

Viabilidade técnica de verticalização de aterros sanitários por meio de alteamentos sucessivos com diques reforçados

Denis Kenhiti Suzuki

Mestrando, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, denis.suzuki@yahoo.com.br

Maria Eugenia Gimenez Boscov

Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, meboscov@usp.br

Cristina Schmidt

Huesker, São José dos Campos, Brasil, cristina@huesker.com.br

RESUMO: Este trabalho compreende a primeira etapa de um estudo que tem por objetivo verificar a viabilidade técnica da utilização de diques periféricos e de reforço por meio de geogrelhas em maciços sanitários para permitir sua verticalização. Esta alternativa de projeto viria ao encontro da necessidade premente de aumentar a capacidade de armazenamento dos locais de disposição de resíduos sólidos urbanos, devido à escassez de áreas apropriadas dentro de distâncias economicamente viáveis dos municípios. Os diques de solo reforçado são construídos em alteamentos sucessivos, sendo o dique de partida apoiado sobre o terreno natural, e os demais, nas células subjacentes de resíduos sólidos urbanos. Analisou-se a estabilidade dos taludes de uma seção transversal padrão em sua configuração final e em etapas construtivas intermediárias por meio de métodos de equilíbrio limite tradicionais na Geotecnia. Utilizaram-se parâmetros típicos de resistência ao cisalhamento e peso específico de solos e resíduos sólidos urbanos. O solo de fundação foi considerado como material muito mais resistente do que o solo compactado do dique e os resíduos sólidos urbanos, portanto a análise de estabilidade foi condicionada a avaliar o maciço sanitário e os diques, isto é, as superfícies de ruptura eram limitadas pela superfície do terreno natural. O reforço, tanto em termos de especificação como quantidade de camadas de geogrelhas, foi estimado de modo a aumentar a declividade dos taludes para um valor pré-determinado em função do volume adicional de aterramento desejado. Os resultados promissores indicam a necessidade de continuar o estudo por meio de análises tensão-deformação que permitam avaliar a compatibilidade dos deslocamentos dos diferentes materiais envolvidos.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, Estabilidade de taludes, Resíduos sólidos urbanos, Maciços reforçados, Modelagem numérica

Tema: Geotecnia, Meio Ambiente, Atividades Industriais e Mineração

1. INTRODUÇÃO

A população brasileira cresceu de 51,9 milhões de habitantes em 1950 para 169,8 milhões em 2000. No mesmo período, a população urbana passou de 36,16% para 81,23% (IBGE, 2010a e b). Como o crescimento populacional ocorreu de forma desordenada, os impactos ambientais resultantes da disposição de resíduos passaram a ter maior magnitude.

Durante boa parte do século XX, os resíduos sólidos urbanos (RSU) não eram considerados um problema público sério; bastava coletá-los e afastá-los dos centros urbanos, para os chamados lixões. Porém, a ocupação de áreas cada vez mais distantes e o aumento da diversidade e quantidade dos resíduos gerados resultaram em uma demanda para disposição ambientalmente adequada, surgindo o conceito de aterro sanitário.

O aterro sanitário pode ser definido como uma forma de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais, permite o confinamento seguro, garantindo o controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública, minimizando impactos ambientais (IPT, 2000).

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 0,74Kg/dia por habitante, variando entre 0,47 e 0,70Kg/(hab.dia) nas cidades com até 200.000 habitantes, e entre 0,80 e 1,20Kg/(hab.dia) nas cidades com mais de 200.000 habitantes (Ministério das Cidades, 2003). Em 2000, das 228.413tf de lixo coletados diariamente no Brasil, 36% eram dispostas em aterros sanitários, 37% em aterros controlados e 21% em lixões; por outro lado, apenas 13% dos municípios dispunham seus resíduos em aterros sanitários, enquanto 59% ainda utilizavam lixões (IBGE, 2010c), o que mostra a carência de aterros sanitários no Brasil.

Os aterros sanitários tendem a ser cada vez maiores, devido ao crescimento contínuo das grandes cidades e ao surgimento de consórcios entre pequenos municípios com a finalidade de dividir os custos de implantação e operação. Devido à dificuldade de encontrar locais disponíveis no meio urbano em distâncias economicamente viáveis, esses aterros de grande porte tendem à verticalização, evidenciando a importância da garantia da estabilidade da massa de resíduos.

