

EXATAS E TECNOLÓGICAS

V.4 • N.1 • 2020 - Fluxo Contínuo

ISSN Digital: 2359-4942

ISSN Impresso: 2359-4934

DOI: 10.17564/2359-4942.2020v4n1



## PROPOSTA PARA ADIÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATERIAL POZOLÂNICO EM PAVIMENTAÇÕES

PROPOSAL TO ADD SUGARCANE BAGASSE ASH AS POZZOLANIC MATERIAL IN PAVEMENTS

PROPUESTA DE AÑADIR CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL PUZOLÁNICO EN LOS PAVIMENTOS

Ana Carolina Amaral Silva<sup>1</sup>

Talles Jaruzo Moraes<sup>2</sup>

Lucas Ferreira Melo Machado<sup>3</sup>

## RESUMO

Este artigo sugere uma maneira sustentável de reutilizar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em obras de pavimentação. Os experimentos foram realizados, visando utilizar a cinza como uma adição no uso de solo cimento, diminuindo de forma parcial o consumo de cimento Portland, para aplicação em pavimentação rodoviária como base e sub base para baixo volume de tráfego. Foram realizados ensaios de caracterização de solo, ensaios de compactação, umidade higroscópica e ensaio de Índice de Suporte Califórnia. Apresentando, para este último, resultados satisfatórios.

## PALAVRAS-CHAVE

Estabilização. Cinza do Bagaço da cana-de-açúcar. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

This paper suggests a sustainable way to reuse sugarcane bagasse ash in road paving. The experiments were carried out with the objective of using the ash as an addition in the use of cement soil partially reducing the consumption of Portland cement, for application in road paving as base and sub base for low traffic volume. The following tests were performed: soil characterization, compaction, hygroscopic moisture and California Support Index. This one presented satisfactory results.

## **KEYWORDS**

Stabilization. Sugarcane Bagasse Ash. Sustainability.

## **RESUMEN**

Este artículo sugiere una forma sostenible de reutilizar las cenizas de bagazo de caña de azúcar en la pavimentación de carreteras. Los experimentos se llevaron a cabo con el objetivo de utilizar la ceniza como una adición en el uso de suelo de cemento, reduciendo parcialmente el consumo de cemento Portland, para su aplicación en pavimentación de carreteras como base y subbase para bajo volumen de tráfico. Se realizaron las siguientes pruebas: caracterización del suelo, compactación, humedad higroscópica e índice de soporte de California. Este presentó resultados satisfactorios.

## **PALABRAS CLAVE**

Estabilización. Ceniza de bagazo de caña de azúcar. Sostenibilidad.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil lidera o setor de biocombustíveis e está entre os maiores produtores globais de açúcar, sendo assim as empresas sucroalcooleiras têm grandes demandas. Sabemos que o principal material usado para fabricação de álcool e açúcar é a cana-de-açúcar, a qual durante a produção o bagaço é queimado e se torna um resíduo em forma de cinza.

Um dos maiores problemas que ocorrem em usinas é a correta destinação dos resíduos produzidos, as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), e, visando mudar essa situação, diversas pesquisas são desenvolvidas relacionadas ao uso da CBC de maneira sustentável como: no uso como fertilizante em lavouras e na matéria-prima de tintas e revestimentos.

Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), a produção de cana-de-açúcar na safra de 2017 à 2018 está prevista em cerca de 647,6 milhões de toneladas. Para economizar energia, as indústrias incineram seu bagaço, restando um total de 0,7% da massa da cana sob a forma de cinza, ou seja, o Brasil apresenta um potencial de cerca de 4,5 milhões de toneladas de cinzas por ano.

A CBC possui grande quantidade de dióxido de silício (mais de 60% de sua massa). Contém também propriedades pozolânicas na capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, formando compostos aglomerantes – silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (OLIVEIRA *et al.*, 2004 apud PAULA *et al.*, 2008).

O enfoque na viabilidade do emprego das cinzas na pavimentação e especificamente em melhoramento de solo para o pavimento se dá, conforme Barbosa *et al.* (1998), substituindo parte da porcentagem do cimento utilizado. Sendo assim, há a possibilidade de dar um destino mais adequado as cinzas desperdiçadas pelas usinas, diminuindo o custo final do projeto de pavimentação, pois ele necessitará de uma quantidade menor de cimento.

O uso da cinza está diretamente relacionado às camadas granulares de pavimentos, camadas de base e sub-base, que podem ser formadas apenas de solos, solos acrescidos (ou melhorados) por um material aglomerante e também por agregados graúdos. Estas camadas transferem as tensões recebidas do tráfego para a fundação do pavimento, o subleito.

