



Análise da Incorporação de Cimento Portland e Resíduo de Construção Civil no Comportamento de Solos Argilosos

Juliana Maria de Souza

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jumaria.souza13@gmail.com

Rafaela Chagas Rudnick

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, rafa_rudnick@hotmail.com

Juliana Azoia Likuantchuki

Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jalukiantchuki@uem.br

RESUMO: A modificação das propriedades dos solos argilosos é uma alternativa amplamente empregada como solução para a aplicação prática desses solos. Isto porque, através da estabilização a plasticidade do solo é reduzida e suas propriedades de resistência são melhoradas. O principal objetivo desse trabalho foi avaliar o processo de estabilização de um solo argiloso por meio da incorporação de cimento Portland e resíduo de construção civil (RCC). Os ensaios foram conduzidos através de matrizes de solo-cimento e solo-RCC-cimento, sendo que o solo e o resíduo foram misturados em proporções iguais. Os teores de cimento estabelecidos foram 4% e 6%. O comportamento das matrizes foi avaliado através de ensaios de resistência à compressão simples, com tempo de cura de 7 e 14 dias. Os resultados do ensaio de resistência à compressão simples indicaram que a incorporação do RCC ao solo-cimento aumentou significativamente os valores de resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Solo argiloso, Solo-Cimento, Estabilização, Resíduo de Construção Civil.

1 INTRODUÇÃO

O solo pode ser considerado como um material de construção de grande importância em todo o mundo. É usado desde a antiguidade até os dias atuais devido às suas vantagens em relação a custos e possibilidades de aplicação. Em razão disso, muitos pesquisadores estudam o comportamento do solo, sobretudo no que se refere a melhorias das suas propriedades (Santiago, 2001).

Todavia, nem sempre as características naturais do solo presente em determinada região são suficientes para atender às necessidades de determinada obra. Nesse contexto, podemos citar as argilas e os desafios que esses solos representam para os engenheiros. Solos

argilosos são sensíveis à mudança de umidade e suscetíveis à expansão e retração. Quando secas, as argilas são resistentes, entretanto, à medida que vão absorvendo água, perdem resistência e aumentam sua plasticidade. Em obras de pavimentação apresentam performance ruim e podem resultar em uma vida útil curta do pavimento (Prusinski e Bhattacharja, 1999).

Logo, se fez necessário analisar métodos de melhoramento das condições do solo. Dentre eles, podemos citar a técnica de estabilização, que pode ser química, mecânica ou uma combinação entre ambas. Esse sistema modifica as características do material através da alteração da sua estrutura e/ou textura.

O solo-cimento é uma mistura resultante da estabilização química do solo, feita por meio da



incorporação de cimento e água. Contudo, quando o cimento é adicionado a solos coesivos, pequenas fissuras de retração aparecem devido à utilização da água da matriz para a hidratação do aglomerante. Nesses casos, é indicado a utilização de quantidades mínimas de cimento. Entretanto, quando é preciso que a resistência seja maior, maiores quantidades de cimento são incorporadas, o que pode acarretar o aparecimento de mais fissuras (Estabragh et al., 2012).

Como alternativa para reduzir a quantidade de cimento nas matrizes de solos argilosos, existe o resíduo de construção civil (RCC). Apesar de ser um resíduo, o RCC tem potencial para melhorar o solo-cimento, além de ser uma opção sustentável para a destinação adequada deste resíduo. No Brasil, a produção de RCC varia de 41% até 70% do total de resíduos sólidos (Falavigna, 2015), logo, é um material abundante e que precisa ser adequadamente tratado e destinado. Diversos pesquisadores estudaram os efeitos da adição dos resíduos ao solo com o objetivo de melhorar de sua características e desempenho (Silva e Lafayette, 2016; Ahmed et al, 2011; Silva et al., 2016; e Hossain e Mol, 2011), sendo que os resultados têm se mostrado satisfatórios. Por haver materiais pozolânicos na composição do RCC, ele tem a capacidade de unir as partículas de solo e diminuir a absorção de água da argila (Hossain e Mol, 2011).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a estabilização de um solo argiloso, típico da região Noroeste do Paraná, por meio da incorporação de cimento Portland e RCC. O solo não apresenta condições ideais para ser empregado em determinados tipos de aplicações práticas. Assim, a incorporação de cimento Portland e resíduo será avaliada como solução para o emprego deste material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho foram utilizados três materiais distintos, cujas características específicas são descritas a seguir.

