

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DAS CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM MISTURAS DE SOLO CIMENTO PARA CAMADAS DE PAVIMENTO

Mariana de Jesus Siqueira
Deise Dias do Nascimento Machado
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

RESUMO

O descarte incorreto das cinzas do bagaço da cana de açúcar - CBC oriundas das usinas sucroalcooleiras é um fato a se preocupar, devido aos metais pesados contidos nesse material, podendo contaminar o solo e aquíferos. Esta pesquisa analisa a viabilidade na adição das CBC, em obras de estabilização química de solos com cimento para camadas de pavimento. Inicialmente foram executados ensaios de caracterização das cinzas, dosagens de misturas de solo in natura, solo-cimento e solo-cinza-cimento e sequencialmente realizou-se os ensaios de Mini-Proctor e Resistência a Compressão Simples - RCS. Concluiu-se que a introdução de CBC em misturas de solo-cimento para pavimentação é viável, pois a mistura de solo-cinza-cimento com teores de cimento e cinza 7% e 16%, respectivamente, obtiveram os melhores resultados de RCS quando comparados às demais composições, atingindo a resistência mínima especificada pelo DNIT para camadas de base de pavimentos com solo cimento.

ABSTRACT

The incorrect ashes disposal of sugar cane bagasse - SCA originated from the alcohol and sugar industry is a fact to worry, due to heavy metals contained in the material, which can contaminate soil and aquifers. This research analyses the viability of adding SCA in constructions of chemical stabilization of soil with cement for pavement layers. First ashes characterization trials were made, dosages of raw soil mixtures, cement-soil and soil-ash-cement and finally Mini-Proctor and resistance to simple compression - RSC trials were made. From that it was concluded that the mixture of soil-ash-cement with composition of cement and ash 7% and 16%, respectively, reached the best RSC results when compared to the remaining compositions, reaching the minimum resistance specified by DNIT for layer based pavements with cement soil.

1. INTRODUÇÃO

A análise da caracterização química e física do solo se torna imprescindível por ser um material extremamente complexo e oscilante, não suprimindo todos os requisitos necessários para aplicação na Construção Civil (Vizcarra, 2010). Uma das técnicas mais utilizadas para viabilizar a execução de pavimentos sobre solos com baixa capacidade de suporte é a estabilização química feita com cimento, objetivando garantir a melhora das propriedades dos solos finos como o latossolo. Freiras (2005) ressalta que neste procedimento podem ser empregadas cinzas, que ao reagirem quimicamente com o aglomerante oferecem maior velocidade de hidratação, maior consumo de hidróxido de cálcio e melhor distribuição dos tamanhos dos poros, parâmetros estes, que influenciam positivamente a durabilidade e aumento da resistência da mistura. A busca por diferentes alternativas que assegurem custos reduzidos e a preservação do meio ambiente vem em constante crescimento na construção civil. Dentro deste contexto, destacam-se os estudos relacionados à utilização de cinzas residuais da agroindústria.

Em meados da década de 70, visando a substituição dos derivados de petróleo, devido sua instabilidade econômica e escassez, foi desenvolvido o Proálcool – Programa Nacional do Álcool pelo decreto nº76593 que trouxe um papel de evidência para o cultivo de cana no Brasil. Além dos principais insumos, o processo produtivo final das usinas sucroalcooleiras gera a CBC - cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (Paula, 2006). A produção de CBC consiste em cerca de 10% do total de bagaço queimado, que por sua vez, é equivalente a 25 kg a cada tonelada de cana. Analisando os dados obtidos pela CONAB (2017), onde consta que a safra de 2016/2017 obteve cerca de 657,18 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, pode-se

estimar que a produção de cinzas de cana-de-açúcar deste período foi de 1.642.500 toneladas.

