

## ESTABILIZAÇÃO DE SOLO ARGILOSO COM CINZA DE CASCA DE ARROZ E CAL

João Vitor de Souza (1); Ingrid Reyes Martinez Belchior (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)j.v\_5@hotmail.com; (2)ingridbelchior@unesec.net

### RESUMO

Visando diminuir gastos com construção de infraestruturas rodoviárias e a sustentabilidade, cada vez mais vem sendo estudada a possibilidade de utilizar resíduos industriais para estabilização de solos. Nesta pesquisa utilizou-se cinza de casca de arroz (CCA) e cal para estabilizar um solo argiloso de formação Palermo, planejando analisar a viabilidade para o uso desses materiais para sub-base de pavimentos. Foram realizados ensaios de compactação (Energia Proctor Normal), Índice de Suporte Califórnia (ISC), expansão e Resistência à Compressão Simples (RCS). Os resultados mostram pequenas variações nas propriedades avaliadas quando foi adicionada unicamente CCA ao solo. Assim, por exemplo o ISC aumentou levemente de 7,10% no solo natural para valores de 8,60% e 13,90% com adições de 5% e 10% de CCA, respectivamente. Já com auxílio de cal, as misturas de solo e CCA obtiveram melhores resultados com valores de ISC superiores a 20% (mínimo para sub-base) em amostras compactadas na umidade ótima. Igualmente, o valor requerido de expansão para materiais de sub-base (menor que 1%) somente foi atingido quando o solo natural foi misturado com CCA e cal. Enquanto que na ausência de cal, a CCA não proporcionou a redução de expansão necessária. Finalmente, a RCS parece manter seu valor em presença de CCA e os ganhos observados de resistência foram apenas produto da adição de cal nas misturas de solo e CCA. Conclui-se que a CCA pode ter um destino sustentável como material de sub-base quando for misturada com alguma dosagem de cal além do solo em estudo.

*Palavras-chave: Sustentabilidade, estabilização, solo, cinza de casca de arroz, cal, sub-base.*

### 1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária brasileira está precária em todos os níveis, mas de forma mais enfática na esfera municipal, onde se concentram a maioria das estradas de baixo volume de tráfego. Por questões principalmente econômicas, estradas municipais não têm a devida atenção e chegam a estágios preocupantes, prejudicando diretamente a economia em algumas regiões.

Então, visando à diminuição de gastos de estabilização de materiais para pavimentação e a redução de resíduos provenientes de processos industriais agrícolas, cada vez mais vem sendo estudada a possibilidade de utilizar estes resíduos para procurar melhorar as características geotécnicas de solos destinados a base e sub-base de pavimentos. Conforme Behak (2007), nos últimos anos existe um crescente interesse na utilização e reutilização nas obras de engenharia de diversos resíduos produzidos em indústrias e agroindústrias.

De acordo com o IBGE em 2015 o Brasil produziu 12.312.315 toneladas de arroz, sendo 9.925.570 toneladas na região Sul, e desse total foi produzido 1.081.537 em Santa Catarina. Durante o processo de beneficiamento do arroz são geradas grandes quantidades de resíduos de casca de arroz. Segundo Tiboni (2007), estes resíduos de casca de arroz têm sido utilizados como combustível para secagem e parboilização do cereal, devido ao seu elevado poder calórico. Após a queima gera-se um grande volume de cinzas de casca de arroz (CCA).

Grande parte das beneficiadoras de arroz são empresas de pequeno porte que não possuem processos para um bom aproveitamento ou descarte adequado da CCA, a qual muitas vezes é depositada em terrenos baldios ou lançada em cursos d'água, assim contaminando o meio ambiente (SANTOS, 2006).

Desta maneira, este estudo é abordado com a finalidade de determinar o efeito da adição de cinza de casca de arroz e cal em um solo argiloso de formação Palermo, sobre as propriedades de resistência e deformabilidade. Isto com o intuito de verificar se o uso de CCA para fins de pavimentação é uma alternativa viável, que leve à redução dos custos de construção de estradas, a diminuição da exploração de recursos naturais (como a exploração de jazidas em busca de solos apropriados para pavimentação) e uma solução sustentável para a disposição da CCA em regiões que produzam a cinza.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste estudo será a estabilização de um solo argiloso com a adição de CCA e cal, verificando se essa composição cumpre com as especificações mínimas do manual de pavimentação do DNIT para ser utilizada como sub-base de pavimentos (Índice de Suporte Califórnia maior ou igual a 20% e expansão menor ou igual a 1%). Além disso, aferir se o uso de a CCA para fins de estabilização de solos é uma possível solução sustentável para disposição deste resíduo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para a consecução do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

