

EFICIÊNCIA DE SISTEMA DE COBERTURA EM UM ATERRO SANITÁRIO NA GERAÇÃO DE EFLUENTES

Clara Campos dos Santos
Engenheira Civil, UESC, Ilhéus, Brasil, ccsantos.egc@uesc.br

Cleverson Alves de Lima
Professor Doutor, UESC, Ilhéus, Brasil, clalima@uesc.br

Ana Olívia Pinheiro Silva
Engenheira Civil, UESC, Ilhéus, Brasil, aopsilva.egc@uesc.br

Naiara de Lima Silva
Professora Mestre, UFSB, Itabuna, Brasil, naiara.silva@gfe.ufsb.edu.br

RESUMO: O aumento na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) está diretamente ligado ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico e social de uma localidade. Com isso, os aterros sanitários exercem uma função importantíssima, dando destinação de forma sustentável e menos agressiva ao ambiente. Entretanto, é preciso se atentar as condições, desde a sua disposição no aterro sanitário até o seu processo de confinamento, com o estabelecimento de um gerenciamento, critérios operacionais e de monitoramento. Neste contexto, busca-se avaliar as condições de segurança em uma célula de aterro sanitário em operação no Sul da Bahia, de acordo com a legislação ambiental e as normas técnicas pertinentes. A pesquisa utilizou os parâmetros geotécnicos do solo e do resíduo, o projeto geométrico da célula do aterro sanitário e as condições climáticas regionais para o desenvolvimento do modelo numérico, na ferramenta Geostudio Vadose/W, para a análise do balanço hídrico das camadas do aterro. A avaliação dos resultados indicou a eficiência e os pontos observáveis na célula avaliada, tendo em vista a redução da produção de lixiviados.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos; Proteção ambiental; Resíduos Sólidos Urbanos.

ABSTRACT: The increase in the generation of Urban Solid Waste (MSW) is directly linked to population growth, economic and social development of a location. As a result, landfills play a very important role, disposing of them in a sustainable and environmentally friendly way. However, it is necessary to pay attention to the conditions, from its disposal in the landfill to its confinement process, with the establishment of management, operational and monitoring criteria. In this context, we seek to evaluate the safety conditions in a landfill cell operating in the South of Bahia, in accordance with environmental legislation and relevant technical standards. The research used the geotechnical parameters of the soil and waste, the geometric design of the landfill cell and regional climatic conditions to develop the numerical model, in the Geostudio Vadose/W tool, to analyze the water balance of the landfill layers. The evaluation of the results indicated the efficiency and observable points in the evaluated cell, with a view to reducing leachate production.

KEYWORDS: Waste Management; Environmental Protection; Urban solid waste.

1. INTRODUÇÃO

As transformações na população, concentrada no meio urbano e sujeita aos padrões de industrialização e consumo, resultaram no aumento da geração de resíduos sólidos, promovendo um processo de degradação ambiental que impacta a qualidade de vida (ROTH & GARCIAS, 2008). Nesse contexto, o tema Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) destaca-se, trazendo desafios às cidades que buscam desenvolvimento ambientalmente sustentável. Surge, então, a necessidade de dispor e tratar esses resíduos de forma segura. No Brasil, conforme Spinola et al. (2017) e Lopes e Silva (2020), os aterros sanitários predominam como opção de baixo custo para centralização, confinamento e tratamento definitivo dos resíduos. Visa proteger a saúde pública, controlar impactos ambientais, odores e vetores nas proximidades urbanas.

Na estruturação de um aterro sanitário em células, é essencial dimensionar um sistema de proteção que garanta estanqueidade e segurança contra movimentos de massa, contaminações na água, solo e ar. Incluindo coberturas terrosas, com vegetação ou mistas, para proteger o núcleo da célula contra águas pluviais e conduzir as superficiais sem perda de material. A proteção do subsolo e águas com uma camada impermeável evita a contaminação do lençol freático, e a geometria do aterro deve garantir a estabilidade estrutural, considerando a heterogeneidade do material.

