

Avaliação da Resistência de Material Leve Utilizando Misturas De Pedacos de Pneus com Solo do Distrito Federal

Jaime Alberto Suárez Moreno

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jaime.suarez01@gmail.com

Gregório Luís Silva Araújo

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, gregorio@unb.unb.br

RESUMO: Este artigo apresenta o estudo experimental do comportamento mecânico de solo fino do Distrito Federal misturado com pedaços de pneus. Para o desenvolvimento do projeto de pesquisa, foi necessário realizar ensaios de compactação (energia de compactação modificada) e empregar um equipamento de cisalhamento direto em escala média (amostras de 300 mm x 300 mm x 175 mm) para estudar e avaliar o comportamento mecânico das misturas solo – borracha, em teores de 0% (solo puro), 2,5%, 3,75%, 5%, 7,5%, 10% e 100% (borracha pura) com relação ao peso do solo seco, submetidas a tensões confinantes de 25 kPa, 50 kPa, 80 kPa e 100 kPa. Os resultados das compactações mostraram que houve redução do peso específico aparente seco das misturas com o aumento do teor de borracha, sem afetar sua umidade de compactação ótima, mantendo-se um corpo de prova bem estruturado se este se encontra confinado. Já no exame visual das amostras desconfinadas, estabeleceu-se que, até uma mistura de 5% de teor de borracha, não foi encontrado grande número de fissuras, trincas e possíveis planos de fraqueza, avaliando este como teor de borracha ótimo com relação aos valores empregados. No caso dos ensaios de cisalhamento direto em escala média foi observado que, com o aumento do teor de borracha, há redução na coesão da estrutura, apesar de haver acréscimo na tensão ao cisalhamento máxima e no ângulo de atrito.

PALAVRAS-CHAVE: Pedacos de Borracha de Pneu, Solo Tropical, Resistencia ao Cisalhamento, Melhoria de Solos.

1 INTRODUÇÃO

A grande produção de pneus e as dificuldades para disposição dos mesmos em aterros ao fim da vida útil são casos comuns de geração de problemas ambientais ao longo das últimas décadas. Por esse motivo, é importante que sejam feitos estudos relativos à disposição dos resíduos de pneus ao final da vida útil, abordando os seguintes aspectos: tratamento e/ou seu armazenamento e definição dos danos causados ao meio ambiente resultantes do manejo inadequado dos mesmos.

No mundo, existe um grande número de pesquisas e metodologias que orientam a reciclagem de produtos utilizados pelo homem.

Na América Latina, no entanto, ainda são poucas as implementações destas por falta de

políticas que apoiem indústrias dedicadas à coleta, recuperação de material e/ou eliminação dos mesmos de forma limpa.

No caso dos pneus, na literatura são propostos métodos de recuperação dos materiais por meio da eliminação dos compostos perigosos e reutilizando borracha produto de processos de trituração mecânica. Uma proposta de reutilização desses resíduos de forma limpa é o emprego do material triturado no enchimento de diferentes obras geotécnicas.

2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA.

2.1 Equipamento de Cisalhamento Direto em Escala Media.

Na pesquisa foi utilizado o equipamento utilizado por Chrusciak (2013), o qual consiste em uma caixa de cisalhamento de tamanho maior que o convencional, com dimensões de 300 mm x 300 mm x 175 mm. Tal caixa está submetida a um sistema de carregamento composto por um circuito hidráulico, com dois cilindros de capacidade de carga de 10 t que aplicam esforços de compressão e tração, com um curso máximo de 50 mm (Figura 1). Este sistema foi adaptado por Souza (2011), tendo o equipamento original sido desenvolvido inicialmente por Palmeira (1988) e utilizado para execução de ensaios de tração confinada em geotêxteis.

O equipamento tem implementado um sistema de instrumentação composto por duas células de carga de capacidade de até 10 t, para medir as tensões de cisalhamento e de confinamento; três transdutores de deslocamento, para medir o deslocamento horizontal (durante o ensaio de cisalhamento) e vertical (durante o ensaio de adensamento e cisalhamento). Todo este conjunto de sensores está ligado a um sistema de aquisição de dados (SPIDER 8) e, por meio do software Catman v 2.0 ®, são obtidos valores a cada 1 segundo.



