

Análise do comportamento do solo quanto a sua compactação, expansão e resistência à penetração com adição do papel kraft

Analysis of soil behavior in terms of compaction, expansion and penetration resistance with the addition of kraft paper

Análisis del comportamiento del suelo en relación con la compactación, expansión y resistencia a la penetración con la adición de papel kraft

Recebido: 08/04/2020 | Revisado: 15/04/2020 | Aceito: 21/04/2020 | Publicado: 22/04/2020

Laécio Guedes do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3321-8156>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: laecioguedes25@hotmail.com

Samuel Campelo Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4357-515X>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: samuel.c.dias@hotmail.com

Phillype Dowglas Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4103-3883>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: eng.phillype@hotmail.com

Francisco Craveiro da Costa Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4083-8548>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: craveirojr@icloud.com

Sávio Torres Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6725-1689>

Centro Universitário Uninovafapi, Brasil

E-mail: savio.melo@hotmail.com

Marcos Rodrigues Resende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-4828>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: marcos_resend_e@hotmail.com

Rebeka Manuela Lobo Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8195-6447>

Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil

E-mail: rebekamanuela28@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar o estudo experimental do comportamento do solo com adição de sacos de cimento triturado, conhecido como papel kraft, resíduo de saco de cimento. Para a análise foi feita a coleta do solo em uma jazida e realizados os processos iniciais para os ensaios de caracterização sendo eles a análise granulométrica por peneiramento (AGP), limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) que nos permite classifica-lo quanto ao tipo de solo que está sendo estudado. Foram realizados os ensaios de compactação e o CBR conhecido como Índice Suporte de Califórnia (ISC). Nos ensaios foram verificados o comportamento do solo da cidade de Teresina – PI com adição desses resíduos procurando manter a qualidade inicial ou melhorando a capacidade de resistência do solo. Os ensaios foram realizados para o solo natural (sem adição) e com adições de 1%, 2% e 3% de papel kraft triturado. Nos resultados observou-se que ao adicionar os percentuais não houve alterações consideráveis no grau de compactação do solo, na expansão e nem na resistência a penetração do pistão no solo, resultados esses positivos para estes resíduos serem misturados com solo e compactados sem que altere o desempenho e sua qualidade técnica. A análise dos resultados, por meio do ensaio de compactação e CBR, evidenciou que há umas possíveis possibilidades da utilização do papel kraft triturados em aterros compactados.

Palavras-chave: Saco de cimento triturado; Solo compactado; Sustentabilidade; Meio ambiente.

Abstract

This research has as goal to present the experimental study of soil behavior with the addition of crushed cement bags, known as kraft paper, cement bag residue. For the analysis, the soil was collected in a deposit and the initial processes for the characterization tests were carried out, being the sieve size analysis (AGP), liquidity limit (LL) and plasticity limit (LP) that allows us to classify you as to the type of soil being studied. Compaction tests and the CBR known as the California Support Index (ISC) were carried out. In the tests the behavior of the soil of the city of Teresina - PI was verified with the addition of these residues trying to maintain the initial quality or improving the resistance capacity of the soil. The tests were

carried out for natural soil (without addition) and with additions of 1%, 2% and 3% of crushed kraft paper. In the results, it was observed that when adding the percentages there were no significant changes in the degree of soil compaction, in the expansion or in the resistance to penetration of the piston in the soil, these positive results for these residues to be mixed with soil and compacted without changing the performance and technical quality. The analysis of the results, through the compaction test and CBR, showed that there are possible possibilities for the use of kraft paper crushed in compacted landfills.

Keywords: Crushed cement bag; Compacted soil; Sustainability; Environment.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo presentar un estudio experimental del comportamiento del suelo con adición de sacos de cemento triturado, conocido como papel kraft, residuo de saco de cemento. Para el análisis fue realizado una colecta de suelo na cantera y realizados los procesos iniciales para los ensayos de caracterización, siendo ellos, análisis granulométrico por tamizado (AGP), límite de liquides (LL) y límite de plasticidad (LP) que nos permite clasificar el tipo de suelos que está siendo estudiado. Fueron realizados los ensayos de compactación y el CBR conocido como Índice de Soporte de California (ISC). En los ensayos fueron verificados el comportamiento de los suelos de la ciudad de Teresina – PI con la adición de esos residuos, buscando mantener la calidad inicial o mejorando la capacidad de resistencia del suelo. Los ensayos fueron realizados para el suelo natural (sin adición) y adicionando 1%, 2% y 3% de papel kraft triturado. En los resultados se observó que al adicionar los porcentajes no existió alteraciones considerables en el grado de compactación del suelo, en la expansión y ni en la resistencia a la penetración del pistón en el suelo, estos resultados positivos muestran que estos residuos pueden ser mezclados con suelo y compctados sim que se altere del desempeño y su calidad técnica. El análisis de los resultados, por medio del ensayo de compactación y CBR, evidencio que hay posibilidades de utilización del papel kraft triturados en rellenos compactados.

