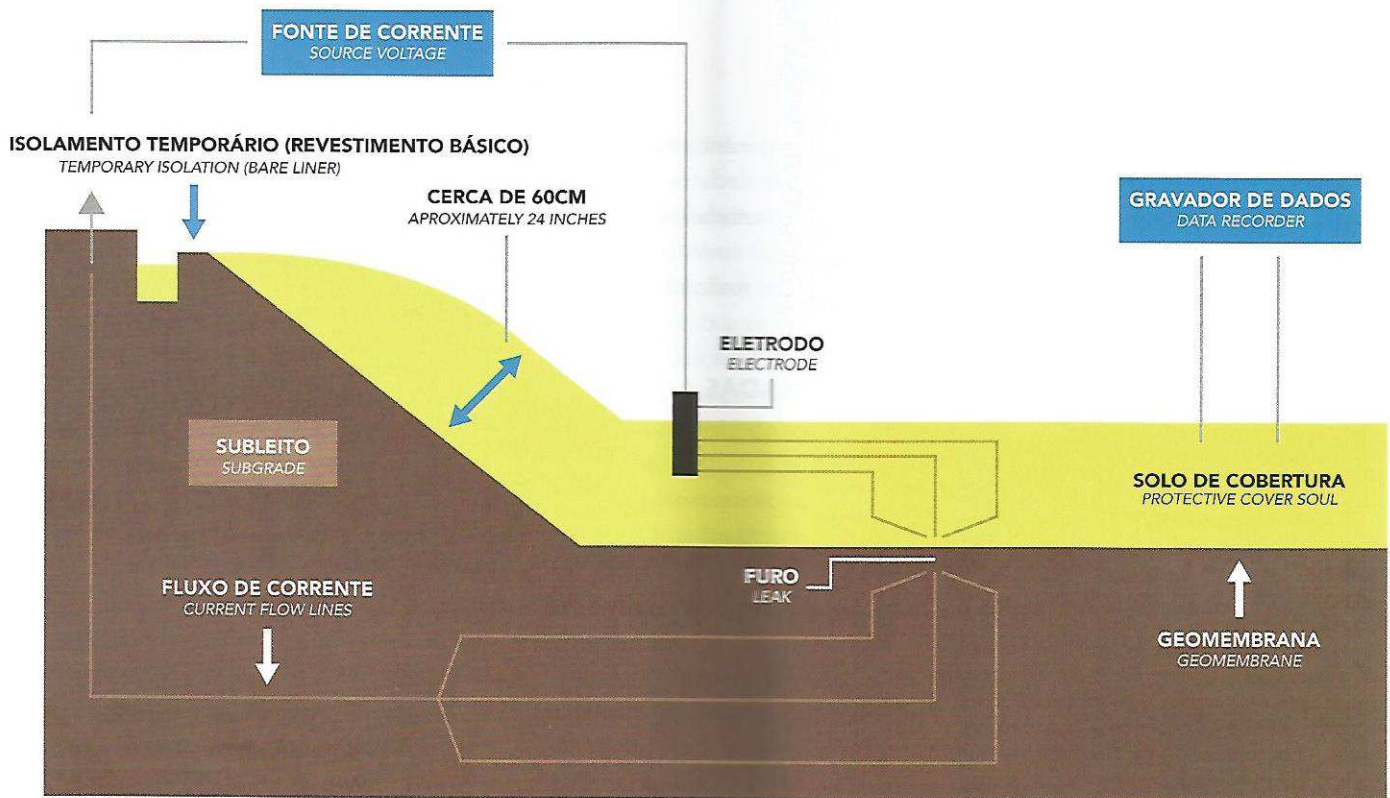


Fig. 2: Diagrama esquemático que traduz o embasamento do método do Soil Survey. / Figure 2: Diagram illustrating Soil Survey methodology (From LLSI).



