

Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Fibra da Cana de Açúcar em Sergipe

Emiliana de S. Rezende Guedes

Instituto Federal de Sergipe-IFS, Aracaju, Brasil, emilianarezende@hotmail.com

Amanda S. Gomes Costa

Instituto Federal de Sergipe-IFS, Aracaju, Brasil, amandasgc@hotmail.com

Tulio S Rezende Café

Universidade Federal de Sergipe-UFS, Aracaju, 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). Dentro deste contexto, o presente trabalho visa analisar o uso da fibra da cana de açúcar como reforço do solo. Para isto, buscou-se analisar a influência da adição da fibra ao solo através da caracterização dos materiais e determinação de suas propriedades mecânicas. A fibra da cana foi obtida de uma usina local, sendo estas selecionadas nas dimensões de 25 mm e 50 mm. O solo foi coletado de uma jazida aracajuana e caracterizado como uma areia argilosa medianamente plástica. As misturas foram feitas com teor de fibra de 0,75% e 1,5% em relação ao peso seco do solo. A campanha experimental constou da realização de ensaios de caracterização (granulometria, densidade relativa e limites de plasticidade) e de ensaios mecânicos (compactação, CBR e compressão simples). Todos os ensaios foram realizados no solo natural e em quatro misturas com a fibra. Foram utilizadas, respectivamente, as siglas SF25-0,75% e SF25-1,5%, para nomear as misturas com fibras de 25 mm e teores de 0,75% e 1,5% de fibra, respectivamente, e as siglas SF50-0,75% e SF50-1,5%, para nomear as misturas com fibras de 50 mm e teores de 0,75% e 1,5% de fibra, respectivamente. Nos resultados dos ensaios de compactação observou-se que, o aumento do comprimento e do teor de fibra implica na redução da densidade seca máxima e aumento da umidade ótima, porém nas amostras 0,75% de fibra os resultados estão muito próximos do solo natural. Em relação aos ensaios de CBR, observou-se que, em relação às misturas com fibras de 25 mm o aumento do teor de fibra não acarreta alterações no valor do CBR, quando comparado ao solo natural. Já nas fibras de 50 mm, foi possível verificar que o aumento do teor de fibra resultou no aumento do CBR. Nos ensaios de compressão simples há um aumento da deformação na ruptura com o uso das fibras.

PALAVRAS-CHAVE: Cana de Açúcar, Fibra, Reforço, Caracterização, Resistência.

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).

De acordo com Cordeiro (2006), para cada tonelada de cana de açúcar que alimenta o processo de moagem são gerados aproximadamente 26% de bagaço e 0,62% de cinza residual.

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).

Entende-se por reforço de solo como o processo de introduzir ao maciço elementos com resistência à tração elevada. Entre os materiais empregados podemos citar como exemplo os geossintéticos e as fibras. Atualmente existe uma ampla variedade de fibras utilizadas em reforço de solos, entre as quais podemos citar as fibras naturais, poliméricas, minerais e metálicas.

Diversos estudos sobre o comportamento dos solos com a adição de fibras podem ser

encontrados na bibliografia. Entre eles podemos citar os trabalhos de Aguilar e Casagrande (2015), Bolaños (2013), Macedo (2013), Oliveira *et al.* (2011), Pedrosa *et al.* (2015), entre outros.

Pedrosa *et al.* (2015) avaliaram o efeito da inclusão de fibras de polipropileno em uma mistura de solo, agregado reciclado e cimento, em diferentes proporções, através de ensaios de compactação e resistência à compressão simples. Os autores observaram que quanto maior o teor de fibra na mistura, maior a umidade ótima e menor a densidade seca máxima. A quantidade de fibras, assim como o período de cura, são diretamente proporcionais ao aumento da resistência à compressão simples.

Aguilar e Casagrande (2015) analisaram a variação do recalque de uma seção transversal do solo granular puro e com reforço de fibras de coco, quando submetidos a ensaios de prova de carga. Foi possível concluir que a adição de fibra de coco melhora o comportamento tensão-recalque do solo e provoca mudança no mecanismo de ruptura. As fibras proporcionam um ganho de resistência ao cisalhamento e impedem a propagação das fissuras.