Palabras clave: Saco de cemento triturado; Suelo compactado; Sustentabilidad; Medio ambiente.

1. Introdução

No Brasil observa-se que um dos setores mais geradores de oportunidade de emprego e riquezas ao país é a construção civil. No entanto, apesar do setor ser de grande relevância, é

também na atualidade umas das principais geradoras de resíduos sólidos, e a falta da utilização de políticas de desenvolvimento sustentável tem onerado os custos das obras, devido ao enorme desperdício de matéria prima.

É notável em meio as pesquisas atuais que os resíduos têm sido bastantes utilizados no meio da Construção Civil e vem sendo cada vez mais estudados no intuito de procurar uma destinação, ou de desenvolver novos materiais que possam ser reutilizados com a finalidade de reduzir os impactos ambientais que estes geram para o meio ambiente (Canhada, Altran, Ishiki, Fidelis & Santos, 2017).

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos de diversas categorias – ABRELPE, afirma que em média 50% de todo resíduo gerado no Brasil são exatamente oriundas de atividades da construção civil, sejam elas construção ou demolição (Marques Neto, 2009).

Segundo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é mostrado a classificação dos resíduos, e também são dadas as direções sobre a maneira correta de descarte e coleta destes materiais. Entretanto, destaca-se que grande parte desse material não tem uma destinação correta e assim resulta em acúmulo de lixo em áreas que não foram separadas para este uso, tornando-o problema ambiental e de saúde pública (Pereira, 2018).

A intervenção no meio ambiental por impactos causados pela construção civil está ligada ao uso intensivo de insumos naturais não renováveis, como água e energia, além de gerar um grande volume de resíduos que não são reaproveitados em sua grande maioria. Há emissões de gases poluentes e gases que contribuem para o aquecimento global em todos os processos de materiais utilizados nas obras da construção civil (Ferrari, Flores, Casagrande Junior & Silva, 2009).

Segundo Ferrari *et al* (2009) a atividade global de construção e demolição da indústria da construção civil é um dos modelos de produção e consumo mais ineficiente e gastador tais como:

- ✓ 25% da madeira florestal;
- ✓ 12 -16% de consumo de água;
- ✓ 30% - 40% de energia;
- ✓ 40% da produção de matéria-prima extrativa;
- ✓ 20 - 30% de produção de gases com Efeito Estufa;

- ✓ 40% do total dos resíduos, dos quais 15 - 30% são depositados em aterros sanitários;
- ✓ 15% dos materiais transformam-se durante a execução da obra em resíduos.

Conforme estudo realizado por Buson (2009) é mostrado que dentre os materiais das construções, descartados, encontram-se os sacos de cimento feitos de papel kraft, fabricados com materiais de boas características físicas e mecânicas, que muitas vezes, após o uso do cimento não são reciclados ou reaproveitados pelas empresas de reciclagem, pelo motivo dos mesmos estarem completamente contaminados com cimento, ocasionando assim um volume significativo deste material sendo descartado.

Contudo estes materiais possuem importantes características que podem ser úteis do ponto de vista geotécnico, pois muitas vezes o solo de um determinado local não apresenta condições adequadas para a aplicação em construções. Este solo pode ser pouco resistente, muito compressível ou apresentar características que deixam a desejar do ponto de vista econômico (Mogrovejo, 2013).

O saco de cimento descartado em local inadequado e de forma errada, possibilita uma capacidade de impacto muito relevante para o solo atingindo assim como nos lençóis freáticos, proporcionado assim à fonte geradora do resíduo a possibilidade de penalidades por órgão ambientais, visto que a destinação correta é prevista em legislação especial. (Souza, Silva & Silva Junior, 2012).

Diante isso, esta pesquisa tem como objetivo apresentar o estudo experimental do comportamento do solo com adição de sacos de cimento triturado, conhecido como papel kraft, resíduo esse que não apresenta nenhuma função de reutilização após o uso do produto que se encontra dentro dele, cimento.

2. Materiais e Métodos

O tipo de pesquisa realizado é a laboratorial, pois de acordo com Pereira et al (2018) este tipo de pesquisa é elaborado a parte de experiências, apresentando os resultados coletados e sendo utilizados em condições controladas. A pesquisa teve seu desenvolvimento com abordagem quantitativa, pois, segundo Hayati, Karami & Slee (2006), é permitido a mensuração de ideais, reações e atitudes em um universo, através de uma ou mais amostras que o representa estaticamente.

