

A INFLUÊNCIA DOS LÍQUIDOS DE INUNDAÇÃO NA DEFORMAÇÃO DE “LINERS” COMPACTADOS

Leonardo Ramos Da Silveira¹
Magno Dourado Batista²

RESUMO

O colapso do solo pode ser conceituado como uma deformação provocada pelo seu umedecimento sem que haja variação de sobrecargas. Neste contexto, têm surgido pesquisas que visam a verificação do potencial de deformação dos solos pelos líquidos de inundação simulando o chorume, bem como o estudo de comportamento mecânico do solo sob a ação desse processo de disposição. O foco da pesquisa foi verificar como a interação solo-líquido de inundação irá produzir possíveis potenciais de deformação. Foram realizados ensaios de caracterização geotécnica de solos, em laboratório, além dos ensaios de compressão edométrica (adensamento), índices de consistência, granulometria e expansão livre nos solos com diferentes líquidos de inundação (esgoto bruto, água destilada, soluções preparadas a base de água destilada foram água sanitária 15% e sabão em pó 15%). Os resultados de caracterização indicam que o solo em estudo trata-se de um típico solo silto arenoso do DF. Os resultados dos ensaios mostram que os líquidos de inundação possuem características que podem mudar as ligações cimentíceas. Quando contaminado com água sanitária e sabão em pó, houve um aumento no limite de liquidez comparado com o valor do solo no estado natural de 7,78 e 5,21%. Quanto ao limite de plasticidade houve um decréscimo de 23,66 para 20,98 e 21,76 %. Com o esgoto quase houve um alteração no LL e LP. Consequentemente, essa alteração dos Limites de Atterberg foi observado devido mudanças do potencial de hidrogênio e pela presença de sódio na água sanitária e no sabão em pó. Já no ensaio de resistência, a solução de água sanitária apresentou potencial de colapso igual a 11,06%, 6,87% superior ao da água destilada. A solução de sabão em pó resultou em potencial de colapso de 9,42%, 5,23% a mais que o da água destilada. O acréscimo pode ser atribuído à presença de hidróxido de sódio em suas composições, pois se sabe que o sódio tem efeito desagregador da estrutura do solo e ao potencial de hidrogênio por serem maior que os demais líquidos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Solos compactados; Líquidos de inundação; Colapso de solos.

THE INFLUENCE OF FLOODING OF LIQUIDS IN DEFORMATION "LINERS" COMPRESSED

ABSTRACT

The collapse of the soil can be considered as a deformation caused by moistening without variation overloads. In this context, there have been studies aimed to verification verifying the soil deformation potential by liquid flood simulating the slurry and the mechanical behavior study of the soil under the action of this disposal process. The focus of the research was to determine how the soil-liquid of interaction flood will produce any potential deformation. Geotechnical characterization of soils tests were performed in the laboratory, in addition to edometric tests (densification), consistency index, grain size and free expansion in soils with different flood liquids (raw sewage, distilled water, solutions prepared water-based distilled were bleach 15% and 15% laundry soap). The characterization results indicate that the soil under consideration it is a typical sandy silt soil of DF. The test results show that the liquid flood have characteristics that may change cimentíceas bonds. When contaminated with bleach and laundry detergent, there was an increase in liquid limit compared to the value of the soil in the natural state of 7.78 and 5.21%. As for the plastic limit was decreased from 23.66 to 20.98 and 21.76%. The LL and LP almost have changed using sewage. Consequently, this change of Atterberg limits was observed due to changes in the potential of hydrogen and the presence of sodium in bleach and laundry detergent. In the endurance test, the bleach solution has the potential collapse equal to 11.06%, 6.87% higher than that of distilled water. The solution of laundry soap resulted in 9.42% breakdown potential, 5.23% more than the distilled water. The increase can be attributed to the presence of sodium hydroxide in their compositions, it is known that sodium is disruptive effect of the soil structure and the hydrogen potential for being higher than the other liquids.

Keywords: Solid Residues; Compacted soils; Liquid flood ; Collapse soil.

¹ Instituto Federal de Goiás Campus Águas Lindas, Departamento de Meio Ambiente

² Engenheiro Civil pela Universidade Paulista Campus Brasília

INTRODUÇÃO

A quantidade de lixo depositada nos lixões, aterros sanitários e aterros controlados vêm crescendo com o aumento de consumo de cada família, que por sua vez, deve acompanhar o crescimento populacional de cada ano subsequente. No local da disposição devem-se tomar cuidados para não contaminar as águas subterrâneas com o lixiviado que é exposto ao solo. A partir desse fato os mecanismos de comando e controle tornaram-se mais frequentes.

Em média, estima-se que a população do Distrito Federal gerou, em 2013, a quantidade de 4.326 toneladas/dia de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), sendo que cada habitante produz diariamente 1,551 quilogramas de lixo/dia, levando em consideração que o DF tem um total de 2.789.761 habitantes (ABRELPE, 2013).

Os RSU são destinados para lixões, aterros sanitários e aterros controlados. Por exemplo, no Brasil utiliza-se uma configuração de revestimento, feito de uma camada mineral de solo compactado (“*liner*”) para depositarem-se diretamente os RSU nos aterros sanitários. Sendo assim, os “*liners*” devem conter uma boa resistência para que não ocorra percolação dos contaminantes. Mais um motivo para o desenvolvimento de estudos complementares com comportamento do “*liner*”, com a influência da digestão da matéria orgânica que percola causando possíveis potenciais de deformação (colapso) nos lixões e aterros.

