



Matheus Ribeiro do Amaral Ferreira

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE SOLOS COMPACTADOS
UTILIZADOS EM BARREIRAS IMPERMEÁVEIS DE ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso

UFRJ
Rio de Janeiro
2011

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Geologia apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Área de Concentração: Geologia de Engenharia e Ambiental.

Orientadoras: Prof^ª. Dr^ª. Andrea Ferreira Borges e Prof^ª Dr^ª Helena Polivanov

Aprovada por:

Prof^ª. Dr^ª. Andrea Ferreira Borges

Prof^ª. Dr^ª. Helena Polivanov

Prof. Dr. Emilio Velloso Barroso

Rio de Janeiro

Abril de 2011

Ferreira, Matheus Ribeiro do Amaral.

Avaliação do Comportamento Mecânico de Solos Compactados Utilizados em Barreiras Impermeáveis de Aterros Sanitários.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências

1. Solos Compactados 2. Aterros Sanitários 3. Comportamento Mecânico

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por me apoiarem em cada escolha que fiz, por criarem um ambiente em casa de constante busca de conhecimento e pelos sacrifícios que fizeram para que me dedicasse somente aos estudos.

À minha amada Nathalia, pois ter a mulher mais linda do mundo ao meu lado torna tudo mais fácil.

À minha irmã, Carol, te ver estudando todos os dias me fez jogar menos videogame e estudar mais.

Aos amigos, por fazer valer a pena atravessar a Ponte todos os dias e ir ao Fundão pra morrer de rir.

Às Professoras Andrea e Helena, pela orientação na monografia e por tornar a penosa metodologia do trabalho o mais divertida possível.

Ao Vitor Silos, companheiro de pesquisa durante dois anos, e grande amigo.

E a Deus, pois nas palavras de Salomão: “não há nada melhor para o homem do que comer e beber, e fazer com que sua alma desfrute do bem do seu trabalho. E também vi que isto vem da mão de Deus”.

RESUMO

Um dos grandes problemas urbanos é o da disposição de resíduos. A maneira mais correta de fazê-la é através da construção de aterros sanitários, onde diversas soluções de engenharia são utilizadas para neutralizar os efeitos dos problemas decorrentes da necessidade da acomodação do lixo.

Entre as principais medidas está a construção da estrutura basal do aterro de forma que seja impermeável e resistente, e para isso são usados solos compactados. A manutenção da resistência dos solos compactados utilizados na construção das estruturas basais de aterros sanitários é fundamental para a operação satisfatória do mesmo. No entanto, é possível que o solo utilizado para tal fim esteja previamente ou que seja, durante a vida operacional do aterro contaminada por chorume e, portanto tenha algumas de suas propriedades afetadas por sais possivelmente presentes nesse líquido.

Para analisar o problema, foi elaborada uma metodologia onde se procurou através de ensaios de laboratório clássicos e bastante conhecidos no meio acadêmico como o de compactação e o CBR (Índice de Suporte California) e também de ensaios ainda não difundidos como o Triaxial de Resiliência, estimar valores de resistência e determinar valores de propriedades diretamente ligadas à resistência como massa específica máxima e índice de vazios de solos não contaminados e contaminados por uma solução salina preparada em laboratório e comparar esses resultados. Dessa forma, foi possível concluir quais os efeitos da contaminação no comportamento mecânico de solos compactados.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: desenho esquemático de um aterro sanitário. Fonte: Reis, 2001. **2**
- Figura 2: localização da encosta de onde foram retiradas as amostras utilizadas em 2009. Estrada Itaipu Babi, Belford Roxo, RJ. Fonte: Google Earth. **4**
- Figura 3: localização da área de coleta das amostras. Desenho esquemático retirado de Silos (2010) **5**
- Figura4: fotografia da encosta onde foi feita a retirada de amostras, no dia 12 de fevereiro de 2010 **6**
- Figura 5: sequência de fotos que mostra as etapas do ensaio de compactação: mistura do solo com água, colocação sucessiva das camadas de solo no cilindro seguido pelos golpes com o soquete, preparação do cilindro para pesagem e pesagem. **9**
- Figura 6: submersão dos corpos de prova, e prensa controlada manualmente para o ensaio CBR. **11**
- Figura7: equipamento utilizado no ensaio descrito na seção 2.7. **12**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: tabela mostrando as variações típicas de divesras substâncias encontradas em chorume (Segato e Silva, 2000).	8
Tabela 2: resultados do ensaio de granulometria	13
Tabela 3: limites de Atterberg para o solo utilizado em 2009	13
Tabela 4: limites de Atterberg para o solo utilizado em 2010	13

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: curva de compactação do solo não contaminado (2009).	14
Gráfico 2: curva de compactação para o solo contaminado (2009).	15
Gráfico 3: curva de compactação para o solo não contaminado (2010).	15
Gráfico 4: curva de contaminação para o solo contaminado (2010).	16
Gráfico 5: curva do índice de vazios para o solo não contaminado (2009).	16
Gráfico 6: curva do índice de vazios para o solo contaminado (2009).	17
Gráfico 7: curva do índice de vazios para o solo não contaminado (2010).	17
Gráfico 8: curva do índice de vazios para o solo contaminado (2010)	18
Gráfico 9: curva do CBR para o solo não contaminado (2009).	19
Gráfico 10: curva do CBR para o solo contaminado (2009).	19
Gráfico 11: curva do CBR para o solo não contaminado (2010).	20
Gráfico 12: curva do CBR para o solo contaminado (2010).	20
Gráfico 13: resultados do ensaio triaxial de resiliência (2009).	21
Gráfico 14: resultados do ensaio triaxial de resiliência (2010).	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Objetivo	2
2. METODOLOGIA	3
2.1. Aspectos Gerais	3
2.2. Coleta de Amostras	3
2.3. Ensaio de Caracterização	7
2.4. Contaminante	7
2.5. Ensaio de Compactação	8
2.6. CBR	10
2.7. Ensaio Triaxial de Resiliência	11
3. RESULTADOS	12
3.1. Ensaio de Caracterização	12
3.2. Ensaio de Compactação	14
3.3. CBR	18
3.4. Ensaio Triaxial de Resiliência	21
4. CONCLUSÕES	22
5. BIBLIOGRAFIA	22

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE, no ano 2000 (PNSB – 2000), a problemática da coleta e da disposição dos resíduos sólidos no Brasil reside no fato da mesma depender de constante fluxo de recursos, que por sua vez depende da vontade política da administração de cada município. Isso faz com que um aterro sanitário se transforme em lixão rapidamente; basta que os equipamentos e logística necessários para sua operação não estejam mais disponíveis. A mesma pesquisa informa que, em peso, a destinação do lixo coletado no País é a seguinte: 47,1% vão para aterros sanitários, 22,3% aterros controlados e 30,5% para lixões. No entanto, o número de municípios que ainda utilizam lixões como principal destinação do lixo ainda é alto, 63,6%, e apenas 32,2% em aterros sanitários e controlados (5% dos municípios não informaram para onde vai seu lixo). Esses dados mostram uma situação ainda não satisfatória, mas que apresenta melhorias em relação à PNSB anterior, de 1989, que mostrava que apenas 10,7% dos municípios geriam adequadamente o lixo. Recentemente, em agosto de 2010, foi sancionada a Lei nº12.305, que determina dentre outras medidas relacionadas ao manejo do lixo no Brasil, a proibição da disposição dos resíduos sólidos em lixões e obriga os municípios a implantar, em até quatro anos após a publicação da lei, aterros sanitários ambientalmente corretos onde apenas os resíduos sem qualquer possibilidade de reaproveitamento poderão ser dispostos.

Esses dados são importantes para que apresentemos o problema investigado neste TCC. A partir dos dados apresentados acima vemos uma tendência da substituição de lixões para aterros controlados ou sanitários no Brasil. E também vemos que se não forem mantidos os recursos necessários para o funcionamento de um aterro sanitário, ele rapidamente se transforma num lixão. Nesse contexto, é possível que haja a contaminação por percolação de chorume no solo compactado, que serve como barreira impermeável, durante a vida operacional do aterro ou durante os períodos de tempo em que o mesmo não funcionar como um aterro sanitário propriamente dito (diminuição ou paralisação dos recursos), ou que um aterro sanitário instalado num local que antes

funcionava como lixão use um solo já contaminado como barreira impermeável.