O solo foi coletado em uma jazida (Figura 1a) localizada na cidade de Teresina, Piauí em sua forma natural. Os sacos de cimento foram coletados em diferentes obras, em seguida levados a uma empresa que trabalha com reciclagem de papeis para os mesmos serem triturados (Figura 1b).

Figura 1- (a) Jazida onde foi coletado o solo e (b) saco de cimento triturado.



Fonte: Autor, 2020

A Figura 1a mostra o perfil de uma jazida sem sua camada de material orgânico natural da região, materiais esses que devem ser observados para o tipo de trabalho realizado, pois os mesmos podem influenciar diretamente nos resultados finais dos ensaios, o solo para análise não deve ser coletado de qualquer forma ou em qualquer lugar, pois o local de onde o solo é coletado é de grande importância para alcançarmos os objetivos da pesquisa. A Figura 1b tem como principal finalidade mostra a característica do resíduo (papel Kraft) e como o mesmo foi utilizado na mistura com o solo.

A amostra foi preparada conforme norma NBR 6457/2016. O solo após ser coletado na jazida foi levado ao laboratório do Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), ficou exposto ao ar por dois dias (Figura 2) para que o mesmo tivesse sua umidade natural diminuída até obtermos um material na umidade higroscópica. A equação (1) determina o cálculo da umidade higroscópica.

Figura 2 - Secagem do solo ao ar.



Fonte: Autor, 2020

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

h – umidade higroscópica;

Ph – peso do solo úmido;

Ps – peso do solo seco;

Essa etapa de secagem na Figura 2 é importante para que os excessos de umidade adquirida pelo solo nos períodos de precipitações ou até mesmo pelo clima dependendo da região, sejam diminuídos até que o solo apresente um aspecto seco ao olho nu ou ao tato direto dos pesquisadores, aspecto esse enganoso, pois ao passar pelo ensaio de determinação de umidade na estufa em uma temperatura elevada de 105°C o mesmo apresenta uma pequena porcentagem de umidade impregnados nos poros do solo conhecida como umidade higroscópica.

Logo após a secagem, foram realizados o destorroamento do material no almofariz com auxílio da mão de gral revestida de borracha (Figura 3), figura essa que mostra o procedimento correto de se fazer o destorroamento, e os equipamentos ideais conforme as normas para desagregação do solo que se encontra em forma de torrões. Em seguida foi realizado o quarteamento do material para pesagem e separação para os ensaios, técnica essa muito usada por laboratoristas que trabalham com esse tipo de material. No quarteamento junta-se todo o material e divide em quatro partes iguais, elimina duas partes e mistura as

outras duas (figura 4) quem tem como principal finalidade fazer uma seleção uniforme do solo, para assim obter as características reais do material estudado, pois uma separação incorreta do solo vai influenciar diretamente nos resultados finais dos ensaios. Das partes selecionadas, pesa-se 6kg do solo para o ensaio de compactação e para o CBR do solo natural para serem compactados sem adição do resíduo (papel kraft), e com adições de 1% 2% e 3% de papel, pesasse também 1,5kg para os ensaios de granulometria e do mesmo para os demais ensaios como densidade real (DR), limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). Apenas para solo natural foram realizados ensaios de caracterização para podermos classificarmos o mesmo quanto as suas características iniciais.

Figura 3 - Almofariz e mão de gral – destorroamento.



Fonte: Autor, 2020

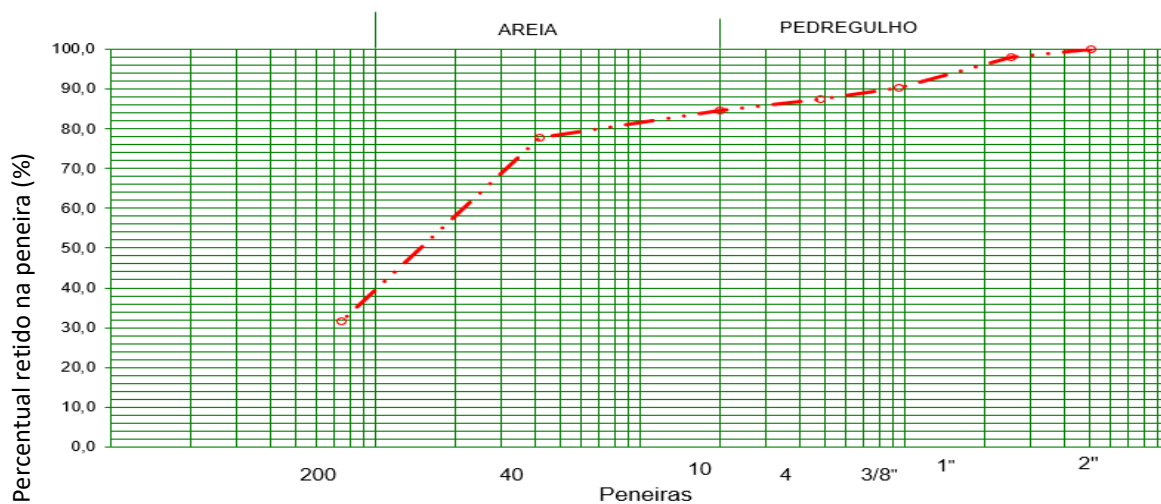
Figura 4 – Quarteamento de amostra.



