



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

EIXO TEMÁTICO:

- () Arborização e Florestas Urbanas
- () APP Urbana
- () Arquitetura da Paisagem
- () Infraestrutura Verde
- () Jardins, Praças e Parques
- (x) Tecnologia e Bioconstrução
- () Urbanismo Ecológico

Utilização da cinza de casca de arroz para melhoria da colapsividade do solo da região de Ilha Solteira - SP

Use of rice husk ash to improve the collapsible behavior of the soil of Ilha Solteira's region

El uso de ceniza de cascarilla de arroz para mejorar comportamiento colapsable del suelo de la región de Ilha Solteira - SP

Luiza Perroni Fagundes

Aluna de Mestrado, UNESP, Brasil
Fagundesluiza94@yahoo.com.br

Mauro Mitsuuchi Tashima

Professor Doutor, UNESP, Brasil
mmtashima@dec.feis.unesp.br



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

RESUMO

Grandes áreas do Brasil apresentam solos colapsíveis, como a região nordeste e sul do país. Estes solos têm, como característica principal, estruturas instáveis que podem apresentar considerável deformação volumétrica na presença de água. Esse comportamento, também chamado de colapso, é responsável por vários problemas na construção civil, tais como rachaduras e fissuras que podem danificar a segurança das estruturas. O objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de melhoria do comportamento colapsível de um solo da região de Ilha Solteira - SP, utilizando cinza de casca de arroz (CCA). Os resultados são promissores, mostrando uma nova alternativa para reduzir o comportamento colapsível de solos, utilizando uma tecnologia amiga do ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: solo colapsível, comportamento colapsível, cinza de casca de arroz.

ABSTRACT

Great areas of Brazil present collapsible soils, such as the northeast and the south. Some of these soils have, as main characteristic, instable structures that can present considerable volumetric deformation in the presence of water. This behavior, also named collapse, is responsible for several problems on the building construction such as cracks and fractures that can damage the safety of structures. The aim of this paper is to assess the possibility of improvement of collapsible behavior of the soil of Ilha Solteira's region, using rice husk ash (RHA). The results are so promising, showing a new alternative to reduce the collapsible behavior of soils using an environmental friendly technology.

KEYWORDS: collapsible soil, collapsible behavior, rice husk ash.

RESUMEN

Grandes áreas de Brasil presentan suelos colapsables, tales como el noreste y el sur. Algunos de estos suelos tienen, como característica principal, estructuras inestables que pueden presentar deformación volumétrica considerable en presencia de agua. Este comportamiento, el colapso también llamado, es responsable de varios problemas en la construcción de edificios, tales como grietas y fracturas que pueden dañar la seguridad de las estructuras. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de mejora del comportamiento colapsable del suelo de la región de Ilha Solteira, utilizando ceniza de cascarilla de arroz. Los resultados son tan prometedores, mostrando una nueva alternativa para reducir el comportamiento colapsable de los suelos utilizando una tecnología respetuosa con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: suelos colapsables, comportamiento colapsable, ceniza de cascarilla de arroz.



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

1. Introdução

Sabe-se que grandes extensões de terras das regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil estão recobertas pelos denominados solos colapsíveis. A existência deste tipo de solos se deve a deficiência de umidade que podem ser desenvolvidas em regiões áridas e semi-áridas (Nordeste brasileiro) ou mesmo devido a processos de lixiviação da parte fina dos solos nas regiões onde se alternam estações de seca e precipitações intensas (VILLAR et al., 1981).

Os solos colapsíveis possuem como característica principal a presença de estruturas instáveis que podem sofrer deformações volumétricas consideráveis (redução do índice de vazios) quando umedecidos (RODRIGUES, 2003). Essa deformação volumétrica, normalmente conhecida como colapso, também pode ser referenciada por outros termos como: hidrocompactação e hidroconsolidação (DUDLEY, 1970) e subsidência (FEDA, 1996; GIBBS e BARA 1967).

Para a ocorrência do colapso é necessário a existência de 3 condições (BARDEN et al., 1973):

1. Existência de um solo com estrutura parcialmente saturada porosa e potencialmente instável;
2. Existência de uma pressão aplicada que aumente a instabilidade do solo;
3. Presença de um alto valor de sucção que estabilize os contatos intergranulares e que são susceptíveis de enfraquecimento quando saturados.