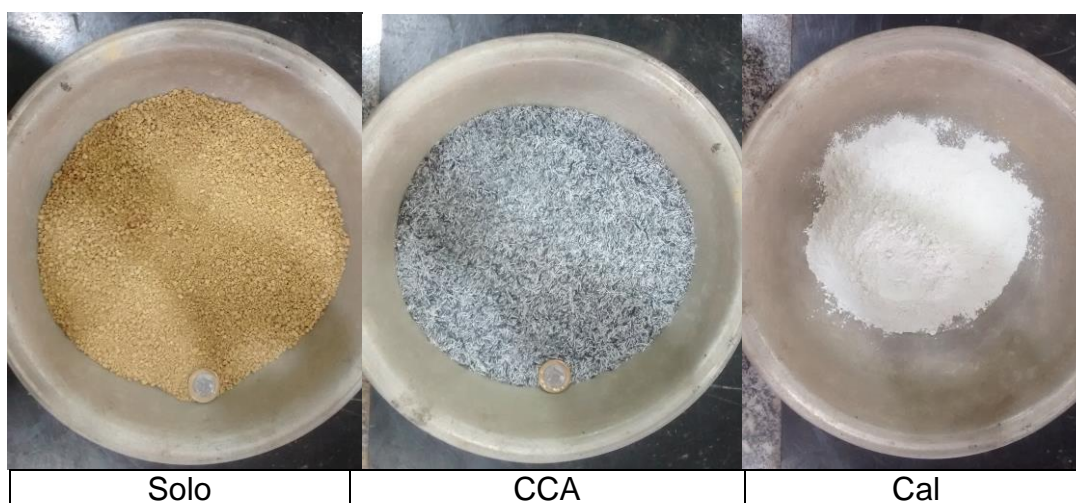
- Avaliar a densidade seca máxima e a umidade ótima de compactação para as misturas de solo e CCA e para misturas compostas por solo, CCA e cal;
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as misturas estudadas, nos teores de umidade correspondentes a umidade ótima, ramo seco e ramo úmido;
- Determinar a porcentagem de expansão para as misturas analisadas, nos teores de umidade correspondentes a umidade ótima, ramo seco e ramo úmido;
- Avaliar a Resistência à Compressão Simples (RCS) para as misturas compactadas na umidade ótima.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Os materiais usados neste estudo foram um solo argiloso, CCA e cal. O aspecto visual destes materiais é mostrado na Figura 01.

Figura 01 – Materiais utilizados



Fonte: Do autor (2016)

A CCA provém da queima da casca de arroz como combustível para produção de derivados. O material foi doado pela empresa Cereais Célia, localizada no município de Meleiro, em Santa Catarina. Esta cinza é gerada através de uma queima sem controle de temperatura.

O solo do estudo foi retirado do próprio campus do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Este solo tem sido classificado como solo argiloso pertencente à formação Palermo, que segundo Bresciani (2009, p.68), é uma formação “[...] representada por folhelhos síltico argilosos, tendendo a formar solos tipo, silte argilosos e argilas siltosas”.

A cal utilizada para as misturas foi a comercializada pela empresa Maxical Ltda, denominada “cal virgem” da marca “Cerro Branco”. Esta cal é composta principalmente por óxidos de cálcio e magnésio.

### 3.2 MÉTODOS

Inicialmente o solo foi caracterizado em sua forma natural com o objetivo de classificá-lo pelo sistema *Transportation Research Board* (TRB). Após a classificação foi realizado o ensaio de compactação para determinar a umidade ótima e a máxima densidade seca na energia Proctor Normal, junto com o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a expansão. Por último foi feito o ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS) do solo original na sua umidade ótima com a idade de 0 dias. No RCS os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5739/2007. As normas referentes a cada ensaio estão dispostas na Tabela 01.

Tabela 01 - Normas ABNT dos ensaios realizados

Ensaio	Normas ABNT
Granulometria	NBR 7181/2016
Limite de Liquidez	NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade	NBR 7180/2016
Compactação	NBR 7182/2016
ISC	NBR 9895/2016
Ensaio de compressão	NBR 5739/2007

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2016)

Após obter os resultados físicos e mecânicos do solo natural começou o processo de mistura. Utilizaram-se as seguintes combinações:

- Solo + 5%CCA;
- Solo + 10%CCA;
- Solo + 5%Cal;
- Solo + 10%Cal;
- Solo + 5%CCA + 5%Cal;
- Solo + 5%CCA + 10%Cal;
- Solo + 10%CCA + 5%Cal;
- Solo + 10%CCA + 10%Cal.

Para todas as misturas foi realizado o ensaio de compactação na energia Proctor Normal, determinando-se a umidade ótima e a maior densidade seca. Depois foi feito o ensaio do Índice de Suporte Califórnia, determinando a porcentagem da resistência do ISC e a expansão de cada combinação. Por fim realizou-se o ensaio de Resistência à Compressão Simples, com tempo de cura de 0 dias para todas as misturas e de 7 e 14 dias para as combinações: Solo + 5%CCA + 5%Cal, solo + 5%CCA + 10%Cal, solo + 10%CCA + 5%Cal e solo +10%CCA + 10%Cal. Todos os corpos de prova foram moldados na umidade ótima.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO NATURAL

Para caracterizar o solo determinou-se o Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de Plasticidade (IP), para a classificação do mesmo pelo sistema *Transportation Research Board* (TRB). Os valores são encontrados na Tabela 02.