Fig. 3: Técnico realizando as medições em campo referentes ao Soil Survey. / Figure 3: A technician collecting field measurements.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir dos resultados obtidos no monitoramento das células em estudo, calcularam-se as densidades de danos por hectares em cada caso. Estabeleceu-se, também, uma classificação para os danos encontrados, comparando estes com resultados já divulgados em literatura. Os dados consolidados seguem apresentados nos gráficos a seguir:



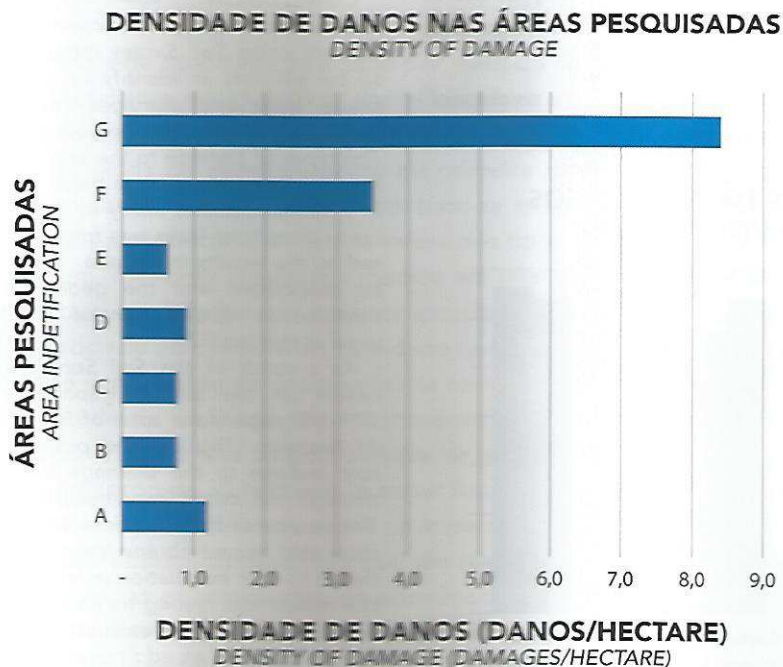


Fig. 4: Densidade de danos encontrados em cada uma das células inspecionadas pelo Soil Survey, no CTR-Rio. / Figure 4: Density of leaks located in each Cell tested with the Soil Survey in CTR.

De acordo com a figura 4, a densidade de danos foi menor nas áreas A a E, tendo esses resultados ficado abaixo da média de danos por hectare encontrados nos estudos disponíveis na literatura <sup>(5)</sup>. Já os resultados do monitoramento das área F e G, apesar de maiores do que as anteriores, ficaram dentro da média dos projetos estudados <sup>(5)</sup>.

yer, the 2 mm HDPE geomembrane located just below the mechanic seal, which is the first leak barrier layer that could have contact with the waste and leachate of the landfill cell.

Considering the complexity associated with landfill operation and construction activities, the waste cells were designated as Cells A through Cell G. Figure 1 shows the areas of each cell. The total area surveyed was approximately 31 hectares.

Soil Survey measurements marks are made using a pre-defined grid, which determines the measurements points on the landfill. The grid used was 3 by 3 meters and measurements were done every 1.5 meters. The data was collected using a portable data logger, like presented in Figure 3, and afterward downloaded using software responsible for processing the information enabling data analysis for the damage locations.

#### DISCUSSION AND RESULTS

The Figure 4 shows the density of leaks in the various cells. The damages were also categorized and compared to data from technical literature. Figure 4 shows the damage density was smaller in areas A through E, which had a below average result compared to the technical literature (Forget et al. 2005). The results from areas F and G were comparable with data from the researched literature.

Considering the types of damages located, cuts and punctures represent the majority of leaks discovered, as presented in figure 5, followed by irregular cuts, welded seam damage and damage caused by heavy equipment traffic.

The comparison between damage types discovered in CTR-RIO and the reference from literature, (Forget et al, 2005) are shown in figure 6.