Em geral, instabilidade estrutural dos solos colapsíveis é um causador de sérios problemas econômicos, principalmente após as instalações de obras civis (RODRIGUES, 2003). Neste sentido, é importante destacar que devido ao crescimento populacional e a falta de planejamento urbano, diversas obras estão sendo realizadas sem os devidos cuidados gerando patologias após poucos anos de construção (METHA, 2007).

Também associado ao crescimento demográfico vem ocorrendo um incremento significativo na produção de resíduos sólidos provenientes dos diversos setores produtivos, destacando a indústria e a agricultura. No Brasil, país caracterizado por uma forte capacidade de produção agrícola, vem se destacando a produção da cana de açúcar para a produção de açúcar e etanol, a produção de soja e o cultivo do arroz.

A cinza de casca de arroz é um resíduo da agroindústria gerado durante o processo de secagem e parbolização dos grãos de arroz já que a casca in natura é utilizada para a geração



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

de energia. Desse processo de geração de energia, sobra uma imensa quantidade de cinza que não possui um uso adequado e, normalmente, vem sendo descartada de forma inadequada em aterros sanitários ou até mesmo na margem de rios e estradas (RÊGO, 2004).

Devido aos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos e, tentando reaproveitar os resíduos como fonte alternativa, diversos estudos vêm sendo realizados sobre o uso da CCA como adição mineral na produção de argamassas e concretos (TORKAMAN et al., 2014; KANNAN E GANESAN, 2014). Fundamentalmente, a melhoria das propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas e concretos produzidos com CCA se deve a uma reação química entre SiO_2 amorfo presente no resíduo e o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento Portland formando assim, novos produtos cimentantes similares aos formados durante a hidratação do cimento (PAYÁ, 2012).

2. Objetivos

Estudar a melhoria do comportamento colapsível do solo da região de Ilha Solteira - SP utilizando a cinza de casca de arroz como adição ao solo.

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais

3.1.1. Solo colapsível

O solo foi coletado na região de Ilha Solteira-SP e armazenado adequadamente no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp.

3.1.2. Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo agroindustrial proveniente da queima da casca do arroz e foi obtida em indústrias de beneficiamento de arroz.

3.1.3. Água deionizada

A água utilizada para o umedecimento, tanto do solo, como da mistura de solo e CCA foi água deionizada, devido a sua baixa concentração de Ca^{+2} , íon que pode promover a cimentação do solo.

3.1.4. Demais Utensílios



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

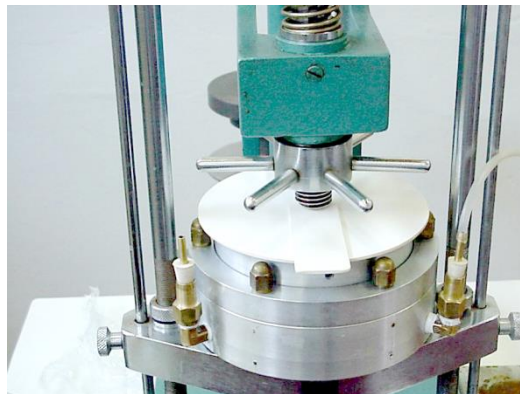
Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

Os demais materiais e equipamentos necessários para a produção dos corpos de prova de solo e cinza de casca de arroz, encontram-se listados a seguir:

- Balança com resolução de 0,1 g;
- Recipiente plástico para a adição de água a mistura;
- Sacos plásticos para o preparo da mistura (solo e CCA) e homogeneização da umidade;
- Colher para a adição da cinza e para o manuseio da mistura;
- Cronômetro;
- Prensa manual CBR para atingir o grau de compactação de 80%;
- Papel filtro para evitar a perda de umidade;
- Prensa para ensaio edométrico simples.

A Figura 1 mostra a prensa que foi utilizada para a realização dos ensaios edométricos simples necessários para a realização deste trabalho.

Figura 1. Prensa para o ensaio edométrico simples



Fonte: Acervo do autor.

3.2. Métodos

Os processos experimentais foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Campus de Ilha Solteira - UNESP. O ensaio edométrico simples foi realizado utilizando uma prensa de ensaio edométrico da Solotest com um anel metálico com 8,7 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura.

3.2.1. Caracterização do solo



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

Foi realizada uma série de ensaios para caracterizar o solo em estudo que se encontra listada a seguir:

- análise granulométrica (peneiramento e sedimentação) para determinar a curva granulométrica do solo;
- limites de consistência;
- determinação do teor em água ou umidade do solo;
- determinação da massa específica das partículas sólidas.