O destino desse material é um problema recorrente que os administradores das usinas enfrentam. Normalmente, as cinzas são dispostas nos solos dos canaviais como adubo, mesmo tendo em vista que tal resíduo seja pobre em nutrientes, além de conter em sua composição metais pesados, podendo contaminar os lençóis freáticos, a própria plantação e até mesmo afetar o rendimento industrial (Castro e Martins, 2016). Dentro deste contexto, o presente estudo busca contribuir com a compreensão do comportamento da mistura de solo, CBC e cimento, analisando a viabilidade da utilização desta mistura em obras de pavimentação rodoviária, sobretudo, almeja-se encontrar um destino mais digno a este resíduo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A estrutura de um pavimento tem como função receber e transmitir os esforços solicitados, fazendo com que as camadas mais inferiores, normalmente mais frágeis, não sejam atingidas (Balbo, 2007). Essa estrutura pode ser composta por camadas de solo in natura ou estabilizados mecanicamente, granulometricamente e/ou quimicamente, tendo a condição indispensável de atender especificações técnicas estabelecidas pelos órgãos consultadores, além de análises mecanicistas na compatibilização de camadas.

A estabilização química consiste na adição de substâncias químicas capazes de reagirem com as partículas de minerais e de água presentes no solo. O propósito desse procedimento é obter melhoria na resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade do solo (Vizcarra, 2010). Normalmente, a estabilização química é muito utilizada na construção de pavimentos rodoviários, pois além de poupar a utilização de agregados naturais, permite a utilização de solos que não seriam adequados para a constituição de bases e sub-bases de pavimentos. No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP iniciou a utilização de solo-cimento na construção da estrada Caxambu-Areias e das pistas de circulação do aeroporto Santos Dumont em 1940 (Oliveira, 2011).

Cruz (2004) disserta que para melhorar as propriedades destas misturas podem ser adicionados materiais, como a cal, cloreto de cálcio, outro solo e alguns sais de sódio. Por sua vez, Pereira (2012) evidencia, sobretudo, as adições de pozolanas que são bastante usuais no concreto por possuírem benefícios de âmbito econômico, ecológicos e para a engenharia. Acima de tudo, a adição deste tipo de material ao cimento traz benefícios ecológicos por permitir encontrar um destino correto aos resíduos, que geralmente são dispostos de forma errônea em aterros, acarretando contaminação de solos e lençóis freáticos (Pereira, 2012).

A geração de bioenergia se consolidou como terceiro produto gerado nas indústrias sucroalcooleiras, pois proporcionou às usinas autossuficiência energética, e ainda abriu portas ao comércio de energia excedente (Campos, 2014). A incineração do bagaço de cana-de-açúcar gera como subproduto a CBC – resíduo composto por sílica, álcalis, traços de óxido de ferro, alumínio, cálcio e magnésio (Paula, 2006). A deficiente gestão de resíduos que acontece no Brasil proporciona um prejuízo de escala social, econômica e ambiental e contribui significativamente com o descarte inadequado das cinzas constituídas pelas agroindústrias. Visando isto, é elementar a busca por novas tecnologias capazes de reutilizar os resíduos gerados pelas agroindústrias.

Preocupados com os impactos gerados pela extração de areia natural, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de encontrar materiais capazes de serem substitutos desse agregado. Em seu trabalho, Martins e Altoé (2015) comprovaram que os *pavers* fabricados com a substituição parcial de agregados miúdos por CBC possuem resistência à compressão, absorção e abrasão melhores do que os fabricados convencionalmente. O Cimento Portland constantemente aparece como um dos maiores custos dentro do orçamento de obras da construção civil. Por conta disso, Amaral (2014) executou estudos para comprovar o potencial da CBC como material de substituição parcial do Cimento Portland para a incorporação em tijolos de solo-cimento.

Sanbonsuge *et al* (2017) em sua pesquisa de avaliação das propriedades mecânicas de solo cimento, verificaram um ganho de rigidez nos primeiros 7 dias de cura, em que foram atingidos valores de 70% da resistência aos 28 dias. Observaram também que os maiores valores de RCS estão no ramo seco da curva de Proctor, atribuindo este fato a tensão de sucção e ao maior atrito entre as partículas no ramo seco, no ramo úmido ocorre um menor atrito devido a lubrificação da água neste ramo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

O solo utilizado nos estudos – Figura 01 (a), é proveniente da Avenida União dos Ferroviários, região de Jundiaí.