1. Solo natural: coletado na cidade de Maringá, Paraná, no campus sede da Universidade Estadual de Maringá (UEM). É um solo laterítico, de textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 1999). Os latossolos paranaenses de textura argilosa são oriundos de rochas vulcânicas e ocupam cerca de 30% do território junto com os solos de textura areno-argilosa (Gutierrez, 2005).

2. Resíduo de construção civil: coletado na cidade de Arapongas, Paraná. É composto principalmente por elementos de concreto (elementos estruturais e resíduos de concreteiras) e restos de paredes com grande quantidade de argamassa. De acordo com informações cedidas pela usina, a composição cerâmica do RCC varia entre 30% a 35%.

3. Cimento Portland: foi escolhido para esse estudo o CPII-Z32, que é composto de 6% a 14% por pozolana e possui até 10% de material carbonático. Permite uma boa trabalhabilidade e garante certa impermeabilidade à matriz.

2.2 Métodos

Inicialmente, caracterizou-se o solo e o resíduo de construção civil por meio dos ensaios de caracterização geotécnica de solos. A granulometria foi realizada de acordo com a norma NBR 7181/1984. O ensaio de limites de Atterberg seguiram os procedimentos das normas NBR 6459/84 e NBR 7180/84 e a massa específica seguiu a norma NBR 6508/1984.

Assim, foram definidas duas matrizes principais: solo puro e 50% solo 50% RCC. À essas matrizes foi adicionado 4% e 6% de cimento, sendo que as análises foram feitas aos 7 e 14 dias de cura. Para a matriz 50% solo e 50% RCC foi feita a mesma caracterização



geotécnica dos materiais puros.

Para a definição dos parâmetros de moldagem dos corpos de provas, foram realizados ensaios de compactação na energia normal que seguiram as especificações da norma NBR 7182/1986. O ensaio foi realizado para quatro matrizes diferentes, que diferem na quantidade de solo, resíduo e cimento: 96% solo 4% cimento, 94% solo 6% cimento, 48% solo 48% RCC 4% cimento, 47% solo 47% RCC 6% cimento.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão simples, foram moldados corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. O ensaio seguiu as recomendações da norma NBR 12770/1992, porém a força aplicada foi medida através de uma célula de carga de 20 kN. Dois sensores LVDTs foram posicionados no prato metálico da prensa de maneira que registrasse o deslocamento do conjunto. Os corpos de prova foram submetidos à imersão durante um período de 24 horas antes de serem ensaiados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Os parâmetros de caracterização do solo e RCC obtidos através dos ensaios de massa específica, limites de Atterberg, granulometria e classificações HRB e Unificada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros e classificação do solo e RCC

MATERIAL		SOLO	RCC
Caracterização	ρ_s (g/cm ³)	3,24	2,77
	LL	61	-
	IP	19	-
	% argila	51,22	0,50
	% areia	15,00	93,00
HRB		A-7-5	A-3
Classificação	Unificada	MH - Silte elástico	Areia bem graduada com silte

Onde ρ_s é a massa específica dos sólidos; LL é o limite de liquidez e IP é o índice de plasticidade.

A massa específica dos sólidos do solo se apresentou bastante superior ao valor do RCC, sendo justificado pela presença do óxido de ferro, comum aos solos lateríticos. O índice de plasticidade, pela classificação de Jenkins, mostra que o solo natural é uma argila altamente plástica. O ensaio de caracterização granulométrica indica que o solo é composto de 51% de argila, 34% de silte e 15% de areia fina.

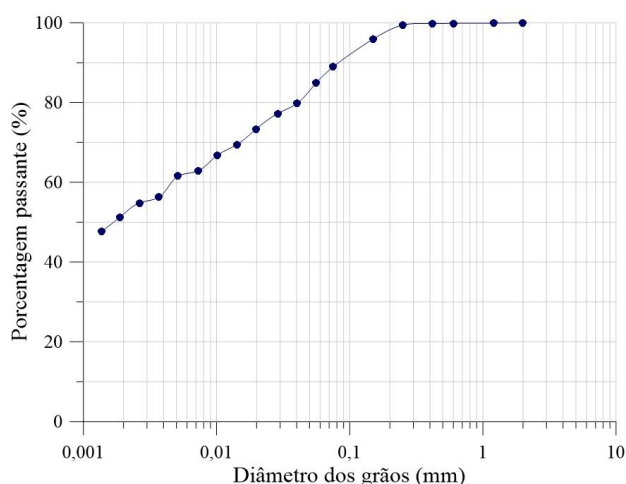


Figura 1. Curva granulométrica do solo.