A fig.1 é uma ilustração simples dos componentes de em aterro sanitário. A estrutura basal do aterro deve combinar resistência e impermeabilidade. Resistência para suportar a carga de lixo que o aterro irá receber dia após dia, e impermeável para impedir que o lençol freático seja contaminado. Nessas estruturas são comuns a utilização de solos compactados, que como mostrado acima, pode contaminar-se ou já estar contaminado pro chorume. Os efeitos dessa contaminação na resistência do solo são investigados nesse trabalho.

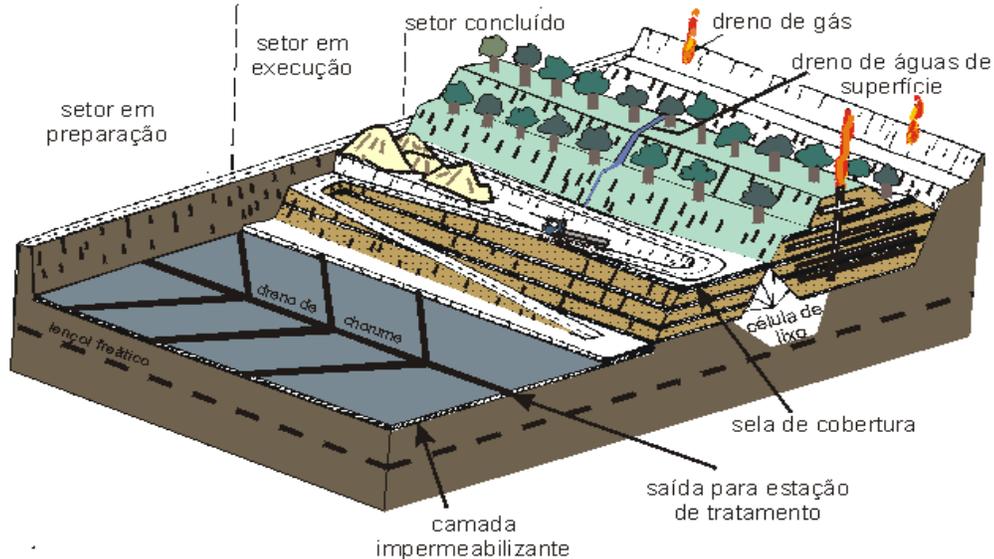


Fig.1: Desenho esquemático de um aterro sanitário. Fonte: Reis, 2001.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é verificar se uma contaminação por chorume, devido aos sais presentes na sua composição, pode alterar características do solo relacionados com a resistência e permeabilidade, como a massa específica ótima de compactação, valores do índice CBR, índice de vazios e módulos de resiliência.

2. METODOLOGIA

2.1. Aspectos Gerais

O projeto foi desenvolvido durante dois anos. Em 2009, quando foi iniciado, o material utilizado no ensaio não era semelhante àquele utilizado como barreira impermeável em aterros. Porém, era o único material que tínhamos disponível à época e os ensaios foram feitos com o mesmo, seguindo a metodologia descrita abaixo. Os resultados foram obtidos com muito esforço, por se tratar de um solo que respondia mal aos ensaios por ser muito plástico. Por isso, em 2010 com a continuidade do projeto, houve a preocupação de coletar as amostras em um local que fornecesse um material que fosse o mais próximo possível do utilizado para compactação e uso em estruturas basais de aterros. As amostras coletadas foram então submetidas a ensaios de caracterização física e mineralógica. Posteriormente, as amostras foram compactadas, utilizando água destilada, sendo determinada a curva de compactação do solo não contaminado. As amostras compactadas foram submetidas ao ensaio CBR, cujo índice serve como uma estimativa da resistência do solo. Outras amostras foram submetidas ao ensaio triaxial de resiliência, que também fornece uma estimativa da resistência do solo. Depois desses procedimentos, amostras do solo foram contaminadas com uma solução preparada em laboratório que apresentava uma concentração de cloreto de sódio compatível com concentrações encontradas em amostras de chorume. Essas amostras foram submetidas aos mesmos procedimentos (compactação, CBR e ensaio triaxial de resiliência), e os resultados comparados. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos do Departamento de Geologia da UFRJ e na COPPE. Detalhes de cada etapa são fornecidos a seguir.

2.2. Coleta das amostras

As amostras de solo que foram coletadas em uma encosta, na Estrada Itaipu Babi, no município de Belford Roxo, RJ (solo utilizado em 2009) e na Rodovia Amaral Peixoto

nº535, bairro Caramujo, no município de Niterói (solo utilizado em 2010). As figuras 2 e 3 são imagens retiradas do programa Google Earth que mostram a localização da área de coleta das amostras.

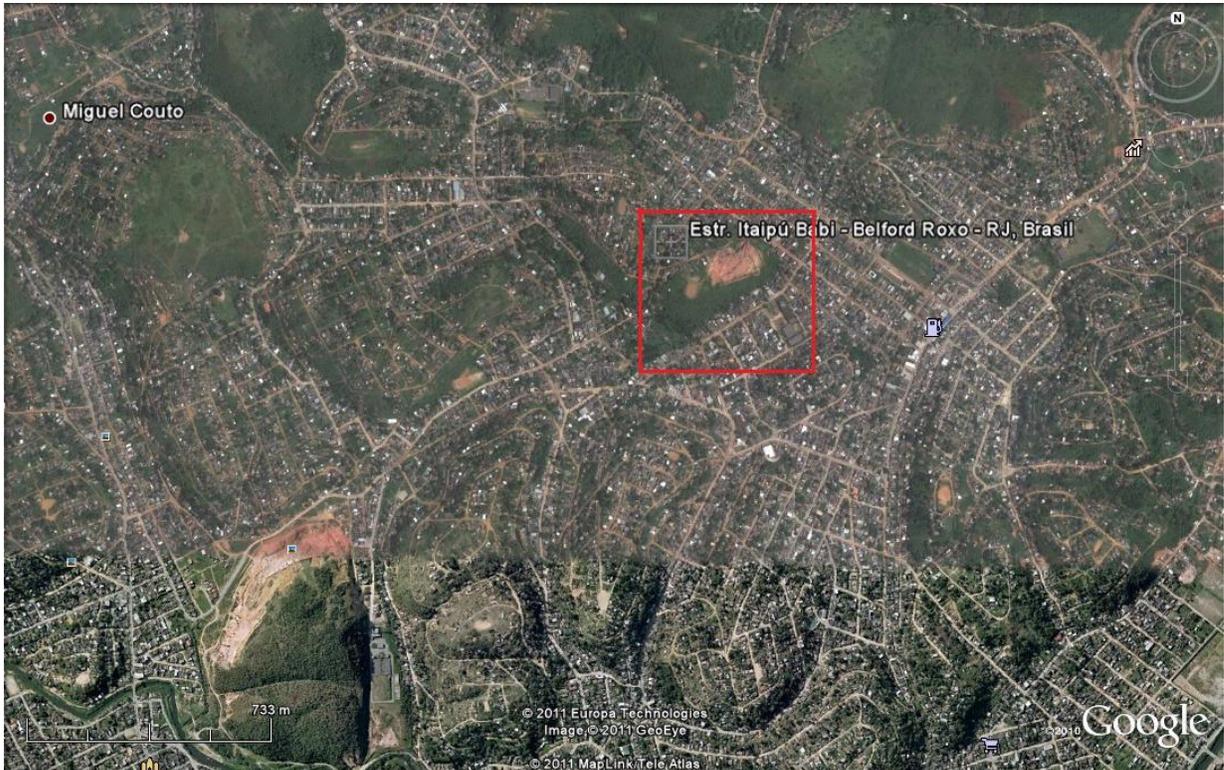


Fig.2: Localização da encosta de onde foram retiradas as amostras utilizadas em 2009 (marcada pelo quadro em vermelho). Estrada Itaipu Babi, Belford Roxo, RJ. Fonte: Google Earth.