Considera-se que o mecanismo de colapso seja um fenômeno físico-químico, pois o colapso (deformação) mais atuante ocorre quando sobre ação direta de sobrecargas no solo. O líquido de lodo de esgoto pode apresentar aspectos diferenciados com relação à água, uma vez que passou por processos de intensa atividade biológica, mudanças de pH e ainda por apresentar potencialidade de ataque sobre os compostos cimentantes de ferro e alumínio. Sabe-se, por exemplo, que o ácido sulfídrico resultante da digestão da matéria orgânica, a qual está presente tanto no efluente tratado como no lodo resultante, propicia um meio agressivo aos cimentos de óxidos de ferro (SILVEIRA, 2014).

O colapso dos solos pode ser conceituado como uma deformação que depende da metaestabilidade estrutural diante de alterações no estado de tensões, do equilíbrio eletromagnético e de ataques sobre as ligações cimentíceas dos solos. Ao umedecer um solo colapsível, por exemplo, o colapso pode ser desencadeado, devido a um desequilíbrio na estrutura que ocorre pela redução da capacidade de vinculação entre as partículas, resultando na diminuição dos mecanismos de suporte. Os solos colapsíveis apresentam algumas características que os predispõem ao fenômeno: a estrutura porosa (caracterizada por um alto

índice de vazios), o grau de saturação menor que o necessário para sua completa saturação e a estrutura metaestável (RODRIGUES, 2003).

Muitos casos de colapso têm sido associados a vazamentos oriundos das redes de esgotos e de abastecimento de água, ou a vazamentos de sistema de armazenamento de combustíveis e efluentes químicos. No entanto, o colapso dos solos geralmente é estudado considerando-se, apenas a sua inundação por água. Na literatura, encontram-se poucos relatos da influência do líquido, nas características colapsíveis dos solos (MOTTA; FERREIRA, 2011).

O colapso pode ser desencadeado pelo umedecimento do solo colapsível, devido a um desequilíbrio na estrutura, a qual ocorre pela redução da capacidade de vinculação entre as partículas, resultando na diminuição de sua resistência (RODRIGUES; MOLINA JUNIOR; LOLLO, 2010).

O colapso tende a ser maior quando o solo é inundado com os líquidos de pH alcalino, porém, não foi possível atribuir a ascendência do colapso apenas ao aumento do pH, porque as soluções testadas possuíam características distintas como a composição química, a tensão superficial e a viscosidade. Concluíram que o conjunto de características físicas e químicas que envolvem os fluidos de inundação e os solos tem um papel relevante na compreensão do fenômeno do colapso, tornando-se discutível, devido à sua complexidade, informações que atribuem o colapso a um ou outro fenômeno somente (RODRIGUES; LOLLO, 2007).

Nos efeitos físicos, tem-se a expulsão forçada do ar aprisionado nos poros do solo, pelo umedecimento e da quebra de cimentações, por ação mecânica de sobrecargas e/ou ação do peso próprio. Já nos efeitos químicos, tem-se a dissolução de cimentações, por ação química do líquido que interage com o solo. E nos efeitos físico-químicos, tem-se a interação do líquido com a superfície dos minerais do solo, ocorrendo a hidratação da superfície com a ação de uma força repulsiva, devido ao potencial de solvatação ou afinidade de interação e ao desenvolvimento da dupla camada elétrica, e à conseqüente mudança de volume (MARIZ, 1993).

Esse trabalho tem por objetivo verificar como a energia de compactação e a interação solo-líquido de inundação irão produzir possíveis potenciais de deformação. Assim torna-se necessário o desenvolvimento de estudos para analisar a mudança do comportamento do solo em meio a diferentes líquidos de inundação, tendo em vista verificar a colapsibilidade como um problema mecânico, principalmente quando o colapso ocorre pela ação direta de

contaminantes. Este fato, aliado aos possíveis prejuízos ambientais que ocorrem com a propagação do colapso, sugere a inserção de pesquisas que tratam de assuntos similares a este.

MATERIAL E MÉTODOS

Este item apresenta as metodologias aplicadas para a caracterização e classificação dos materiais para elaboração desse artigo. Foram realizados alguns ensaios de compatibilidade com o solo contaminado, sendo eles: determinação do pH, granulometria e expansão livre. Foram realizados experimentos de verificação da variação da deformação do solo que interage com a contaminação, sendo ele: adensamento. Os experimentos foram realizados no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília e no laboratório de Solos e Materiais de Construção Civil da Universidade Paulista de Brasília.

Solos da área de estudo

Inicialmente foram realizadas as coletas do solo para os ensaios de classificação com o objetivo de conhecer os solos locais, localizado na 204 Asa Norte Brasília – DF.

Esgoto utilizado

As amostras de esgoto bruto foram coletadas na CAESB da Asa Sul Distrito Federal, onde recebe o Tratamento de Remoção biológica de nutrientes mais Polimento Final (Lodos ativados a nível terciário).

Determinação da Umidade Higroscópica

Quando certa quantidade de solo é coletada e deixada secar ao ar, obviamente o seu teor de umidade tenderá a se reduzir. Entretanto, essa redução normalmente se dá até certo limite, ou seja, mesmo que se deixe a amostra secar por um longo período, sempre permanecerá uma umidade residual. Essa umidade, que o solo exhibe quando seco ao ar, é denominada umidade higroscópica.

Foram separadas 3 cápsulas para a determinação da umidade, entretanto esse número não é fixo. A norma prevê que sejam efetuadas pelo menos 3 e normalmente 5 determinações por amostra de solo.

Análise granulométrica

Visando realizar os ensaios com defloculante, sem defloculante e com os líquidos de inundação para verificar a dispersão das partículas, foram realizados segundo a NBR – 7181 (ABNT, 1984) – Solo – Análise Granulométrica. A análise granulométrica do solo é realizada em quatro etapas: aplicação de pré-tratamentos para remoção de agentes cimentantes e flocculantes, dispersão química e física da amostra de solo, separação e quantificação das frações textuais.

