

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS DE SOLO E FIBRAS NATURAIS

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF MIXTURES OF SOIL AND NATURAL FIBERS

Guedes, Emiliania de S. R.; *Instituto Federal de Sergipe - IFS, Brasil, emilianarezende@hotmail.com*
Costa, Amanda S. Gomes; *Instituto Federal de Sergipe, Aracaju-SE, Brasil, amandasgc@hotmail.com*
Café, Túlio S. Rezende; *Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil, tuliocafe7@gmail.com*

RESUMO

Entre os métodos de estabilização do solo, podemos citar os métodos mecânicos, físicos e químicos. A estabilização física pode ser realizada com materiais convencionais (ex.: um solo mais estável), ou ainda com materiais alternativos (ex.: resíduos da construção civil ou fibras naturais). O presente trabalho buscou analisar as características físicas de um solo e o comportamento das características mecânicas de misturas de solo e fibras naturais da cana-de-açúcar. Foram utilizadas fibras de 25 mm e 50 mm com concentrações de 0,75% e 1,50%. Os ensaios físicos indicaram que o solo pode ser classificado como uma areia argilosa com pedregulho e pouco silte, medianamente plástico e com argila inativa. Os ensaios mecânicos indicaram que nas amostras com fibras de 25 mm há uma redução considerável no valor do CBR e aumento da expansão, enquanto que nas amostras com fibras de 50 mm o comportamento quanto ao valor de CBR é praticamente igual ao solo, porém há um aumento da expansão do material.

ABSTRACT

Among the soil stabilization methods, we can mention the mechanical, physical and chemical methods. The mechanical stabilization can be performed with conventional materials (e.g., a soil more stable), or with alternative materials (e.g., construction waste or natural fibers). This study aimed to analyze the physical characteristics of the soil and the behavior of the mechanical characteristics of soil mixtures and natural fibers of sugarcane. Fibers with 25 mm and 50 mm were used in this research at concentrations of 0.75% and 1.50%. Physical tests showed that the soil can be classified as a clayey sand with gravel and some silt, with medium plasticity and clay minerals with low activity. The mechanical tests showed that in specimens with 25 mm fibers there is a considerable reduction in the CBR value and increased expansion, while in specimens with 50 mm fibers the behavior, as to the CBR value, is practically equal to that of the soil, but there is an increasing expansion of the material.

1 - INTRODUÇÃO

Segundo Cordeiro et al. (2005) atualmente, o Brasil é responsável pela produção de cerca de 60% do álcool etílico consumido no planeta e é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar. A cultura da cana-de-açúcar representa uma das principais atividades agrícolas e ocupa uma área plantada com aproximadamente 7 milhões de hectares para diversas finalidades, como indústria sucroalcooleira, produção de aguardente, forragem, etc., e está distribuída por grande parte do território nacional segundo levantamento da safra 2008 pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento).

A agroindústria sucroalcooleira é uma das mais antigas atividades econômicas do Brasil e está relacionada aos principais eventos históricos do país. Seus principais subprodutos são águas de lavagem, bagaço, folhas e pontas, vinhaça, torta de filtro e leveduras. Destes subprodutos, merece destaque a queima do bagaço para geração de energia elétrica. O emprego deste resíduo é atrativo devido, principalmente, a seu poder calorífico médio de 7,74 MJ/kg (1.850 kcal/kg) com umidade de 50% e aos grandes montantes de cana-de-açúcar processados dentro do setor sucroalcooleiro, tornando a quantidade gerada de bagaço significativa. Normalmente, este subproduto é empregado como combustível em processos de co-geração de energia.

O estado de Sergipe, que no ano de 2010 encontrava-se na 15ª posição no ranking nacional de produção de cana de açúcar, atualmente conta com cinco usinas de álcool e açúcar.

Entre as problemáticas enfrentadas pelas usinas sergipanas para melhorar a produção pode-se citar a dificuldade na colheita da cana durante os períodos chuvosos. Este fato se deve às péssimas condições das estradas de acesso aos canaviais, pois, em geral, estas estradas são formadas por solos de características ruins, sendo estes altamente argilosos, denominados localmente de "massapé".