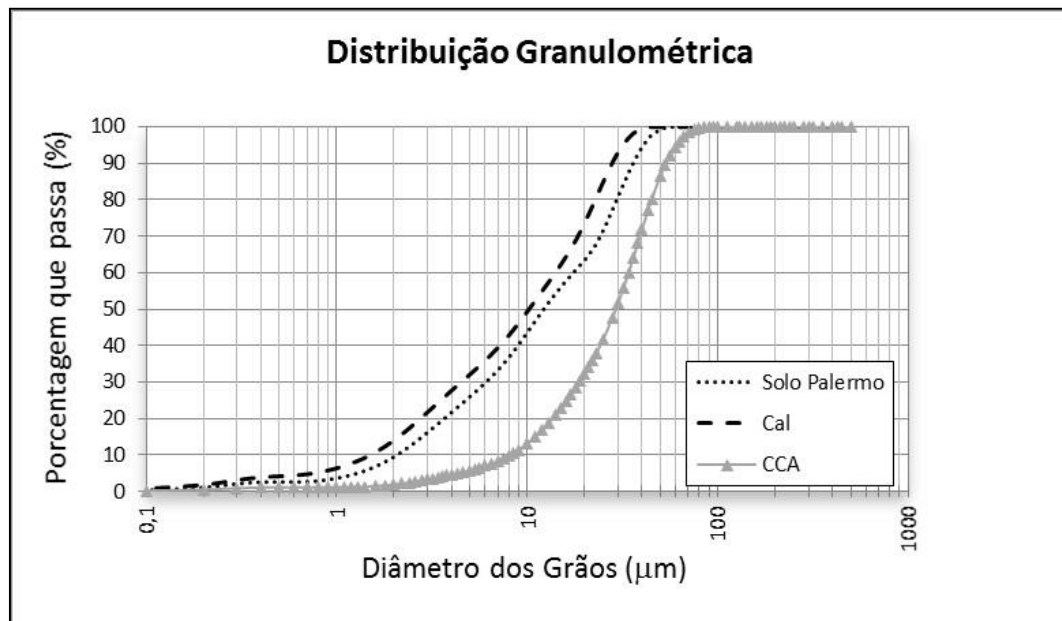
Tabela 02 – Caracterização do solo natural

Características	Resultados
Limite de Liquidez	60%
Limite de Plasticidade	37%
Índice de Plasticidade	23%
Índice de Grupo	18
TRB	A7-5

Fonte: Do autor (2016)

Como parte da caracterização dos materiais também foi realizada a análise granulométrica por espalhamento laser. Para esta análise foi utilizado o granulômetro à laser de referência *CILAS 1064*, cuja faixa de medida vai de 0,04 a 500  $\mu\text{m}$ . Os resultados obtidos são mostrados na Figura 02.

Figura 02 – Distribuição granulométrica obtida através de espalhamento laser



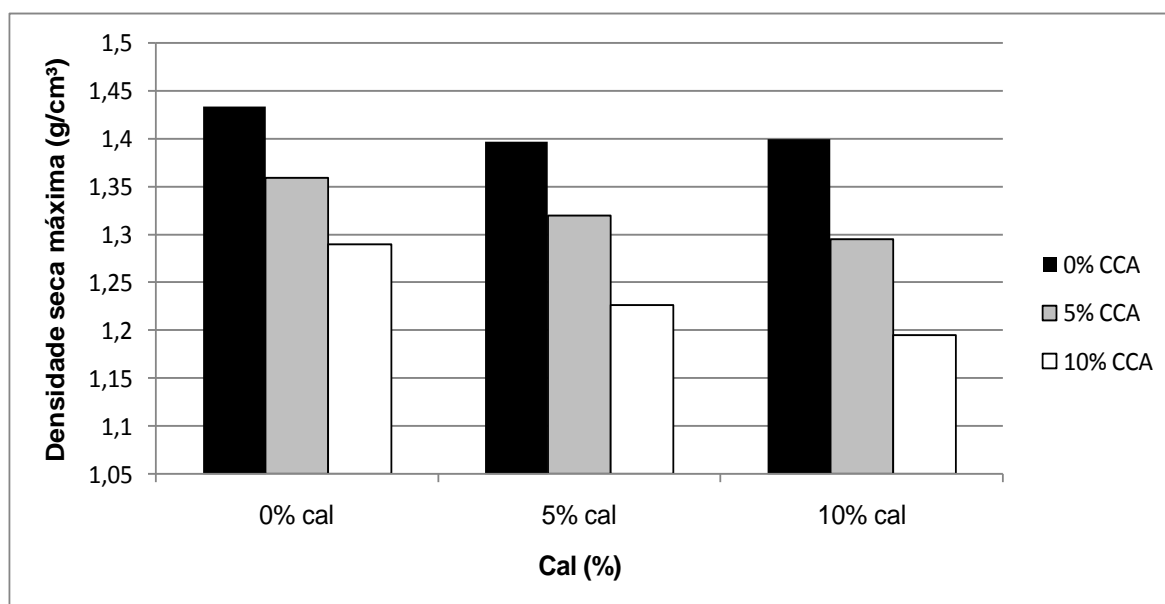
Fonte: Do autor (2016)

Observa-se que a CCA possui uma granulometria mais espessa que o solo argiloso utilizado, sendo assim, nessa composição a mesma não faz um efeito *filler*. Além disso, a CCA apresentou uma granulometria bem graduada. A cal tem uma granulometria mais fina que o solo, pelo qual não somente é esperado que aconteçam reações pozolânicas, como também um efeito de *filler*.

## 4.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Pelo ensaio de compactação das diversas misturas citadas obteve-se a máxima densidade seca e a umidade ótima. Na Figura 03 é mostrada a densidade seca máxima.