Limites de atterberg

Visando caracterizar a interação do solo com a água e com os líquidos de inundação, os ensaios de limite de liquidez e de plasticidade foram realizados segundo a NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do limite de liquidez e a NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do limite de plasticidade. Através dos dados obtidos por meio desses ensaios e também de análise granulométrica foram determinados:

- Índice de plasticidade (IP, %), obtido entre a diferença entre o limite de liquidez (LL, %) e o limite de plasticidade (LP, %): $IP = LL - LP$.
- Índice de atividade das argilas (I_a), proposto por Skempton:

De acordo com suas atividades os solos são classificados como:

$I_a < 0,75$, inativa;

$0,75 < I_a < 1,25$, atividade normal;

$I_a > 1,25$, ativo;

Ensaio de compactação

Os ensaios laboratoriais de compactação tipo Proctor surgiram da necessidade de controlar os resultados conseguidos durante os trabalhos de compactação em obra. O ensaio consiste na compactação de uma amostra de solo num molde, determinando-se o teor em água e o peso volúmico seco. A repetição deste procedimento para diferentes quantidades de água adicionadas ao solo permite obter a curva de compactação. O procedimento de ensaio está normalizado e consta da especificação NBR 7182/1986.

Esta especificação define os tipos de compactação seguintes:

- compactação leve (Proctor normal) em molde pequeno;
- compactação leve (Proctor normal) em molde grande;
- compactação pesada (Proctor modificado) em molde pequeno;
- compactação pesada (Proctor modificado) em molde grande;

A compactação leve ou pesada traduz a energia de compactação, sendo esta aplicada através de um determinado número de pancadas com um pilão de um dado peso caindo de uma altura especificada sobre cada uma das camadas de solo. Os ensaios foram feitos na energia proctor normal, com um molde de altura 102 (mm), altura 117 (mm), pilão 2,49 Kg, altura de queda 30,5 (cm), 3 camadas e 25 golpes por camada.

Caracterização física do solo

Após a caracterização preliminar do solo, foi possível selecionar uma área para estudos de caracterização mais completa e detalhada. A partir desta seleção, amostras de solos deformadas foram coletadas para caracterização completa e determinação dos parâmetros de deformação.

Os ensaios de caracterização física consistiram basicamente de umidade d), análise granulométrica convencional, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade d).

A umidade higroscópica (W_o) foi determinada de acordo com o ensaio d) determinada de acordo com a norma da NBR 6508 (ABNT, 1984). Análise granulométrica, determinação preconizada das normas da NBR 7181 (ABNT, 1984).

Os limites de consistência foram determinados conforme a NBR 6459 (ABNT, 1984) limite de liquidez, e limite de plasticidade NBR 7180 (ABNT, 1984). O ensaio de compactação para obtenção da curva de compactação e a massa específica aparente seca foi determinada conforme a NBR 7182 (ABNT, 1986), obtendo-se a massa específica aparente seca para cada umidade de solo compactado de forma dinâmica, ensaio tipo Proctor Normal, gerando desta forma uma curva de compactação.

Ensaio Edométrico

Os ensaios edométricos, também chamados de adensamento unidirecional ou compressão confinada, são os mais utilizados nas pesquisas relacionadas à quantificação e identificação do fenômeno do colapso de solos. Embora necessitem de um considerável tempo de execução e cuidados na preparação da amostra e de execução do ensaio, eles apresentam a vantagem de preservar o arranjo original das partículas. A compressibilidade dos solos pode ser bem estudada por esses ensaios pelo fato de considerarem a influência da umidade e do nível de tensões na amostra.

Para o ensaio edométrico simples foram moldadas amostras compactadas na energia proctor normal. Os corpos de prova foram saturados na prensa de adensamento com os líquidos

propostos: esgoto bruto, água (H₂O) destilada, soluções preparadas a base de H₂O foram: água sanitária 15% e sabão em pó 15%, a qual serviu como parâmetro comparativo entre os líquidos utilizados. Ressalta-se que os líquidos propostos para inundação, passaram pelos processos a seguir:

- Com a inundação, assim como nos estágios de carregamento, foram registradas as leituras de deformação vertical devidas apenas à inundação;
- Após 24 horas foi continuado o carregamento até a tensão máxima desejada.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Solos e Materiais de construção civil da Universidade de Paulista de Brasília e Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade de Brasília (UnB), de acordo com os procedimentos da norma NBR 3336 (ABNT, 1990), que descreve os procedimentos do ensaio de adensamento. Os corpos de prova foram compactados e moldados no anel da célula de adensamento. O carregamento inicial adotado foi de 25 kPa e os demais estágios de carregamento foram de 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa e 2400 kPa, os quais foram aplicados sucessivamente, após a estabilização das leituras de deformabilidade no extensômetro.

O descarregamento foi realizado em cinco estágios, 900 kPa, 600 kPa, 300 kPa, 100 kPa e 0. Destaca-se que o contaminante que foi utilizado para obtenção da umidade ótima de compactação foi o mesmo utilizado para a inundação na célula de adensamento.), obtidos por meio dos ensaios edométricos simples, serão calculados utilizando-se a equação 3.1:

Sendo:

$$(2.1)$$

Onde:

é o potencial de deformação;

é a variação da altura do corpo de prova, devido a inundação e carga;

é a altura do corpo de prova, antes da inundação e carga.

Para os ensaios simples edométricos, representa graficamente a curva de , em função da variação volumétrica dada pela variação de índice de vazios devido ao umedecimento.