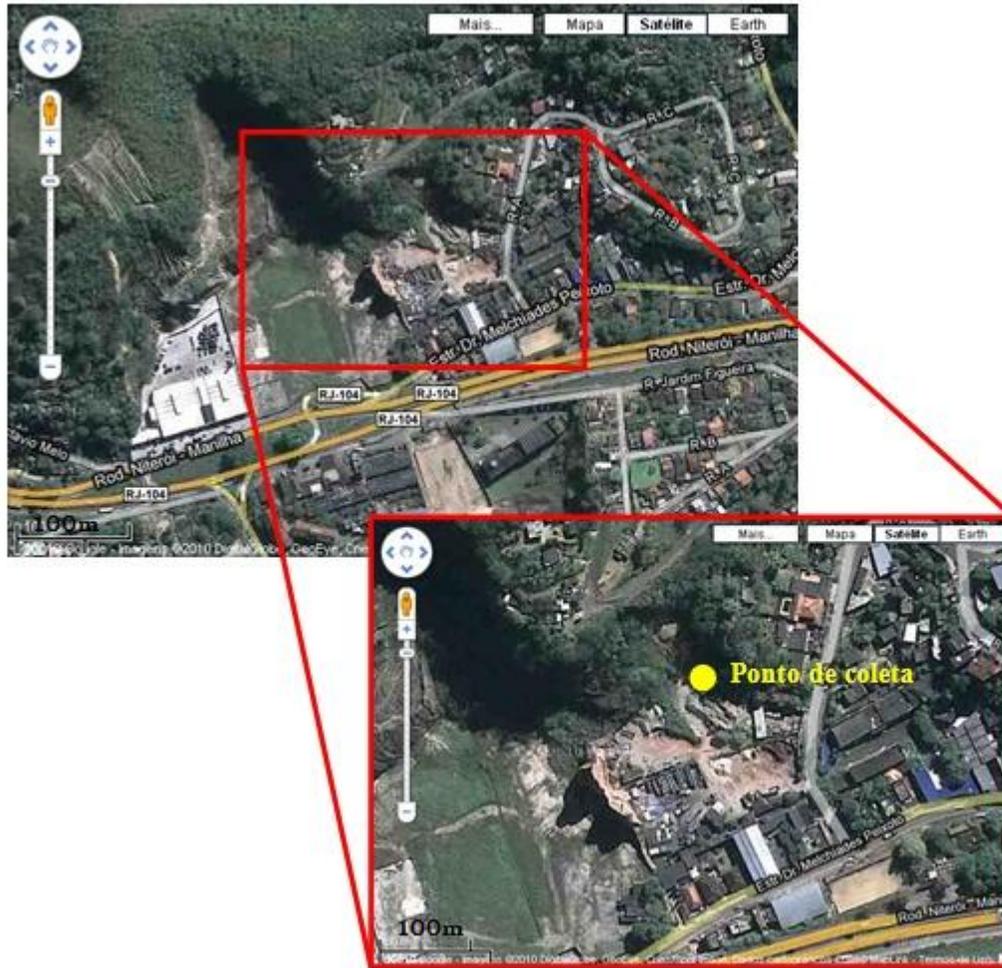


Fig.3: Localização da área de coleta das amostras utilizadas em 2010. Encosta localizada na Rodovia Amaral Peixoto nº535, bairro Caramujo, no município de Niterói. Desenho esquemático retirado de Silos (2010).

O solo coletado (fig.3) foi um solo residual jovem (horizonte C) proveniente de um granito da Suíte Rio de Janeiro, suíte de idade Neoproterozóica, segundo o mapa geológico (escala 1:400.000) elaborado pelo CPRM lançado em 2001 (Carvalho Filho, 2000, citado em Silos 2010).



Fig.4: Fotografia da encosta onde foi feita a retirada de amostras, no dia 12 de fevereiro de 2010. O nível aproximado no perfil do solo de onde amostras foram retiradas é indicado pelo quadro em negrito.

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Solos do Departamento de Geologia da UFRJ, colocadas para secar ao ar durante cinco dias e posteriormente, foram

homogeneizadas.

2.3. Ensaio de Caracterização

Os ensaios de caracterização compreendem aos procedimentos para determinar a granulometria, a densidade real dos grãos e os limites de Atterberg. Todos feitos segundo as normas padronizadas na ABNT, 1984. A caracterização mineralógica foi feita a partir de difratometria de raios-X.

2.4. Contaminante

Optou-se por utilizar nestes ensaios uma solução de cloreto de sódio, já que o objetivo é avaliar o efeito dos sais presentes no chorume nas propriedades do solo compactado. A preparação da solução contaminante foi feita depois de uma pesquisa bibliográfica observando a concentração de cloretos em amostras de chorume publicadas em diversos artigos. Em Segato e Silva (2000), foi encontrada uma citação a Clareto (1997) e Held (1996), que mostra a amplitude de variação típica de diversas substâncias encontradas no chorume (tabela 1). A concentração de cloretos escolhida foi a de 12400 mg/L, que representa o valor máximo de cloretos encontrados no chorume. Justifica-se a escolha do valor máximo por este trabalho se tratar de um estudo investigativo inicial, onde a simulação de uma contaminação massiva é buscada. A solução foi preparada utilizando apenas cloreto de sódio.

Parâmetros	Faixa de Variação
pH	3,5 – 9,0
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	850 – 17.500
DBO ₅ (mg/l)	15.000 – 50.000
DQO (mg/l)	21.000 – 78.000
Sólidos Suspensos (mg/l)	660 – 5.000
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	50 – 5.000
Nitrato (mg/l)	0,1 – 250
Nitrito (mg/l)	0,1 – 40
Arsênio (mg/l)	0 – 200
Cádmio (mg/l)	0 – 2
Cianetos (mg/l)	0 – 10
Zinco (mg/l)	0 – 25
Cloretos (mg/l)	100 – 12.400
Cobre (mg/l)	0 – 8
Cromo total (mg/l)	0 – 300
Ferro (mg/l)	2 – 2.100
Manganês (mg/l)	0 – 35
Merúrio (mg/l)	0 – 0,05
Níquel (mg/l)	0 – 5
Chumbo (mg/l)	0 – 2
Sulfato (mg/l)	18 – 2.000
Fósforo total (mg/l)	0,1 – 31

Tabela 1: Tabela mostrando as variações típicas de diversas substâncias encontradas em chorume (Segato e Silva, 2000).

2.5. Ensaio de compactação

Após os ensaios de caracterização das amostras de solo, passou-se a etapa dos ensaios de compactação. O método escolhido foi o Proctor Normal, método este, que no Brasil é normatizado pela ABNT, segundo a NBR 7182/1986.

O método de Proctor consiste em compactar as amostras de solo em cilindros, cujos volumes são previamente conhecidos. A quantidade de água misturada ao solo é variada em cada cilindro, com o objetivo de determinar uma curva massa específica/umidade onde seja possível identificar a umidade ótima de compactação, que seria a umidade na qual o solo possui sua maior massa específica e, portanto menor volume para uma mesma energia de compactação. O ensaio Proctor pode ser feito com três diferentes intensidades:

a normal, a intermediária e a modificada, onde em cada uma, o número de golpes com um soquete é determinado. A intensidade escolhida foi a Normal, onde cinco camadas são compactadas no cilindro, e cada uma recebe 12 golpes do soquete. Cinco cilindros foram utilizados no ensaio, determinando uma curva de cinco pontos. O processo é ilustrado na fig.5.



Fig.5: Sequência de fotos que mostra as etapas do ensaio de compactação: mistura do solo com água, colocação sucessiva das camadas de solo no cilindro seguido pelos golpes com o soquete, preparação do cilindro para pesagem e pesagem.

Após esse procedimento os cilindros foram submersos em recipientes preenchidos com água, e aos mesmos foram acoplados extensômetros para que a expansão do solo fosse mensurada. Os cilindros permaneceram submersos durante cerca de 90 horas e os valores no extensômetros foram medidos em intervalos de cerca de 24 horas. Depois disso, os cilindros são retirados dos recipientes e pesados. A diferença dos valores em peso antes e após a submersão é o peso da água absorvida.

Uma vez que feito o ensaio de compactação e obtida a curva correspondente, novas amostras de solo foram preparadas seguindo a mesma sequência, só que desta vez usando a solução contaminante (ver seção 2.4) preparada em laboratório para substituir a água destilada pura na mistura com o solo. Uma nova curva de compactação foi obtida. Os

cilindros onde foram compactadas as amostras de solo contaminadas, são submersos em recipientes preenchidos com a solução contaminante e os mesmos passos são seguidos para a determinação da expansão e da solução absorvida. Desta forma, depois de devidamente pesados os cilindros são submetidos ao ensaio de CBR. Vale a pena ressaltar nesse item, que devido às dificuldades para homogeneizar o solo utilizado nos ensaios em 2009, procurou-se em 2010 reduzir essa dificuldade colocando as amostras homogeneizadas em sacos plásticos numa câmara úmida durante uma semana antes da realização do ensaio.