Figura 03 - Densidade seca máxima



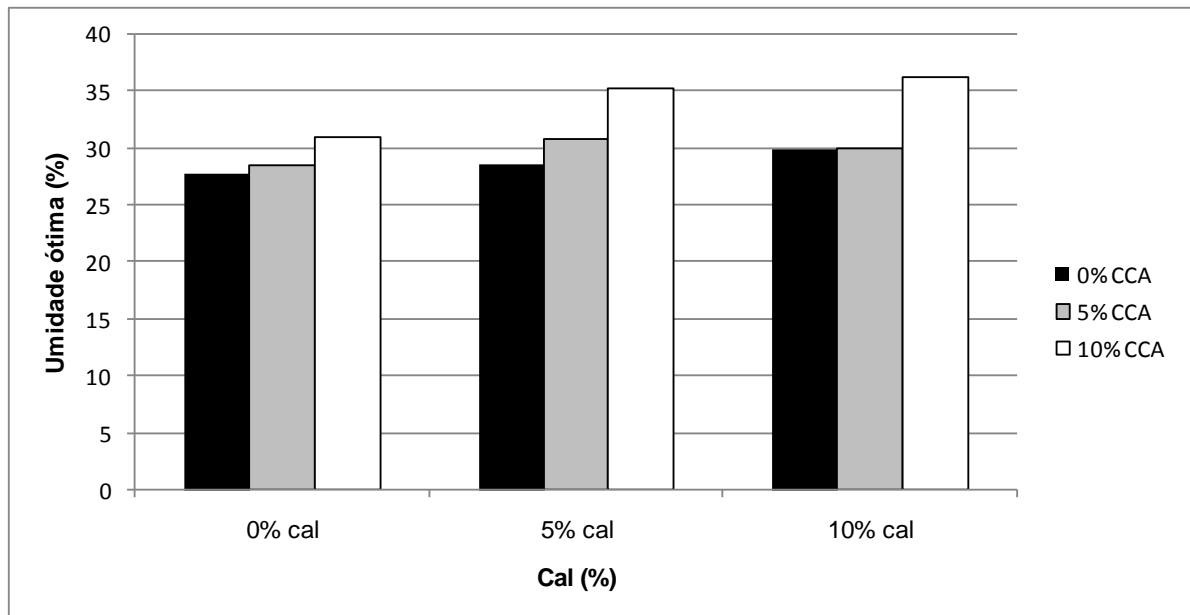
Fonte: Do autor (2016)

Observa-se que o solo natural (0%cal e 0%CCA) possui a máxima densidade seca alcançando cerca de 1,430g/cm<sup>3</sup>. A adição tanto de CCA como de cal contribui para a diminuição da massa específica, no entanto a CCA é mais determinante. Isso é exemplificado observando-se as misturas de solo + 10%CCA e solo + 10%Cal, na primeira a densidade seca máxima chegou a 1,297g/cm<sup>3</sup>, já na segunda o resultado obtido foi 1,399g/cm<sup>3</sup>. Estes resultados concordam com o estudo realizado por Bonfante (2015), que analisou misturas de solo arenoso com CCA e cal e atribuiu a diminuição da densidade máxima seca de compactação à baixa densidade dos grãos de CCA.

Enquanto a densidade máxima seca diminuiu com o incremento de CCA, a umidade ótima de compactação aumentou. A Figura 04 mostra a variação da umidade ótima para as misturas com diferentes porcentagens de cal e CCA.



Figura 04 - Umidade ótima



Fonte: Do autor (2016)

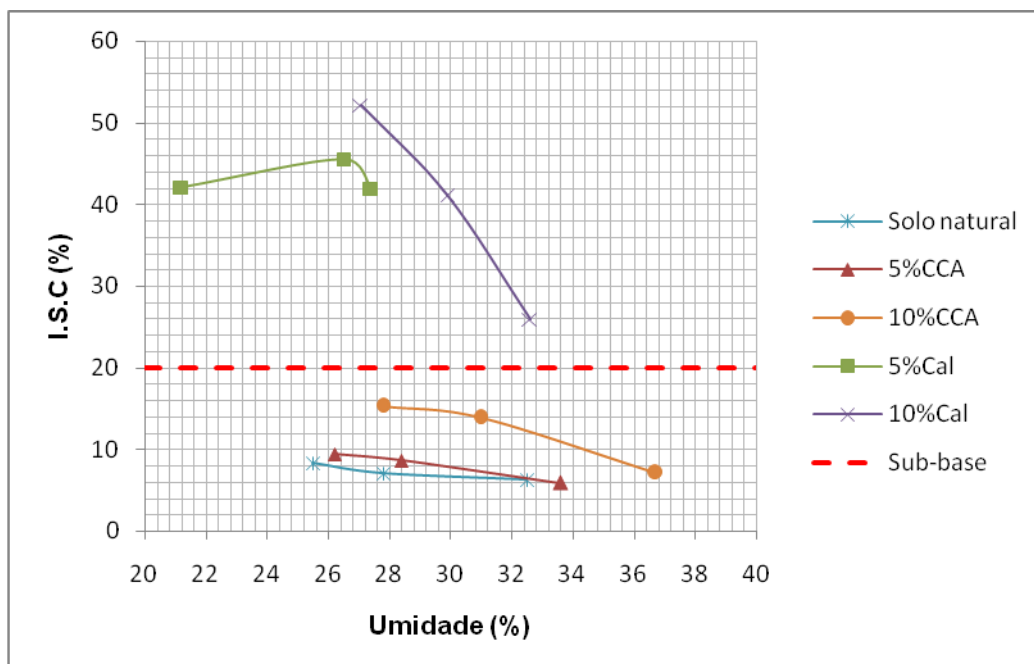
De acordo com esta figura pode-se avaliar que a CCA e a cal fazem a umidade ótima aumentar. Constata-se que para todas as amostras, a adição de 10% de CCA gera um acréscimo considerável na umidade ótima de compactação, sendo mais de 3% em relação ao solo natural e mais de 6% quanto ao solo + 5%cal e solo + 10%cal. Isso leva a deduzir que a CCA é um material hidrofílico, capaz de absorver e reter grandes quantidades de água. Esta característica pode ser benéfica para tratar solos com alto teor de umidade natural.