2.9 Compatibilidade

Os ensaios de compatibilidade, interação solo/contaminante, foram os seguintes: (i) limites de Atterberg com o solo após contaminação; (ii) granulometria com os solos contaminados; e (iii) ensaio de expansão livre. Esses ensaios apontam de forma indireta as reações que ocorrem com as partículas e na microestrutura do solo. Os ensaios de expansão livre são extremamente simples de execução e oferecem uma ótima resposta quanto à compatibilidade do sistema solo-contaminante.

O sistema consiste na observação do volume ocupado pelo solo após sedimentação em proveta contendo a solução a ser estudada. O ensaio consiste em colocar cerca de 50 mL de solo em uma proveta e adicionar o contaminante de interesse até atingir a marca de 200 mL, agitar para que ocorra contato solo/contaminante e observar o comportamento do meio após 24 horas da mistura em repouso. O ensaio de compatibilidade foi realizado com os diferentes líquidos, com esgoto bruto, água destilada, soluções preparadas à base de água destilada foram água sanitária 15% e sabão em pó 15%.

Determinação do pH

Foram efetuadas determinações de pH em água, na relação de 10 mL de solo e 25 mL de água, conforme descreve metodologia de análise de solos da Embrapa (1997). Neste caso o pH foi determinado para cada de contaminante (água sanitária, sabão em pó e esgoto), além do solo no estado natural.

Massa específica dos grãos

Estes ensaios foram realizados com o emprego do pentapícnometro modelo pentapyc 5200e da “Quantachome Instruments”. O equipamento utiliza o princípio de Arquimedes (deslocamento de fluido) e a lei de Boyle (expansão de gás) para determinar a densidade e o volume verdadeiro de materiais sólidos. Para a determinação da massa específica utilizou-se o solos sem os líquidos de inundação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados os resultados da caracterização preliminar e das propriedades físicas estudadas com relação às amostras deformadas. Neste item os resultados aqui discutidos são referentes ao estudo de caso realizado com solo localizado na quadra 204 Asa Norte Brasília – DF.

Caracterização do solo

A análise granulométrica dos solos foi obtida através do processo de peneiramento para a fração grossa (partículas com diâmetro 0,074 mm) e sedimentação para a fração fina (partículas com diâmetro < 0,074 mm). Os procedimentos estão de acordo com o método de ensaio “Solo Análise Granulométrica” NBR 7181. A Figura 3.1 mostra as curvas de distribuição granulométrica o realizado com e sem defloculante.

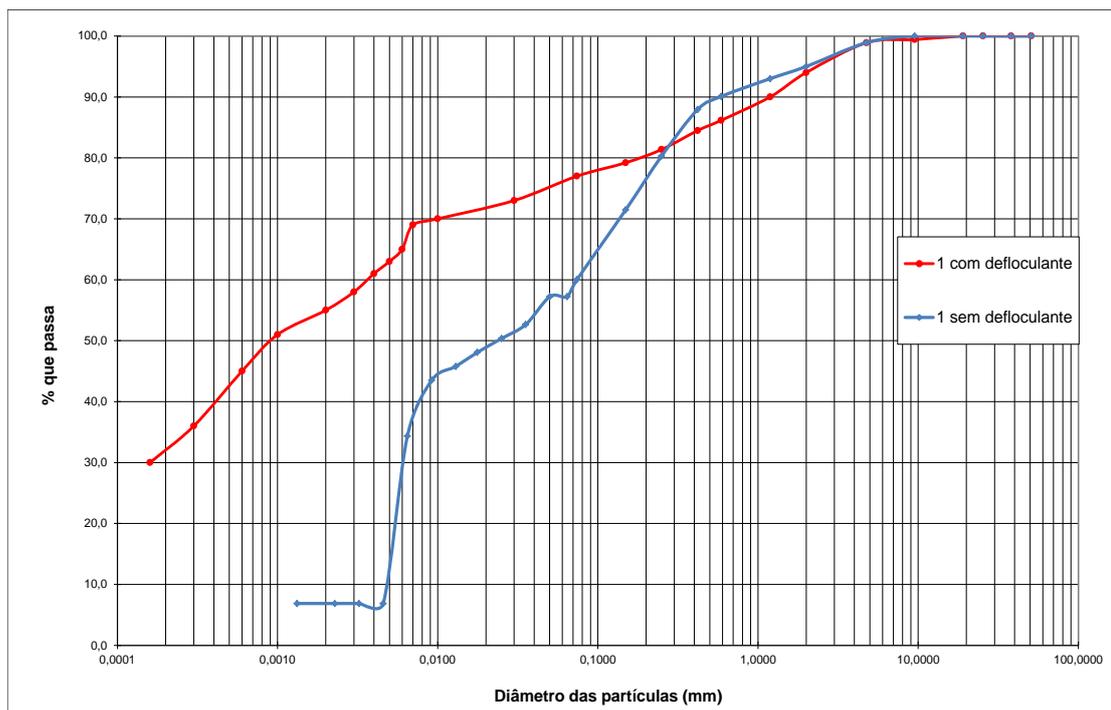


Figura 3.1 – Curva Granulométrica.

A partir das curvas granulométricas elaborou-se a Tabela 3.1 com as porcentagens passantes em cada peneira. Nota-se que quando o solo é ensaiado sem defloculante, há uma pequena identificação da presença de pedregulho, e uma boa parte areia e argila, sendo o silte predominante com 50%. Dessa forma o solo sem defloculante classifica-se como silte arenoso. E para o solo ensaiado com defloculante têm-se 29% de silte, 8,4% de areia grossa, 14,7 de areia média e 26% de areia fina, o que determina uma classificação também como silte arenoso.