No contexto da disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), os aterros sanitários surgem como solução essencial, com a utilização das normas NBR 8419/1992, NBR 13896/1997 e NBR 15849/2010, que estabelecem critérios para elaboração, localização, implantação e operação dessas instalações. De acordo com Silva (2021), o aterro sanitário é uma obra de engenharia que busca a disposição final segura de RSU, integrando sistemas de proteção e monitoramento. Além de técnicas como impermeabilização, drenagem, coleta e tratamento de percolados são essenciais para garantir a estanqueidade da célula confinada. Conforme a norma NBR 13896/1997, estudos prévios devem ser realizados para definir a localização e características de uma unidade de tratamento de resíduos, incluindo topografia, geomorfologia, proximidade de recursos hídricos, vegetação, acessos, área disponível, vida útil planejada, custos operacionais e distância dos núcleos urbanos.

No caso das propriedades dos resíduos sólidos urbanos, como tamanho, quantidade de matéria orgânica e potencial gerador de biogás, existem desafios em quantificar devido à sua natureza heterogênea, variando conforme a localidade de coleta e o tempo de degradação. Há também a falta de padronização nos procedimentos, dificultando a gestão de RSU, exigindo estudos prévios e o emprego de diversas técnicas para uma disposição adequada (Protasio, 2013). Neste estudo, avaliam-se as condicionantes de segurança para a condição crítica da célula de um aterro sanitário operacional por meio de simulações numéricas. Essas análises são cruciais para identificar condicionantes críticas e áreas de melhoria, visando o aumento de desempenho e segurança.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de dados sobre o perfil de consumo, geração e caracterização gravimétrica dos RSU feito por Conder (2020) para a região de Itabuna-Ilhéus, com cerca de 366.000 habitantes, foi possível gerar o Plano Diretor de Limpeza Pública da microrregião a fim de avaliar a necessidade de se estruturar o sistema de disposição de resíduos. No entanto, dado o novo impulso de desenvolvimento regional devido aos novos empreendimentos tornarão o plano rapidamente desatualizados, conforme mostra a experiência de Spinola (2014). A pesquisa realizada trouxe dados da produção de resíduos conforme a classe e renda familiar, com índice médio de 0,52 kg/hab/dia para a região, conforme pode-se ver na Tabela 1.

Tabela 1 – Geração de Resíduos Sólidos Urbanos

Classes	Renda (SM)	Per capita (kg/hab/dia)		Per capita média (kg/hab/dia)		Peso específico médio por classe (kg/m ³)		Média Geral (kg/m ³)	
		Maio	Fev.	Maio	Fev.	Maio	Fev.	Maio	Fev.
A	> 10	0,82	0,82			116,83	110,82		
B	05 a 10	0,77	0,63			88,36	115,92		
C	02 a 05	0,68	0,57	0,52	0,53	103,67	134,11	132,82	130,93
D	01 a 02	0,54	0,50			124,50	121,23		
E	<01	0,50	0,50			137,70	136,09		

CONDER/FEP (2020)

Considerando as exigências legais e falta de solução para o problema dos resíduos urbanos na microrregião, os municípios passaram a dispor seus RSU em um aterro privado da CVR Costa do Cacaú, localizado entre as duas cidades, que atua na guarda dos RSU e gerenciamento dos efluentes gerados (Figura 1), recebendo cerca de 250 toneladas diariamente.