The percentages of linear cuts and rock punctures found in CTR Rio are very close to those cited in the literature (Forget et al. 2005). Irregular cut damages were more frequent in CTR Rio and welded seam damage were less frequent than the results mentioned in technical literature.

Figures 7 and 8, show pictures of damages discovered during the electrical Soil Survey, in CTR-RIO Cells. Figure 7 shows a rock puncture damage and Figure 8 shows a welded seam damage leak.

### CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS TYPES OF DAMAGES FOUND IN CTR-RIO

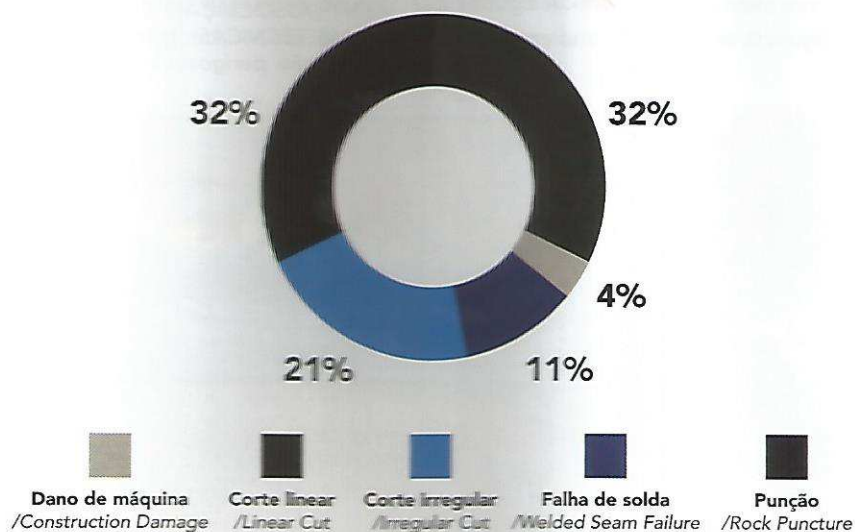


Fig. 5: Classificação e percentual de ocorrência dos principais danos encontrados na geomembrana das áreas inspecionadas pelo Soil Survey. / Figure 5: Types of damage and percentage of geomembrane damage located using the Soil Survey method.



Em relação aos tipos de danos encontrados, os cortes e as punções são os que se apresentam em maior frequência, sendo seguidos por cortes irregulares, depois falha na solda da emenda e, por fim, danos por máquinas.

A comparação dos tipos de danos encontrados na CTR-Rio e os disponíveis na literatura segue apresentada na figura 6, a seguir.

**OCORRÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE DANOS**  
 TYPES OF DAMAGES IN CTR-RIO X LITERATURE DATA

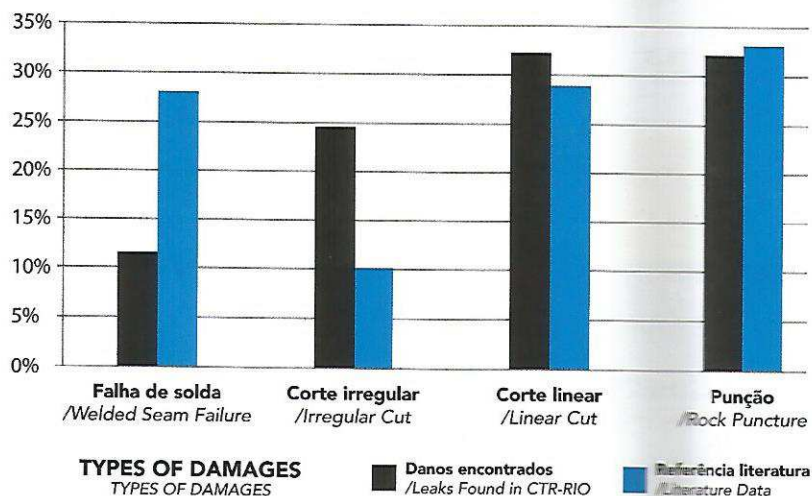


Fig. 6: Frequência de ocorrência dos diferentes tipos de danos, encontrados nas pesquisas de Soil Survey da CTR-Rio, comparados com aquela identificada na literatura(5). / Figure 6: Percentage of damage types found using Soil Survey in CTR-RIO compared with literature data (Forget et al, 2005).