Tabela 3.1– Resultado da análise granulométrica

D (mm)	Classificação	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)
20,0 – 60,0	Pedregulho grosso	0,0	0,0
6,0 – 20,0	Pedregulho médio	0,8	1,0
2,0 – 6,0	Pedregulho fino	4,2	5,0
0,6 – 2,0	Areia grossa	4,9	8,4

0,2 – 0,6	Areia média	14,2	14,7
0,06 – 0,2	Areia fina	18,7	25,6
0,002 – 0,006	Silte	50,4	29,3
< 0,002	Argila	6,9	10,0
Solo		Silte Arenoso	Silte Arenoso

O ensaio de massa específica dos grãos foi realizado de forma convencional (NBR-6508) encontrando-se um valor de 2,643 g/cm³. O mesmo procedimento foi realizado para o ensaio de limite de Atterberg, onde observa um limite de liquidez de 34%, e limite de plasticidade de 23,66%, conforme pode ser observado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Limites de Atterberg de massa específica.

Ensaio	Resultados
Limite de Liquidez	34%
Limite de Plasticidade	23,66%
Índice de Plasticidade	10,34%
Massa Específica dos grãos	2,643 g/cm ³

Os sistemas de classificação que se baseiam nas características dos grãos que constituem os solos têm como objetivo a definição de grupos que apresentam comportamentos semelhantes sob aspectos de interesse da engenharia civil. Para se classificar o solo deste estudo, utilizaram-se as mais conhecidas e utilizadas classificações da engenharia geotécnica.

Umidade higroscópica

Após coleta dos solos, foram utilizadas 3 amostras para realizar os ensaios de determinação de umidade higroscópica no laboratório. Para obtenção deste parâmetro foram coletado solo de uma área escavada. A Tabela 3.3 apresenta as amostras pesadas para a determinação de umidade higroscópica. O método de ensaio foi o da estufa regulamentado pela norma NBR 6457 (ABNT, 1986).

Tabela 3.3 – Umidade Higroscópica

Umidade Higroscópica						
Nº Cápsula	Cápsula + solo natural (g)	Cápsula + solo seco (g)	Cápsula (g)	Solo natural	Solo seco (g)	Higroscópica (%)
19	64,34	63,35	13,48	50,86	49,87	2

17	66,72	65,48	13,69	53,03	51,79	2,4
7	68,8	67,67	16,79	52,01	50,88	2,2
Média =						2,2

Curva de compactação

O ponto de máximo da curva ajustada corresponde a massa específica aparente. A curva de compactação em questão está representada na Figura 3.2.

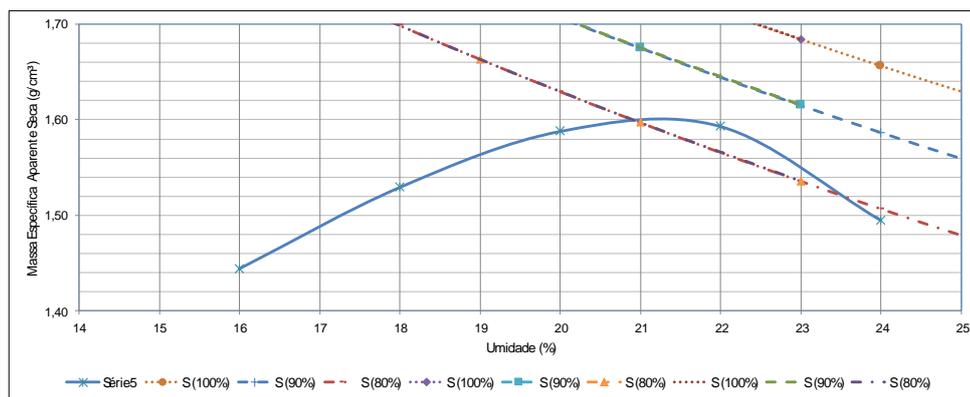


Figura 3.2 – Curva de compactação.

Da curva:

$$\rho_d = 1,6 \text{ g/cm}^3$$

$$h_{\rho_d} = 21\%$$

Ensaio de compatibilidade

Os ensaios de compatibilidade visam verificar o efeito da percolação de poluentes nas características geotécnicas do solo. Foram realizados os ensaios de índices de consistência, granulometria e expansão livre nos solos contaminados. Esses ensaios foram importantes para o conhecimento, verificar a influência dos poluentes nas propriedades do solo, visto que a literatura mostra que a percolação de uma solução pelo solo pode alterar suas características geotécnicas. Os limites de Atterberg encontrados estão mostrados na Figura 3.3, para água e diferentes líquidos (esgoto, água sanitária e sabão em pó).

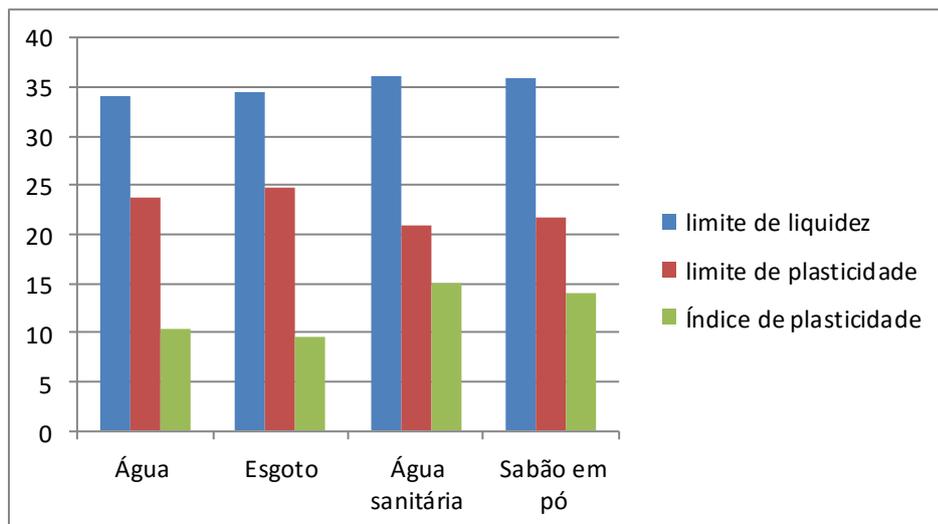


Figura 3.3 – Limites de Atterberg.