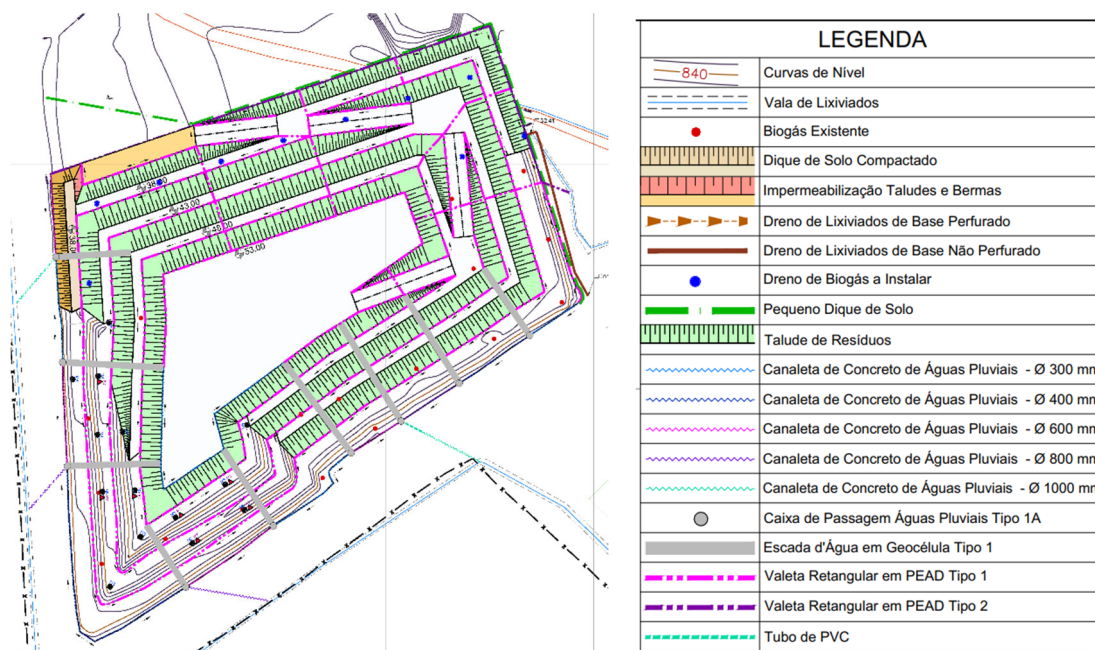
Figura 1 – Imagem aérea do empreendimento CVR Costa do Cacao.



Fonte: TISTU, 2022

Segundo Faria et al. (2022), o empreendimento foi licenciado para receber 3.314.734 toneladas durante sua vida útil, prevista até o ano de 2052. Neste momento, o projeto chegará a exaustão, com a previsão de 05 níveis, com cota entre 32,41 a 58,00 m (Figura 2). O sistema de preenchimento das células será linear, sem seções, com diques de contenção nas extremidades para confinamento e preparação das células para o alteamento. Enquanto o sistema de cobertura previsto é de solo natural compactado nos primeiros níveis e solo natural com graminéia na camada do nível final, que já vem sendo executado desde o nível inicial.

Figura 2 – Poligonal e plano de ocupação do aterro sanitário.



Fonte: GeoTech (2023).

Com base na concepção original do aterro sanitário, foram realizadas simulações numéricas usando os softwares Geostudio Vadose/W, que envolveram análise do fluxo de água para verificar a estanqueidade em condições críticas de serviço. Foram simulados dois cenários para avaliação do balanço hídrico da célula do aterro sanitário: *Cenário 1*: Sem a camada de armazenamento e liberação, com cobrimento em solo natural

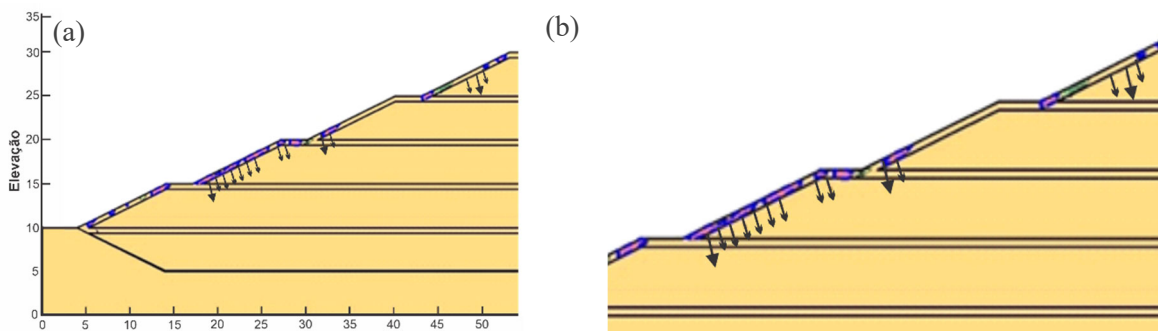
compactado sem vegetação; *Cenário 2*: Sem a camada de armazenamento e liberação, com cobrimento em solo natural compactado com vegetação.