2.6. CBR

O ensaio CBR foi proposto pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia com o intuito de avaliar a resistência mecânica dos solos. Para isso, amostras de solo compactadas segundo o método Proctor são submetidas à penetração (à velocidade constante) de um pistão cuja área da seção transversal é conhecida. As leituras dos valores de pressão exercida no corpo de prova são feitas em intervalos que correspondem a certos valores de penetração do pistão no mesmo, de forma que uma curva pressão/penetração é obtida para cada cilindro. A partir desses dados e dos dados da compactação é elaborada uma curva CBR/teor de umidade, onde é possível conhecer o valor do CBR na umidade ótima, e, portanto com a massa específica máxima.

O valor do CBR é dado em porcentagem, sendo que 100% é o valor de uma brita graduada de ótima qualidade adotada como padrão de referência. Esse ensaio é padronizado no Brasil pela norma ABNT 9895, e trata-se de um procedimento altamente utilizado na avaliação de resistência de solos, por ser simples, rápido e barato. A figura 6 mostra os corpos de prova submergidos em água para a realização dos procedimentos descritos na seção 2.5 e a prensa utilizada no ensaio CBR.



fig.6: Submersão dos corpos de prova, e prensa controlada manualmente para o ensaio CBR.

2.7. Ensaio Triaxial de Resiliência

O ensaio triaxial de resiliência é usado para estimar a capacidade de um solo de recuperar a deformação depois que a carga que a causou é retirada. Carregamentos cíclicos são então aplicados e retirados repetidamente durante o ensaio mensurando dessa forma o MR (módulo resiliente), que é a razão entre a tensão desviadora aplicada e a deformação vertical recuperável correspondente. É importante observar que esse ensaio simula um solo compactado para pavimento sendo afetado pelo tráfego de automóveis, que não é a situação investigada nesse trabalho. Porém, a capacidade de recuperar deformação de um solo relaciona-se com a sua resistência, tornando os resultados deste ensaio pertinentes ao que se propõe esse projeto. O método do ensaio é normatizado pela DNER-MR 131/94. Assim como no CBR, é necessário um ensaio de compactação para

obtenção da umidade ótima correspondente a massa específica seca máxima. Para isso o método Proctor foi utilizado. A realização do ensaio triaxial de resiliência propriamente dito é feito então com um corpo de prova compactado na umidade ótima obtida na curva. A figura 7 corresponde ao equipamento utilizado.



Fig.7: Equipamento utilizado no ensaio descrito na seção 2.7.

3.RESULTADOS

3.1. Ensaio de Caracterização

São apresentados a seguir os resultados das curvas granulométricas, dos valores de densidade real dos grãos e dos limites de Atterberg:

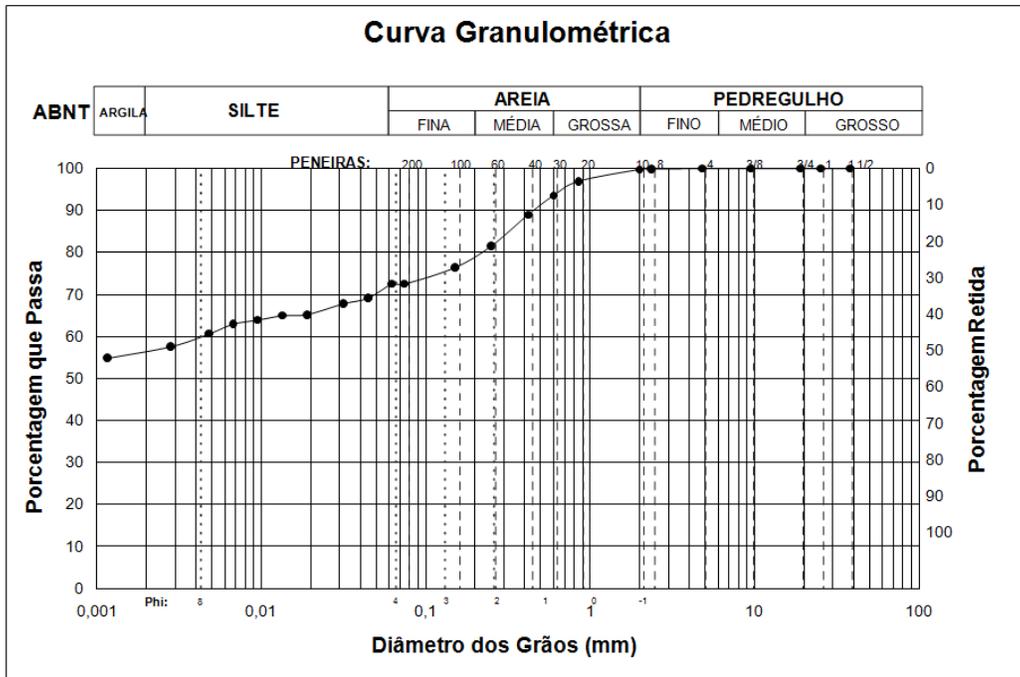


Gráfico 1: curva granulométrica do solo utilizado em 2009

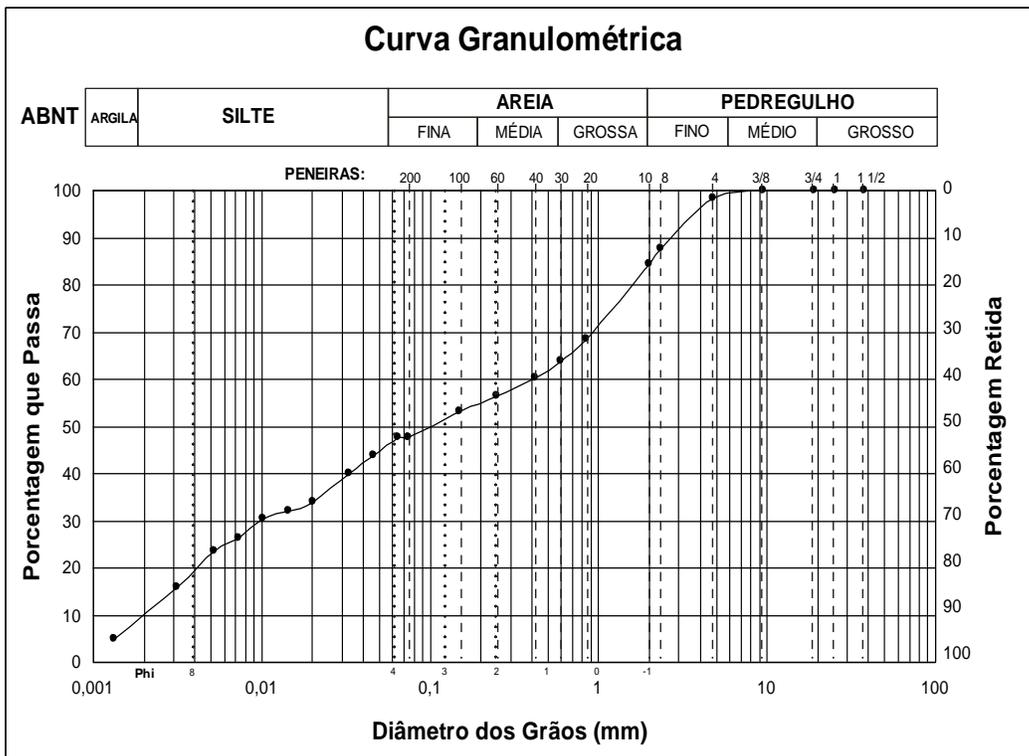


Gráfico 2: curva granulométrica do solo utilizado em 2010

	Solo utilizado em 2009 (%)	Solo utilizado em 2010 (%)
Argila	56	9
Silte	16	37
Areia fina	7	8
Areia média	15	9
Areia grossa	6	21
Pedregulho	0	16
Total	100	100

Tabela 2: Resultados do ensaio de granulometria

A tabela 3 e 4 contém os resultados dos limites de Atterberg. Notar que a contaminação do solo não influenciou na plasticidade do mesmo.