O solo pode ser considerado como o material de construção civil mais comum e de maior abundância na crosta terrestre. Do ponto de vista da terraplanagem e pavimentação, é um material que faz parte do subleito, sub-base, por vezes da base e até do revestimento primário. Quando as características dos

solos locais não apresentam, total ou parcialmente, os requisitos exigidos, o engenheiro terá que adotar uma das seguintes alternativas (Medina, 1987):

- Evitar ou contornar o terreno ruim;
- Remover o solo ruim e substituí-lo por outro de qualidade superior;
- Projetar a obra para situação de terreno ruim de fundação (conviver com a situação difícil);
- Estabilizar o solo existente.

A estabilização de um solo pode ser definida como sendo a alteração de qualquer uma de suas propriedades, de forma a melhorar seu comportamento sob o ponto de vista da engenharia (Medina et al., 2004). Consiste em um tratamento artificial, por um processo físico, químico ou físico-químico, tornando o solo estável para os limites de sua utilização, e ainda fazendo com que a estabilização permaneça sob a ação de cargas exteriores e também sob ações climáticas variáveis.

As propriedades de engenharia que se visa modificar na estabilização de um solo, segundo Medina et al. (2004), são:

- Resistência ao cisalhamento, tornando-a menos sensível às mudanças ambientais, principalmente à umidade, além de torná-la compatível com as cargas que a estrutura vai absorver;
- Permeabilidade, aumentando-a ou diminuindo-a;
- Compressibilidade, reduzindo-a.

Podem-se destacar três métodos de estabilização de solos: mecânico, físico e químico, podendo ser adaptados e combinados para a solução de um problema.

A estabilização mecânica (ex: compactação do solo) refere-se ao processo de tratamento de um solo com a finalidade de minimizar sua porosidade pela aplicação de sucessivas cargas, pressupondo que a redução de volume de vazios é relacionada ao ganho de resistência mecânica. (Santos et al., 1995).

A estabilização física consiste na modificação das propriedades do solo atuando na textura, ou seja, misturando solos com diferentes frações granulométricas (ex: misturas de solo com resíduos de demolição).

A estabilização química consiste na adição de uma determinada substância química ao solo, de modo a provocar mudanças que influenciam as propriedades de resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade deste, atingindo-se, então o objetivo de estabilizá-lo (Santos et al., 1995). Como exemplos da técnica de estabilização química destacam-se o uso das misturas solo-cimento e de solo-cal.

Atualmente, estão sendo realizados diversos estudos com alguns materiais alternativos, entre estes podemos citar os trabalhos de Macedo (2013) e Bolaños (2013). Entre os materiais estudados no meio acadêmico como novas alternativas de estabilização de solos estão: os resíduos sólidos urbanos, fibras de côco ou ainda cinzas de cana de açúcar (Souza et al., 2007). Em países como Suécia, Dinamarca, França e Estados Unidos, estas metodologias já estão sendo implantadas há vários anos em camadas de pavimentos.

O uso de materiais alternativos é vantajoso para a indústria que gera este tipo de rejeito, e pode ser vantajoso para sua utilização pela indústria de construção civil como alternativa ao uso de estabilizantes convencionais para solos. Para que sejam concebidos novos materiais é relevante que se conheçam as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição, bem como suas possíveis combinações.

2 - OBJETIVO

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as características físicas e mecânicas de um solo local e das misturas deste com uma fibra natural proveniente do bagaço da cana-de-açúcar, com base em ensaios mecânicos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais

3.1.1 - Solo

Para a presente pesquisa, foi utilizado um solo coletado de uma jazida, localizada no bairro Santa Maria, no município de Aracaju/SE (Figura 1). Foram coletados em torno de 250 kg, acondicionando o material em sacos. O material foi transportado para o laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe, levado para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocado em local apropriado.