Observa-se pelo gráfico que os valores tanto de limite de liquidez, limite de plasticidade, como índice de plasticidade sofreram variações ao serem contaminados com os diferentes líquidos de inundação. Isso pode estar relacionado à capacidade dos diferentes líquidos (água, esgoto, água sanitária e sabão em pó) em mudar a plasticidade do solo.

Quando contaminado com água sanitária e sabão em pó, houve um aumento no limite de liquidez comparado com o valor do solo no estado natural de 7,78 e 5,21%. Quanto ao limite de plasticidade houve um decréscimo de 23,66 para 20,98 e 21,76%. Com o esgoto quase não houve alterações no LL e LP. Consequentemente, essas alterações dos limites de Atterberg foram observadas devidas mudanças do potencial de hidrogênio do solo e pela presença de sódio na água sanitária e no sabão em pó.

Já em relação à granulometria dos solos contaminados, procedeu-se a comparação das curvas granulométricas, solos passantes na peneira #10 de abertura 2 mm, e os solos dos índices de consistência passantes na peneira #40. A Figura 3.4 apresenta as curvas granulométricas do solo passante na #10 contaminado, e na Figura 3.5 apresenta a comparação das curvas dos líquidos que mais se aproximou da curva com defloculante.

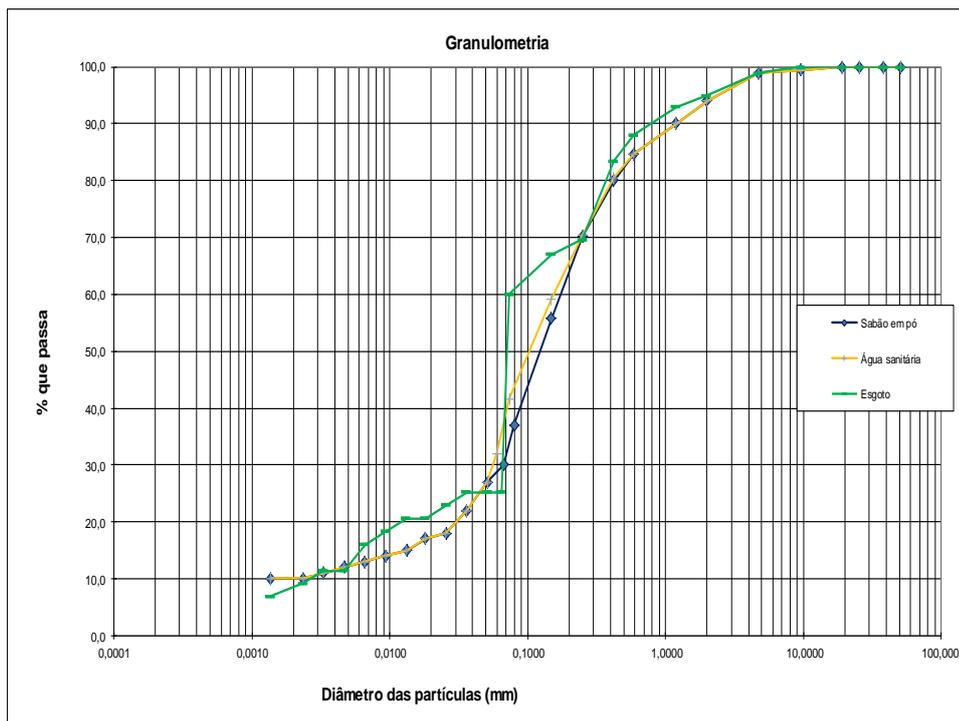


Figura 3.4 – Curva granulométrica dos líquidos de inundação.

A partir da análise das curvas granulométricas com diferentes líquidos de inundação, pode-se observar que não houve nenhuma tendência dos diferentes líquidos funcionar como agente defloculante. Já a Figura 3.5 apresentam os dados da distribuição granulométrica onde os contaminante pode comparado como meio dispersor.