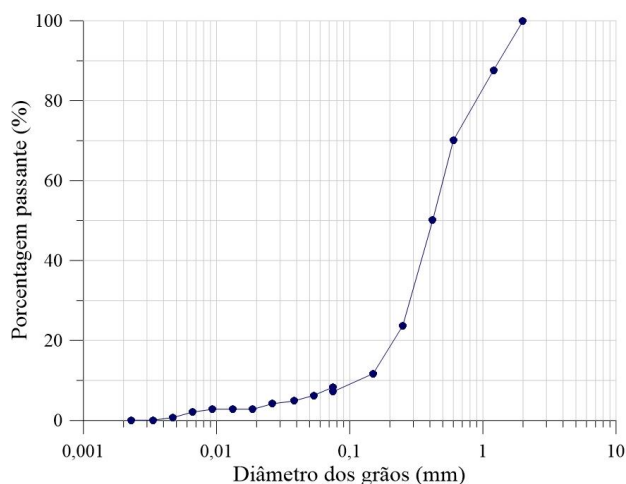


Figura 2. Curva granulométrica do RCC.

Como o resíduo de construção civil possui comportamento não plástico, não foi possível a determinação dos limites de liquidez e



plasticidade. O ensaio de granulometria indica que a composição do RCC é de 54% de areia média, 30% de areia grossa, 9% de areia fina, 8,5% de silte e 0,5% de argila. O coeficiente de curvatura é aproximadamente 1,5, classificando o material como bem graduado e apresentando comportamento típico de solo arenoso.

3.2 Dosagem Físico-Química

O ensaio de dosagem físico-química foi realizado para o solo natural e RCC. Em ambos os casos o teor ideal de cimento para a estabilização do material foi de 10%. Como o método é baseado na interação elétrica entre as partículas de cimento e argila, o resultado para o RCC não foi considerado coerente, dado que o material é arenoso e composto sobretudo por resíduos de concreto.

Isto posto, decidiu-se inicialmente pela incorporação de dois teores de cimento: 4% e 6%. A razão da escolha de teores abaixo do teor mínimo de estabilização do solo, dado pelo ensaio, é devido ao fato de que teores muito elevados de cimento prejudicam o comportamento do material do ponto de vista de fissuração e trincas.

3.3 Ensaios de caracterização da matriz de solo e resíduo de construção civil

Os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica da matriz composta por 50% solo 50% RCC são apresentados na Tabela 2. A massa específica dos sólidos da matriz tem valor inferior ao solo natural e superior ao RCC, apresentando coerência uma vez que este valor representa um valor médio entre os dois materiais, representando as características mineralógicas da matriz. O índice de plasticidade da matriz, conforme esperado, apresentou um valor pouco inferior ao do solo, caracterizando um comportamento medianamente plástico. A redução da plasticidade da matriz não foi tão significativa

como era esperado. Indicando que a fração fina do solo possui capacidade de desenvolver plasticidade mesmo quando adiciona-se um material não plástico e com comportamento granular.

Tabela 2. Parâmetros e classificação da matriz 50% solo 50% RCC

Caracterização	ρ_s (g/cm ³)	2,93
	LL	42
	IP	15
	% argila	12
	% areia	63
Classificação	HRB	A-7-6
	Unificada	SM - Areia siltosa

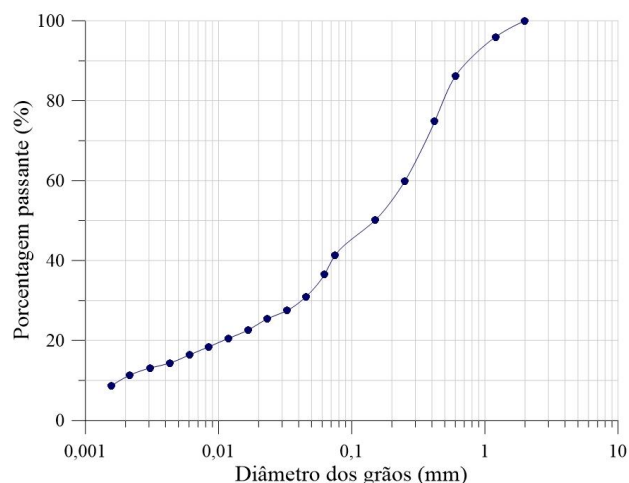


Figura 3. Curva granulométrica da matriz 50% solo 50% RCC

A análise granulométrica mostra predominância de areia média e silte, nas porcentagens de 31% e 25% respectivamente, sendo o restante da amostra composta por 18% de areia fina, 14% de areia grossa e 12% de argila. A mistura apresenta granulometria de material bem graduado, com coeficiente de curvatura superior a 3. O conjunto de características classificam a matriz como solo argiloso, segundo os sistemas de classificação Unificada e HRB.