Este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade técnica de verticalizar aterros sanitários com base no método de montante de barragens de rejeitos de mineração, com alteamentos sucessivos por meio de diques reforçados. Constrói-se um dique de partida e os RSU são dispostos a montante até atingirem a altura do dique; a partir daí vão sendo construídos sucessivamente diques periféricos alteados para montante, apoiados sobre o material depositado. Para maior aproveitamento de espaço, pretende-se analisar a possibilidade de projetar taludes mais inclinados mantendo-se o fator de segurança de projeto, por meio de reforço dos diques e da massa de resíduos com geogrelhas.

2. ATERRO SANITÁRIO

2.1 Aspectos construtivos

A área de disposição, depois de terraplenada, é recoberta com um revestimento inferior ou de base, composto por camadas de drenagem e impermeabilização.

A compactação dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários brasileiros geralmente é realizada pelo método de aterro em rampa: inicialmente pesa-se o veículo coletor de lixo ao chegar no aterro sanitário; em seguida, o veículo descarrega o lixo ao pé da frente de descarga; o trator de esteiras espalha e empurra o lixo de baixo para cima, subindo e descendo pelo talude e compactando cada camada de 3 a 6 vezes em toda sua extensão, formando um talude com inclinação de 1V:2,5H a 1V:3H e geralmente reduzindo o volume a um terço do inicial. A compactação em rampa inicia-se em uma encosta natural ou um dique de partida. Ao término do dia os resíduos compactados são cobertos por uma camada de cerca de 15cm de solo para evitar a propagação de vetores (insetos e roedores), o carreamento de partículas pelo vento e a infiltração de água de chuva.

O aterro é construído em células, geralmente de 2 a 4m de altura, revestidas na base, topo e laterais por camadas de solo. Há drenagem no fundo das células. Para a sobreposição de uma célula aguarda-se tempo suficiente para que se processe a decomposição aeróbia do lixo. O aterro vai sendo então alteado, configurando-se os taludes com bermas e drenagem superficial, como uma pirâmide escalonada.

Embora a compactação dos RSU no Brasil seja geralmente feita por tratores de esteiras, a em países desenvolvidos é comum a utilização de rolos compactadores de grande porte específicos para aterros sanitários. Moruzzi (2001) comparou a compactação de RSU em planos horizontais e inclinados por trator de esteiras tipo Bulldozer de 15 tf com a realizada por rolo compactador Caterpillar 816F de 23 tf e rolos com patas em ponta. Estatisticamente não houve diferença entre os pesos específicos obtidos pelos dois equipamentos. O trator de

esteira tem a vantagem de possibilitar a execução do aterro em terrenos acidentados.

Os pesos específicos obtidos nos aterros compactados nacionais segundo o método de rampa apresentam valores entre 6 e 14 kN/m³ (Benvenuto e Cunha, 1991; Kaimoto e Cepollina, 1996; Santos e Presa, 1995; Mahler e Iturri, 1998; Abreu, 2000; Moruzzi, 2001; Salomoni et al., 2009); a faixa engloba resíduos recentes e antigos.

2.2 Parâmetros de resistência

As análises de estabilidade em aterros sanitários utilizam modelos de equilíbrio limite desenvolvidos para solos, associando-se a resistência ao cisalhamento dos RSU a um ângulo de atrito e a uma coesão. Devido à grande variabilidade da composição dos resíduos, à alteração de suas características ao longo do tempo decorrente da decomposição da matéria orgânica putrescível e às diversas formas de obtenção, a faixa de variação dos parâmetros de resistência encontrados em bibliografia é muito ampla. Os parâmetros usuais de resistência ao cisalhamento para projetos de aterros sanitários brasileiros ($c=13,5\text{Kpa}$ e $\phi=22^\circ$) foram obtidos pela retroanálise da ruptura ocorrida no Sub-Aterro AS-1 do Aterro Sanitário Bandeirantes em 1991 (Benvenuto e Cunha, 1991). Outros valores têm sido utilizados por projetistas a partir de novas retroanálises de rupturas ou de ensaios laboratoriais, estendendo a faixa de valores de coesão (10 a 20 kPa) e ângulo de atrito (22° a 28°), principalmente por englobar diferentes idades de resíduos (Kaimoto e Cepollina, 1996; Vilar et al., 2006; Azevedo et al., 2006).