3.2.2. Caracterização da mistura (solo e CCA)

Também foi realizada uma série de ensaios para caracterizar a mistura em estudo. Os ensaios realizados encontram-se listados a seguir:

- análise granulométrica (peneiramento e sedimentação) para determinar a curva granulométrica da mistura;
- limites de consistência;
- determinação da massa específica das partículas sólidas da mistura.

3.2.3. Ensaio edométrico simples

3.2.3.1. Preparação da mistura

Primeiramente determinou-se uma quantidade de massa seca (solo+CCA), então calculou-se a massa de solo (92% da massa seca) e a massa de cinza de casca de arroz (8% da massa seca) a ser misturada. Então, em um saco plástico, colocou-se a massa de solo e a massa de cinza calculadas, correspondente a 92% e 8% da massa seca, respectivamente. Em seguida, calculou-se a quantidade de água que o solo já possuía e a quantidade de água a ser adicionada para que toda a mistura estivesse na umidade ótima do solo ($w=12,3\%$). Em um recipiente plástico e com o auxílio da balança, pesou-se a quantidade de água a ser adicionada no saco plástico que já continha a mistura. Agitou-se bem o saco plástico para que ocorresse a homogeneização da umidade. Vale lembrar que o mesmo processo foi feito para a mistura de 100% solo e 0% CCA, ou seja, solo puro.

3.2.3.2. Preparação do corpo de prova

Previamente foi passado vaselina no anel cilíndrico para facilitar a desmoldagem. Sabe-se que o grau de compactação do ensaio é de 80%, semelhante ao grau de compactação previamente avaliado por Rodrigues, que é semelhante ao grau de



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

compactação que se encontra em campo. A compactação foi realizada em 12,4% de umidade, isto é, a umidade ótima para este solo no ensaio de Proctor Normal. Sabe-se também que a massa específica seca máxima do solo em estudo é $1,928 \text{ g/cm}^3$ e que o volume do anel cilíndrico é 120 cm^3 . Com isso, calculou-se a massa a ser colocada no anel cilíndrico que correspondesse a um grau de compactação de 80%. Adicionou-se a massa calculada ao anel cilíndrico e levou-se o conjunto (corpo de prova e anel cilíndrico) para a prensa manual CBR para que fosse feita a compactação do corpo de prova. Ao término da compactação, o conjunto (corpo de prova e anel cilíndrico) foi encaminhado para a prensa do ensaio de adensamento edométrico simples. Novamente, vale lembrar que esse processo foi realizado, tanto para a mistura de 92% de solo e 8% de CCA, como para a mistura de 100% solo e 0% de CCA, ou seja, solo puro.

3.2.3.3. Realização do ensaio edométrico simples

Com o corpo de prova previamente compactado na prensa manual CBR, colocou-se o conjunto (corpo de prova e anel cilíndrico) na prensa de adensamento e iniciou-se o ensaio. São feitos carregamentos de 1KPa, 6,25Kpa, 12KPa, 25KPa, 50KPa, 100KPa, 200KPa, 400KPa e 800KPa de carga. Nos quatro estágios iniciais de carga (6,25; 12,5; 25 e 50 kPa) a deformação cessa após cerca de duas horas. Para 50 a 100 kPa, ocorre entre 5 a 8 horas. Para 200 kPa a 800 kPa a deformação não cessa com a mesma velocidade. Então, para estas etapas, adotou-se a diferença de taxas de deformação entre os últimos três estágios de carga como os critérios de medição final. Sempre que a diferença entre as três últimas leituras for menor do que 0,1 mm, o corpo de prova foi submetido a próxima fase de carregamento. A Figura 2 mostra um exemplo de leituras realizadas para os carregamentos de 1 KPa e 6,25 KPa.