De acordo com Lopes (2011), melhorar um solo, ou estabilizá-lo, significa dar-lhe a capacidade de suportar (e manter o suporte) às cargas e os esforços recebidos pelo tráfego aplicado sobre o pavimento, além de resistir também às ações erosivas de agentes naturais sob as condições mais adversas de sollicitação consideradas no projeto.

Entre os processos de melhoramento (ou estabilização) de solos está a estabilização química na qual é feita a adição de pequenas quantidades de ligantes. Dentre os ligantes mais utilizados estão: o Cimento Portland, Cal, Pozolanas, materiais betuminosos, resinas, dentre outros. Quando o ligante utilizado diretamente ao solo é o Cimento Portland, denomina-se de solo-cimento. Logo em seguida a mistura é aplicada no local do pavimento, de acordo com a espessura determinada em projeto e é compactada (estabilização mecânica), aumentando sua resistência ao cisalhamento.

Dentro da construção civil o uso de cinzas como material pozolânico no melhoramento de solos é recente. Outros materiais “não convencionais” são utilizados corriqueiramente em estu-

dos para camadas granulares de pavimentos como a cinza da casca de arroz, a cinza de carvão mineral e a escória de alto forno.

Portanto, este trabalho visa utilizar a cinza na substituição parcial dos teores de Cimento Portland utilizado no melhoramento de camadas granulares de pavimentação rodoviária, com o objetivo de diminuir o custo da obra, além de dar uma destinação adequada, ou ambientalmente correta, com o reaproveitamento dos resíduos obtidos junto às usinas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Na realização deste estudo foram utilizados 120 kg de solo obtidos em um depósito de areia e cascalho situado no município de Pimenta Bueno, Rondônia, os quais ficaram expostos ao ar por 48 horas para secagem do material (perda da umidade adquirida decorrente do armazenamento anterior). As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), no estado seco, foram obtidas junto a Usina Boa Esperança de Açúcar e Álcool, localizada no município de Santa Luzia D'Oeste, Rondônia. O Cimento Portland utilizado foi do tipo CPII – 32.

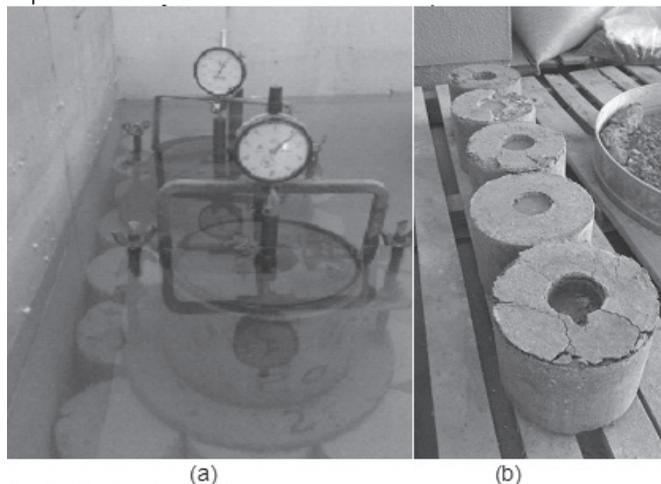
Foram analisadas amostras de solo no estado natural, de solo-cimento (solo com 8% de Cimento Portland) e de solo com cimento parcialmente substituído por CBC em 3 proporções distintas, sendo elas: 25%, 33,33% e 50%, relativas a massa de cimento.

Após a secagem natural do solo, foi realizado o ensaio para a determinação da umidade higroscópica de acordo com NBR 6457 (ABNT, 2016a). Para sua caracterização foram realizados os seguintes ensaios: Análise granulométrica seguindo a norma ME 051 (DNER, 1994a); Limites de Atterberg – Limite de liquidez pela ME 122 (DNER, 1994c), Limite de plasticidade pela ME 082 (DNER, 1994b) e a partir destes dois obter o chamado Índice de Plasticidade. O solo foi classificado conforme a classificação de *Highway Research Board* (HRB) adotada pela Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes (AASHTO), descrita pela norma americana D 3282-15 (ASTM, 2015).

Foi determinado, sabendo que é necessário compactar um solo para reduzir a infiltração da água (contração, dilatação e para aumentar a capacidade da resistência do solo) o teor de umidade ótima para todas as amostras por meio do ensaio de compactação (NBR 7182 – ABNT, 2016b). A partir deste foi possível moldar corpos de prova para as amostras e assim determinar sua resistência, foram realizados os ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

E, seguindo a NBR 9895 (ABNT, 2016c), observando assim se atendem as determinações da norma ES 141 (DNIT, 2010b) para camadas de base e da norma ES 139 (DNIT, 2010a) para camadas de sub-base de pavimentos. Durante os processos realizados para este ensaio foi possível medir a expansão das amostras, o que pode ser observado nas Figuras 1 (a). Na Figura 1 (b) é possível observar os corpos de prova após serem ensaiados.