Figura 1 – Visão geral do solo

3.1.2 - Fibra

A fibra natural (Figura 2) foi fornecida pela Usina São José do Pinheiro, localizada no município de Laranjeiras/SE. A empresa, fundada a mais de 100 anos, atualmente produz álcool e açúcar para o mercado local e externo. A fibra é proveniente do bagaço da cana-de-açúcar. Foram coletados 10 kg de fibras, que foram acondicionadas em saco e transportadas para o laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe. Após isso, a fibra foi levada para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocado.



Figura 2 – Visão geral do agregado reciclado

Para a realização dos ensaios mecânicos nas amostras com fibras, procurou-se selecionar fibras com dimensões aproximadas de 25 mm e de 50 mm.

3.2 - Métodos

Após aquisição e acondicionamento dos materiais, deu-se início à campanha de ensaios. A mesma dividiu-se em duas etapas, sendo a primeira referente aos ensaios de caracterização física nas amostras de solo e a segunda aos ensaios mecânicos nas amostras de solo e de misturas com fibras.

Os ensaios buscaram analisar a influência do comprimento da fibra e do teor de fibra nas misturas. Para isso, quatro tipos de misturas foram preparados. O preparo das amostras seguiu os métodos descritos pela NBR 6457 (ABNT, 1986). O Quadro 1 apresenta as siglas de identificação das amostras ensaiadas, bem como os percentuais das misturas.

Quadro 1 – Identificação das amostras e composição das misturas

| AMOSTRA | SIGLA | % EM PESO DE CADA MATERIAL | |
|-----------------------------|------------|----------------------------|-------|
| | | SOLO | FIBRA |
| Solo | S | 100 | - |
| Solo + 0,75% de fibra 25 mm | SF25-0,75% | 99,25 | 0,75 |
| Solo + 1,50% de fibra 25 mm | SF25-1,50% | 98,50 | 1,50 |
| Solo + 0,75% de fibra 50 mm | SF50-0,75% | 99,25 | 0,75 |
| Solo + 1,50% de fibra 50 mm | SF50-1,50% | 98,50 | 1,50 |

3.2.1 - Ensaio de caracterização física

Na campanha de caracterização física, buscou-se realizar os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) e massa específica real dos grãos. Vale ressaltar que estes ensaios foram realizados somente na amostra do solo natural.

Os ensaios de análise granulométrica tiveram como base as diretrizes prescritas na NBR 7181 (ABNT, 1984). Os limites de Atterberg foram realizados de acordo com a norma NBR 6459 (ABNT, 1984), para o limite de liquidez e a norma NBR 7180 (ABNT, 1984), para o limite de plasticidade. Os ensaios de massa específica real dos grãos foram realizados de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 1984).

3.2.2 - Ensaio mecânicos

Na etapa de caracterização mecânica, a análise foi constituída por ensaios de compactação e de índice de suporte Califórnia (ISC). Estes ensaios foram realizados na amostra do solo natural e nas quatro misturas com as fibras (SF25-0,75%, SF25-1,50%, SF50-0,75% e SF50-1,50%).

Os ensaios de compactação foram executados com base na NBR 7182 (ABNT, 1986). O objetivo era a determinação dos parâmetros ótimos dos materiais, ou seja, a determinação da umidade ótima (w_{ot}) e da densidade seca máxima (ρ_{dmax}), ambos obtidos da curva de compactação. Todos os ensaios foram executados com reuso do material, no cilindro metálico grande e na energia Normal.

A partir dos valores de umidade ótima e densidade seca máxima dos materiais, foram realizados os ensaios de índice de suporte Califórnia (ISC). Estes, foram executados conforme a NBR 9895 (ABNT, 1987), com todas as amostras moldadas na umidade ótima.

4 - RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 - Ensaio de caracterização física

4.1.1 - Análise granulométrica

A curva granulométrica do solo está apresentada na Figura 3. Com base na curva, foi possível verificar as características das partículas presentes no solo. Percebeu-se uma composição arenosa, com presença considerável de argila.

Verificou-se também que o solo não apresenta coeficiente de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc), justificado pelo teor de partículas argilosas presentes no material.