Figura 2. Exemplo de leituras no ensaio edométrico simples

1 kPa		6,25 kPa		12,5	
Tempo	Leitura	Tempo	Leitura	Tempo	
	10000		9995		
6 s	9999	6 s	9964	6 s	
15 s	9998	15 s	9963	15 s	
30 s	9998	30 s	9962	30 s	
1 min	9998	1 min	9961	1 min	
2 min	9998	2 min	9960	2 min	
4 min	9997	4 min	9959	4 min	
8 min	9997	8 min	9958	8 min	
15 min	9995	15 min	9958	15 min	
30 min	9995	30 min	9958	30 min	
1h	9995	1h	9958	1h	
		2h	-	2h	
				4h	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ensaio foi realizado até 200 kPa de carga, com a mesma umidade, protegendo a célula com papel filtro a fim de evitar a perda de umidade. Após o fim da deformação vertical da amostra para o estágio de 200 kPa, a amostra foi inundada e nesta condição mediu-se a deformação até 24 horas. A deformação foi medida em tempos de 6s, 15s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h, 12h e 24 horas após molhar. Com o fim do colapso devido à umidade, o ensaio foi realizado em etapas sucessivas de carga até 800 KPa. A Figura 3 mostra os corpos de prova cilíndricos após a realização do ensaio edométrico simples.

Figura 3. Corpos de provas com a adição de CCA (abaixo) e sem a adição de CCA (acima) após a realização do ensaio edométrico simples



Fonte: Elaborado pelo autor.



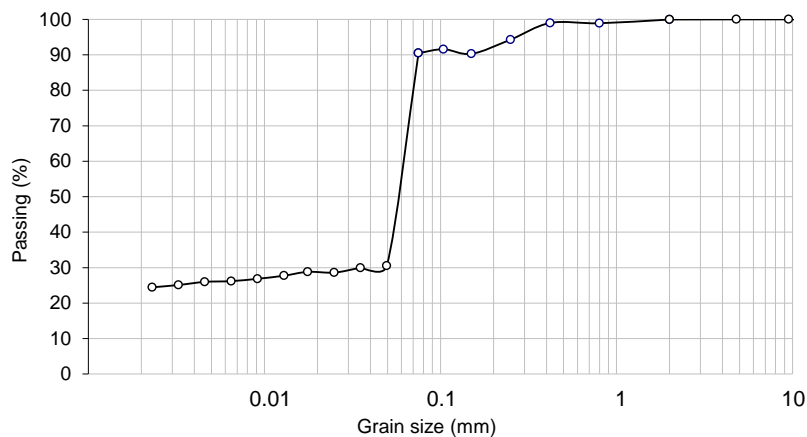
4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização do solo

Os resultados obtidos na caracterização do solo foram: LL = 22,4%, LP = 15,4% e IP = 7,0%, o que mostra que o solo apresenta baixa plasticidade.

A análise granulométrica mostrou que a amostra de solo pode ser classificada como areia fina argilosa (69% de areia, 8% silte, argila 23%). A Figura 4 mostra a distribuição granulométrica para a amostra de solo em estudo.

Figura 4. Distribuição granulométrica do solo



Fonte: Elaborado pelo autor.

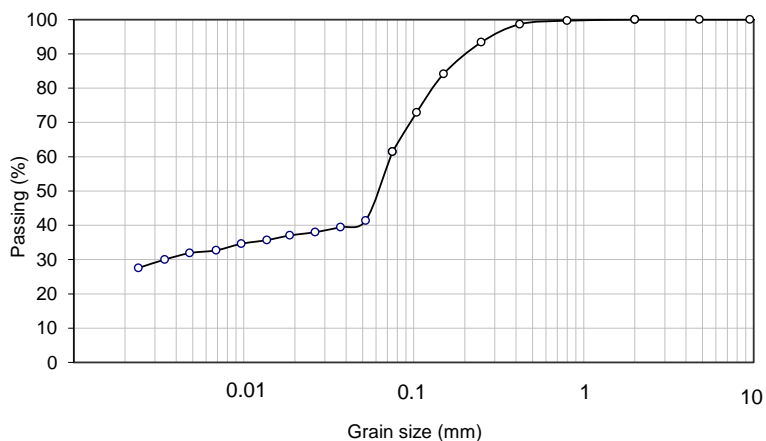
4.2. Caracterização da mistura (solo e CCA)

A mistura de solo e CCA apresentou índices de consistência semelhantes aos encontrados para a amostra de solo: LL = 21,9%, LP = 14,6% e PI = 7,3%.

A análise granulométrica da mistura mostrou um aumento das partículas finas em relação a análise feita anteriormente: 59% de areia, 9% de silte e 32% de partículas com tamanho de grãos de argila. A figura 5 mostra a distribuição granulométrica para a amostra da mistura.