Figura 1. Equipamento de cisalhamento direto em escala média – laboratório do Programa de Pós-graduação em geotecnia da Universidade de Brasília.

2.1 Solo argiloso do Distrito Federal

O solo empregado na pesquisa, conhecido no meio técnico como solo argiloso do Distrito Federal, foi coletado no campus experimental da Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, com variação profundidades entre 2,0 – 2,5 m, localizado no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, no Distrito Federal (Figura 2).



Figura 2. Solo argiloso utilizado na pesquisa.

2.2 Pedacos de Pneus

Foram utilizados fragmentos de borracha resultantes da trituração primária e secundária de pneus. Este material é proveniente da empresa JLS transportes, com sede em Abadia de Goiás/GO. Segundo a classificação da normativa D6270 (ASTM, 1998) e por Edinçliler et al. (2010), este material é classificado como pedaços de pneus (tire Shred), devido ao tamanho das partículas (diâmetro médio de 20 mm) e presença de malha de aço (Figura 3).

Segundo Forsyth & Egan (1976), este material é de baixo peso específico (2,4 a 7,0 kN/m³). Para esta pesquisa, foi realizado um ensaio peso específico e absorção do material grosso (pedaços de borracha), avaliou-se um peso específico de 5,1 kN/m³ e uma absorção de 2,6%, realizando um processo de saturação do material durante 48 horas.



Figura 3. Pedacos de pneus utilizados na pesquisa.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia da presente pesquisa é baseada no estudo do teor ideal de mistura entre solo e borracha, obtido por meio de ensaios de cisalhamento direto em média escala para o

solo puro. Foram feitos ensaios em amostras com 100% de borracha e em amostras compostas pela mistura de solo laterítico e diferentes teores de borracha.

Cada uma das misturas foi submetida a ensaios de compactação e de cisalhamento direto em equipamento de média escala. Os teores e a descrição das amostras estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Misturas utilizadas na pesquisa

No. Mistura	Teor de borracha (%)	Descrição
M0	0	Solo puro
M2,5	2,5	97,5% solo – 2,5% borracha
M3,75	3,75	96,25% solo – 3,75% borracha
M5,0	5	95% solo – 5% borracha
M7,5	7,5	92,5% solo – 7,5% borracha
M10	10	90% solo – 10% borracha
M100	100	Borracha pura

3.1 Ensaios de Caracterização

Após a coleta do solo, foram feitos os seguintes ensaios de caracterização: Limites de Atterberg, massa específica dos grãos e granulometria para solos finos. As normas usadas como referência foram, respectivamente, a NBR 6459 (ABNT, 1984), a NBR 7180 (ABNT, 1984), a NBR 6508 (ABNT, 1984) e a ABNT 7181 (ABNT, 1984).

Já no caso da borracha, este material foi caracterizado por meio de análise granulométrica, seguindo-se a norma brasileira NBR 7180 (ABNT, 1984). Para utilização da norma em questão, foi feita analogia ao comportamento da borracha como um material gráúdo.

3.2 Ensaio de Compactação

Os ensaios de compactação foram realizados para o solo puro e para cada uma das misturas entre solo e borracha de pneus, sem reuso de material e seguindo-se os procedimentos descritos na normativa NBR 7182 (ABNT, 1986). As amostras de solo tiveram uma fase de secagem prévia até que fosse atingida a umidade higroscópica.

3.3 Ensaio de Cisalhamento Direto em Média Escala

Após a realização dos ensaios de compactação, onde foram encontrados os valores de peso específico aparente seco máximo e de umidade ótima para cada uma das misturas, foram preparadas as amostras a serem utilizadas em cada nos ensaios de cisalhamento em equipamento de média escala.

O processo de preparação de material a ser ensaiado foi realizado de maneira similar ao processo de preparação das amostras para os ensaios de compactação, salvo pequenas diferenças. Após processo de secagem prévia do material até a umidade higroscópica, foram separados cerca de trinta e dois quilos de material para cada ensaio, adicionando-se água até que a amostra atingisse a umidade ótima, para cada um dos teores de borracha das misturas estabelecidas na pesquisa.