O cimento utilizado para a composição das diferentes misturas aqui apresentadas foi o CP II Z – Cimento Portland composto com pozolana.

Já as amostras da CBC foram coletadas de duas usinas diferentes. A CBC 01 foi disponibilizada pela Usina Iracema (Grupo São Martinho) situada na cidade de Iracemápolis - São Paulo e a amostra CBC 02 foi disponibilizada pela Usina Pitangueiras, localizada na Estrada Vicinal Possidônio de Andrade Neto – Fazenda Santa Rita. Por conta do período de estiagem que as usinas passam entre os meses de dezembro/março, a Usina Iracema não possuía amostras de CBC, sugerindo então, amostras de bagaço de cana-de-açúcar para serem incineradas em laboratório. Utilizando uma mufla, foram feitas as queimas para a obtenção da CBC 01 (para tornar o bagaço de cana-de-açúcar em cinzas). A amostra CBC 02 foi recebida em laboratório já após o processo de queima. Para a uniformização da temperatura de queima e eliminação dos resquícios de matéria orgânica que o material ainda possuía esta cinza também passou pelo mesmo processo de queima igualmente a CBC 01. Após o processo, foi feito o peneiramento das amostras na peneira nº16 (Série normal) – abertura de 1,19 mm. A Figura 01 (b) apresenta a CBC 02 (Pitangueiras) e a Figura 01 (c) apresenta a CBC 01 (Iracema).

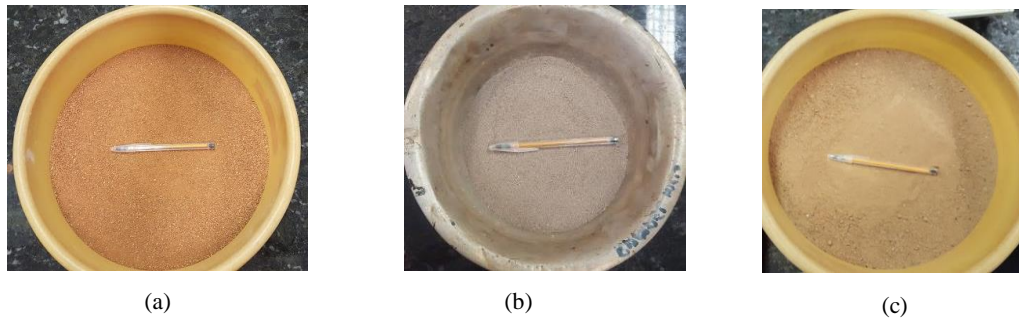


Figura 01: Materiais utilizados (a) solo; (b) CBC-Pitangueiras e (c)CBC -Iracema

3.1 Caracterização dos Materiais (solo e CBC)

3.1.1 Caracterização do solo

Foi realizado o ensaio de granulometria para obtenção da distribuição granulométrica de acordo com a NBR 6502/95 e pode ser classificado como siltoso/argiloso - Figura 02.

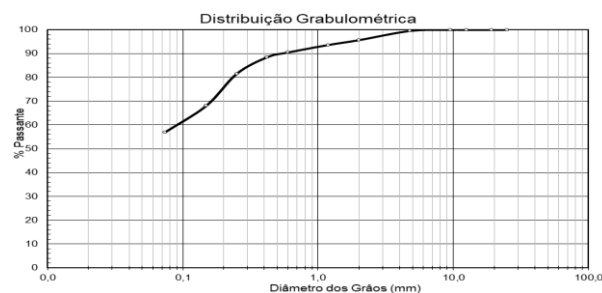


Figura 02: Distribuição granulométrica do solo utilizado.