Fonte: Autor, 2020

A Figura 5 mostra os parâmetros ensaiados para a caracterização do solo seguido da tabela com seus respectivos resultados e suas normas regulamentadoras. A faixa granulométrica em vermelho mostra os percentuais de matérias retidos nas peneiras determinando assim a sua curva granulométrica.

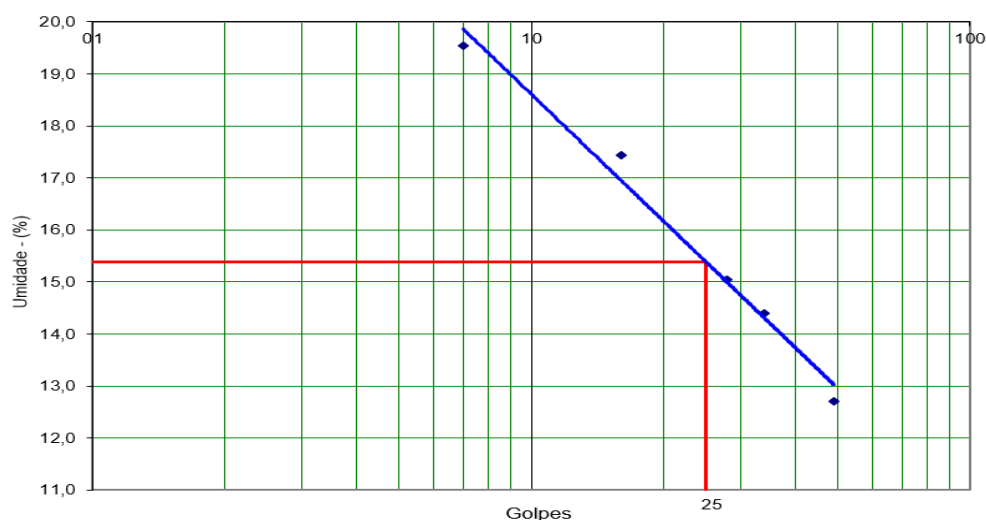
Figura 5 – Granulometria do solo.



Fonte: Autor, 2020

A Figura 6 mostra o resultado final do ensaio de limite de liquidez onde a linha vertical vermelha marca o estado de transição do estado líquido do solo para o estado plástico que é se determina quando uma canelura feita com um cinzel com abertura de 1 cm no solo que foi colocado na concha do aparelho casa grande, abertura essa que se fecha sobre o impacto de 25 golpes determinando assim pela linha horizontal vermelha o teor de umidade de transição marcando o valor de 15,4% aproximadamente de umidade.

Figura 6 – Limite de liquidez.



Fonte: Autor, 2020

Tabela 1 – Ensaio de caracterização do solo em estudo.

Parâmetros	Resultados	Normas
Percentual retido na P200	31,60%	NBR 7181-2016
Limite de Liquidez	15,40%	NBR 6459-2016
Limite de Plasticidade	11,40%	NBR 7180-2016
Índice de Plasticidade	4,00% (Fracamente plástica)	NBR 7180-2016
Densidade máxima do solo	2,136 g/cm ³	NBR 7182-2016
Umidade ótima na compactação do solo	10,60%	NBR 7182-2016
Tipo de material	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas	IPR-DNIT-719 2006
Classificação do solo	A - 2 - 4	IPR-DNIT-719 2006

Fonte: Autor, 2020

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios iniciais realizados em laboratório, nos habilitando assim a classificar o solo estudado conforme o quadro 1, todos os resultados apresentados na Tabela 1 vai nos dá suporte para observarmos as possíveis alterações que o solo pode sofrer ao adicionarmos os resíduos de papel Kraft.