Figura 5. Distribuição granulométrica da mistura



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Ensaio edométrico simples

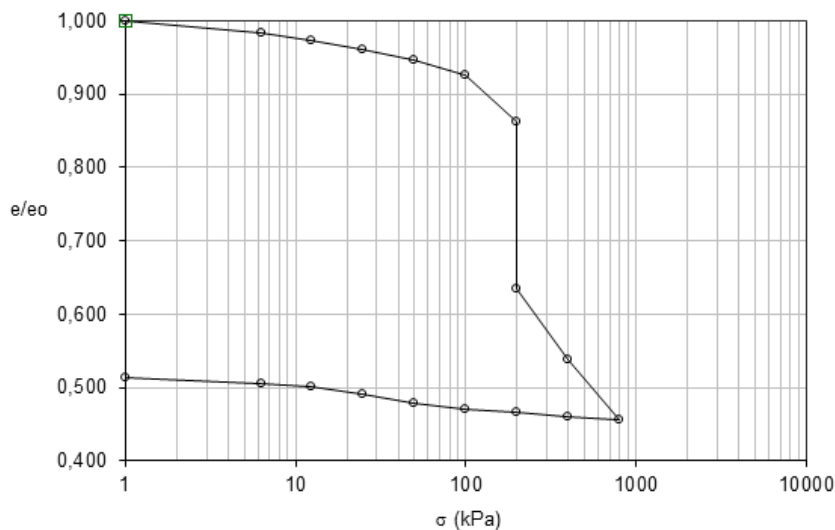
As curvas resultantes dos ensaios edométricos simples são apresentadas em escala logarítmica: no eixo horizontal são representados os dados de tensão e no eixo vertical é representada a deformação, que é expressa como uma fração do índice de vazios para uma determinada tensão e índice de vazios inicial (e_i / e_0).

4.3.1. Amostra de solo

A Figura 6 mostra os resultados obtidos para o ensaio edométrico simples realizado com a amostra de solo.



Figura 6. Curva do ensaio edométrico simples para o solo

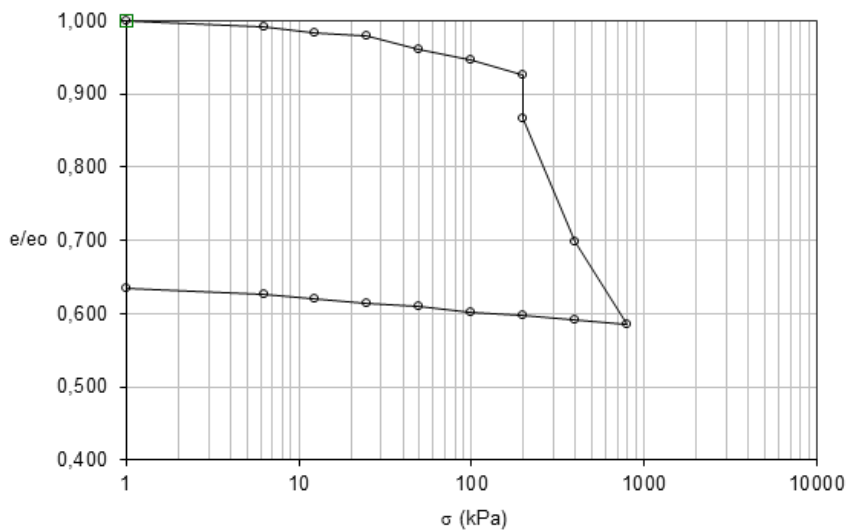


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2. Amostra da mistura (solo e CCA)

A curva resultante do ensaio edométrico simples para amostra de solo e CCA é mostrada na Figura 7.

Figura 7. Curva do ensaio edométrico simples para a mistura



Fonte: Elaborado pelo autor.



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

4.3.3. Análise comparativa

Comparando as duas curvas, a primeira diferença notável é a diferença de deformação total entre solo e a mistura (solo e CCA). Enquanto amostra de solo apresentou e_{final} / e_0 aproximadamente 0,456, a mistura apresentou aproximadamente 0,585. Então, observa-se cerca de 12,9% de redução na deformação total da mistura, em relação a deformação total do solo.

Para a tensão de 200 kPa com inundação, a deformação medida para amostra de solo foi de cerca de 0,227 (e/e_0). Para essa mesma condição, a deformação medida para a mistura foi de 0,058, o que representa uma redução de 74,4% do colapso total quando se opta pelo uso da cinza da casca de arroz.