Depois da preparação das misturas, as mesmas foram inseridas em câmara úmida para melhor homogeneização durante vinte e quatro horas. Foram feitas medições da umidade do material após a homogeneização assim como logo após a realização dos ensaios de cisalhamento, de acordo a normativa NBR 6457 (ABNT, 1986), com o objetivo de verificar a variação da umidade durante a realização dos ensaios de cisalhamento.

Após a homogeneização do material, o mesmo foi compactado dentro do equipamento de cisalhamento em média escala por meio de compactação estática. A fim de realizar uma compactação homogênea, o processo de compactação do corpo de prova foi dividido em três camadas: duas de 58,3 mm e uma de 58,4 mm, totalizando uma altura de 175 mm. Assim, foram separados três sacos com material suficiente para compactar cada camada do corpo de prova. A sequência de instalação dos corpos de prova dentro do equipamento de cisalhamento direto de média escala encontra-se apresentada na Figura 4.

Além dos ensaios com solo e misturas solo-borracha em diferentes teores, realizaram-se ensaios para amostras compostas por borracha pura (M100), afim de determinar o comportamento mecânico no caso de se utilizar este tipo de material isoladamente. O ensaio foi realizado fazendo-se uma analogia do material

como material gráudo e seguindo-se os procedimentos estabelecidos na normativa ASTM D 3080/98. Na Figura 5 apresenta-se um corpo de prova composto por pedaços de pneus instalado dentro do equipamento de cisalhamento direto de média escala.

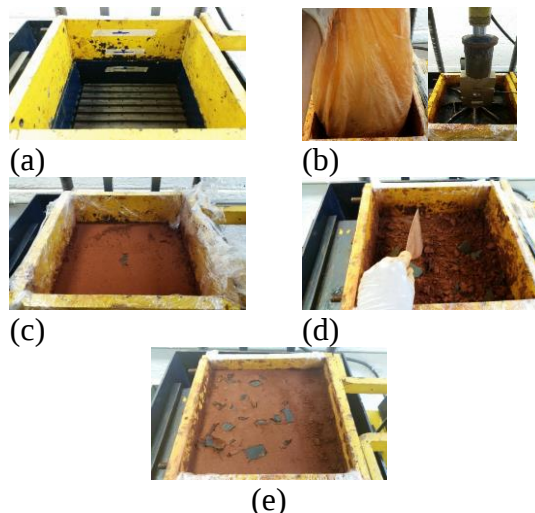


Figura 4. Preparação das amostras para o ensaio de cisalhamento direto de média escala: (a) divisão da caixa e definição das alturas de cada camada; (b) deposição e compactação estática do material; (c) camada compactada; (d) escarificação entre camadas, e; (e) corpo de prova compactado.



Figura 5. Amostras compostas por pedaços de pneu puro (M100) instaladas no equipamento de cisalhamento direto de média escala.

Após os processos de instalação e compactação das amostras no equipamento, foram aplicadas tensões confinantes de 25kPa, 50kPa 80 kPa e 100 kPa. Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D 3080/98 em condições drenadas e adensadas (CD), por meio dos procedimentos descritos na norma anteriormente mencionada, aguardou-se um tempo para que ocorresse o adensamento da amostra, em média de 14 horas para corpos de prova compostos por solo puro e misturas solo-borracha. Após esse tempo foi dado início o processo de cisalhamento, sendo a velocidade do ensaio iguala 0,1016 mm/min, baseando-se em pesquisas prévias (Chrusciak,2013) e no

parâmetro t_{90} , obtido das curvas de adensamento do material. Assim, a duração de cada ensaio (etapa de cisalhamento) foi em média de 4 horas.

Terminado cada um dos ensaios foi feita a determinação da umidade das amostras, seguindo-se os procedimentos estabelecidos na norma NBR6457 (ABNT, 1986).