Nota-se, a partir dos dados acima, que existe grande similaridade em relação à frequência de danos por punção e corte linear na CTR-Rio e nos demais projetos estudados (5). Já os cortes irregulares foram mais frequentes na CTR-Rio, e as falhas de solda em muito menor frequência dos que as encontradas nos projetos estudados anteriormente.

As figuras 7 e 8, a seguir, apresentam imagens de danos que foram identificados ao longo do monitoramento de Soil Survey, nas células da CTR-Rio. A figura 7 representa um dano por punção de rocha e na figura 8, tem-se um dano em solda de emenda entre as geomembranas.

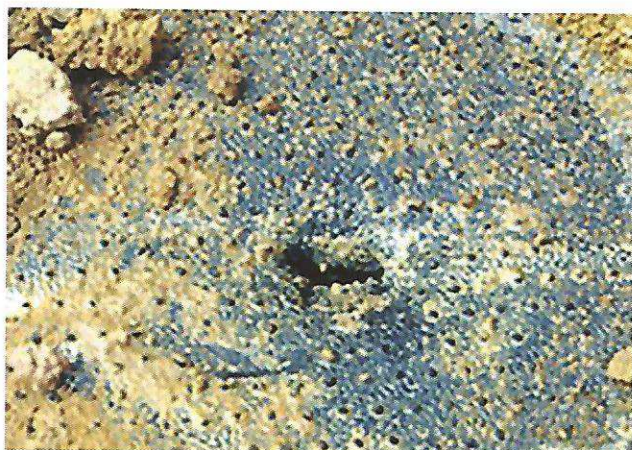


Fig. 7: Dano causado à geomembrana durante a instalação. / Figure 7: Puncture damage.

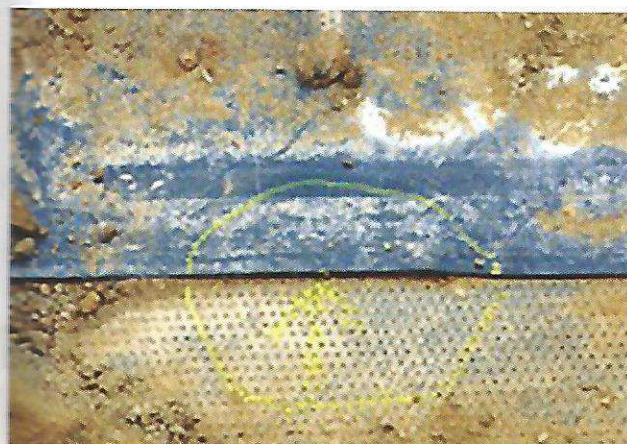


Fig. 8: Falha identificada na solda da emenda entre as geomembranas. / Figure 8: welded seam damage.

**CONCLUSION**

Geomembrane Construction Quality Control using Soil Survey demonstrates to be efficient in identifying geomembrane leaks and damages caused by geomembrane installation and covering. The types of damage to the primary geomembrane were similar to those attained in a comprehensive study in Canada. A lower density of leaks was found compared to the results in Canada. This might be associated with the geomembrane construction quality control that was used at this landfill.

As a result of the Soil Survey application on the primary geomembrane, CTR-RIO repaired a total of 53 leaks in 31 hectares. This avoided potential future leakage to the drainage layer and through the other impermeable layers. The results of the electrical Soil Survey show that geomembrane leaks are a real threat to liner installation in landfills. For this reason this testing technique should be adopted for Brazilian landfills, as CTR Rio has done, as an additional tool in the quality control program for geomembrane installations.