3. GEOSSINTÉTICOS

O termo geossintético deriva da junção de “geo”, referente a terra, e “sintético”, referente aos materiais poliméricos (Abramento, 2002). Geossintético pode ser definido como um produto planar fabricado a partir de material polimérico usado em combinação com solo, rocha, terra ou outro material pela engenharia geotécnica, como parte integrante de um

projeto, estrutura ou sistema elaborado pelo Homem (Koerner, 1994).

O uso de materiais geossintéticos pela engenharia geotécnica é relativamente novo; a primeira utilização em estruturas de solo reforçado deu-se em 1971, na França (Becker, 2006). Sua utilização vem crescendo continuamente, por constituírem alternativas mais fáceis de executar do que as soluções tradicionais, sendo seu uso requerido por lei em alguns casos.

Os geossintéticos podem ser divididos em diferentes tipos, todos desempenhando funções específicas. Os principais tipos são os geotêxteis, geogrelhas, geocélulas, tiras, geomembranas, geodrenos e geocompostos. As possíveis funções de um geossintético em uma obra são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Possíveis funções de um geossintético (Palmeira, 1993).

Tipo de geossintético	Função característica					
	Reforço	Separação	Drenagem	Filtração	Proteção	Barreira
Geotêxtil tecido	x	x			x	
Geotêxtil não tecido	x	x	x	x	x	
Geogrelha	x					
Tiras	x					
Fios, Fibras, Micro-telas	x					
Georrede			x			
Geodrenos			x	x		
Geomembranas		x				x
Geocélulas	x				x	
Geocompostos	x		x	x		x

A técnica de reforço de solos com geossintéticos consiste na inclusão desses materiais no interior da massa de solo com a finalidade de aumentar a sua resistência e diminuir sua compressibilidade, além de outras funções simultâneas em alguns casos, como drenagem, filtração e separação.

Em obras geotécnicas, por efeito da gravidade, surgem tensões que podem tornar a massa de solo instável. Como os solos resistem pouco a tração, os geossintéticos são utilizados como elementos resistentes a tração, sendo importante o uso do geossintético em regiões onde ocorram deformações de tração, de forma que sua orientação coincida com a direção destas deformações, maximizando o benéfico da sua presença (Viana, 2003). O

mecanismo de resistência dos reforços com geossintéticos é passivo. Os parâmetros de interação solo-geossintético dependem da geometria do reforço, da tensão confinante e do tipo de solo.

4. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta etapa, determinou-se o fator de segurança para diversas configurações de seção transversal de um aterro de resíduos construído em alteamentos sucessivos a montante com diques de contenção à semelhança da técnica construtiva de barragens de rejeitos e geogrelhas para o reforço dos diques e da massa de resíduos em diferentes etapas construtivas.

As análises de estabilidade foram realizadas para as seguintes seções transversais:

- Aterro de resíduos com seção trapezoidal (Figura 4.1);
- Aterro de resíduos com bermas de 5m de largura a cada 6m de altura (Figura 4.2);
- Dique de solo (Figura 4.1);
- Aterro de resíduos com dique de partida e alteamento com bermas (Figura 4.3);
- Aterro de resíduos com dique de partida reforçado e alteamento com bermas;
- Aterro de resíduos com diques sucessivos em diversas etapas construtivas (6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 e 48m) (Figura 4.4).
- Aterro de resíduos com diques sucessivos reforçados em diversas etapas construtivas (6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 e 48m);
- Aterro de resíduos com diques sucessivos reforçados em diversas etapas construtivas (6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 e 48m) e reforço entre camadas de resíduos (a cada 6m) (Figura 4.5).

Os reforços nos diques consistem de geogrelhas posicionadas a cada metro de altura.

As análises de estabilidade foram realizadas com o “software” SLIDE, da Rocscience, utilizando-se os métodos de Bishop Simplificado (ruptura circular) e Janbu Corrigido (ruptura não circular). As hipóteses adotadas nas análises de estabilidade foram:

- Solo do dique e massa de resíduos homogêneos e isotrópicos;
- Reforço geossintético homogêneo;

- Materiais não saturados;
- Solo de fundação com resistência infinita;
- Geração nula de percolado e gás;
- Pressões neutras de compactação e infiltração de águas pluviais nulas;
- Reforços geossintéticos ancorados em ambas as extremidades.