O Quadro 1 tem a finalidade de permite que seja feito a classificação da amostra, definindo assim o tipo de solo segundo a tabela TRB (*Transportation Research Board*) do DNIT 719/06, que classificou o mesmo segundo os resultados da Tabela 1 como um solo pedregulhos e areias siltosas ou argilosas, determinando o solo como excelente a bom.

Quadro 1 – Tabela TRB (Transportation Research Board).

Classificação Geral	SOLOS GRANULARES (P200 < 35 %)							SOLOS SILTO-ARGILOSOS (P200 > 35%)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P10	< 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	< 30	< 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-
P200	< 15	< 25	< 10	< 35	< 35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-	-	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	> 40
IP	< 6	< 6	NP	< 10	< 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		areia fina	Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Classificação como sub- leito	Excelente a bom						Regular a mau				
Podemos acrescentar à estes o tipo A-8: solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos											

Fonte: Adaptado IPR-DNIT 719/06, 2020

Após a classificação, foram executados os ensaios de compactação do solo sem adições de resíduos e com adições de 1% 2% e 3% de papel de saco de cimento. A NBR 7182/16 mostra o método utilizado para realização do ensaio de compactação que tem a finalidade de diminuir os vazios entre as partículas de solo, determinando assim a variação da massa específica seca pela umidade ótima, determinando assim a curva de compactação do solo. A curva de compactação apresenta no gráfico a massa específica aparente máxima do solo seco e a umidade ótima.

Para realização do ensaio utilizou-se o molde cilindro para CBR de 6'', a energia de compactação foi a intermediária (Figuras 7), onde mostra o processo feito em laboratório, o solo é distribuído em cinco camadas dentro do cilindro e em cada camada se executa 26 golpes de energia por camada com soquete especificado pela norma (NBR 7182/16).

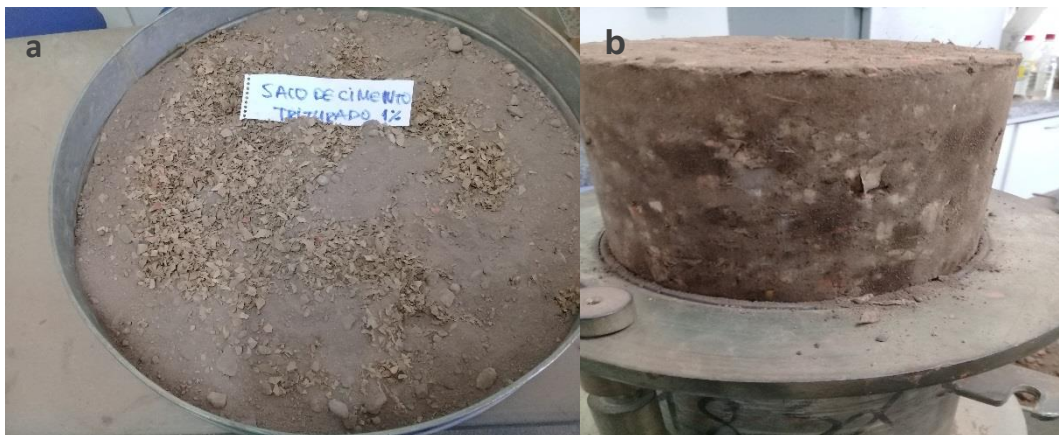
Figura 7 – Compactação com cilindro.



Fonte: Autor, 2020

Assim foram repetidos todos os ensaios para as porcentagens de 1%, 2% e 3% de papel kraft misturados com solo, conforme as Figuras 8a e 8b, figuras essas que mostra o comportamento e a textura visual do solo ao ser misturado com resíduo de papel Kraft.

Figura 8 – (a) Solo misturado com papel kraft e (b) amostra compactada com papel kraft.



Fonte: Autor, 2020

Os resultados das compactações foram determinados de acordo com a equação (2) abaixo:

$$\gamma_s = \frac{P_{hc} \times 100}{V_u (100 + h_c)} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

γ_s – massa específica aparente seca;

P_{hc} – peso úmido do solo compactado;

V_u – Volume útil do molde cilíndrico;

h_c – teor de umidade do solo compactado, em %.

O Ensaio de CBR é realizado conforme NBR 9895/2016, nele é determinado, após ser obtermos no ensaio de compactação, a umidade ótima e massa específica seca do solo. A partir daí, separa-se 6kg de material para se fazer apenas um ponto de compactação na umidade ótima, após isso monta-se o conjunto cilindro junto com o tripé e extensômetro e leva o solo para ser imerso em água por no mínimo 4 dias (Figura 9) essa figura mostra o procedimento de como o solo precisa se moldado e como o mesmo deve ficar imerso em agua, assim isso possibilitara uma análise da expansão da amostra ensaiada, após os 4 dias imerso na água retira-se o cilindro, aguarda uns 15 minutos para escorre o excesso de água. A Figura 9 mostra os procedimentos corretos que precisam ser feitos conforme as normas que citam esses ensaios.