3.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS)



A resistência não drenada das misturas estudadas foi obtida através do ensaio de resistência à compressão simples (RCS). A partir do ensaio de compactação foram obtidos os parâmetros ótimos de cada uma das misturas, mostrados na Figura 4. A matriz solo-cimento apresenta valores de massa específica seca ligeiramente superiores ao do solo natural, visto que o cimento preenche alguns vazios da mistura. A massa específica seca da mistura solo, RCC e cimento tem valores consideravelmente elevados em comparação ao solo-cimento, isso é justificado pela distribuição granulométrica uniforme que a matriz apresenta, pois os vazios são melhores preenchidos. Em contrapartida, conforme esperado, a matriz solo-RCC-cimento apresenta teor de umidade ótimo bastante inferior ao da matriz solo-cimento, resultado associado aos comportamentos de material granular (solo-RCC-cimento) e material argiloso (solo-cimento).

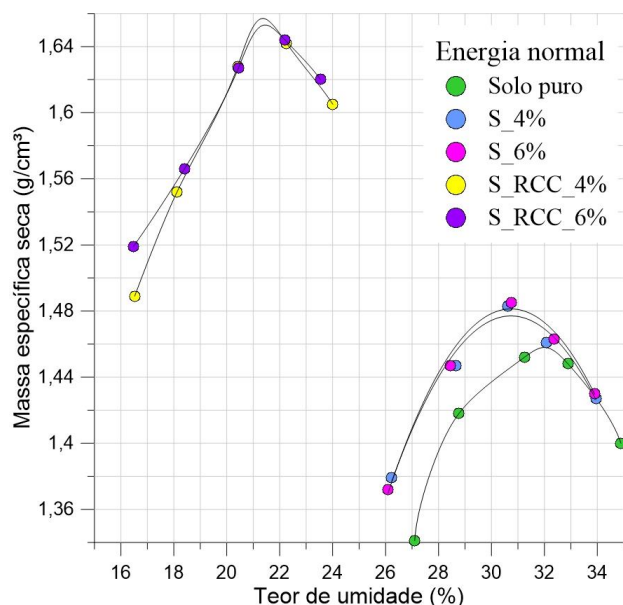


Figura 4. Curvas de compactação do solo natural, solo-cimento e da mistura solo, RCC e cimento

Para cada teor de cimento e idade de cura foram moldados 4 corpos de prova. No ensaio, obtiveram-se os valores de carga máxima no

momento da ruptura e o deslocamento do sistema ao longo do procedimento. A partir dos valores de deslocamento, foram calculadas as deformações do corpo de prova. Dessa forma, pela razão entre a força e área transversal do corpo de prova, foi calculada a tensão de ruptura ou resistência à compressão simples.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de resistência para cada teor de cimento e tempo de cura, bem como a variação da tensão de ruptura entre os tempos de cura de cada mistura.

Tabela 3. Resultados do ensaio de RCS

Mistura	Tempo de Cura (dias)	RCS (kPa)
S_4%	7	266,57
S_4%	14	268,08
S_6%	7	654,77
S_6%	14	702,02
S_RCC_4%	7	747,66
S_RCC_4%	14	848,74
S_RCC_6%	7	1548,97
S_RCC_6%	14	1955,62

A partir dos dados obtidos foi analisada a influência do tempo de cura e do teor de cimento na resistência à compressão simples. Conforme observado na Figura 5, a matriz solo-cimento não apresentou ganho de resistência entre 7 e 14 dias de cura. Os resultados se apresentam coerentes uma vez que o fator água/cimento para essas matrizes é muito elevado e não contribuiu para que as reações de hidratação do cimento ocorram adequadamente.