	LL	LP	IP
Não contaminado	70%	38%	32%

Tabela 3: limites de Atterberg para o solo utilizado em 2009

	LL	LP	IP
Não contaminado	51%	29%	22%
Contaminado	50%	28%	22%

Tabela 4: Limites de Atterberg para o solo utilizado em 2010

Esses dados permitem classificar o solo utilizado em 2009, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) como CH (*clay high*), um solo argiloso muito plástico. E o solo utilizado em 2010 pode ser classificado, também segundo o

SUCS como SC, uma areia argilosa com pedregulho.

O valor da densidade real dos grãos obtido foi de 2,65 (2009) e 2,64 (2010). A fração argila do solo foi caracterizada mineralogicamente através de difratometria de raios-X como composta basicamente por caulinita e goethita (2009) e caulinita com traços de illita (2010).

3.2. Ensaios de Compactação

A partir dos ensaios de compactação com as amostras contaminadas e não contaminadas, foram feitas comparações entre dois parâmetros: a massa específica máxima e o índice de vazios. Os gráficos 1 a 4 representam as curvas de compactação e os gráficos 5 a 8 as curvas do índice de vazios. A partir da simples observação é possível notar a redução significativa da massa específica máxima do solo contaminado em relação ao não contaminado, assim como o aumento do índice de vazios. Isso indica que a contaminação influenciou na qualidade da compactação do solo.

Dessa forma, já que o método e a energia usada na compactação foram o mesmo com todas as amostras, é razoável atribuir, tanto a redução da massa específica como o aumento do índice de vazios, resultando numa compactação deficiente, à contaminação do solo.

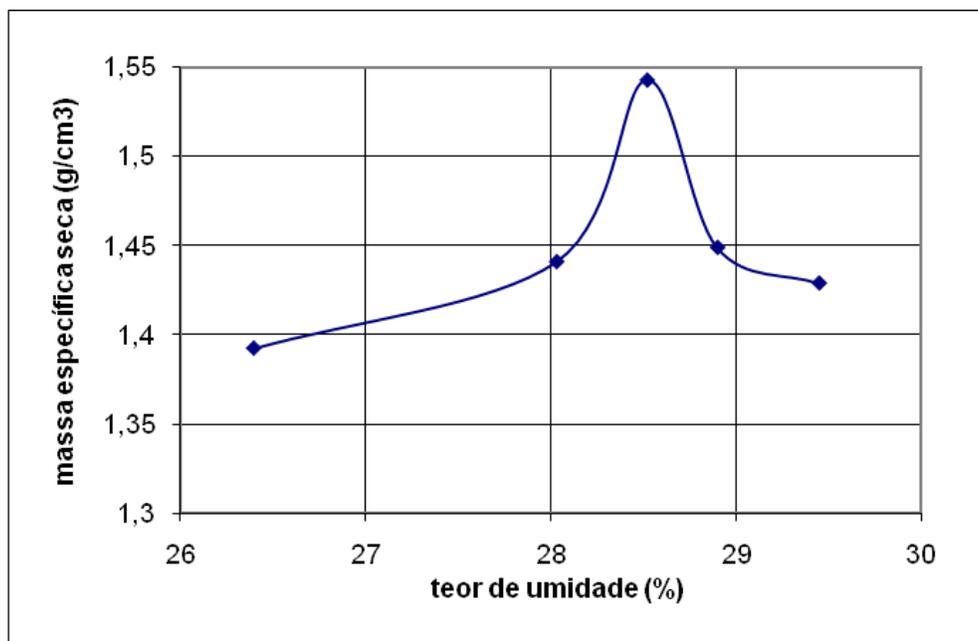


Gráfico 3: curva de compactação do solo não contaminado (2009).

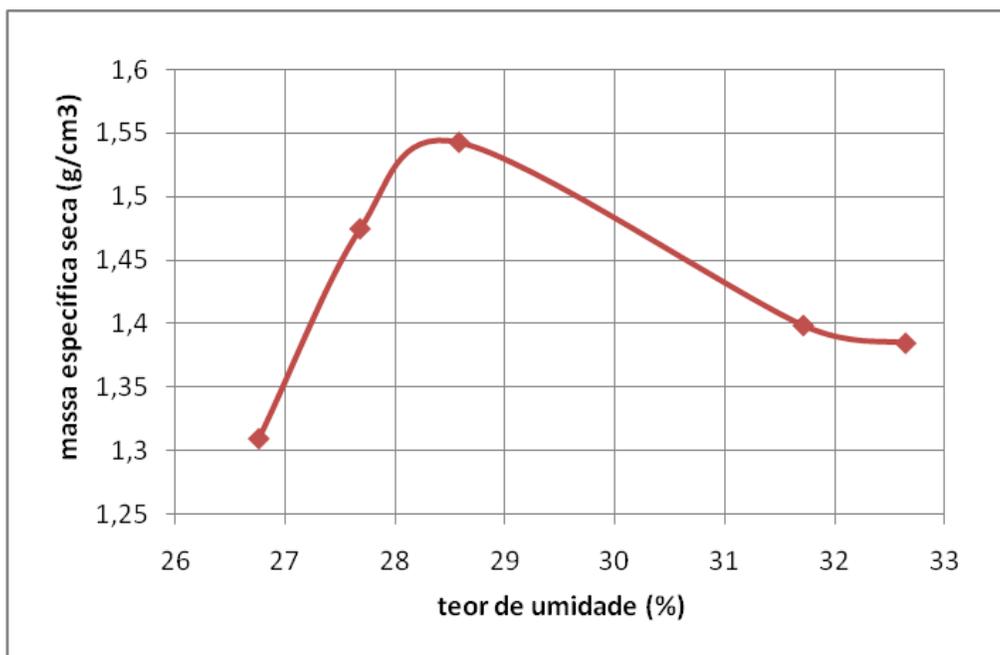


Gráfico 4: curva de compactação para o solo contaminado (2009).

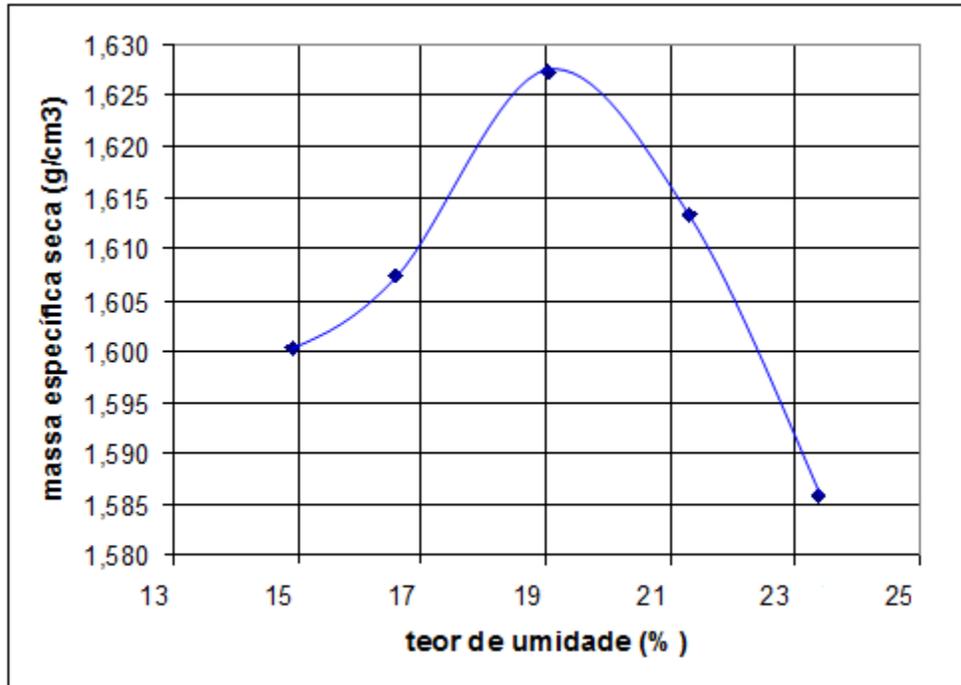


Gráfico 5: curva de compactação para o solo não contaminado (2010).