Figura 9 – (a) Preparação para o ensaio CBR e (b) amostras imersas por 4 dias.



Fonte: Autor, 2020

Após escorrer o excesso de água, leva-se o cilindro com o solo e inicia-se o ensaio de penetração, onde se relaciona a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado num solo compactado por um corpo de prova (Figura 10), isto nos possibilita a obtenção de um parâmetro importante, relacionado à durabilidade e a resistência do solo. Esse o ensaio é mais comumente adotado por projetistas de pavimentos em órgãos rodoviários. Assim a Figura 10 tem a finalidade de mostra a prensa de CBR e os extesometros, assim como a forma correta de se fazer a leitura em mm da penetração do pistão no solo.

Figura 10 – Penetração do pistão na presa de CBR.

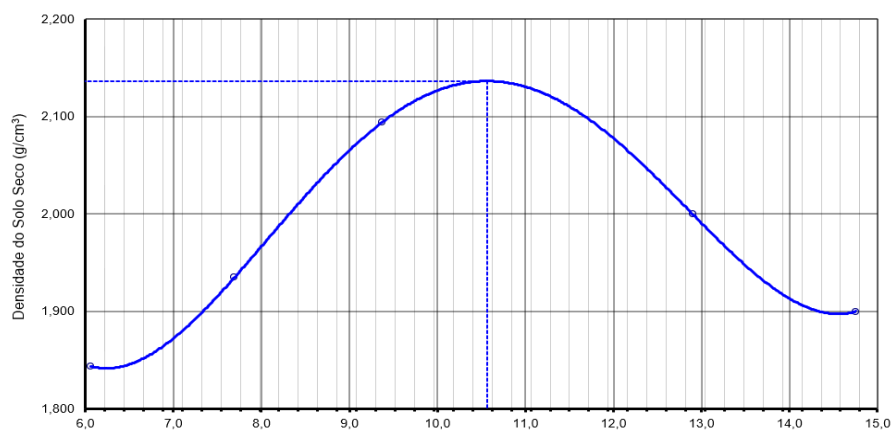


Fonte: Autor, 2020.

3. Resultados

Inicialmente foi realizado o ensaio de compactação para a amostra sem adição de papel kraft, obtendo uma umidade ótima de 10,6% e densidade máxima de 2,136 g/cm³ conforme mostrado no gráfico da Figura 11. Figura essa que tem a finalidade de mostra a curva de compactação determinando assim a umidade ótima na linha vertical e a densidade máxima na linha horizontal localizada no ponto mais alta da parábola.

Figura 11 – Compactação do solo natural (sem adição).

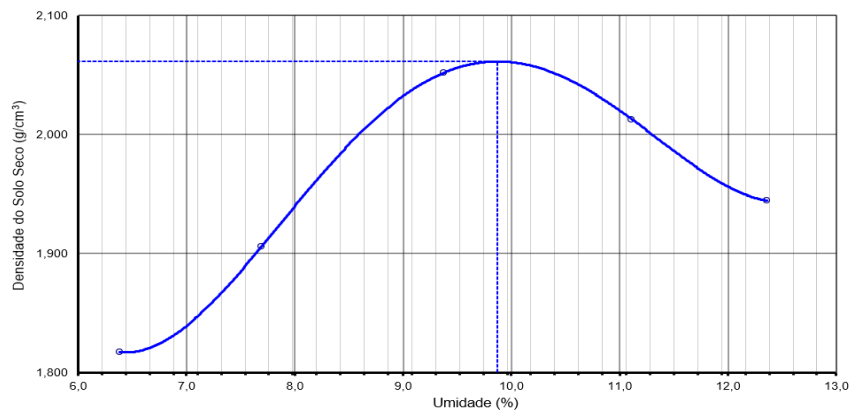


Fonte: Autor, 2020

Procedeu-se na sequencia o ensaio de compactação para as amostras com adição de papel kraft, com percentuais de 1%, 2%, 3%, respectivamente.

Para o ensaio de compactação da amostra com percentual de papel de 1%, teve umidade ótima de 9,9% e densidade máxima de 2,061 g/cm³ conforme mostrado no gráfico da Figura 12, figura essa que mostra a pequena diminuição da densidade máxima e da umidade ótima quando comparada com a figura 11.