Nas matrizes com adição de RCC o comportamento para 4% de cimento apresentou um ligeiro aumento na resistência entre os períodos de cura analisados. Para 6% de cimento, observou-se um aumento de resistência mais significativo. O fato de que as misturas de solo com RCC ganham mais resistência durante os períodos de cura pode estar associado ao menor fator água/cimento, devido à umidade ótima menor, colaborando com a ocorrência das reações de hidratação do cimento. Além disso, trabalhos recentes



(Artuso, 2019) demonstraram que os RCC apresentam um efeito de auto-cimentação seguido de ganho de resistência ao longo do tempo. As misturas de solo-RCC-cimento com 4% e 6% apresentaram ganhos de resistência entre 7 a 14 dias de 14% e 26%, respectivamente.

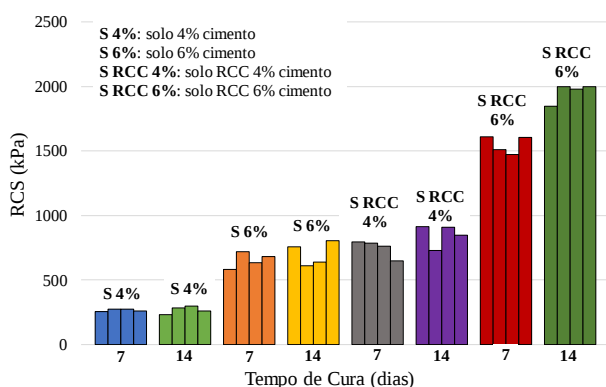


Figura 5. Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados em relação ao tempo de cura

O desempenho de cada mistura para um mesmo tempo de cura é apresentada na Figura 6. Nesse contexto, nota-se a influência do aumento do teor de cimento para o ganho de resistência em cada matriz. As misturas com 6% de cimento tiveram ganho de resistência superior a 100% em relação às misturas com 4% de cimento. Na matriz de solo-cimento, o aumento médio da resistência chega a 150%.

A Figura 7 mostra a comparação da resistência entre as misturas de solo-cimento e solo-RCC com o mesmo teor de cimento e para o mesmo tempo de cura. Os valores de RCS para as matrizes com RCC são consideravelmente superiores às matrizes solo-cimento. O ganho de resistência para 4% de cimento chega a 180% e 216% para 7 e 14 dias, respectivamente. Para 6%, os valores são de 136% e 178%. Com isso, fica clara a influência da adição de RCC na resistência de um solo argiloso. A maior variação de RCS entre as misturas com teor de cimento de 4% pode ser explicada pelo alto fator água/cimento da matriz solo-cimento, inibindo parcialmente a ação do

aditivo. Em contrapartida, quando na presença de RCC e menor quantidade de água, o cimento reage melhor e tem maior ganho de resistência, em conjunto com as reações do cimento presente no resíduo.

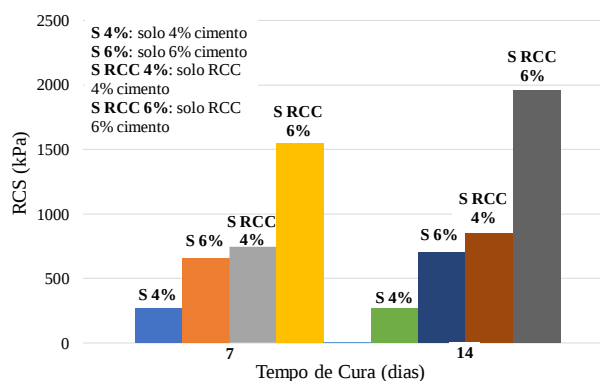


Figura 6. Desempenho das misturas com os mesmos tempos de cura

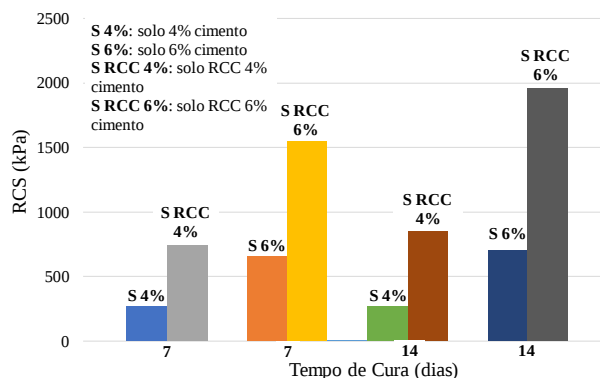


Figura 7. Comparação da resistência à compressão média das misturas com os mesmos teores de cimento

Os resultados mostram os benefícios do uso da incorporação de RCC em um solo argiloso. Matrizes com resíduo se mostraram muito mais resistentes em comparação às matrizes de solo-cimento, sendo utilizados os mesmos teores do aglomerante. É importante ressaltar que quando se utiliza o RCC, a matriz com 4% de cimento atinge resistência similar a de solo com 6% de cimento. Dessa forma, se corrobora a ideia de que com a adição de RCC é possível diminuir a quantidade de cimento para estabilização do solo. A partir disso, é possível



melhorar as características de um solo argiloso, reduzir a exploração de jazidas naturais de solo e destinar adequadamente os resíduos de construção civil.