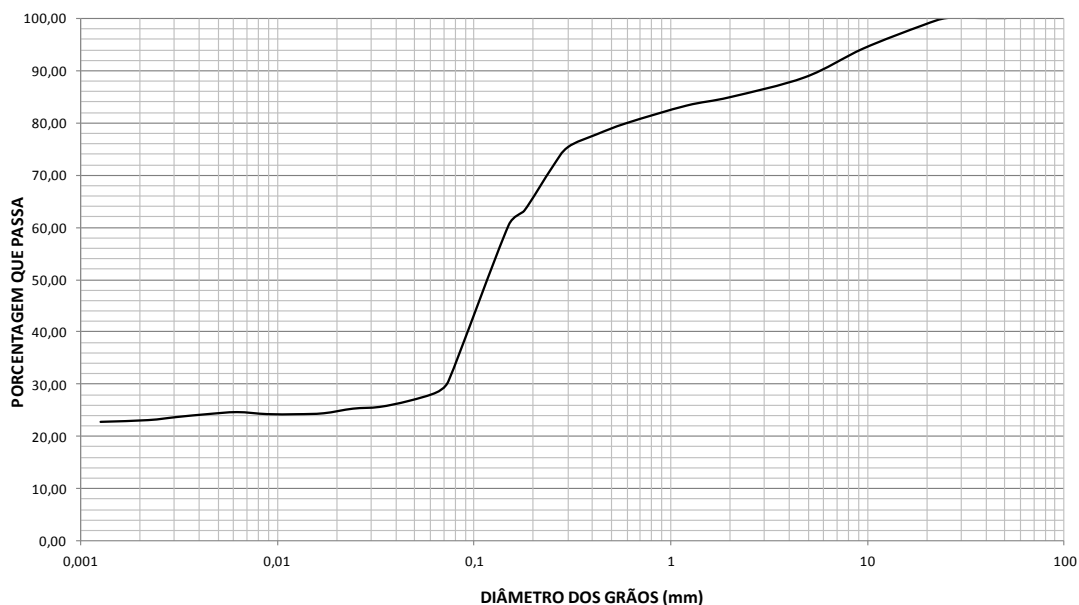


Figura 3 – Curva granulométrica do solo

No Quadro 2, são mostrados os percentuais de pedregulho, areia, silte e argila presentes no solo.

De acordo com os resultados, foi possível verificar que o material possui a faixa de areia como material predominante (56,35%), seguido por argila (23,19%), pedregulho (15,12%) e silte (5,34%).

Quadro 2 - Percentagens das faixas granulométricas do solo, conforme classificação da ABNT

| FAIXA | | DIÂMETRO (MM) | PERCENTUAL (%) |
|------------|--------|---------------|----------------|
| Pedregulho | | 60 – 2 | 15,12 |
| Areia | Grossa | 2 – 0,6 | 4,92 |
| | Média | 0,6 – 0,2 | 8,43 |
| | Fina | 0,2 – 0,06 | 43,00 |
| Silte | | 0,06 – 0,002 | 5,34 |
| Argila | | < 0,002 | 23,19 |

4.1.2 - Limites de Atterberg

O Quadro 3 apresenta os índices de consistência fornecidos pelos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, bem como, a classificação do solo em relação à plasticidade.

Quadro 3 – Resultados dos limites de Atterberg e classificação quanto à plasticidade

| ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA | SOLO |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Limite de Plasticidade LP (%) | 15,38 |
| Limite de Liquidez LL (%) | 22,70 |
| Índice de Plasticidade IP (%) | 7,32 |
| Índice de Atividade | 0,32 |
| Classificação quanto à plasticidade | Medianamente plástico |

Os resultados dos limites de Atterberg indicam um solo que pode ser classificado como um material medianamente plástico.

Em relação a atividade da argila presente no solo, observa-se que, pelo Índice de atividade menor do que 0,75, a argila é considerada como inativa.

4.1.3 - Massa específica dos grãos

De acordo com resultados dos ensaios, o valor para a massa específica dos grãos do solo foi de 2,673 g/cm³, resultado típico de materiais arenosos.

4.1.4 - Classificação do solo

A partir dos resultados dos ensaios de granulometria e índices de consistência, o solo pôde ser classificado em diferentes sistemas de classificação. O Quadro 4 apresenta os resultados de classificação do solo.