4 RESULTADOS E ANÁLISE.

Nos ensaios de caracterização para o solo argiloso, com relação aos Limites de Atterberg, foram obtidos os seguintes resultados: limite de liquidez igual a 37% e limite de plasticidade igual a 23%, resultando um índice de plasticidade de 14%. Segundo a classificação SUCS o solo é classificado como CL (argila de baixa plasticidade). Pelo sistema HRB, por sua vez, o solo é classificado como um solo do grupo A6 (solo argiloso). O valor da massa específica dos grãos foi de 2,68 e a curva granulométrica está apresentada na Figura 6. Pelas curvas, pode-se observar porcentagem de material como areia.

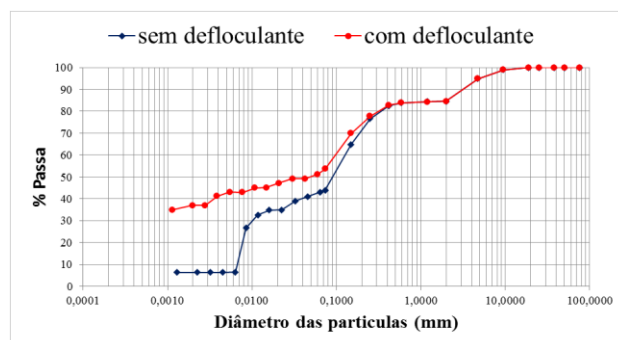


Figura 6. Curva granulométrica do solo laterítico utilizado na pesquisa.

Na Figura 7 está apresentada a curva de compactação do solo, obtida com a aplicação de energia de compactação modificada. Foi obtido um peso específico aparente seco máximo igual a 16,98 kN/m³ e uma umidade ótima de 19,1%.

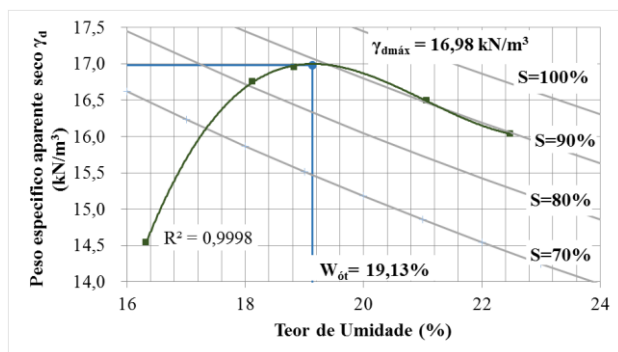


Figura 7. Curva de compactação solo estudado, solo puro.

Ja no caso dos pedaços de pneus, o resultado do ensaio de granulometria está apresentado na Figura 8. Das curvas, observou-se que existe predomínio de fragmentos com tamanho nominal entre 9,5 mm e 25,4 mm.

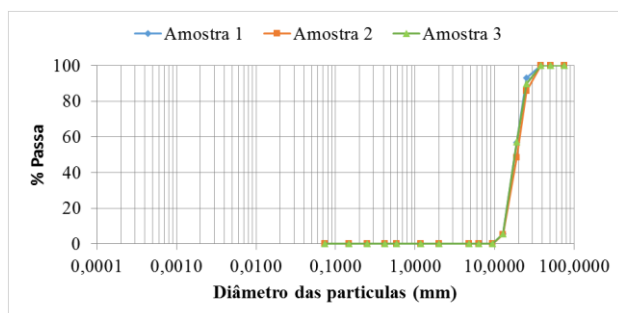


Figura 8. Curva granulométrica dos pedaços de pneus.

Os resultados dos ensaios de compactação das misturas são apresentados na Figura 9. Foi empregada uma energia de compactação modificada pois, a borracha pode absorver certa energia de compactação. Pelos resultados, pode-se observar que o peso específico aparente seco máximo (γ_{dmax}) das misturas apresentou diminuição com o acréscimo do teor de borracha. Isso ocorreu devido ao fato de que a densidade do material proveniente dos pneus é menor que a densidade do solo compactado.

Estes resultados podem ser observados na Tabela 2, onde se apresenta o resumo dos resultados obtidos nas compactações feitas em amostras de solo puro e misturas solo-borracha. Foi encontrado um comportamento linear da variação do peso específico aparente máximo (decrecente), com relação ao aumento do teor de borracha utilizados em cada uma das misturas (Figura 10).