4 CONCLUSÕES

A hipótese de que o comportamento de um solo naturalmente argiloso poderia ser melhorado através da incorporação de resíduos da construção civil foi o que motivou esse trabalho. A avaliação do desempenho do solo e da matriz solo-RCC foi realizada por meio de caracterizações geotécnicas das misturas e ensaios de resistência à compressão simples. Com base nos resultados, as principais conclusões são:

1. A matriz constituída por 50% solo e 50% RCC apresentou melhor distribuição granulométrica e um ligeiro decréscimo na plasticidade do solo.

2. A matriz solo-cimento não apresentou ganhos consideráveis de resistência entre os 7 e 14 dias de cura do cimento. O comportamento do material indica que o fator água/cimento elevado inibiu as reações de hidratação do cimento

3. O aumento nos valores de resistência com o tempo é proporcional ao teor de cimento da amostra, ou seja, quanto maior a quantidade de cimento maior será o ganho de resistência entre as idades de cura.

4. Em relação à resistência à compressão, as misturas compostas de solo, RCC e cimento apresentaram melhor comportamento. Isso comprova que o RCC pode ser incorporado visando melhorar a resistência de um solo argiloso.

5. Matrizes cimentícias de solo e RCC podem apresentar desempenho similar à matrizes de solo com teores mais altos de cimento, indicando que o uso de RCC pode diminuir os teores de cimento necessários para estabilização.

Destaca-se que esta pesquisa encontra-se em andamento e os resultados apresentados aqui são parciais. Serão avaliados ainda outras condições de ensaios para a completa conclusão da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor. À Universidade Estadual de Maringá por ceder a infraestrutura para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Ahmed, A. Ugai, K. Kamei, T. (2011). Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement. *Construction and Building Materials* 25, 208–217.
- Artuso, F. Lukiantchuki, J. A. (2019). Evaluation of the self-cementing effect of Construction and Demolition Waste (CDW) on mechanical performance over time for pavement support layers purpose. *Ambiente Construído*, 19 n.2, 59–77.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12770: Solo coesivo - determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 6459: Solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm - determinação da massa específica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 7180: Solo - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro..
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). NBR 7181: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986). NBR 7182: Solo - ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT. (2018). Norma DNIT XXX/2018 - ME: Pavimentação - Solo-cimento - Dosagem físico-química de solo-cimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT. (2006). Manual de Pavimentação. 3ª edição. Rio de Janeiro.
- Estabragh, A. R., Namdar, P. & Javadi, A. A. (2012).



- Behavior of cement-stabilized clay reinforced with nylon fiber. *Geosynthetics International*, 19, No. 1, 85–92. [<http://dx.doi.org/10.1680/gein.2012.19.1.85>]
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (1999). Brasília. 412p. il. (EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 5).
- FALAVIGNA, T (2015). Resíduos da construção civil. Apresentação de slides. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/1240834/>. Acesso em: janeiro/2018.
- Gutierrez, N. H. M. (2005). Influências de aspectos estruturais no colapso de solos do Norte do Paraná. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- Hossain, K. M. A. Mol, L. (2011). Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes. *Construction and Building Materials* 25, 3495–3501.
- Prusinski, J.R. e Bhattacharja, S. (1999). Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 1652(1):215-227.
- Santiago, C. C. (2001). O solo como material de construção. 2ª edição, rev. Salvador: EDUFBA.
- Silva, A. C. Neto, F. C. S. Sukar, S. F. Ferreira, S. R. M. (2016). Avaliação da Adição de Resíduos de Construção Civil (RCC) para Estabilização de Solos Colapsíveis. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Silva, L. Lafayette, K. (2016). Avaliação das propriedades do Resíduo da Construção Civil RCC como subsídio para confecção de tijolos de solo-cimento. *Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada*, 2(1).