Também foram realizados ensaios para obtenção dos índices de consistência (limites de Atterberg), CBR, classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical) e classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos - SUCS, resultados estes apresentados na Tabela 01 De acordo com a classificação de solos MCT, a amostra utilizada também se enquadra como solo siltoso/argiloso não laterítico.

Tabela 01:Resumo das Características Físicas do Solo

Ensaio	Resultado
LL (%)	35
LP (%)	27
IP (%)	8
Passante na Peneira # 0,42mm (%)	88
Passante na Peneira # 0,075 (%)	57
CBR	11%
Classificação SUCS	CL
Classificação MCT	NS'-NG'

3.1.2 Caracterização das cinzas

- Determinação de Massa Específica Real

Para a determinação da massa específica real das CBC utilizou-se o método estabelecido pela norma DNER-ME 085/94 e NM 23 NBR 6474/2001 – Material finamente pulverizado - Determinação de massa específica real.

No ensaio de determinação de massa específica das CBC 01 (Iracema) e CBC 02 (Pitangueiras) foram de 2,249 kg/dm³ e 2,789kg/dm³, respectivamente – teores próximos aos constatados em algumas bibliografias, como no estudo de Bessa (2011) onde foram obtidos teores de 2,23 kg/dm³ a 2,65 kg/dm³.

- Composição Química e Granulometria

A composição química das amostras de CBC foram obtidas por meio de análise feita em um Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva da marca S2 Ranger. O ensaio foi feito no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

A Tabela 02 demonstra os resultados alcançados no ensaio de Fluorescência de Raios X, onde observou-se um alto teor de sílica em ambas as amostras de CBC. Existe uma significativa diferença entre as cinzas nos teores dos elementos encontrados por serem de regiões diferentes e pela forma de calcinação que cada uma foi submetida – CBC 01 (Iracema) em laboratório e CBC 02 (Pitangueiras) em caldeira. A CBC 01 (Iracema) apresentou mais que o dobro de cal que a CBC 02 (Pitangueiras), elemento que influencia bastante na diminuição de sua massa específica, contrapondo a CBC 02 (Pitangueiras) que possui 34,3% mais sílica, composto que aumentando sua massa específica.

Tabela 02: Resultado da análise química por Fluorescência de Raios X.

Elementos	CBC 01 (Iracema)	CBC 02 (Pitangueiras)
<i>SiO₂</i>	54,6	73,3
<i>Al₂O₃</i>	14,8	4,86
<i>Fe₂O₃</i>	12	8,63
<i>CaO</i>	4,3	2,04
<i>TiO₂</i>	2,89	4,9
<i>SO₃</i>	2,81	0,431
<i>MgO</i>	2,56	2,13
<i>K₂O</i>	2,55	2,07
<i>P₂O₅</i>	1,69	0,804
<i>Na₂O</i>	0,892	-
<i>ZnO</i>	0,232	0,106
<i>MnO</i>	0,181	0,152
<i>ZrO₂</i>	0,119	0,217

Decorrente ao ensaio de determinação de tamanho e morfologia das partículas da CBC 02 (Pitangueiras) com o *Camsizer* obtiveram-se os resultados presentes na Figura 03, permitindo classificá-la como areia média de acordo a NBR 6502/95, pois mais de 95% de sua

granulometria possui diâmetro entre 0,42 e 2,0mm.

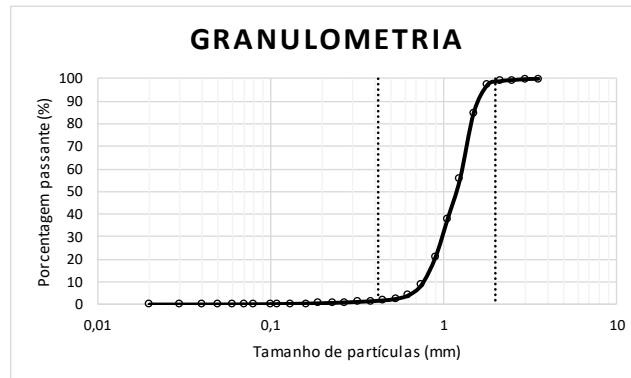


Figura 03: Análise granulométrica CBC 02 (Pitangueiras)