This technique, already practiced worldwide, represents an improvement in this country for geomembrane installation quality control and consequently the environmental risk reduction that is inherent with waste disposal activities.

**REFERENCES**

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). (1984) Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - procedimento, NBR 8419. Rio de Janeiro, Brazil.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). (1987) Aterros de resíduos não perigosos - critérios para



## CONCLUSÕES:

O controle de qualidade, realizado por meio do método do Soil Survey, se mostrou eficiente em identificar danos causados na geomembrana durante instalação e cobertura.

Os resultados do monitoramento da primeira camada de geomembrana do aterro sanitário da CTR-Rio encontram-se compatíveis com os padrões disponíveis na literatura, no que se refere aos tipos de danos. Identificaram-se, porém, melhores resultados médios em relação à densidade de danos por hectare, em relação aos projetos estudados na literatura. Tal fato deve estar associado ao controle de qualidade que vem sendo adotado nas atividades de implantação da geomembrana nesse aterro.

Em virtude da realização do monitoramento do Soil Survey, na primeira camada, a CTR-Rio teve a oportunidade de reparar 53 danos no total, distribuídos em torno de 31 hectares, e evitar futuros vazamentos para a camada drenante e as posteriores camadas de impermeabilização.

Os dados obtidos demonstram que são reais e, inerentes às atividades de implantação, as possibilidades de ocorrência de danos nas geomembranas de Pead usadas para a impermeabilização de aterros. Por esse motivo é que este tipo de monitoramento deveria ser adotado pelos aterros brasileiro, à exemplo da CTR Rio, como modelo de inspeção para o controle de qualidade da instalação.

Tal prática, já bastante difundida fora do Brasil, representa uma inovação no país com relação ao controle de qualidade de geomembranas e à ação de minimização de riscos ambientais, inerentes às atividades de disposição final de resíduos.

projeto, implantação e operação, NBR 13896. Rio de Janeiro, Brazil.

ASTM International (American Society for Testing and Materials). (2015), Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Leak Location of Leaks in Geomembranes, D6747 – 15 – West Conshohocken, PA

ASTM International (American Society for Testing and Materials). (2016) Standard Practice for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials, D7007 – 16 – West Conshohocken, PA

Brazil Presidency of the Republic, (2014) Política Nacional de Resíduos Sólidos – Law number 425, Brasília, Brazil

Brazil Presidency of the Republic, (2010) Política Nacional de Resíduos Sólidos - Law number 12.305, Brasília, Brazil

Forget B, Rollin L., Jacquelin T. (2005). "Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes", Proceed. Sardinia, Sardinia.

Laine, D. and Darilek, G. (1993), "Locating Leaks in Geomembrane Liners of Landfills

Covered with a Protective Soil", Geosynthetics' 93 – Vancouver, Canada – 1403-1412.

Thiel R., Darilek, G. and Laine, D. (2003). "Cutting Holes for testing vs. testing for holes", GFR Magazine, June/July, 20-23.

## BIBLIOGRAFIA:

- (1) Lei 12.305/2012: Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- (2) Projeto de Lei 425/2014.
- (3) Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13896: aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1987.
- (4) Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- (5) Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes, B. Forget et al, Canada.
- (6) ASTM D7007 – 09 – Standard Practice for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials.
- (7) ASTM D6747-02 – Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earthen Materials.
- (8) Cutting Holes for Testing vs. Testing for Holes, Richard Thiel, Glenn Darilek and Daren Laine, GFR Magazine, June/July 2003.
- (9) Locating Leaks in Geomembrane Liners of Landfills Covered with a Protective Soil, Laine, D.L. and Darilek, G.T., Geosynthetics 93 – Vancouver, Canada – 1403-1412.
- (10) Relatórios de Soil Survey, disponibilizados pela CTR-Rio.