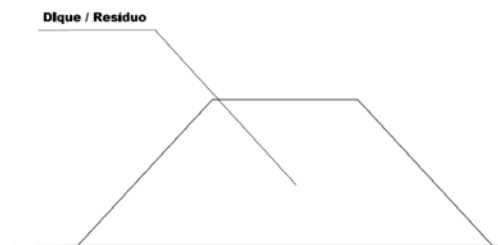


Figura 4.1 Dique de solo ou aterro de resíduos de seção trapezoidal.

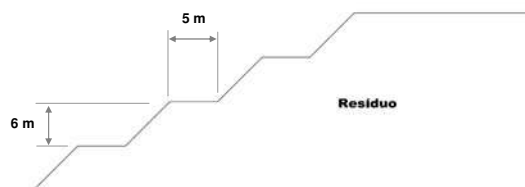


Figura 4.2 Aterro de resíduos com bermas de equilíbrio.

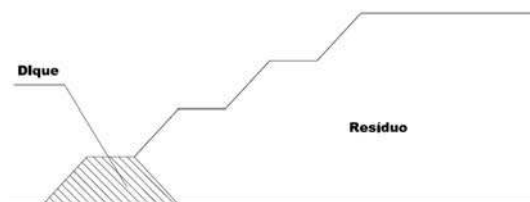


Figura 4.3 Dique de partida e aterro com bermas.

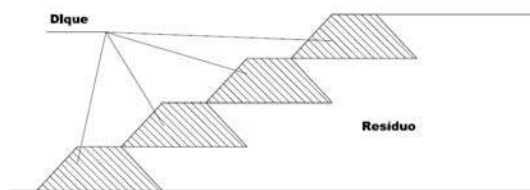


Figura 4.4 Alteamento com diques sucessivos.

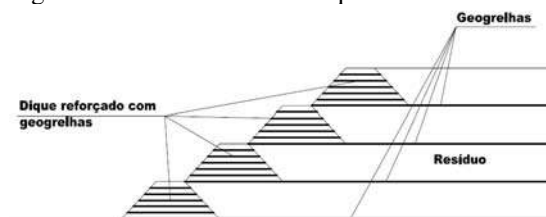


Figura 4.5 Aterro com diques sucessivos reforçados e reforço entre camadas de resíduos.

Para realização das análises foram adotados parâmetros totais de resistência para os solos, conforme apresentado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Parâmetros adotados.

Material	γ_n (KN/m ³)	c (KPa)	ϕ (°)
(*) Dique (argila compactada)	18	10	30
(**) Resíduo compactado	14	13,5	22

(*) Parâmetros fornecidos pela Moretti Engenharia;
 (**) Parâmetros obtidos da retroanálise da ruptura do Aterro Bandeirantes (Benvenuto e Cunha, 1991).

Para as geogrelhas foram adotadas resistências à tração de projeto de 50kN/m e 100kN/m, posicionadas a cada 1m de aterro e ancoradas em ambas as extremidades. Vale lembrar que, utilizando o fator de redução total (FR) proposto por Vertematti (2004), a resistência nominal da geogrelha pode variar de 3 a 28 vezes em relação à resistência de projeto da geogrelha, dependendo da utilização do geossintético. A composição do fator FR leva em consideração a fluência, danos mecânicos da instalação, degradação ambiental e incertezas estatísticas na determinação do geossintético, e cabe a cada projetista a avaliação do fator de segurança a ser adotado.

Para a verificação da estabilidade dos diques de solo e da massa de resíduos foram estudadas diferentes declividades de talude (1H:1V a 3H:1V para resíduo, 1H:1V a 1H:2V para dique e 1H:1V para as seções mistas).

Os diques têm 6m de altura e a distância horizontal entre a crista de um dique e o pé do dique seguinte é de 5m.

Os fatores de segurança admitidos foram definidos com base na NBR-11682 – Estabilidade de Encostas (ABNT, 2009), segundo a qual o fator de segurança (FS) mínimo recomendado para situação definitiva é de 1,5, para nível alto de segurança contra danos materiais e ambientais e nível médio de segurança contra perda de vidas humanas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram realizadas análises de

estabilidade para o aterro de resíduos e diques de argila compactada.