### 4.3 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O Índice de Suporte Califórnia é um parâmetro frequentemente utilizado para avaliar a resistência de suporte dos solos destinados a subleito, sub-base e base de pavimentos.

A Figura 05 mostra os resultados do ISC para o solo natural, solo misturado com 5% e 10% CCA e do solo misturado com 5% e 10% de cal. Todas as misturas foram compactadas em 3 umidades diferentes, correspondentes a umidade ótima, uma umidade mais seca que a ótima e outra umidade maior que a ótima. Nota-se que para o solo natural usado neste estudo o ISC atingiu um valor médio de 7,10% na umidade ótima de compactação.

Figura 05 - Resultados do Índice de Suporte Califórnia para solo natural e amostras misturadas separadamente com cal e CCA



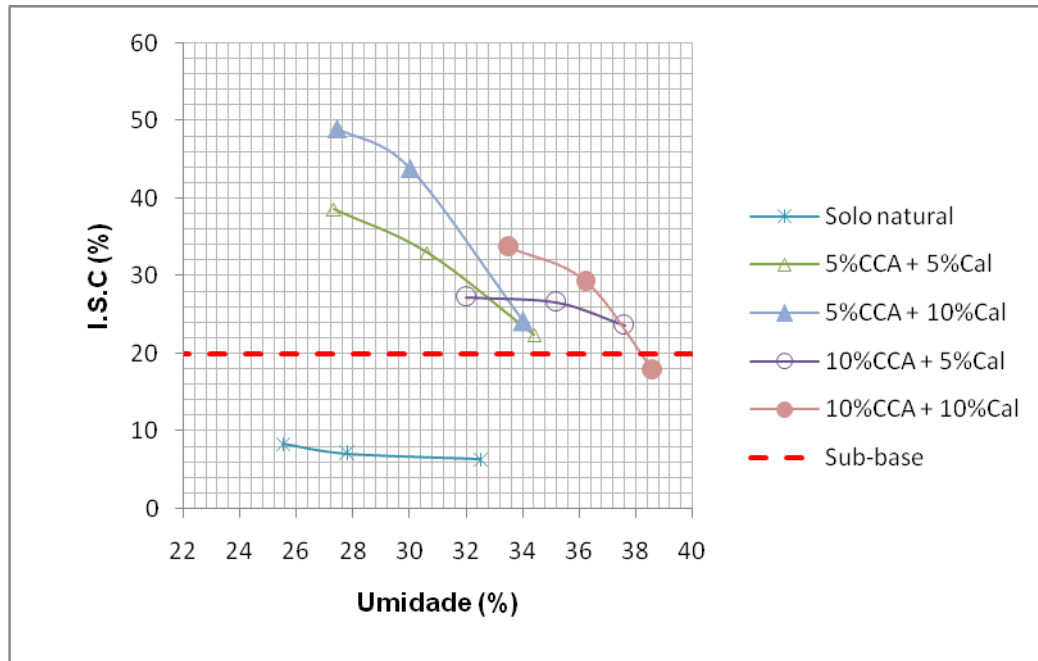
Fonte: Do autor (2016)

Percebe-se que o ISC aumentou tanto em amostras com adição unicamente de cal, como nas amostras onde foi adicionada apenas CCA. Porém, nas combinações onde se utilizou apenas cal com solo os valores foram mais significativos, chegando a resultados superiores a 40% na umidade ótima de compactação.

Considerando que a especificação para sub-base exige um valor de ISC mínimo de 20%, observa-se que a adição apenas de CCA não consegue satisfazer a recomendação, pois com 5% de CCA atingiu-se um ISC de 8,60%, e para 10% de CCA o ISC registrado foi 13,90%, ambos na umidade ótima.

Devido ao observado acima, optou-se por analisar amostras com misturas de solo, cal e CCA. A Figura 06 mostra a comparação dos valores de ISC obtidos para o solo natural e para combinações deste solo com CCA e cal. Esta figura indica que a adição de cal auxilia as misturas de CCA e solo para alcançar a condição mínima para sub-base (ISC mínimo de 20%).

Figura 06 - Resultados do Índice de Suporte Califórnia para misturas compostas por solo, CCA e cal



Fonte: Do autor (2016)