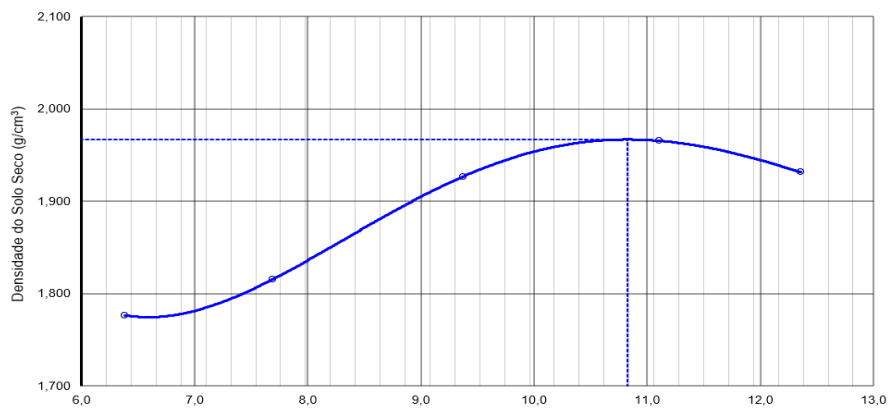
Figura 12 – Curva de compactação do solo com adição de 1% de papel.



Fonte: Autor, 2020

Para a adição do percentual de 2% de papel kraft, obtemos uma umidade ótima de 10,8% e densidade máxima de 1,967 g/cm³ conforme mostrado no gráfico da Figura 13, onde se pode observa os três pontos de compactação que sobem formando a parábola e s dois pontos de saturação do solo que dessem, assim nos permitido analisar uma pequena variação na densidade máxima e na umidade ótima quando comparada com as outras figuras acima mostradas.

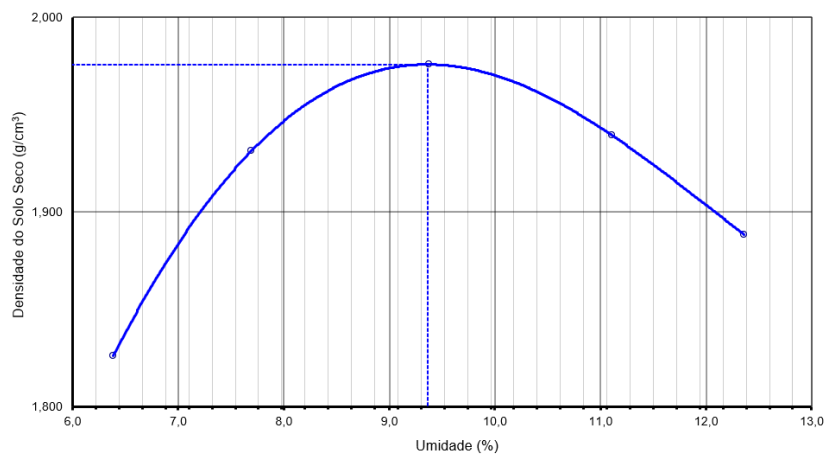
Figura 13 – Curva de compactação do solo com adição de 2% de papel.



Fonte: Autor, 2020

Para a amostra com percentual de papel de 3%, teve umidade ótima de 9,4% e densidade máxima de 1,976 g/cm³ conforme mostrado no gráfico da Figura 14, onde mostra a uniformidade da parábola, o quanto os pontos de compactação e de saturação ficaram distribuídos, assim no ponto mais alto da parábola marca-se a densidade máxima na horizontal e a umidade ótima do solo na vertical. Umidade essa que caracteriza a quantidade máxima de água que esse solo recebe de forma que o mesmo tenha resistência, dureza, caso essa umidade fica acima dessa encontrada o solo perde estabilidade e resistência ficando no estado saturado conhecido também como solo mole.

Figura 14 – Curva de compactação do solo com adição de 3% de papel.



Fonte: Autor, 2020

Após a realização dos ensaios das amostras de solos, foi possível fazer o comparativo dos resultados tanto da compactação como do CBR, conforme Tabela 2. Na tabela é importante observar as pequenas variações que o solo sofreu ao adicionarmos o papel Kraft. As pequenas variações das densidades máximas e na umidade ótima, no CBR houve uma diminuição pois o resíduo não tem característica de um agregado, e a expansão é bastante importante a ser observada pois dependendo do solo essa expansão pode causar bastantes patologias em um solo compactado, houve uma melhora bem significativa em relação a esse aspecto.

Tabela 2 – Comparativo entre os resultados obtidos.