As situações com e sem vegetação foram analisadas para avaliar as variações no balanço hídrico, considerando que a ausência de vegetação pode aumentar o volume de efluentes devido à entrada de águas pluviais no maciço. Essa diferença na cobertura pode também afetar a eficiência de longo prazo da estanqueidade, pois há risco de perda de material devido ao movimento das águas superficiais. Pretende-se avançar com o estudo de estabilidade dos taludes utilizando o software Geostudio Slope/W à luz da norma ABNT NBR 11682/2009 para analisar o fator de segurança (FS) do sistema de cobertura em condições críticas. Os parâmetros mecânicos, estruturais e de inclinação serão inseridos a partir da seção de corte do aterro, foram obtidos dos memoriais do empreendimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Simulação do cenário 1: Na análise foi considerada uma cobertura terrosa exposta com 60 cm de espessura e uma condição climática que mantenha a saturação do solo nos intervalos de 60 e 180 dias. Na Figura 3, nota-se os pontos com maior poropressão no solo com vetores indicando o sentido de movimento. As isolinhas apontam que a quantidade de águas pluviais a infiltrar no maciço são irrisórios, indicando boa estanqueidade da célula, tal constatação é importante pois, a eficiência do sistema reduz a geração de lixiviados demandando menos das lagoas de tratamento. Verifica-se que condição crítica ocorre a 180 dias de chuvas frequentes, onde as frentes de umedecimento atingem camadas mais profundas exigindo um monitoramento do sistema de drenagem e aumentando a suscetibilidade de movimentos de massa devido aos excessos de poropressão interna no maciço.

Figura 3 – Destaque da isóbara de pressão do Cenário 1 para (a) o dia 60 e (b) o dia 180.

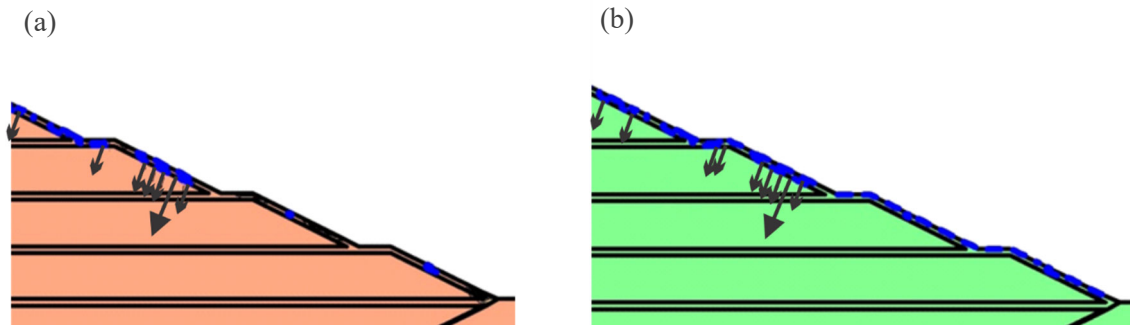


No entanto, a falta da cobertura vegetal pode desencadear problemas na estrutura da cobertura como erosão e empoçamentos, aumentando custos com a manutenção corretiva. No longo prazo, isso pode levar a:

- Acúmulo de efluente no fundo da célula, podendo contaminar o terreno se não for drenado;
- Expulsão de efluente do interior do maciço devido à pressão e compactação, podendo ocorrer por exsudação pelas saias do talude;
- Aumento do peso específico da massa de RSU devido ao acúmulo de efluente, facilitando processos de ruptura;
- Desagregação das partículas terrosas durante o período chuvoso, necessitando de medidas adicionais de cobertura para reduzir esse efeito.

Simulação do cenário 2: Na análise foi considerada uma camada de armazenamento e liberação, com cobrimento em solo natural compactado com vegetação, onde se considerou uma cobertura terrosa com 60 cm e uma condição climática que mantenha a saturação do solo nos intervalos de 60 e 180 dias. Neste cenário, nota-se um efeito de acúmulo de poropressão na camada de armazenamento e vetores menos evidentes, ou seja, a presença da vegetação ao mesmo tempo que protege ao amortecer o impacto da gota de chuva aumenta a permeabilidade porém auxilia na perda de água por evapotranspiração mantendo a camada de cobertura com baixo grau de saturação. As Figuras 4 (a) e (b) apresentam as linhas de drenagem para o ponto mais saturado nos dias 60 e 180, conforme indicado pelas posições marcadas.

Figura 4 – Destaque da isóbara de pressão do Cenário 2 para (a) o dia 60 e (b) o dia 180.