Os fatores de segurança e as inclinações do talude para diferentes alturas de aterro são apresentadas nas Figuras 5.1 e 5.2.

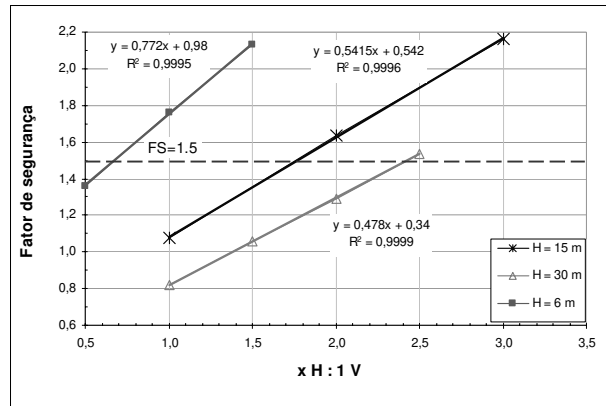


Figura 5.1 Fatores de segurança - aterro de resíduos.

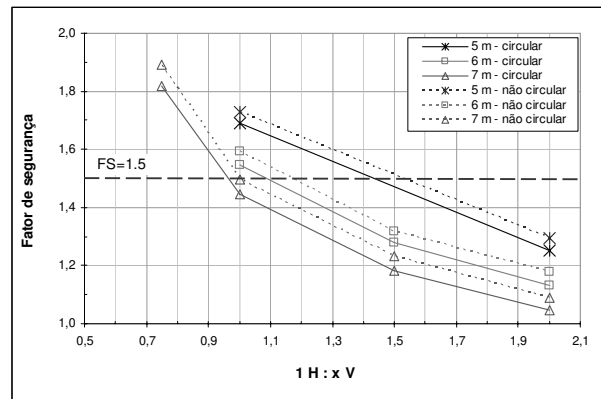


Figura 5.2 Fatores de segurança - dique de solo.

Os resultados apresentados na Figura 5.1 indicam que para o aterro de resíduos o FS de 1,5 seria atendido com taludes 0,7H:1V, 1,8H:1V e 2,4H:1V, para aterros com 6, 15 e 30 m de altura, respectivamente.

Já os diques de solo compactado com alturas de 5, 6 e 7 m necessitariam taludes com inclinação 1H:1,4V, 1H:1,1V e 1H:0,95V, respectivamente, para atender ao FS exigido. Com base nesses resultados, adotou-se talude de 1H:1V para o dique de partida e para os demais diques. Os taludes das bermas também foram adotados como 1H:1V, o que corresponde a um fator de segurança de 1,8 para a ruptura local.

Na sequência foram estudadas as situações de aterro de resíduos somente com bermas, com

diques de partida e com diques sucessivos, reforçados e não reforçados. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.3.

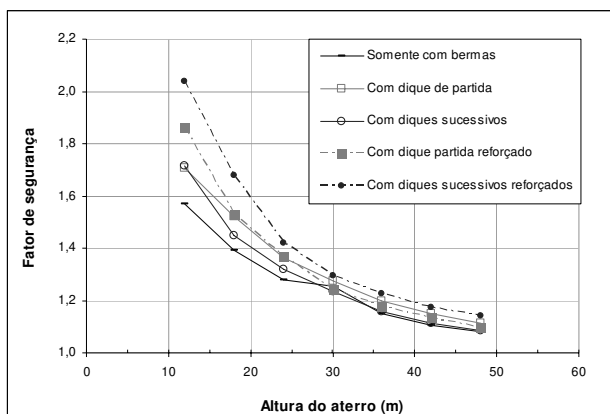


Figura 5.3 Fator de segurança do aterro com bermas e com diques em diversas etapas construtivas com e sem reforço.

Conforme pode-se observar, o aterro com bermas de 5m de largura e taludes de 6m de altura e declividade 1H:1V só atinge o fator de segurança adequado para o caso de 2 bermas, ou 12m de altura. Com o dique de partida, o fator de segurança aumenta, de modo que o valor de FS igual a 1,5 é garantido para 3 bermas, ou 18 m de altura; neste caso, para 12m o FS é 1,7. Entretanto, esse aumento se torna menos significativo à medida que a altura do aterro cresce (maior número de bermas), tornando-se indiferente para a altura de 30m.