Quadro 4 – Classificação dos materiais

| SISTEMA | CLASSIFICAÇÃO |
|---------|---|
| ABNT | Areia argilosa com pedregulho e pouco silte |
| SUCS | SC |
| TRB | A-2-4 |

4.2 - Ensaio mecânicos

4.2.1 - Compactação

A Figura 4 ilustra as curvas de compactação dos materiais. Com base na curva, foram obtidos os valores de umidade ótima (w_{ot}) e da densidade seca máxima ($\rho_{dmáx}$).

O Quadro 5 apresenta um resumo comparativo dos resultados de compactação nas amostras de solo e nas quatro misturas com fibras.

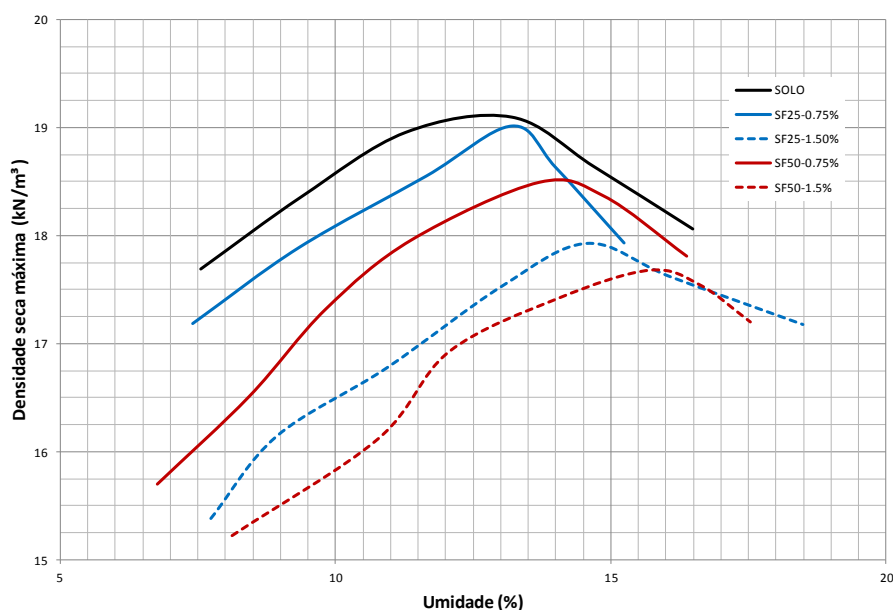


Figura 4 – Curvas de compactação

Quadro 5 – Valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo

| AMOSTRA | W _{ot} (%) | ρ _{dmáx} (kN/m ³) |
|------------|------------------------|---|
| S | 12,7 | 19,1 |
| SF25-0,75% | 13,2 | 19,0 |
| SF25-1,50% | 14,7 | 17,9 |
| SF50-0,75% | 14,1 | 18,5 |
| SF50-1,50% | 16,0 | 17,7 |

Observa-se que a adição de fibras causa uma redução da densidade seca máxima (de 19,1 kN/m³ para 17,7 kN/m³) e aumento da umidade ótima (de 12,7 % para 16%). Quanto maior o teor de fibra e quanto maior a dimensão da fibra, maior será essa alteração. Esta redução foi mais considerável nas amostras com maior teor de fibras (SF25-1,50% e SF50-1,50%). Porém, ao observar a amostra SF25-0,75% conclui-se que as alterações nos valores de umidade ótima (de 12,7% para 13,2%) e densidade seca máxima (de 19,1 kN/m³ para 19,0 kN/m³) foram pouco relevantes, ou seja, o material apresentou um comportamento muito próximo ao do solo natural.