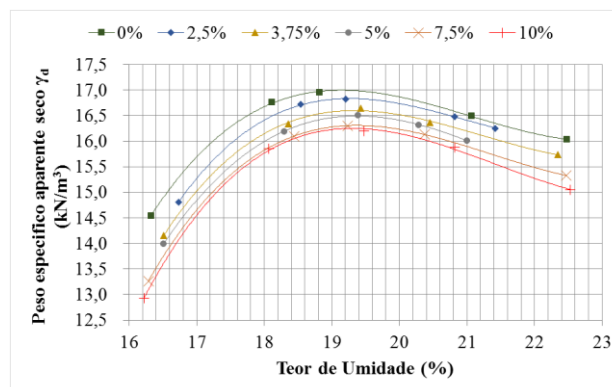


Figura 9. Resumo curvas de compactação para todos os teores de borracha.

Tabela 2. Valores de γ_{dmax} e $W_{ót}$ nos ensaios de compactação para todos os teores de borracha.

No. Mistrua	Teor de borracha (%)	γ_{dmax} (kN/m³)	$W_{ót}$ (%)
M0	0	16,98	19,13
M2,5	2,5	16,83	19,25
M3,75	3,75	16,59	19,29
M5,0	5	16,50	19,34
M7,5	7,5	16,30	19,4
M10	10	16,25	19,45

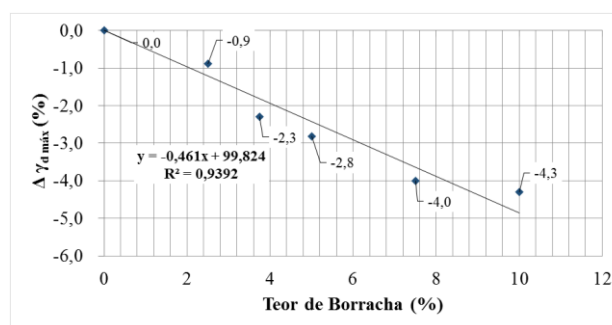


Figura 10. Peso específico aparente seco máximo (γ_{dmax}) para todos os teores de borracha.

Já com os valores obtidos do peso específico aparente seco máximo e umidade ótima de compactação para todos os teores estabelecidos, realizou-se instalação das amostras dentro do equipamento. Após a instalação das amostras foi feito um processo de adensamento das mesmas. Nos ensaios de adensamento foi observado que, com o aumento da quantidade de pedaços de pneus e acréscimo da tensão confinante, os deslocamentos verticais aumentaram. Isto ocorre por que o material de borracha é altamente deformável e compressível e, ao atingirem-se altos níveis de carregamentos, os deslocamentos verticais podem ser consideráveis.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento são representados por meio da Tabela 3 e da

Figura 11.

Os traçados das envoltórias de ruptura estão baseados nos valores de tensão cisalhante máxima de cada um dos corpos de prova com variação de teor de borracha e submetido a diferentes tensões confinantes estabelecidas na pesquisa.

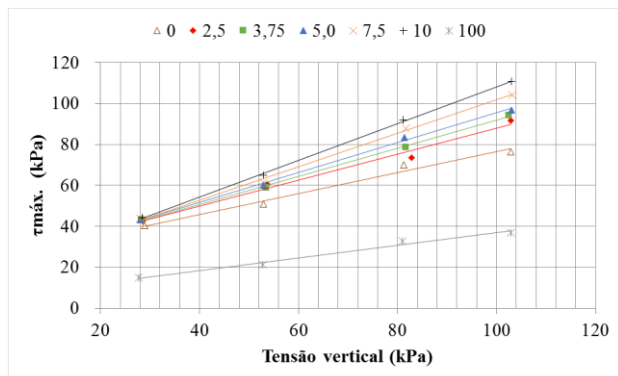


Figura 11. Envoltórias de ruptura para todos os teores de borracha.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de cisalhamento para todos os teores de borracha.