O reforço geossintético no dique de partida proporciona um aumento considerável do FS para a primeira berma (aterro com 12m), passando a 1,5 a 1,85; contudo, para as alturas subsequentes os fatores de segurança são iguais ao caso de dique de partida não reforçado.

A construção de diques sucessivos não reforçados acarreta menor FS do que a configuração com dique de partida e bermas, provavelmente devido ao aumento do peso próprio da seção mista (e, portanto, aumento das forças instabilizantes) sem contrapartida de aumento de resistência no círculo crítico, o qual passa pela massa de resíduos.

A situação com diques sucessivos reforçados permite a construção de um aterro de 24m de altura, ou com 4 bermas, atendendo ao FS de 1,5; o aumento do FS em relação às configurações anteriores, contudo, diminui com

o aumento de altura do aterro.

De modo geral, as modificações introduzidas em relação ao aterro com bermas fazem-se notar para alturas até 24 m, ou 4 bermas. Maiores alturas não são beneficiadas a ponto de atingirem o fator de segurança desejado para a configuração proposta. Isto se deve à posição da cunha de ruptura, que passa por zonas não reforçadas com geogrelha, o que justifica o uso de reforços no interior da massa de resíduos.

Sendo assim, realizaram-se também análises de estabilidade de aterros alteados com diques sucessivos reforçados e geogrelhas (resistência de projeto de 50KN/m e 100KN/m) posicionadas a cada 6m, entre alteamentos, passando pelo interior da massa de resíduos. Na figura 5.4 são apresentadas as curvas comparativas entre as situações analisadas.

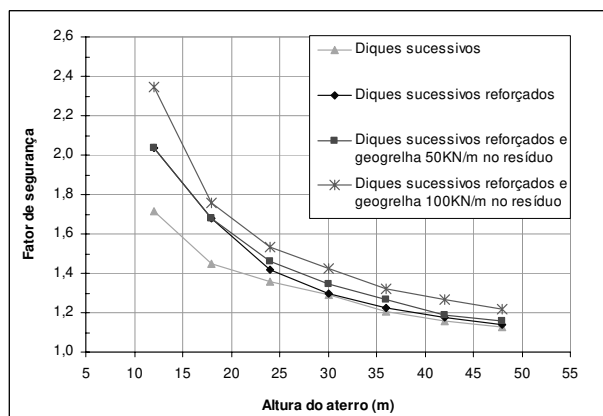


Figura 5.4 Fatores de segurança para aterro com diques sucessivos reforçados e geogrelhas no resíduo.

Em relação ao aterro sem reforço, o aumento do FS para a situação de aterro reforçado com geogrelhas de 50KN/m é da ordem de 11%, possibilitando a execução de um aterro de 23m com FS igual a 1,5. Para geogrelhas de 100KN/m o aumento é de cerca de 19%, permitindo a construção de um aterro de 27m com o mesmo FS. Tal fato corrobora o princípio teórico de que a adição de elementos resistentes a tração a materiais pouco resistentes a tração (solos) melhora a resistência do conjunto.

Na figura 5.4 visualiza-se a contribuição do reforço para o equilíbrio de uma das lamelas da cunha analisada na situação de diques sucessivos e massa de resíduos reforçados com geogrelha de 100kN/m de resistência à tração.

Análises não circulares com a superfície de

ruptura passando na interface entre o aterro e o solo de fundação não se mostraram críticas, com FS cerca de 5% superior ao das rupturas circulares. A título de ilustração, nas figuras 5.5 e 5.6 são apresentadas uma análise circular e uma não circular para uma das configurações estudadas.