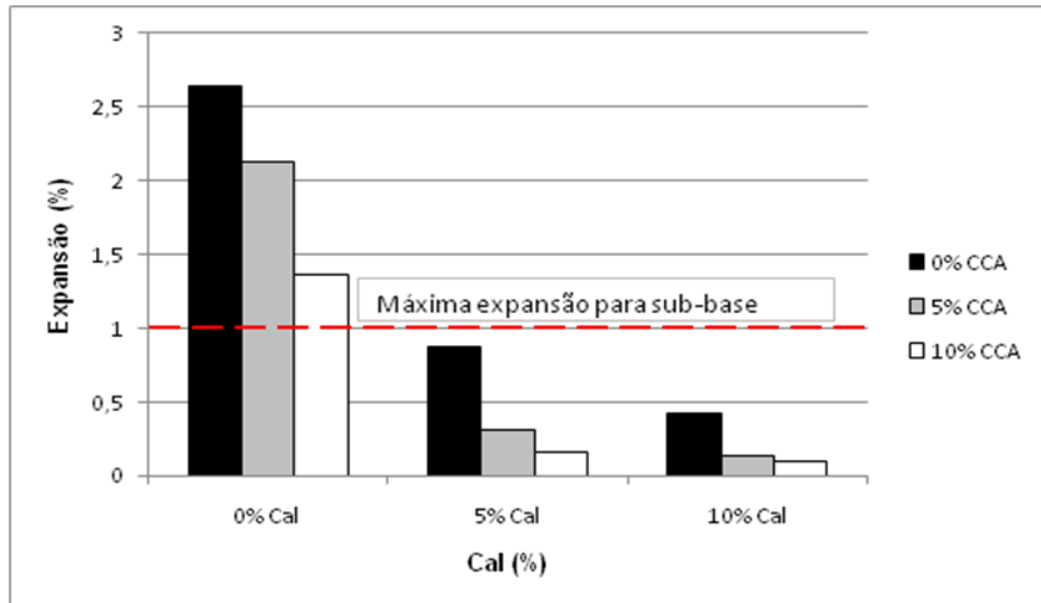
Assim, considerando apenas valores de ISC a mistura que permitiria o melhor aproveitamento deste resíduo industrial (CCA) seria a mistura de solo com 10%CCA + 5%Cal, pois ela apresentou um ISC em torno de 27%, o que atende tranquilamente o requerimento mínimo utilizando o dobro de CCA em relação à cal, deixando a mistura economicamente mais viável.

#### 4.4 EXPANSÃO

A porcentagem de expansão também é um fator para determinar a qualidade de um solo para ser utilizado nas camadas de sub-base de pavimentos. Neste estudo a expansão foi avaliada em amostras compactadas em três umidades, correspondentes ao ramo seco, umidade ótima e ramo úmido.

Na Figura 07 constam as expansões obtidas em amostras compactadas com umidades que correspondem ao ramo seco. Nota-se que na ausência de cal, embora exista a redução na expansão devido à adição de CCA, as misturas com 5% e 10% de CCA não conseguem atender a condição da máxima expansão de sub-base, que é de 1%.

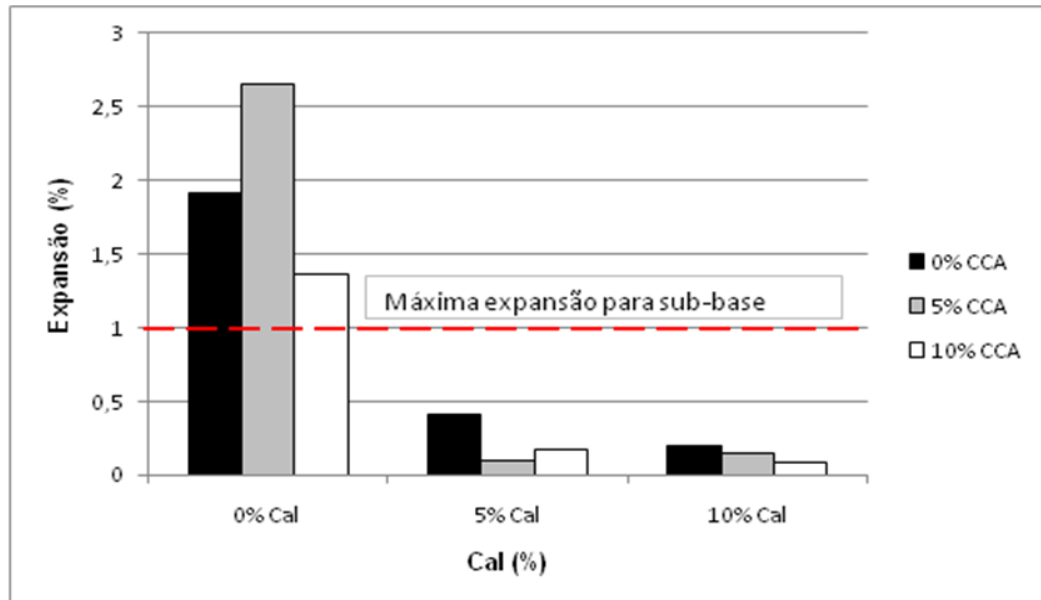
Figura 07 - Resultados da expansão para amostras compactadas em umidades correspondentes ao ramo seco



Fonte: Do autor (2016)