**Figura 1** – Corpos de prova: (a) submersos em água para medição da expansão; (b) após a realização do ensaio de Índice Suporte Califórnia



Fonte: Dados da pesquisa.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil das Faculdades Integradas de Cacoal. Após, foi realizada uma análise detalhada dos resultados, comparando a existência ou não de possíveis benefícios causados pela adição da cinza do bagaço de cana. Podendo-se indicar qual será a melhor alternativa entre as estudadas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

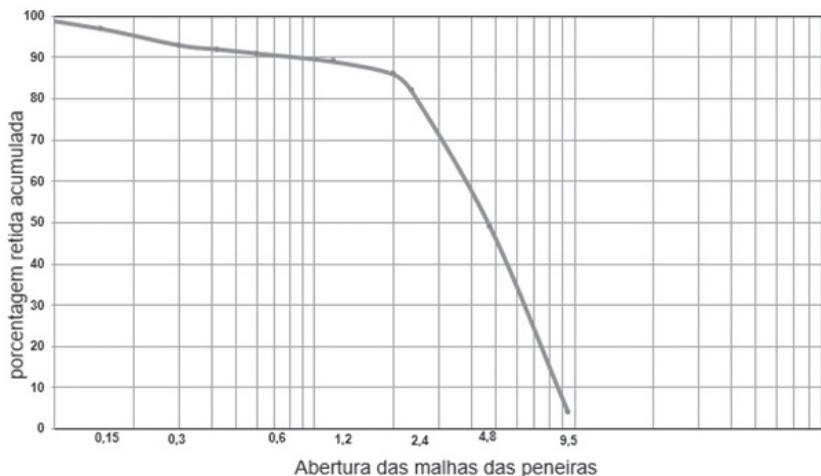
### 3.1 UMIDADE HIGROSCÓPICA

A umidade higroscópica foi determinada a partir de secagem de amostras em estufa, obtendo-se o valor de 5,8%. Podendo-se afirmar que o solo retém (ou absorve) uma quantidade considerável de água.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

#### 3.2.1 GRANULOMETRIA

Para determinar a granulometria utilizou-se o método de peneiramento fino e grosso conforme. A partir das informações obtidas foi possível determinar a curva de distribuição do tamanho das partículas (FIGURA 2) e classificar o solo, por meio das tabelas da classificação HRB adotada pela AASHTO, como A-7, ou seja, um solo argiloso pela grande quantidade de finos existentes no material.

**Figura 2** – Curva de distribuição do tamanho das partículas

Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.2.2 LIMITES DE ATTERBERG

Na Tabela 1, tem-se resumidamente os resultados obtidos para os Limites de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP) do solo no estado no estado natural:

Tabela 1 – Valores obtidos para os Limites de Atterberg

Limites Físicos	Solo Natural
Limite de Liquidez	48,00 %
Limite de Plasticidade	36,16 %
Índice de Plasticidade	17,84 %

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados obtidos e os comparando com parâmetros para uso de solos em bases de pavimentos, definidos pelo DNIT (2006), pode-se observar que este solo, em seu estado puro, não se aplica para este uso, visto que seu LL está acima de 25% e IP acima de 6%.

### 3.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

O ensaio foi realizado com energia Proctor em nível intermediário em cada uma de suas 5 camadas. Obteve-se uma curva para cada uma das amostras: solo puro, solo cimento, solo cimento + 25% de cinza, solo cimento + 35% de cinza e solo cimento + 50% de cinza (percentagens de cinza em rela-

ção ao cimento). A partir destas curvas obtiveram-se os teores de umidade ótima para cada (TABELA 2), que é a umidade que proporciona o menor número de vazios na compactação do material, para os corpos de prova e na execução in loco.

Tabela 2 – Teores de umidade ótima das amostras

<b>Amostras</b>	<b>Umidade Ótima (%)</b>
SOLO PURO	22,0
SOLO CIMENTO (0%* CBC)	27,6
SOLO CIMENTO + 25%* CBC	25,0
SOLO CIMENTO + 35%* CBC	27,0
SOLO CIMENTO + 50%* CBC	27,6

\*Porcentagem em relação à massa de 8% de Cimento Portland.

Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.4 DETERMINAÇÃO DA EXPANSÃO E DO ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

Foi possível, utilizando os valores do teor de umidade ótima, moldar os corpos de prova, usando também a energia Proctor intermediária, para cada uma das amostras.

Os valores para a expansão obtida para cada amostra podem ser observados na Tabela 3. Pode-se afirmar que, de acordo com a ES 141 (DNIT, 2010b), apenas o solo com adição de 50% de CBC pode ser utilizado para uso em bases de pavimentos, visto que este índice deve ser menor ou igual a 0,5%. E de acordo com a ES 139 (DNIT, 2010a) em relação ao uso dos solos como sub-bases, todos atenderiam a norma, visto que possuem índices menores que 1%. Os valores obtidos para o ISC também podem ser observados na mesma tabela.

Tabela 3 – Teores obtidos para a Expansão e o ISC para todas as amostras estudadas

<b>Amostras</b>	<b>Expansão (%)</b>	<b>ISC (%)</b>
SOLO PURO	0,53	13,0
SOLO CIMENTO (0%* CBC)	0,68	69,0
SOLO CIMENTO + 25%* CBC	0,76	64,0
SOLO CIMENTO + 35%* CBC	1,02	60,0
SOLO CIMENTO + 50%* CBC	0,42	53,0

\*Porcentagem em relação à massa de 8% de Cimento Portland.

Fonte: Dados da pesquisa.

O Ensaio Índice Suporte Califórnia mostrou que apenas o solo puro não poderia ser utilizado em camadas de base, pois de acordo com a norma, um solo precisa obter  $ISC \geq 40$  para uso em bases (em casos específicos como falta de material na região que seja capaz de suportar os esforços). No caso de sub-bases o solo precisaria obter  $ISC \geq 20$ , portanto de acordo com a Tabela 3, apenas o solo puro não seria recomendado considerando este parâmetro.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar apresentou resultado satisfatório como material de substituição parcial do cimento com uso na pavimentação rodoviária por se comportar como um material pozolânico.

Observa-se, também, que as amostras com CBC apresentaram uma expansão relativamente menor, na comparação com a amostras de solo puro e solo-cimento.

A amostra de solo-cimento, com substituição de 50% de CBC foi a única que atenderia ao uso como material em bases, já as amostras de solo cimento e de solo com adição de 25% e 50% de CBC atenderiam ao uso como sub-bases em pavimentos rodoviários de baixo volume de tráfego, de acordo com os parâmetros de expansão e ISC exigidos nas normas já citadas. Podendo-se recomendá-las para estas finalidades, baseado nestes parâmetros.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016c.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **D3282-15**: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

BARBOSA, M.F.; LIMA, E.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Estudo de argamassas com adições de cinza de casca de arroz e cinza de cana-de-açúcar. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**, Florianópolis, 1998.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira:** Cana-de-açúcar – Safra 2017/2018. Brasília: Conab, v. 4, n.1, 2017.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **ME-051:** Solos - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1994a.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **ME-082:** Solos - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994b.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **ME-122:** solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 1994c.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **ES-139:** Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Brasília, 2010a.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **ES-141:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Brasília, 2010b.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação.** Rio de Janeiro: IPR, 3. ed., 2006.

LOPES, L. S. E. **Análise do comportamento mecânico e ambiental de misturas solo-cinzas de carvão mineral para camadas de base de pavimentos.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, 2011.

PAULA, M. O de; TINÔCO, I. de. F. F.; RODRIGUES, C. de. S; SILVA, E. N. da; SOUZA, C. de. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande: UAEA/UFCG, 2008.

---

**Recebido em:** 23 de Maio de 2019

**Avaliado em:** 30 de Maio de 2019

**Aceito em:** 10 de Agosto de 2019

---



A autenticidade desse artigo pode ser conferida no site <https://periodicos.set.edu.br>

---

1 Graduada em Engenharia Civil pelas Faculdades Integradas de Cacoal – UNESC – Rondônia, Cacoal – Rondônia. Email: anaamarals@icloud.com

2 Graduando em Engenharia Civil pelas Faculdades Integradas de Cacoal – UNESC – Rondônia, Cacoal – Rondônia. Email: tj.moraes\_pb@hotmail.com

3 Doutorando em Engenharia Civil pela UFRGS, Porto Alegre – Rio Grande do Sul; Mestre e Bacharel em Engenharia Civil pela UFS, São Cristóvão – Sergipe.  
Email: prof.lucas@yahoo.com



Este artigo é licenciado na modalidade acesso abertosob a Atribuição-Compartilha Igual CC BY-SA