5. Conclusão

Por meio da análise dos resultados obtidos na caracterização do solo, na caracterização da mistura (solo e CCA) e nos ensaios de edométricos simples (tanto do solo, como da mistura), a adição da cinza da casca de arroz ao solo mostra-se uma alternativa promissora e ecologicamente sustentável para reduzir áreas de aterros, uma vez que o resíduo das indústrias de beneficiamento de arroz ainda não possui finalidade e nem um destino apropriado, além de reduzir o comportamento colapsível do solo. Portanto, a melhoria ocorre em termos de menor deformação total (o que mostra um aumento significativo da resistência) e também na diminuição do colapso total.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de graças a PROPE/UNESP, FUNDUNESP (Processo nº 0382/001/14), PROPG/UNESP, PPGEC/FEIS-UNESP.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barden, L., McGown, A., Collins, K. **The collapse mechanism in partly saturated soils.** Engineering geology, 1973, 7, 49-60.
- Dudley, J.H. **Review of collapsing soils.** Journal of the soil mechanics and foundation division, 1970, 96, 925-947.
- Feda, J. **Structural stability of subsident loess soil from Praha-Dejvice.** Engineering Geology, 1966, 1, 201-219.



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

Gibbs, H.J., Bara, J.P. **Stability problems of collapsing soil.** Journal of the soil mechanics and foundation division, 1967, 93, 577-594.

Jennings, J.E., Knight, K (1975). **A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to “collapse” of grain structure.** *Proceedings of VII REG. Conference for Africa on soil mechanics and foundation engineering*, 1, 99-105.

Lollo, J.A. (Org.) (2007). **Solos Colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas.** Cultura Acadêmica, São Paulo, 260p. (1. Ed.)

Lollo, J.A.; Rodrigues, R.A.; Elis, V.R.; Prado, R. (2011). **Use of electrical resistivity to identify collapsible soils in Brazil.** Bull. Eng. Geol. Environ., 66:215-223.

Metha, P. Concrete in marine environment. Taylor & Francis, 2007.

Oliveira, C.M.G.; Lollo, J.A. (2001). **Uso da Avaliação do Terreno para o zoneamento de solos colapsíveis na área urbana de Ilha Solteira (SP).** In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Anais, Brasília, CD-ROM.

Payá, J. (2012). **La transmutación sostenible de los residuos para nuevas materias primas en el ámbito del concreto.** Dyna, edición especial, 38-47.

Rêgo, J.R.S. (2004). **As cinza de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina como adição mineral ao cimento – aspecto da microestrutura das pastas.** Tese (Doutorado), Universidade de Brasília.

Rodrigues, R.A.; Souza, A.; Lollo, J.A. (2002). **Estudo da colapsibilidade dos solos de Ilha Solteira (SP) para projetos de fundações rasas e profundas.** In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, 12, Anais, CD-ROM.

Rodrigues, R.A. (2003). **A influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso.** Dissertação (Mestrado), UNESP – Campus de Ilha Solteira, 115p.

Rodrigues, R.A. (2007). **Modelação das deformações por colapso devidas à ascensão do lençol freático.** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 262p.

Rodrigues, R.A.; Lollo, J.A. (2007). **Influence of domestic sewage leakage on the collapse of tropical soils.** Bull. Eng. Geol. Environ., 66:215-223.



Construção de Cidades Verdes

III Encontro Técnico e Científico

26 e 27 de Outubro de 2016

ISBN 978-85-68242-26-1

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo

Tashima, M.M., Silva, C.A.R., Akasaki, J.L., Barbosa, M.B.(2004). **The possibility of adding rice husk ash (RHA) to the concrete.** In: Conference on the use of recycled materials in the building and structures.

Tashima, M.M. (2006). **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado), UNESP – Campus de Ilha Solteira.

Tashima, M.M., Fioriti, C.F., Akasaki, J.L., Payá, J., Souza, L.C., Melges, J.L.P. (2012). **Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa método de produção e atividade pozolânica.** Ambiente Construído (Online), 12,151-163.

Torkoman, J., Ashori, A., Momtazi, A.S. (2014). **Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks.** Construction and Building Materials, 50, 432-436.

Vilar, O.M., Rodrigues, J.E., Nogueira, J.B. **Solos Colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais.** In: Simpósio Brasileiro de solos tropicais em engenharia, 1981, Rio de Janeiro, v.1, 209-224.