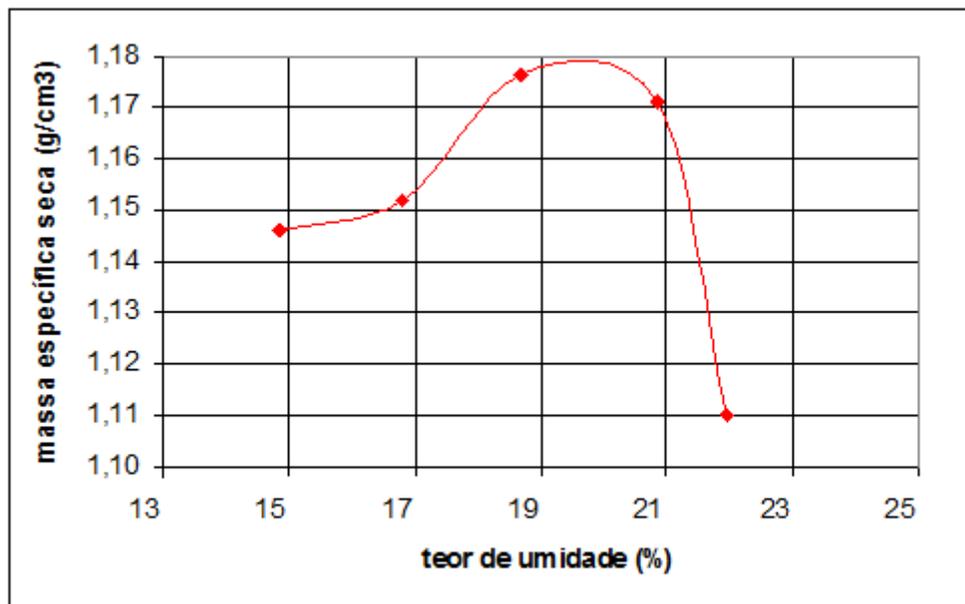


Gráfico 6: curva de contaminação para o solo contaminado (2010).

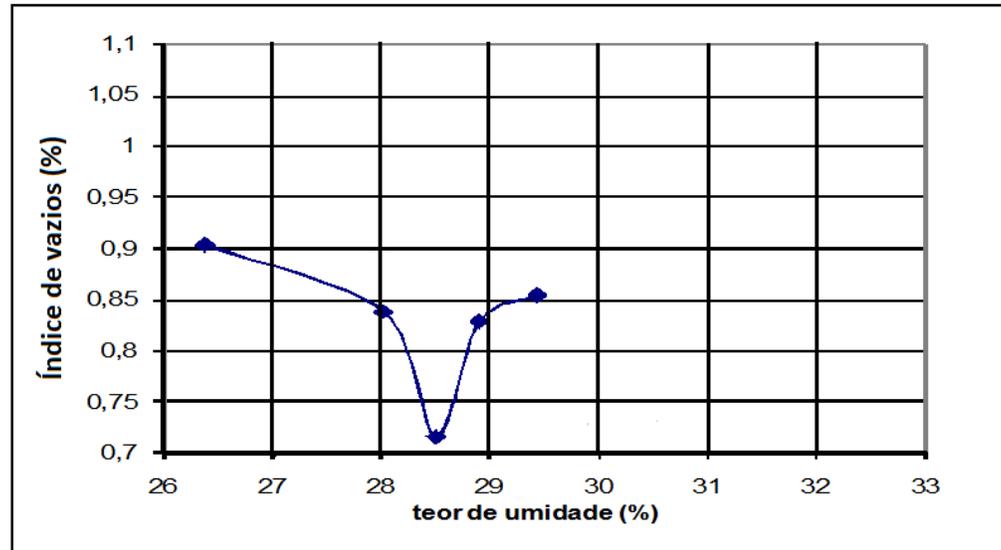


Gráfico 7: curva do índice de vazios para o solo não contaminado (2009).

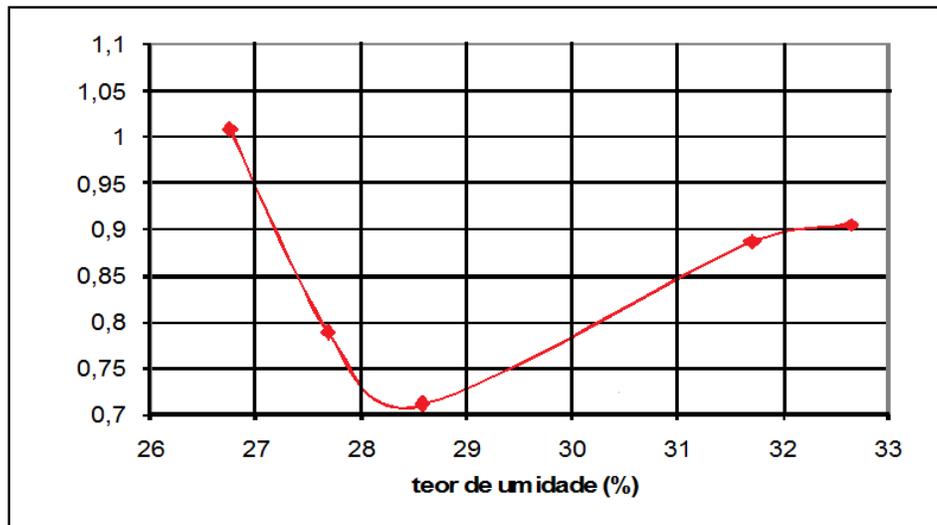


Gráfico 8: curva do índice de vazios para o solo contaminado (2009).

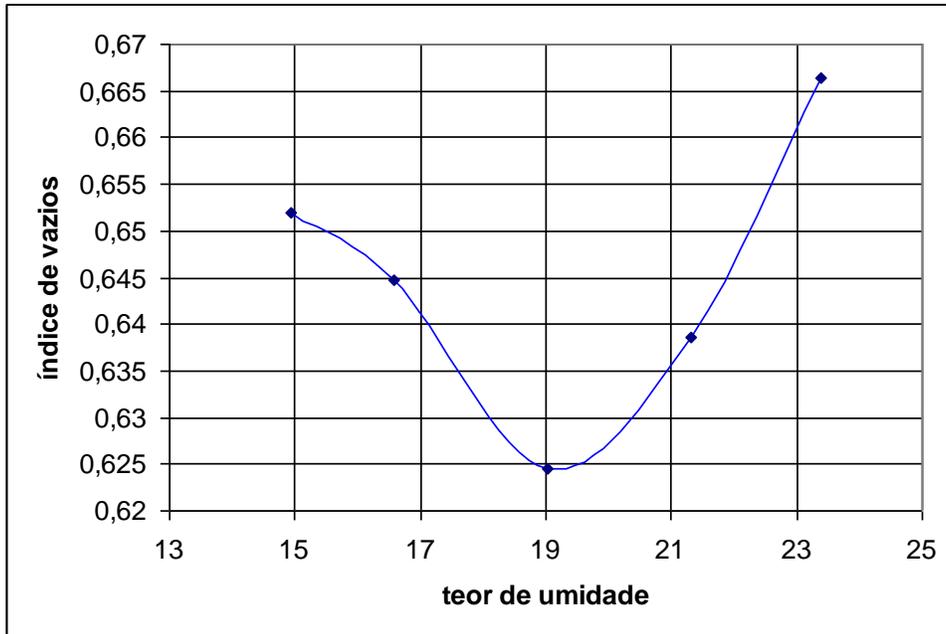


Gráfico 9: curva do índice de vazios para o solo não contaminado (2010).