Teor de borracha (%)	c' (kPa)	φ' (°)	R ²
0	25	27	0,9814
2,5	25	32	0,9856
3,75	23	35	0,9986
5	22	36	0,9974
7,5	20	39	0,9972
10	18	42	0,9995
100	6	21	0,9863

Foi observado que ocorre acréscimo no ângulo de atrito (56,4%) com o aumento do teor de borracha. Isso ocorre devido interação dos pedaços de borracha com o solo presente, uma vez que os grãos de borracha tendem a comportar-se como material granular. No caso da coesão, ocorreu redução com o aumento do teor de borracha, uma vez os fragmentos de borracha tornam a mistura um material menos contínuo. Dessa forma, os pedaços de pneu atuam como materiais não coesivos que acabam desestruturando a coesão do solo. Finalmente, observando-se os resultados do ensaio de cisalhamento, avaliou-se que as misturas solo-borracha forneceram um material leve com propriedades mecânicas com melhores propriedades que seus componentes originais para os valores de mistura empregados ao solo

do Distrito Federal.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este artigo apresentou o estudo da viabilidade do emprego de pedaços de borracha como material geotécnico que pode ser misturado ao solo do Distrito Federal. Baseando-se nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Com os ensaios de compactação observou-se redução no peso aparente seco máximo da mistura solo-borracha com o aumento do teor de borracha, ao contrário do que ocorre com o valor da umidade ótima de compactação, que não foi afetado pela adição de fragmentos de pneus;
- Para aplicação deste tipo de misturas como material leve em projetos geotécnicos, o material deve ser mantido confinado ao máximo pois, ao ocorrer o desconfinamento, são geradas fissuras, trincas e possíveis planos de fraqueza;
- Nos ensaios de cisalhamento direto de média escala avaliou-se que existe um aumento na tensão de cisalhamento máxima, devido à interação que ocorre entre o solo e os pedaços de pneus, os quais atuam dentro da mistura como material granular. Não se encontra uma relação linear precisa deste comportamento, devido à aleatoriedade na posição das partículas dentro da estrutura de cada uma das misturas;
- Ocorreu uma redução da coesão com o aumento do teor de borracha, pois o aumento da presença dos pedaços de borracha dentro da mistura tornou material não contínuo. Os pedaços de pneus são materiais não coesivos que acabam desestruturando o solo.
- Ocorre um acréscimo no ângulo de atrito com o aumento do teor de borracha, pois existe atrito entre o solo e os pedaços de pneus dentro da mistura.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1984a). NBR 6459/1984: Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 6 p
- ABNT (1986b). NBR 6457/1986: Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 9 p.

- ABNT (1984c). NBR 6508/1984: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 8p.
- ABNT (1984b). NBR 7180/1984: Determinação do Limite de Plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 3 p.
- ABNT (1984d). NBR 7181/1984: Solo – Análise Granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 13 p.
- ABNT (1986a). NBR 7182/1986: Solo – Ensaio de Compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro/RJ, 10 p.
- ASTM (1998). ASTM D3080/98 – Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Underconsolidated Drained. American Society for Testing and Materials, Estados Unidos, 6 p.
- ASTM (2008). ASTM D6270/08 - Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications. American Society for Testing and Materials, Estados Unidos, 20p.
- BALACHOWSKI, L. & GOTTELAND, P. (2007). Characteristics of tyre chips-sand mixtures from triaxial tests. Archives of hydro-engineering and environmental mechanics. Vol 54 (1): 25–36.
- CHRUSCIAK, M. R. (2012). Análise da melhoria de solos utilizando fragmentos de borracha. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil, G.DM-221/13 109 p.
- EDINÇLILER, A., BAYKAL, G., SAYGILI, A. (2010). Influence of different processing techniques on the mechanical properties of used tires in embankment construction. Waste Management, 30: 1073-1080.
- GHAZAVI M.GHAFFARI, J., FARSHADFAR, A. (2011). Experimental Determination of Waste Tire chip-Sand-Geogrid Interface Parameters Using Large Direct Shear Tests. 5th Symposium on Advances in Science & Technology Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, Iran 1- 9. Não citado
- PALMEIRA, E.M. (1998). Equipamento Para Ensaio de Tração Confinada de Geotêxteis em Solos – Versão 2. Relatório de Pesquisa. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília.
- SOUZA, M. V. R. (2011). Relatório cisalhamento Direto, concepção e dimensionamento da prensa de cisalhamento de grande escala do PPG-UNB. Relatório, Programa de Pós-graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 29 p.