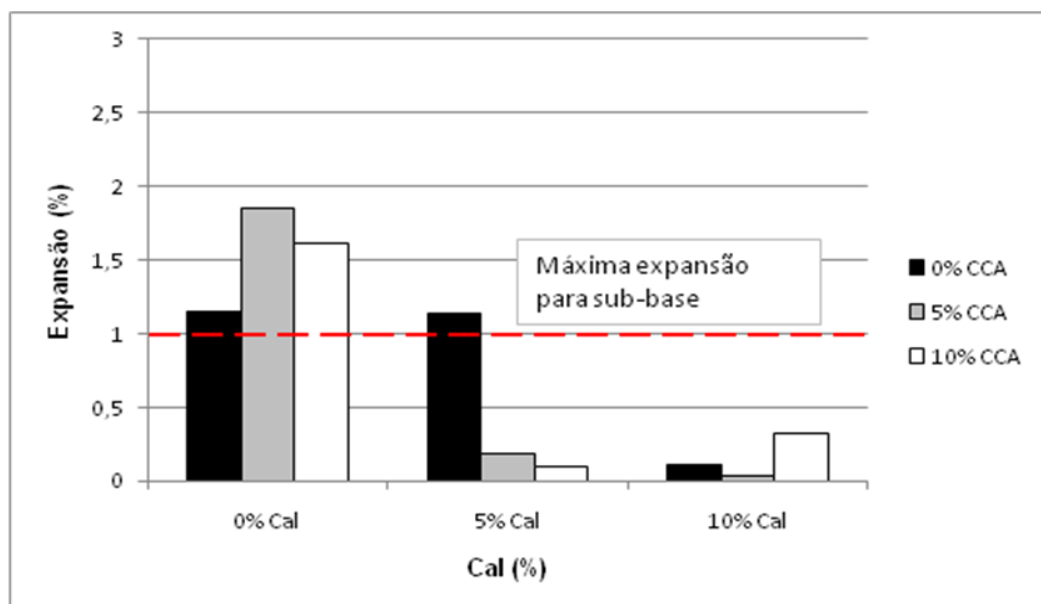
Os resultados obtidos para misturas compactadas na umidade ótima e no ramo úmido são mostrados na Figura 08 e Figura 09, respectivamente. Apesar de não se registrar uma clara tendência nestas amostras com adição apenas de CCA (0%Cal), também se verificou que a ausência de cal nas misturas não permitiu atingir a recomendação da máxima expansão para sub-base.

Figura 08 - Resultados da expansão para amostras compactadas em umidades ótimas



Fonte: Do autor (2016)

Figura 09 - Resultados da expansão para amostras compactadas em umidades correspondentes ao ramo úmido



Fonte: Do autor (2016)

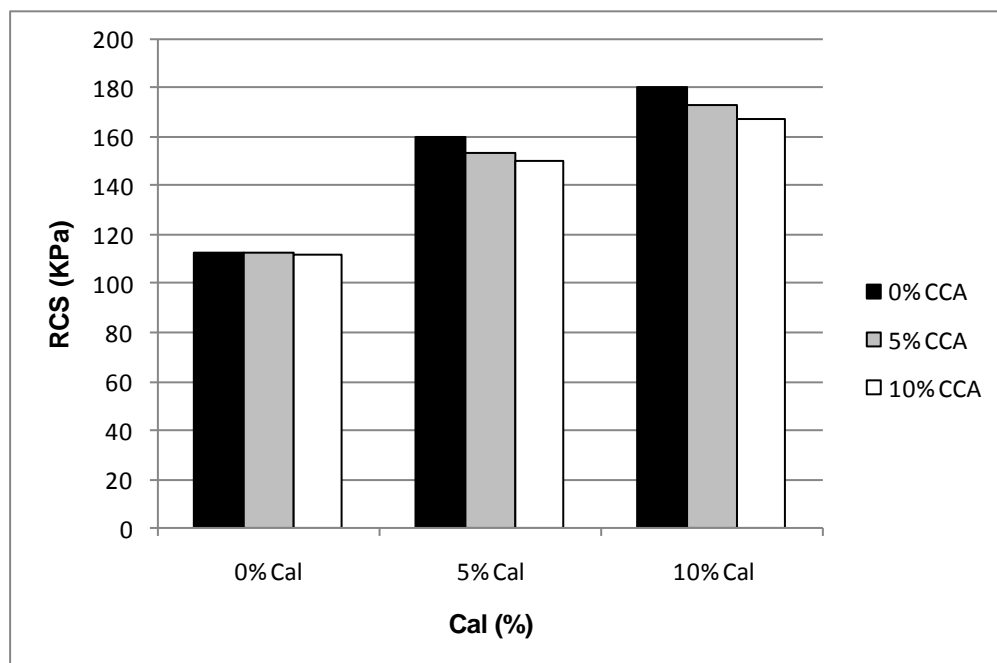
Em qualquer das três umidades em que foram preparadas as amostras, constatou-se que em presença de cal e para qualquer porcentagem de CCA adicionada, as misturas obtiveram expansões menores que a máxima exigida para sub-base.

Desta forma, conclui-se que a CCA pode ser utilizada junto com solo em estudo para sub-base quando for acrescentada cal na combinação.

#### 4.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A Resistência à Compressão Simples foi avaliada em misturas sem cura (0 dias) e amostras com 7 e 14 dias de cura. Os resultados obtidos para misturas sem cura são apresentados na Figura 10. Observa-se que a CCA não tem influência significativa no ganho de resistência. Sem dar tempo para as reações pozolânicas se desenvolverem, estas amostras testadas sem tempo de cura mostram valores estáveis de RCS com o incremento de porcentagem de CCA. O aumento da resistência obtido deve-se apenas à adição de cal.