Ao comparar os cenários, nota-se que as áreas com maior poropressão estão principalmente na camada de cobertura, devido principalmente à presença e eficácia da vegetação, reduzem o acúmulo de fluidos na camada de cobertura devido a perda por evapotranspiração. A condição foi semelhante tanto nos primeiros 60 quanto nos 180 dias com chuvas regulares, indicando uma boa estanqueidade do sistema, com baixa acumulação de líquidos no solo, o que evita problemas como instabilidade do talude e liquefação do solo e resíduos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados das análises realizadas através do Geostudio Vadose/W, destaca-se que a falta de vegetação no talude propicia a passagem de líquidos, gerando percolados e acúmulo excessivo na camada de cobertura, impactando a segurança ambiental, patrimonial e estrutural. Em situações com vegetação, observa-se uma redução na infiltração, indicando a necessidade de dimensionamento de um sistema auxiliar de cobertura para proteção do resíduo, seja por meio de um novo tipo de solo para a camada de armazenamento ou de uma geomembrana para melhor eficiência.

A espessura da camada de solo no talude é um ponto crítico. O projeto especifica uma camada mínima de 0,60 m de material granular sobre o resíduo, sendo este valor aplicado nos modelos numéricos. Camadas menores que 0,60 m podem ser mais permeáveis, gerando poropressão na célula, aumentando o volume de efluentes (chorume) e o risco de danos ambientais. Recomenda-se estudos futuros com diferentes espessuras de solo ou camadas mais esbeltas com solos de permeabilidades variadas. Outro aspecto crucial é o acompanhamento das condições climáticas e eventos pluviométricos excepcionais, já que são fatores essenciais na avaliação do ciclo de vida do aterro sanitário, além de influenciar os custos operacionais diários. Este estudo também sugere ampliar as análises de taludes considerando outras composições de materiais no aterro sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). ABNT NBR 8419: *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). ABNT NBR 13896: *Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). ABNT NBR 15849: *Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento*. Rio de Janeiro.
- CONDER (2020). COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA (CONDER). Relatório Final: Diagnóstico Institucional da Gestão de Resíduos Sólidos nos Municípios de Ilhéus e Uruçuca, Ilhéus: (documento interno). Salvador: CONDER, 2020
- FARIA, Diego; LEITE, Laís; OLIVEIRA, William. Análise da Viabilidade Econômica e Financeira do Uso do Biogás como Geração de Receita Acessória: Um Estudo de Caso no Aterro CVR Costa Do Cacau,

Ilhéus/Ba. 2022. Dissertação (TCC). Unifacs.
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/27019>

GEOTECH, Geotecnia Ambiental Consultoria. Projeto executivo da Fase C do Aterro Sanitário CVR. Vol. 02. Memorial Técnico. Setembro 2023.

PROTASIO, Fernando Nóbrega Mendes. Caracterização do resíduo sólido urbano do aterro controlado de jardim gramacho. Graduação em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Civil. PUCRJ. Rio De Janeiro. 2013.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. Redes. Revista do Desenvolvimento Regional, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2008. <https://www.redalyc.org/pdf/5520/552056853001.pdf>

SILVA, W. K. A. S., & Tagliaferro, E. R. (2021). Aterro sanitário - a engenharia na disposição final de resíduos sólidos / Landfill - engineering in the final disposal of solid waste. Brazilian Journal of Development, 7(2), 12216–12236. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-037>.

SPÍNOLA, Emanuela Oliveira. A participação na implementação da política nacional de resíduos sólidos em ilhéus-ba: “gestão compartilhada”. 2014. Dissertação (Mestrado). UFBA. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/22952>.

SPINOLA, Gabriela Monteiro Rodrigues; DE ANDRADE, Pedro Ribeiro; NASCIMENTO, Victor Fernandez. Caracterização e dimensionamento de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos no Brasil e nos municípios paulistas. Relatório final de projeto de iniciação científica. Inpe: São José dos Campos, SP, 2017. http://mtc-m21c.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/06.08.19.01/doc/spinola_caracterizacao.pdf.

TISTU AMBIENTAL. Relatório da análise gravimétrica preliminar na CVR Costa do Cacau. Vol. 01 Rev. 01. 2022.