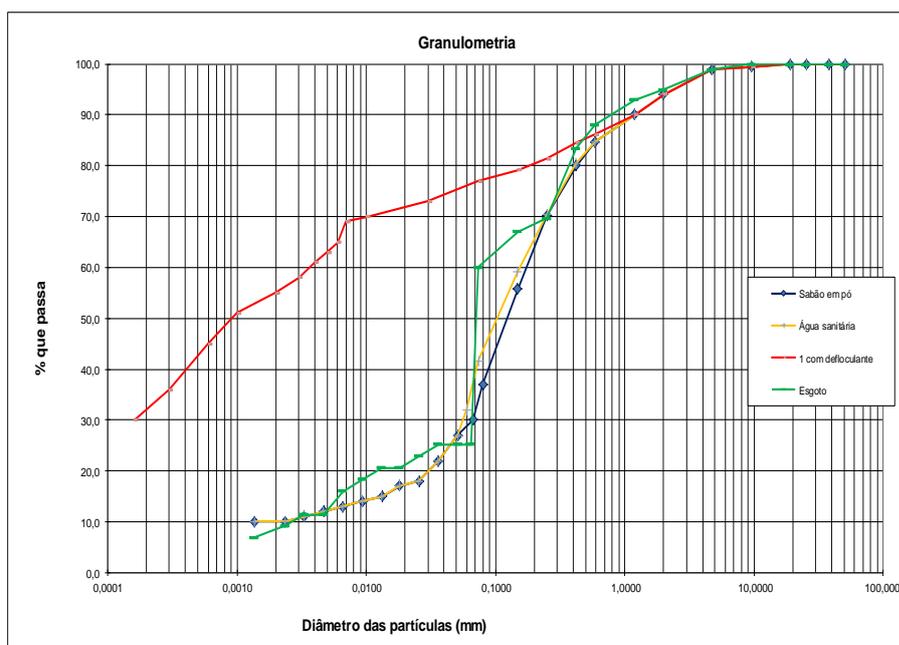


Figura 3.5 – Curva com defloculante vs com líquidos de inundação.

Ao analisar as Figuras 3.5 nota-se nitidamente o efeito dos diferentes líquidos de inundação não teve ação como defloculante, sendo assim não possuíram propriedades de modificar as características do solo e agir sobre os finos dispersando o mesmo.

A Figura 3.6 com solos passantes na peneira #10 pode observar os resultados de compatibilidade solo-contaminante, tanto para água, como para os diferentes líquidos ao qual o solo foi submetido ao contato por 24 horas.

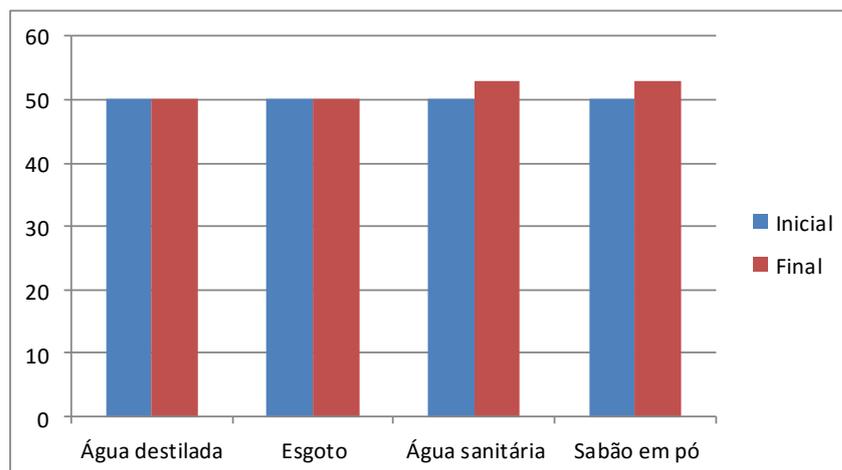


Figura 3.6 – Ensaio compatibilidade.

Após 24 horas de contato do solo com o contaminante, pode observar que houve um aumento do volume de solo, para as provetas que continham o solo mais contaminante de água sanitária e sabão em pó, confirmando assim os aspectos observados nas curvas granulométricas de agente dispersor. Já as provetas que continham o solo mais contaminante de água destilada e esgoto notam que não houve alteração no volume ocupado.

Ensaio de adensamento

Foram realizados 12 ensaios de adensamento para obtenção dos dados de índices de vazios versus tensão vertical de consolidação. As Tabelas 3.4 apresentam os dados do potencial de deformação de cada corpo de com pH alcalinos ensaiado realizados no laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília e no laboratório de Solos e Materiais de Construção Civil da Universidade Paulista de Brasília.

Já a Figura 3.7 apresenta os gráficos que relacionam índices de vazios versus tensão aplicada.

Tabela 3.4 – Potencial de deformação (PD).

Amostras UnB	PD (%)
--------------	--------

15% Água sanitária	11,06
Água destilada	4,19
Esgoto bruto	5,86
15% Sabão em pó	9,42

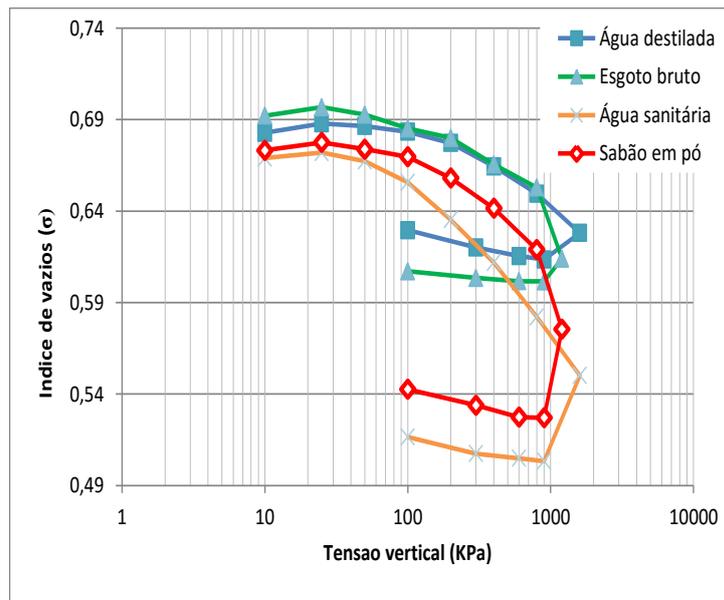


Figura 3.7 – Índice de vazios em função da Tensão vertical com 4 aplicações de diferentes líquidos de inundação (UnB).