Oliveira *et al.* (2011) adicionaram diferentes teores de fibra de polipropileno a resíduos de construção civil e avaliaram o efeito das fibras nas misturas, através de ensaios de cisalhamento direto. Os autores observaram uma tendência em aumentar a tensão cisalhante máxima com a adição de fibras. Quanto maior a percentagem das fibras maior seu ângulo de atrito e sua coesão.

Diante deste contexto, o presente trabalho buscou avaliar o comportamento de misturas de um solo com fibras do bagaço da cana de açúcar. Para isto, buscou-se realizar uma campanha experimental através da execução de ensaios físicos e mecânicos.

2 MATERIAIS

2.1 Solo

Para a presente pesquisa, foi utilizado um solo coletado de uma jazida, localizada no bairro

Santa Maria, no município de Aracaju/SE.

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. A Figura 1 apresenta uma visão geral do solo após secagem e destorroamento.



Figura 1. Visão geral do solo.

2.2 Fibra

O bagaço da cana de açúcar proveniente da moagem da cana foi fornecido 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.

Foram coletados 10 kg de bagaço, que foram acondicionados em saco e transportados para o laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Sergipe. Após isso, o bagaço foi levado para uma prévia secagem ao ar e, por fim, estocado.

Para a realização dos ensaios mecânicos nas amostras com fibras, procurou-se selecionar do bagaço da cana seco ao ar as fibras com dimensões aproximadas de 25 mm e de 50 mm, com diâmetros variados. A Figura 2 apresenta uma visão geral da fibra após secagem e corte.



Figura 2. Visão geral da fibra.

Vale ressaltar que, por se tratar de um material “in natura” e ainda não estudado, suas propriedades ainda são desconhecidas.

3 MÉTODOS

A campanha de ensaios foi dividida 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 mecânicos buscaram analisar a influência do comprimento da fibra e do teor de fibra nas misturas. Para isso, quatro tipos de misturas foram preparados. A Tabela 1 apresenta as siglas de identificação das amostras ensaiadas, bem como os percentuais das misturas.

Testes iniciais foram realizados com percentuais maiores de fibras, porém a trabalhabilidade das misturas ficou insatisfatória, dificultando a realização dos ensaios. Portanto decidiu-se utilizar as percentagens de 0,75% e 1,50%, baseadas no trabalho de Oliveira *et al.* (2011), que já haviam utilizado percentuais de 0,25%, 0,50% e 0,75% em misturas de resíduos de construção civil e fibras de polipropileno.

O preparo das amostras seguiu os métodos descritos pela NBR 6457 (ABNT, 1986).

Tabela 1. Identificação das amostras e composição das misturas.

Amostra	Sigla	% em Peso do 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

3.1 Ensaios 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 Ensaios 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 ensaios foram executados conforme a NBR 9895 (ABNT, 1987).

Por fim, foram realizados ensaios de compressão simples, de acordo com a NBR 12770 (ABNT, 1992). A moldagem dos corpos de prova foi feita de forma estática em cinco camadas no interior de um molde cilíndrico com 40 mm de diâmetro e 80 mm de altura. Os corpos de prova utilizados seguiram os

procedimentos da preparação e moldagem que atenderam às seguintes exigências:

- Grau de compactação: de 97% a 103%.
- Teor de umidade: valor $\pm 3,0$ %.
- Dimensões: diâmetro $40 \pm 0,5$ mm e altura 80 ± 1 mm.

Os corpos de prova que não seguiram tais requisitos foram descartados. Após moldagem, os corpos de prova foram submetidos à compressão não confinada, sem uma prévia imersão em água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios 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 (C_u) e curvatura (C_c), justificado pelo teor de partículas argilosas presentes no material.

Na Tabela 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%).