Amostra	Umidade ótima (%)	Densidade máxima (g/cm³)	CBR	Expansão
Sem adição de papel Kraft	10,60%	2,136	50%	0,90%
Adição de 1% de papel Kraft	9,90%	2,061	40%	0,20%
Adição de 2% de papel Kraft	10,80%	1,967	40%	0,10%
Adição de 3% de papel Kraft	9,40%	1,976	33%	0,00%

Fonte: Autor, 2018

4. Considerações Finais

Na análise final dos dados obtidos pelos ensaios, chegamos à conclusão que a possibilidade de resíduos de sacos de cimento conhecido, tecnicamente como papel kraft, serem trabalhados, misturados em aterros, e serem compactados podendo como sugestão ser eles misturados em subleito e até sub-base sem que altere o desempenho e a qualidade do aterro.

Segundo o DNER-ME 049/94 determina que para materiais do subleito os solos devem apresentar uma expansão, medida no ensaio CBR, menor ou igual a 2% e um C.B.R. \geq 2%, para solos a serem utilizados na sub-base, os mesmos precisam apresentar CBR \geq 20%, Índice de Grupo = 0 e expansão \leq 1% (medida com sobrecarga de 10 lb). Baseado nessa informação e observando o solo estudado observamos que o CBR do material sem adição de papel apresentou uma expansão de 0,9% e ISC de 50%, com adição de 1% de papel kraft tivemos expansão de 0,2% ISC de 40%, com adição de 2% obtive-se 0,1% expansão e 40% ISC e para a adição de 3% obteve-se 0,0% de expansão e ISC de 33%. Assim conclui-se que com a adição do papel de saco de cimento o solo diminui cerca de 10% o ISC ficando menos que o do solo natural, mais obtivemos resultado positivo quanto a expansão, fator esse muito importante nas obras de pavimentação que precisam apresentar o mínimo possível dessa reação de expansibilidade evitando assim que o aterro sofra retrações no decorrer de sua vida útil.

Assim recomenda-se, como sugestões para estudos futuros, sejam analisados outros tipos de solos determinando assim suas propriedades mecânicas, adicionando papeis de sacos de cimentos triturados, analisando com uma quantidade maior de amostras o seu comportamento quando a expansão e a penetração. E a partir de novos estudos e análises, acredita-se que será possível verificar a aplicação desse tipo de material em obras de pavimentação, aterros, dentre outras.

Portanto, cabe a todo conjunto de pesquisadores e fornecedores o desenvolvimento e aplicação de projetos sustentáveis para minimizar os impactos ambientais que esse material tem causado atualmente.

Assim recomenda-se para outras pesquisas que realizem os ensaios com outros tipos de solos, que apresentem uma bora resistência de CBR, solos que apresentem uma grande variação de expansibilidade e assim contribuímos para uma destinação nova e consciente para esse tipo de resíduo.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 12p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 7p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 7181: Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 16p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 9p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2016). *NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 14p.

Brasil. (2009). *Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolução nº 416*. From <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>

Brasil. (2006). Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra Estrutura e Transportes. IPR-719: *Manual de Pavimentação*. (3), 274p.

Buson, M. A. (2009). *Krafterra: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical*. Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 149p.

Canhada, J. C. S., Altran, D. A., Ishiki, H. M., Fidelis, G. N. S., & Santos, R. J. (2017). Caracterização física e morfológica de compósitos de concreto com resíduos de borracha vulcanizada. *Colloquium Exactarum*, 9 (3), 65-75. doi: 10.5747/ce.2017.v09.n3.e205.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER. (1994). *DNER-ME 049/94: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*, 15p.

Ferrari, A., Flores, C. Z., Casagrande Junior., E. F. & Silva, M. C. (2009). A discussão da sustentabilidade nas produções acadêmicas de nível stricto sensu da UTFPR: Ênfase na Construção Civil, *Revista Educação & Tecnologia*, (9), 17p.

Marques Neto, J. C. (2009). *Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande*. Dissertação de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 669p.

Mogrovejo, D. R. L. (2013). *Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, Campinas, 225p.

Pereira, A.S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 Abril 2020.

Pereira, F. T. M. (2018). *Avaliação da influência da adição de fibras kraft em argamassas*. Projeto final de graduação em engenharia civil, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, departamento de engenharia civil e ambiental, Brasília, 81p.

Souza, L. W., Silva, E. T. & Silva Junior, R. P. (2012). Resíduos da construção civil: reaproveitamento do kraft e utilização do marketing verde. In *VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*, 8p.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Laécio Guedes do Nascimento – 40%

Samuel Campelo Dias – 15%

Phillype Dowglas Lopes – 9%

Francisco Craveiro da Costa Junior – 9%

Savio Torres Melo – 9%

Marcos Rodrigues Resende – 9%

Rebeca Manuela Lobo Sousa – 9%