As maiores deformações foram obtidas para o solo nos ensaios edométricos simples, com a solução a base de água sanitária ($\text{pH} = 8,86$) e a solução a base de sabão em pó ($\text{pH} = 11,02$). A solução de esgoto bruto e a água destilada apresentaram potenciais de colapso e deformações específicas de pouca diferença entre si: 5,86 e 4,29% nos ensaios edométricos simples, embora o pH do esgoto bruto e da água destilada foram parecidos: 7,73 e 7,2, respectivamente.

A solução de água sanitária apresentou potencial de colapso igual a 11,06%, 6,87% superior ao da água destilada. A solução de sabão em pó resultou em potencial de colapso de 9,42%, 5,23% a mais que o da água destilada. O acréscimo pode ser atribuído à presença de hidróxido de sódio em suas composições, pois se sabe que o sódio tem efeito desagregador da estrutura do solo.

Os líquidos que causaram maiores deformações, foram os líquidos de pH alcalino à base de sabão em pó e de água sanitária. A composição do sabão em pó baseia-se em compostos à

base do cátion sódio (linear alquil benzeno sulfonato de sódio, base de hidróxido de sódio, alquil éter sulfato de sódio, sulfato/silicato/carbonato de sódio e tripolifosfato de sódio) e a composição da água sanitária, semelhante à do sabão em pó, baseia-se em compostos à base de sódio (hipoclorito de sódio, hidróxido de sódio e cloreto de sódio). Sabe-se que o sódio tem considerável importância na origem de solos dispersivos. Assim, líquidos compostos por sódio, quando agem na estrutura, podem dispersar o solo, aumentando as deformações sofridas quando solicitado à compressão por meio do acréscimo de tensões.

Determinação de pH

Além dos ensaios de compatibilidade solo contaminantes, foi realizada a determinação do potencial hidrogênionico, dos solos após a contaminação. A Tabela 3.5 apresenta os resultados do potencial de hidrogênio alcalinos pós-adensamento.

Tabela 3.5 – Resultados do pH pós-adensamento.

Líquidos + Solo	pH Inicial	pH Solo + Líquido
Água Sanitária	8,86	6,64
Água Destilada	7,2	6,92
Sabão em Pó	11,02	8,59
Esgoto	7,73	6,59

Ao analisar ao quadro para os valores de pH em todos os diferentes líquidos de inundação, nota-se uma influência direta decrescente na determinação do pH, verificando-se assim a capacidade de mudança do valor com o contato do solo com o contaminante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo teve seu enfoque dividido em três partes principais: caracterização do solo e mudança das propriedades pelos constituintes dos diferentes líquidos de inundação.

A estrutura dos solos é formada por partículas de areia circundadas por partículas de argila e silte em estado agregado. Com granulometria desse solo foi possível caracteriza-lo como silto arenoso devido ao grande percentual de areia e silte.

A influência da água sanitária e do sabão em pó diluídos em água na estrutura das amostras resultou na redução volumétrica dos agregados e no aumento do colapso, conforme os resultados da Tabela 3.4 e da Figura 3.7. Assim como o esgoto, as soluções à base de água

sanitária e de sabão em pó parecem possuir maior potencial de ataque sobre os compostos cimentantes destes solos, já que existe o paralelismo das curvas de adensamento.

Supõe-se que o mecanismo de colapso desses solos está relacionado ao enfraquecimento das ligações cimentíceas compostas por óxidos de ferro e alumínio. Considera-se, ainda, que o mecanismo de colapso seja um fenômeno físico-químico e não químico, pois o colapso torna-se proeminente apenas pela ação direta de sobrecargas no solo.

Considerando os fluidos de inundação utilizados e as condições de ensaio, pode-se afirmar que o colapso foi maior quando o solo foi inundado com os líquidos de pH alcalino. No entanto, não é possível atribuir a ascendência do colapso apenas ao aumento do pH. As soluções testadas possuem algumas características distintas: a viscosidade e a tensão superficial das soluções são bons exemplos.

Nota-se que as curvas dos diferentes líquidos de inundação não se aproximaram da curva granulométrica com defloculante, assim não contendo ação dispersante no solo conforme os resultados das Figuras 3.4 e 3.5.

O Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade do solo é alterado quando a água destilada é trocada e utilizado os diferente líquidos, devido hidróxido de sódio e o pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. 2013. 107 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3336/90**: Solos – ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/86**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (método de ensaio). Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459/84**: Solos – determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508/84**: Solos – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180/84**: Solos – determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/84**: Solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182/86**: Solos – ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212 f.

MARIZ, Digna Faria. **Um estudo físico químico mecânico sobre o colapso de solos residuais sesquioxídicosmicro-agregados**. Rio de Janeiro, 1993. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MOTTA, E. Q.; FERREIRA, S. R. M. Variações da compressibilidade e do potencial de colapso de um solo perante diferentes líquidos de inundação. **Revista de estudos ambientais**. Recife, v.13, n. 1, p. 28-41, jan./jun. 2011.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils. **Bull EngGeolEnviron**. v 66, 18 pars. 2007. Disponível em :<<http://link.springer.com/article/10.1007/s10064-006-0065-y>>. Acesso em 16 jun. 2015.

RODRIGUES, R. A.; MOLINA JÚNIOR, V. E.; LOLLO, J. A. Influência dos constituintes do esgoto no colapso de um solo arenoso. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Ilha Solteira, v. 15, n. 1, p. 29-36, jan./mar. 2010.

RODRIGUES, Roger Augusto. **A influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso**. São Paulo, 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Estadual Paulista.

SILVEIRA, Leonardo Ramos. **Aspectos geotécnicos e ambientais para a disposição adequada de lodo de esgoto**. Brasília, 2014. 214 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília.

Recebido em 12 de setembro de 2015.

Aprovado em 20 de novembro de 2015.