Além da distribuição granulométrica, o *Camsizer* demonstra também o formato das partículas da amostra fazendo uma relação entre o menor e o maior diâmetro da partícula. Os valores próximos de 1 indicam um formato mais esférico, ou seja, quanto mais se distancia deste valor unitário, mais se afasta do formato esférico - Figura 04 (a). A análise da forma das partículas da CBC 02 (Pitangueiras), conforme mostra a Figura 04 (b), resultou uma concentração entre os teores de 0,5 e 0,7, valores que indicam que as partículas são mais lamelares.

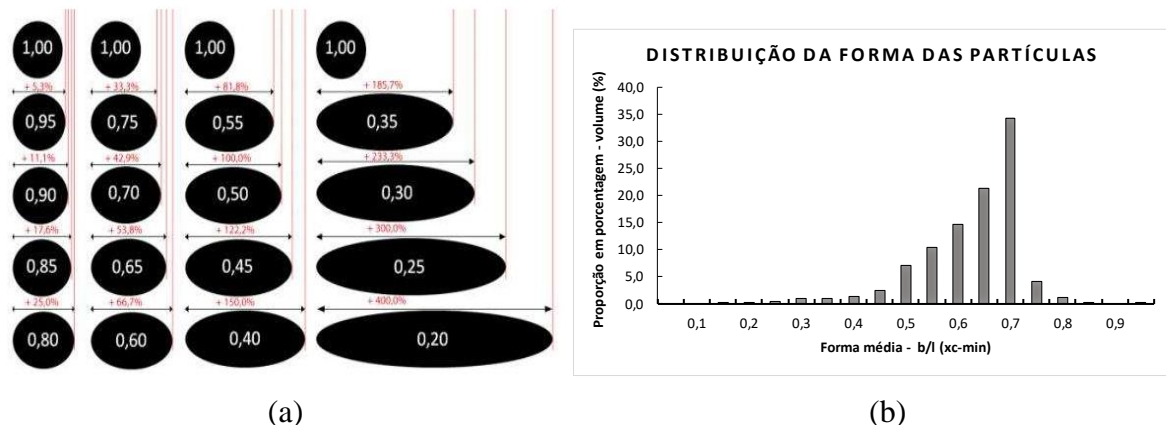


Figura 04: (a) Relação entre o menor e o maior diâmetro da partícula. (b) Distribuição da forma das partículas.

3.2 Metodologia de Ensaios

Com a finalidade em analisar o comportamento e evolução das misturas Solo-Cinza e Solo-Cinza-Cimento, foram determinadas matrizes experimentais contidas na Tabela 03. Após as análises iniciais dos resultados de Mini-Proctor feitas com o Solo in natura, Solo-Cinza Iracema e Solo-Cinza Pitangueiras, verificou-se que a adição de Cinza-Iracema (CBC 01) diminuiu a MEAS – Massa Específica Aparente Seca do solo natural, já a incorporação de Cinza-Pitangueiras apresentou valores superiores aos resultados da condição natural do solo, indicando uma contribuição satisfatória entre esses dois materiais.

Partindo desta análise, a Cinza-Pitangueiras foi escolhida para execução dos ensaios de Solo-Cinza-Cimento. Ademais, outro motivo que levou a escolha da Cinza-Pitangueiras foi a quantidade de material disponível para a realização dos ensaios, pois para uma maior padronização da pesquisa era imprescindível manter os estudos com a Cinza analisada inicialmente para não ocasionar uma variação de material.