Figura 10 - Resistência à compressão simples para amostras sem tempo de cura

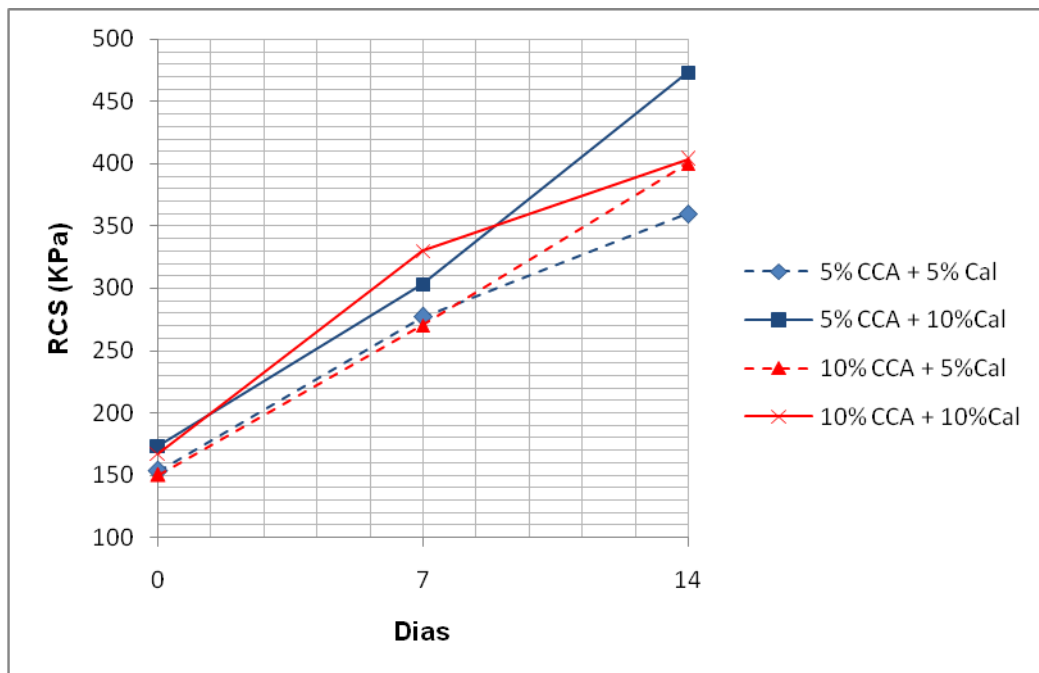


Fonte: Do autor (2016)

Na Figura 11 é mostrado o efeito do tempo de cura na RCS das misturas de solo com CCA e cal. Verificou-se que a CCA não desenvolveu reações químicas com a cal que contribuam ao ganho de resistência com o tempo de cura. Observa-se que os valores de RCS mantiveram-se próximos com o tempo de cura para amostras

com a mesma porcentagem de cal e diferentes porcentagens de CCA (por exemplo, observando as linhas pontilhadas, se verifica que valores similares foram obtidos para a mistura de solo com 5%CCA + 5%Cal e para a mistura de solo com 10%CCA + 5%Cal).

Figura 11 - Resistência à compressão simples para amostras com diferentes tempos de cura (0, 7 e 14 dias)



Fonte: Do autor (2016)

Além disso, as linhas contínuas da Figura , correspondentes a uma adição de cal de 10% e variações de CCA de 5% (linha azul) e de 10% (linha vermelha), mostram que altas dosagens de CCA (como 10%) poderiam prejudicar a estabilização, pois ao substituir maior quantidade de solo por CCA, menos material que reage com cal estará disponível na mistura.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos junto com as análises feitas permitem chegar às seguintes conclusões:

- A densidade do solo argiloso Palermo diminui e a umidade ótima de compactação aumenta com adição de cal e CCA, sendo mais relevantes as

variações destas duas propriedades quando é mantida a porcentagem de cal e a porcentagem de CCA aumenta;

- Para atender o ISC mínimo de 20% para camada de sub-base, as misturas do solo argiloso Palermo com CCA precisam ser auxiliadas com adições de cal;
- Igualmente, a utilização de misturas de solo argiloso Palermo com CCA precisam de adições de cal para obter uma expansão menor que 1%, requerida para o uso de solos como sub-base de pavimentos;
- Quanto à Resistência à Compressão Simples, os resultados demonstraram que em ausência de tempo de cura e mantendo a dosagem de cal constante, as adições de CCA não geraram ganho tampouco perda na resistência. Além disso, quando tempos de cura são aplicados às misturas, verificou-se que a CCA não desenvolveu reações químicas com a cal e/ou com o solo que contribuam ao ganho de resistência, pois os valores de RCS se mantiveram parecidos para amostras com quantidades constantes de 5% de cal e CCA variando, enquanto que quando os 10% de cal foram mantidos para diferentes adições de CCA o melhor resultado alcançado foi com a quantidade mínima do resíduo (5%);
- Conclui-se que a mistura mais eficiente estudada foi a de solo com 10%CCA + 5%Cal, pois em relação às demais foi a mais econômica. Além da economia que esse rejeito pode trazer, a utilização da CCA na construção de pavimentos será de grande importância para o meio ambiente, pois evitará o descarte em aterros e possíveis poluições em rios.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 2016.

BEHAK, Leonardo. **Estabilização de um solo sedimentar arenoso do Uruguai com cinza de casca de arroz e cal**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BONFANTE, Marcelo. **Estabilização de solo arenoso com cinza da casca de arroz e cal para utilização em camadas de pavimento**. 2015, 16 f. Artigo (Curso de Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

BRESCIANI, Denise. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo da formação palermo, estabilizado com aditivo perma zyme®**. 2009. 153 f. TCC (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

Cerro Branco. **Ficha técnica de produto**: Cal virgem CV-C. Disponível em: <<http://www.cerrobranco.com.br/wp-content/uploads/2016/03/FTP-206-Cal-Virgem-CV-C-v04.pdf>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=1&z=t&o=26&u2=1&u3=1&u4=1&u1=33>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

**Manual de Pavimentação**: DNIT. IPR – 719 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

SANTOS, Sílvia. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Florianópolis, 2006, 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

TIBONI, Rafaella. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento portland**. 2007, 179 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.