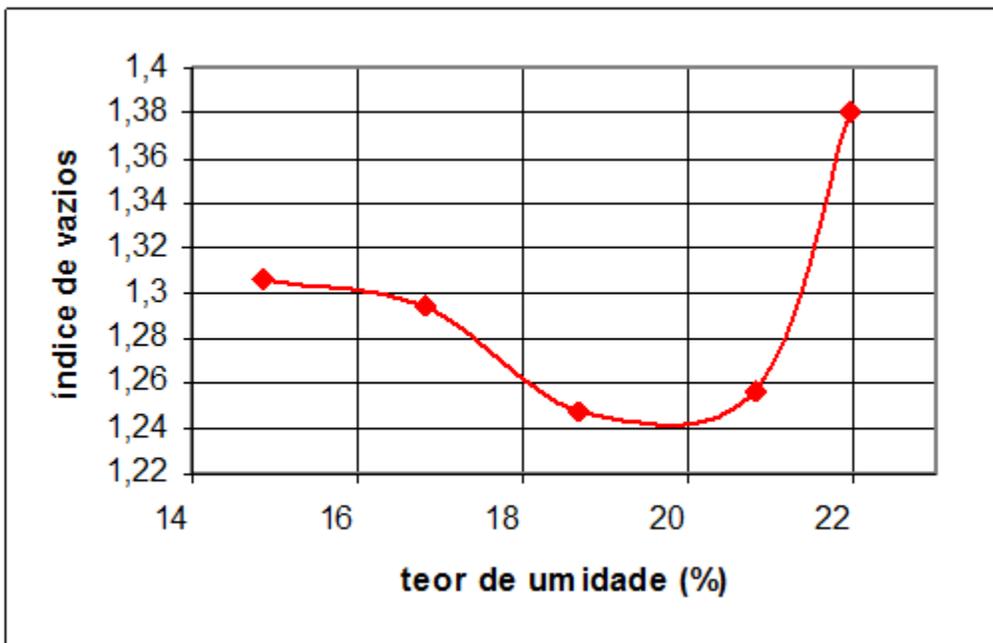


Gráfico 10: curva do índice de vazios para o solo contaminado (2010).

3.3. CBR

Os gráficos abaixo se referem aos resultados obtidos no ensaio CBR. Afirmamos no item 3.2 que a compactação do solo sofreu uma redução em sua qualidade. Os resultados do CBR mostram que essa redução afetou a resistência do mesmo reduzindo o valor do CBR de 7% para aproximadamente 3%, o que corresponde a uma redução de mais de 50%. No solo utilizado em 2009 também houve redução, esta de 9% para cerca de 5%.



Gráfico 11: curva do CBR para o solo não contaminado (2009).

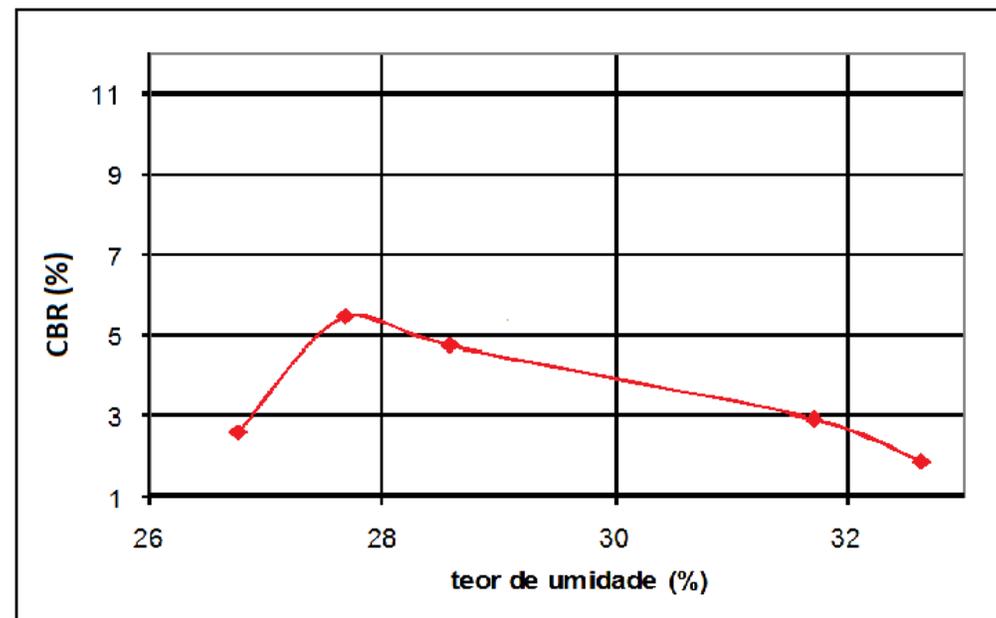


Gráfico 12: curva do CBR para o solo contaminado (2009).

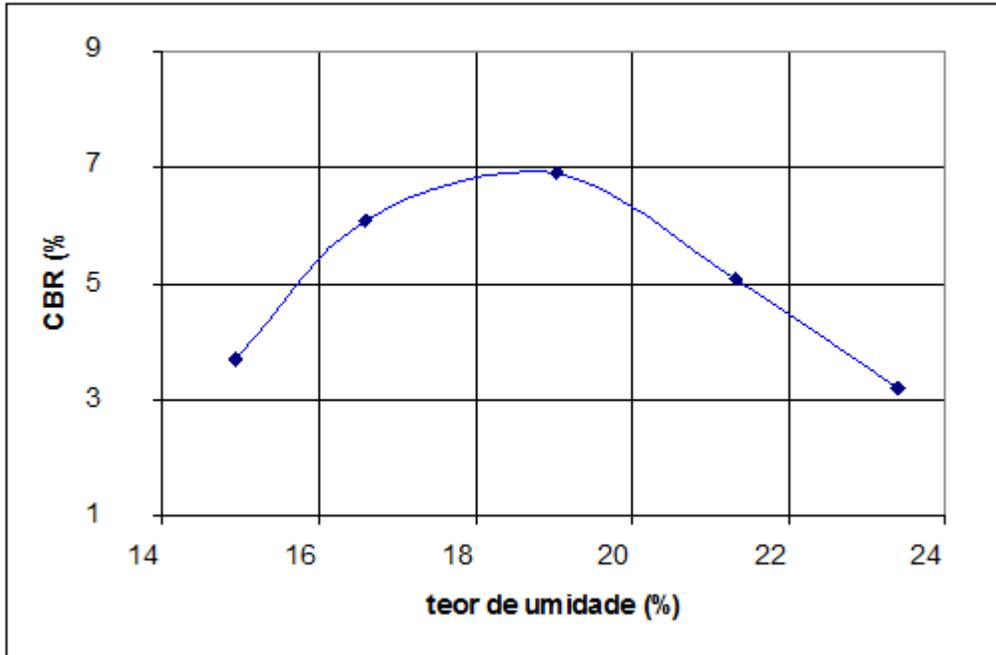


Gráfico 13: curva do CBR para o solo não contaminado (2010).

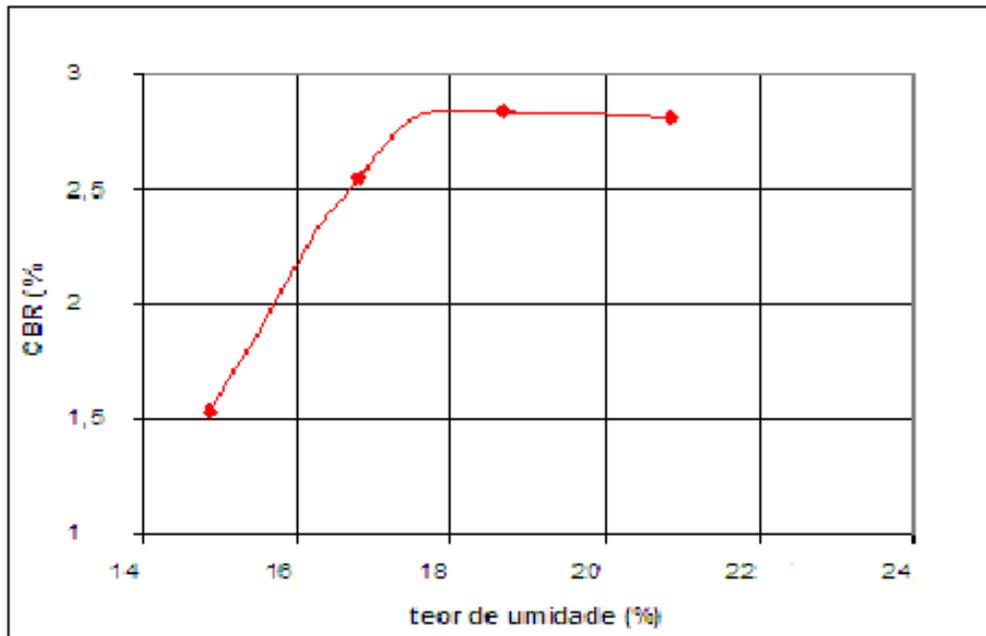


Gráfico 14: curva do CBR para o solo contaminado (2010).