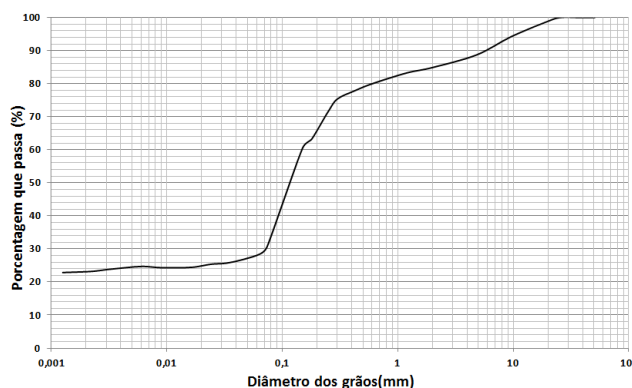


Figura 3. Curva granulométrica do solo.

Tabela 2. Percentagens das faixas granulométricas do solo, conforme escala granulométrica da ABNT (NBR 6502, 1995).

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

A Tabela 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.

Tabela 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 à 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. A Tabela 4 apresenta os resultados de classificação do solo.

Tabela 4. Classificação do solo.

Sistema de Classificação	Classificação
ABNT	Areia argilosa com pedregulho e pouco silte
SUCS	SC
TRB	A-2-4

4.2 Ensaios 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 ($\rho_{dm\acute{a}x}$).

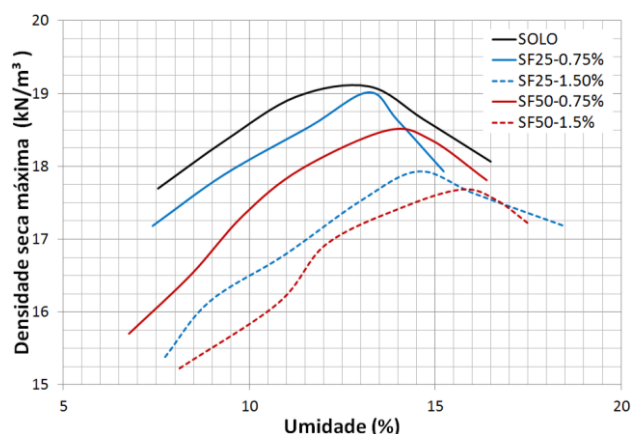


Figura 4. Curvas de compactação.

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

Tabela 5. Valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo.

Amostra	w_{ot} (%)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (kN/m³)
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 o comprimento da fibra, maior será essa alteração. O mesmo comportamento com fibras de polipropileno foi observado no trabalho de Pedrosa *et. al* (2015). Esta redução foi mais considerável nas amostras com maior teor de fibras (SR25-1,50% e SR50-1,50%). Porém, ao observar a amostra SR25-0,75% 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 na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de ISC e expansão das amostras.

Amostra	ISC (%)	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 ISC, foi possível verificar que:

a) Com relação às misturas com fibras de 25 mm, é possível perceber que há uma redução considerável no valor do ISC e um aumento na expansão do material;

b) Com relação às misturas com fibras de 50 mm, verificou-se que o valor do ISC 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 ISC 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 valores de ISC muito próximos ao do solo natural.

4.2.3 Compressão Simples

A Figura 5 ilustra as curvas de resistência à compressão dos materiais. Com base na curva, foram obtidos os valores de pressão na ruptura (σ_r) e deformação na ruptura (ϵ_r).

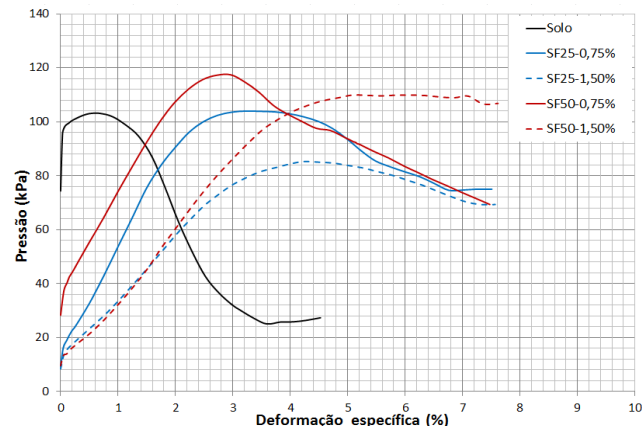


Figura 5. Curvas de resistência à compressão simples.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios de compressão nas amostras de solo e nas quatro misturas com fibras.