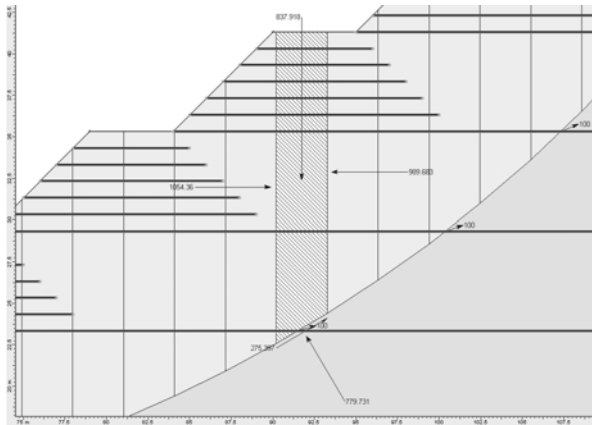


Figura 5.4 Equilíbrio de forças em uma das lamelas.

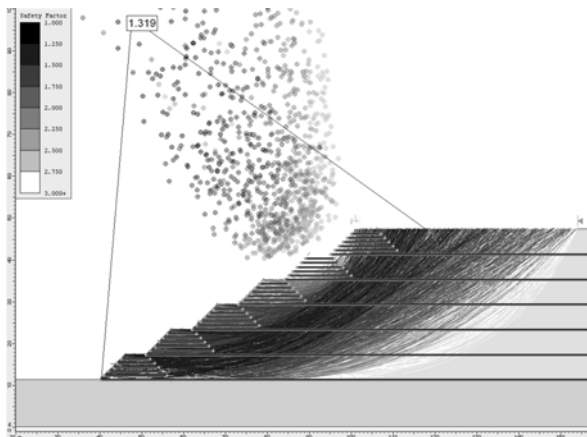


Figura 5.5 Superfície de ruptura circular (FS=1.319).

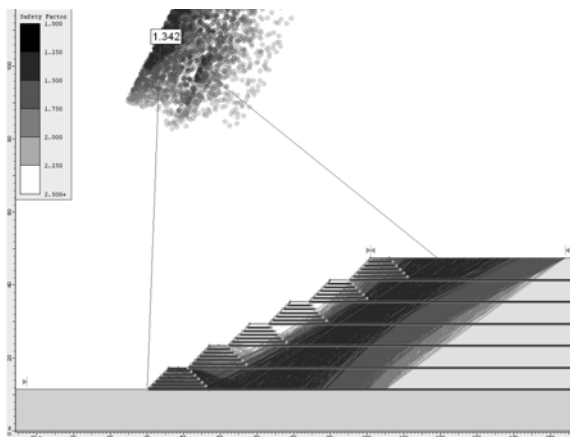


Figura 5.6 Superfície de ruptura não-circular (FS=1.342).

6. CONCLUSÕES

É necessário atentar para dois aspectos que limitam a aplicabilidade das conclusões deste estudo: a utilização de métodos de equilíbrio limite para a análise da estabilidade de maciços sanitários, uma vez que os RSU atingem elevadas deformações sem configurar ruptura; e a carência de valores representativos e definitivos dos parâmetros de resistência dos RSU, já que são grandes sua variabilidade e heterogeneidade, assim como a dificuldade de realizar ensaios de resistência nesses materiais.

As análises efetuadas, entretanto, são um passo inicial para a definição da configuração do aterro e da seleção da geogrelha, a serem empregadas em posteriores análises tensão-deformação e, possivelmente, em aterro experimental.

As análises de estabilidade indicam que o alteamento de um aterro sanitário com seção trapezoidal pode ser realizado com inclinação de 1,8H:1V para a altura de 15m, e de 2,4H:1V para 30m de altura, para garantir um fator de segurança igual a 1,5. À declividade de 1H:1V corresponderia um aterro com 8m de altura.

Ao se adotar bermas de 5m de largura e taludes de 6m de altura com declividade 1H:1V, o aterro pode ter 12m de altura garantindo o mesmo fator de segurança.

Diques de argila compactada sem reforço com alturas de 5 a 7m podem ser construídos com taludes de declividade 1H:1V a 1H:1,4V. Esses taludes podem ser mais inclinados se forem utilizados reforços, mas neste trabalho optou-se por manter a declividade de 1H:1V.

A utilização de diques sucessivos periféricos em vez de bermas de equilíbrio permite maior altura do aterro sem prejuízo do fator de segurança até a altura de 30m; para alturas superiores, as alternativas são indiferentes.

Por outro lado, o uso de geogrelhas como elementos de reforço no interior da massa de resíduos tem influência significativa no aumento do FS; associado à utilização de diques reforçados, permite a execução de aterros com até 24m, atendendo ao FS exigido pela norma.