3.4. Ensaio Triaxial de Resiliência

No gráfico abaixo, estão registrados os resultados do ensaio triaxial de resiliência para as amostras contaminadas (em vermelho) e não contaminadas (em azul). Os resultados mostram uma redução de cerca de 50MPa nos módulos resilientes do solo contaminado (2010), mostrando que a contaminação afetou a capacidade do solo de recuperar deformação. O solo utilizado em 2009 também sofreu redução no valor do módulo resiliente, neste caso de cerca de 100MPa.

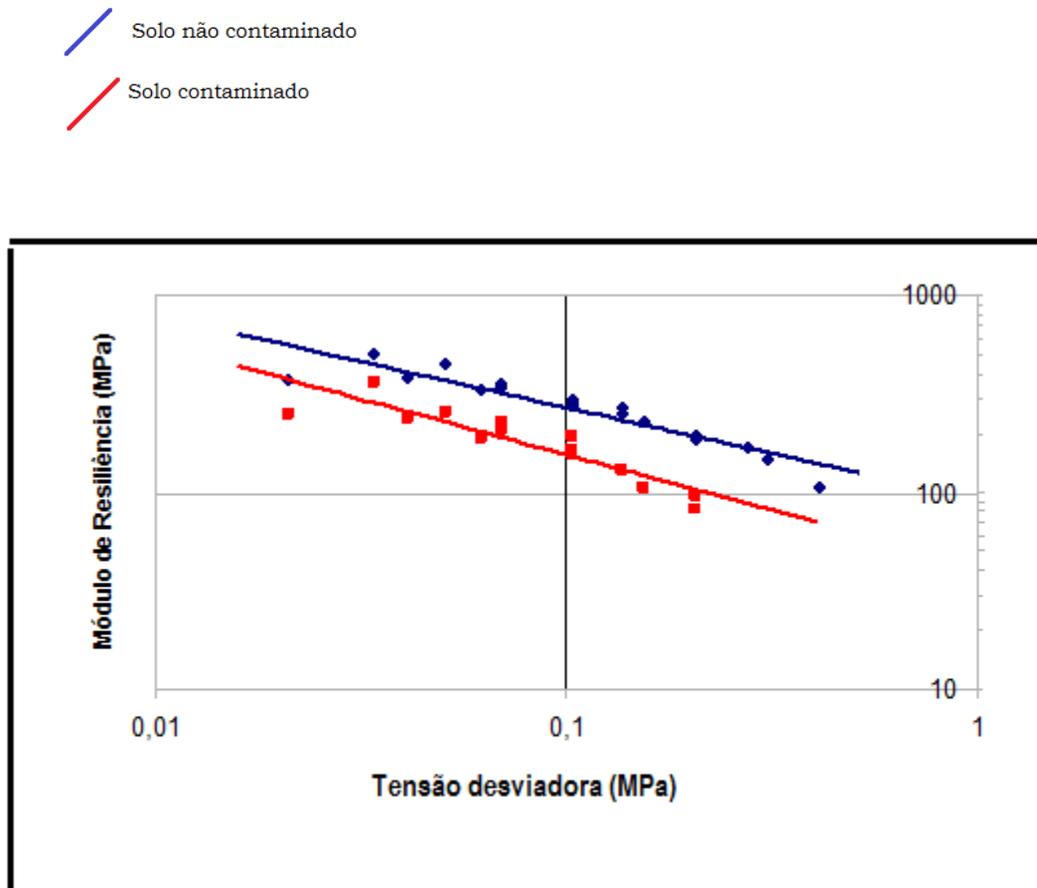


Gráfico 15: Resultados do ensaio triaxial de resiliência (2009).

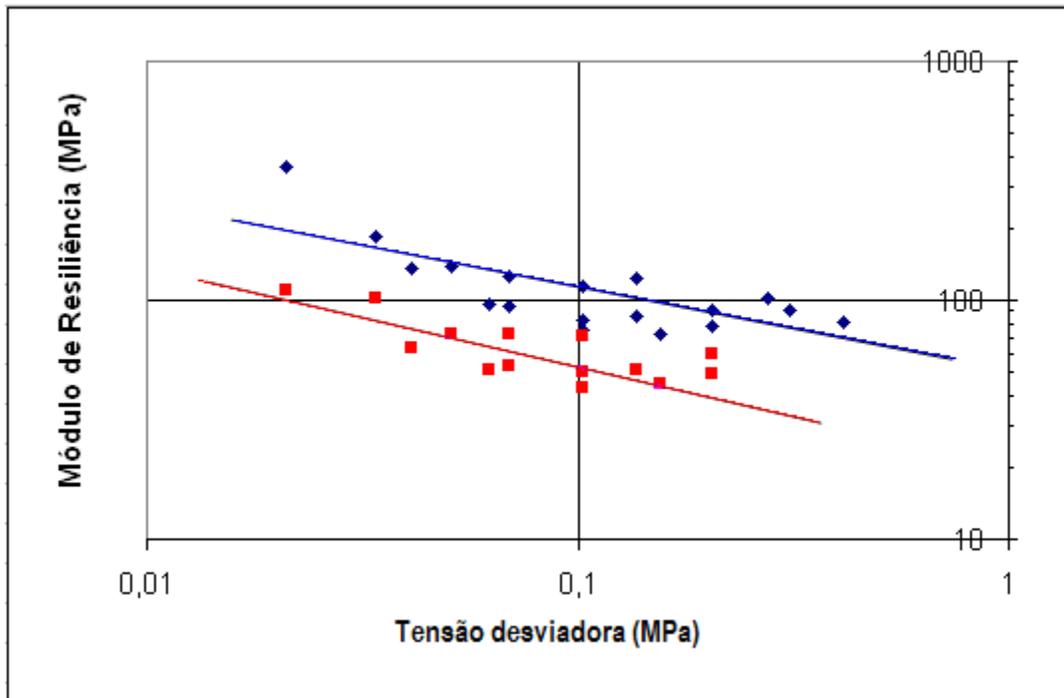


Gráfico 16: Resultados do ensaio triaxial de resiliência (2010).

4. CONCLUSÕES

Observamos que os parâmetros investigados relacionados com a resistência (massa específica máxima de compactação e índice de vazios) são inferiores no material contaminado. E que, os índices investigados nos ensaios de CBR e resiliência, a porcentagem de CBR e módulo resiliente respectivamente, também sofreram reduções. Os resultados obtidos no ano de 2009 apesar de todas as dificuldades de realização dos ensaios mostram valores coerentes com os obtidos em 2010.

Diante de todos esses dados apresentados, podemos afirmar que a contaminação do solo por uma solução de cloreto de sódio afeta a sua resistência. E já que a contaminação foi baseada em dados reais encontrados em amostras de chorume, e que o contexto brasileiro de disposição de resíduos facilita a contaminação dos solos compactados utilizados em aterros, concluimos que esse fato (a perda de resistência a partir de contaminação por chorume) é um tema que merece investigação.

5. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 9 p, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 6459 Solo-
Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 6 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 6508 Massa
específica real dos grãos. Rio de Janeiro, 8 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7180 Solo-
Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 3 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7181 Análise
granulométrica. Rio de Janeiro, 13 p, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 7182 Ensaio de
compactação. Rio de Janeiro, 10 p, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 9895 Solo-
Índice de Suporte California. Rio de Janeiro, 14 p, 1987.

BRASIL 2010 – LEI Nº 12.305, DE 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de
Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras
providências.

DNER-ME – Solos - Determinação do Módulo de Resiliência – 8 p, 131/1994.

FERREIRA, J.G.H.M., Elaboração e análise de base de dados de ensaios triaxiais
dinâmicos da COPPE/UFRJ, Tese (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, RJ,
130p. 2002.

MACAMBIRA, I.Q. – Comportamento Hidráulico de alguns solos lateríticos para uso
como barreira impermeável. Tese. Mestrado em Geotecnia. USP, 127p. 2002

PASTORE, E. P. & FONTES, R.M. Caracterização e Classificação dos Solos. In:
OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo:

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 586 p,1998.

REIS, F. A. G. V. 2001 - Curso de Geologia Ambiental - Formas de Disposição de Resíduos. UNESP Rio Claro. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>.

SEGATO, L. M. e SILVA, C. L. 2000 – Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre. Anais. ABES, Ref.II-018. 2000

SILOS, V.R. – Influência da Salinidade no Comportamento Mecânico de Solos Compactados. Trabalho de Conclusão de Curso. 2010