Tabela 7. Valores da pressão e deformação na ruptura.

Amostra	σ_r (kPa)	ϵ_r (%)
S	103,1	0,68
SF25-0,75%	104,0	3,23
SF25-1,50%	85,0	4,50
SF50-0,75%	117,4	2,96
SF50-1,50%	109,8	5,07

Com base nos resultados, observa-se que a inclusão das fibras de cana-de-açúcar implica em aumento da deformação na ruptura.

Com relação à influência do comprimento das fibras, verificou-se que as amostras com fibras de 50 mm obtiveram maiores valores de resistência à compressão, quando comparadas com as amostras com fibras de 25 mm (na mesma concentração de fibra).

Com relação à influência da concentração das fibras, é possível perceber que nas amostras de 25 mm e 50 mm o aumento da concentração da fibra implica na redução da resistência à compressão como também no aumento da deformação na ruptura.

Comportamentos semelhantes com fibras de

polipropileno foram encontrados no trabalho de Pedrosa *et. al* (2015).

De acordo com Tabela 7, é possível verificar que o uso de fibras de 50 mm (SF50-0,75% e SF-50 1,50%) acarretou em acréscimo da resistência à compressão do solo.

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 base nos ensaios de ISC, nas amostras com fibras de 25 mm há uma redução considerável no valor do ISC e um aumento na expansão do material, enquanto que nas amostras com fibras de 50 mm, o valor do ISC fica praticamente inalterado. Nos ensaios de compressão simples, observou-se que o uso das fibras promove a ocorrência de ruptura do material em maiores deformações. Além disso, nas amostras com fibras de 50 mm houve um acréscimo da resistência à compressão do material natural.

Com isto conclui-se que o uso de fibras provoca um aumento da expansão do material, quando imerso em água. Por outro lado, a ruptura do material com fibra ocorrerá em maiores pressões e deformações.

Apesar destes resultados, recomenda-se a realização de novos ensaios de compressão simples em corpos de prova de maiores dimensões, já que no caso das fibras de 50 mm o comprimento da fibra supera o diâmetro do corpo de prova utilizado na presente pesquisa (D = 40 mm).

A partir deste estudo, fica como sugestões adicionais 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 outros ensaios de resistência (cisalhamento direto e de compressão triaxial) a fim de conhecer parâmetros de resistência ao cisalhamento 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 (1984) *NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 7182: Solo – ensaio de compactação*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) *NBR 9895: Solo – índice de suporte Califórnia*, Rio de Janeiro.

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) *NBR 12770: Solo coesivo – determinação da resistência à compressão não-confinada*, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) *NBR 6502: Rochas e solos*, Rio de Janeiro.
- Aguilar, J. R. T.; Casagrande, M. D. T. (2015) *Análise do Comportamento de um Solo Arenoso Reforçado com Fibras de Coco*. In: VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO e do VII Congresso Brasileiro de Geossintéticos, Brasília – DF.
- Bolaños, R. Z. (2013) *Comportamento mecânico de um solo argiloso reforçado com fibras de côco*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cordeiro, G. C. (2006) *Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto*, Tese de Doutorado. COPPE/Universidade Federal 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, Olinda, Brasil, CD-ROM.
- Macedo, T. F. (2013) *Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife.
- Medina, J. (1987) *Apostila de estabilização de solos – COPPE/UFRJ*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Medina, J. e Motta, L. M. G. (2004) *Apostila de estabilização de solos*, Escola de Engenharia/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pedrosa, A. A.; Lafayette, K. P. V.; Almeida, S. M.; Ramos, L. A.; Bezerra, J. S. (2015) *Análise de solo reforçado com a adição de agregados reciclados e fibras*. In: VIII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Brasília..
- Oliveira, M. G. M.; Lafayette, K. P. V.; Tavares, Y. V. P.; Silva, S. R.; Teti, L. M. E. H.; Macedo, T. F. (2011) *Melhoramento de solo com resíduos da construção civil reforçado com fibras de polipropileno*. In.: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Vitória – ES.