O comportamento do maciço sanitário e dos

geossintéticos pelo método de equilíbrio-limite é a primeira etapa de estudo. As próximas etapas devem contemplar a otimização da geometria estudada, a incorporação da interação solo-geossintético e resíduo-geossintético, a consideração de pressões neutras e a compatibilização de deformações por meio de análises tensão-deformação.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Moretti Engenharia pelo apoio técnico e disponibilidade de utilização do software SLIDE e a Huesker pela contribuição técnica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR-11682 Estabilidade de Taludes*.
- Abramento, M. (2002). *Solos reforçados com geossintéticos*, Mini-curso e palestra, São Paulo, 47 p.
- Abreu, R.C. (2000). *Compressibilidade de maciços sanitários*, Dissertação de mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 241 p.
- Azevedo, R.F.; Ribeiro, A.G.C. e Azevedo, I.D. (2006). Determination of municipal solid waste strength parameters using a large dimension lysimeter test, *Simpósio Internacional de Tecnologia e Tratamento de Resíduos Sólidos - SITTRS*, Rio de Janeiro, CD-ROM, 8 p.
- Becker, L.D.B. (2006). *Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em ensaios de arrancamento*. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica, 307p.
- Benvenuto, C. e Cunha, M.A. (1991). Escorregamento em Massa de Lixo no Aterro Sanitário Bandeirantes em São Paulo, SP, *Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos - REGEO'91*, Rio de Janeiro, p. 55-61.
- Boskov, M.E.G. e Abreu, R.C. (2000). Aterros sanitários. *Previsão de Desempenho x Comportamento Real*, ABMS/NRSP, São Paulo, p. 7-44.
- Boskov, M.E.G. (2009). *Geotecnia Ambiental*, Oficina de Textos, São Paulo, 248 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Censo demográfico – 2000. *Características gerais da população: resultados da amostra*. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/populacao/tabela_brasil.shtm, 8/2/2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Dados históricos dos censos*. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censohistorico/1940_1996.shtm, 8/2/2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>, 8/2/2010.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2000). *Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado*, IPT/CEMPRE, 2a edição, IPT Publicação 2.622, São Paulo, 370 p.
- Kaimoto, L.S.A. e Cepollina, M. (1996). Considerações sobre alguns condicionantes e critérios geotécnicos de projeto e executivos de aterros sanitários, *Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, Porto Alegre, p. 51-54.
- Koerner, R.M. (1994). *Designing with Geosynthetics*, Prentice-Hall Inc., 4rd ed., New Jersey, 761p.
- Mahler, C.F. e Iturri, E.A.Z. (1998). The Finite Element Method applied to the study of solid waste landfills, *Third International Congress on Environmental Geotechnics*, Lisboa, vol. 1, p. 89-94.
- Ministério das Cidades (2003).
- Moruzzi, A.C.M. (2001). *Compactação e Compressibilidade de Resíduos Sólidos Urbanos*, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 408 p.
- Palmeira, E.M. (2003). Fatores condicionantes do comportamento de filtros geotêxteis. *REGEO'2003 – V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental / GEOSSINTÉTICOS'2003 – IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos*, Porto Alegre, p. 49-67.
- Salamoni, R.H.; Pinheiro, R.J.B. e Nummer, A.V. (2009). Processo operacional da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita – Santa Maria, RS, *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.14, p. 43-50.
- Santos, L.A.O. e Presa, E.P. (1995). Compressibilidade de aterros sanitários controlados, *Terceiro Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos - REGEO'95*, Ouro Preto, Vol. 2, p. 577-591.
- Vertematti, J. C., et al. (2004). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*, ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- Viana, H.N.L. (2003). *Estabilidade de Taludes de Áreas de Disposição de Resíduos Revestidos com Geossintéticos: Influência da Presença de Geogrelhas*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 98p.
- Vilar, O.M.; Marques, A.C.M.; Carvalho, M.F. e Machado, S.L. (2006). Some remarks on the mechanical properties and modeling of municipal solid waste. *Simpósio Internacional de Tecnologias e Tratamento de Resíduos Sólidos - SITTRS*, CD-ROM, Rio de Janeiro, p. 1-12.