4.2.2 - Índice de Suporte Califórnia

Os resultados dos ensaios de índice de suporte Califórnia estão representados no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores de CBR e expansão das amostras

| AMOSTRA | CBR (%) | Expansão (%) |
|------------|------------|-----------------|
| S | 6 | 1,9 |
| SF25-0,75% | 3 | 2,1 |
| SF25-1,50% | 3 | 2,7 |
| SF50-0,75% | 6 | 2,4 |
| SF50-1,50% | 7 | 2,7 |

Com base nos resultados do CBR, foi possível verificar que:

- Com relação às misturas com fibras de 25 mm, é possível perceber que há uma redução considerável no valor do CBR e um aumento na expansão do material;
- Com relação às misturas com fibras de 50 mm, verificou-se que o valor do CBR fica praticamente inalterado, sendo que no caso da amostra SF50-1,50% houve um leve acréscimo. Já com relação à expansão, observou-se que nestas misturas também há um aumento da expansão.

Desta forma, o ensaio de CBR indicou que o uso de fibras provoca um aumento da expansão do material, quando imerso em água, como também indica que as fibras de maior comprimento tendem a fornecer maiores valores de CBR às misturas.

5 - CONCLUSÕES

Ao investigar as características físicas e mecânicas das amostras estudadas nesta presente pesquisa, pode-se concluir, com base nos ensaios físicos, que o solo analisado foi classificado como uma areia argilosa com pedregulho e pouco silte; medianamente plástico, porém com argila inativa. A massa específica dos grãos de 2,673 g/cm³ apresenta valor coerente com o de materiais arenosos.

Com relação às misturas dos materiais, concluiu-se que, com base nos ensaios mecânicos, que nas amostras com fibras de 25 mm há uma redução considerável no valor do CBR e um aumento na expansão do material, enquanto que nas amostras com fibras de 50 mm, o valor do CBR fica praticamente inalterado, sendo que na amostra SF50-1,50% houve um leve acréscimo e também há um aumento da expansão do material.

Com isto conclui-se que o uso de fibras provoca um aumento da expansão do material, quando imerso em água, como também indica que as fibras de maior comprimento tendem a fornecer maiores valores de CBR às misturas.

A partir deste estudo, fica como sugestão para futuras pesquisas:

- a. Desenvolvimento da mesma campanha de ensaios, porém utilizando fibras com 75 mm e 100 mm;
- b. Realização de ensaios com as mesmas misturas, porém com um solo mais granular (maior teor de pedregulho) para que possa ser analisado a possibilidade de uso das misturas em base de pavimentos;
- c. Realização de ensaios mecânicos nas amostras na energia de compactação Intermediária;
- d. Realização de ensaios de resistência (compressão simples, cisalhamento direto e de compressão triaxial) a fim de conhecer parâmetros de resistência para uso dos materiais em diferentes tipos de obras civis, como, por exemplo, em aterros compactados de estruturas de contenção;
- e. Execução de ensaios de adensamento, para verificação da compressibilidade das misturas;

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Usina São José do Pinheiro pelo fornecimento das fibras (bagaço da cana-de-açúcar), ao Instituto Federal de Sergipe (IFS) pela disponibilização do laboratório para realização dos ensaios e à Coordenadoria de Laboratórios de Construção Civil (CLCC) pelo apoio prestado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457 (1986). Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459 (1984). Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508 (1984). Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 (1984). Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 (1984). Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182 (1986). Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895 (1987). Solo – índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro.
- Bolaños, R.Z. (2013). *Comportamento Mecânico de um solo argiloso reforçado com fibras de côco*. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cordeiro, G.C., Toledo Filho, R.D., Fairbairn, E.M. (2005). *Avaliação da reatividade da cinza residual do bagaço de cana de açúcar com cimento Portland e cal*. In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Anais... Olinda, Brasil: IBRACON. CD-ROM.
- Macedo, T.F. (2013). *Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife.

Medina, J. (1987). *Apostila de estabilização de solos* – COPPE/UFRJ.

Medina, J., Motta, L.M.G. (2004). *Apostila de estabilização de solos*. Escola de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro.

Santos, M., Lima, D., Bueno, B. (1995). *Estabilização dos solos com cal e betume*. In: 6º Reunião de pavimentação urbana, pp.74-97, Santos – São Paulo, Abril.

Souza, G.N., Formagini, S., Custódio, F.O., Silveira, M.M. (2007). *Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-açúcar*. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Anais... Bento Gonçalves, Brasil: IBRACON. CD-ROM.