Tabela 03: Matriz experimental

PROGRAMAÇÃO EXPERIMENTAL						
Classificação	Mistura	Descrição	Solo (%)	CBC 01 (%)	CBC 02 (%)	Cimento (%)
Solo In Natura	I	Solo in Natura	100	-	-	-
	II	Solo Cinza - Iracema	84	16	-	-
	III	Solo Cinza - Pitangueiras	84	-	16	-
	IV	Solo Cinza - Pitangueiras	90	-	10	-
Solo Cimento	V	Solo Cimento Portland 5%	95	-	-	5
	VI	Solo Cimento Portland 7%	93	-	-	7
Solo Cinza Cimento	VII	Solo Cinza Cimento (10% Cinza e 5% Cimento)	85	-	10	5
	VIII	Solo Cinza Cimento (10% Cinza e 7% Cimento)	83	-	10	7
	VIX	Solo Cinza Cimento (16% Cinza e 5% Cimento)	79	-	16	5
	X	Solo Cinza Cimento (16% Cinza e 7% Cimento)	77	-	16	7

- Mini Proctor

A moldagem dos corpos de prova foi baseada pela norma DNIT-ME 228/94 – Solos: Compactação em equipamento miniatura. As misturas I, II, III e IV tiveram tempo de cura de 7 dias e para melhor percepção das mudanças de propriedade nas demais misturas os períodos de cura foram de 7 e 28 dias.

- Resistência à compressão simples - RCS

O ensaio de RCS foi executado com a força normal conforme a NBR 12025/12 com o objetivo de avaliar o comportamento da mistura e analisar se ela pode ser aplicada como material de camadas de pavimento. O DER-SP-DE-P00/004 (2006) determina que a resistência mínima que a mistura solo-cimento deve obter é de 2,1 Mpa aos 7 dias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das propriedades das misturas

4.1.1 Solo in natura e Solo Cinza

Como já mencionado anteriormente, os elementos contidos nas CBC influenciam muito em seu comportamento, a respeito disso, o primeiro aspecto a ser evidenciado será - Massa Específica aparente seca - MEAS. A Figura 05 demonstra que a Mistura III apresentou o maior valor de MEAS – pois é composta por CBC 02 (Pitangueira), que contém maior teor de sílica (areia), e a Mistura II – formada por CBC 01 (Iracema), que por possuir maior presença

de cal (CaO), apresentou valores de MEAS menores quando comparados com a Mistura III.

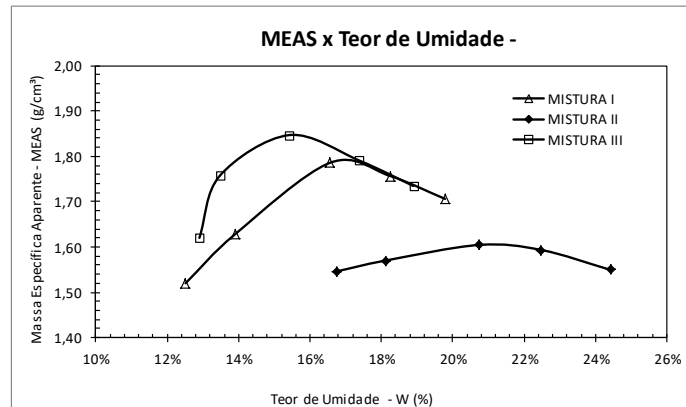


Figura 05: MEAS versus Teor de Umidade – Misturas I, II e III.

Pelos valores do ensaio de Mini-Proctor pode-se notar também que a Cinza-Iracema aumentou a umidade do solo in natura, indicando um aumento na superfície específica do material e, conseqüentemente, um maior número de vazios preenchidos por água.

No ensaio de RCS, a Mistura III apresentou a melhor resistência quando comparada ao solo in natura - Mistura I e a Mistura II, vide Figura 06. O pico de resistência, situado na umidade ótima, da Mistura III teve aumento de 26,44% em relação ao solo natural e apresentou 115% mais resistência do que a Mistura II, que por sua vez, diminuiu em 41,38% a resistência do solo natural – fato também atrelado aos compostos químicos contidos em cada uma das cinzas.

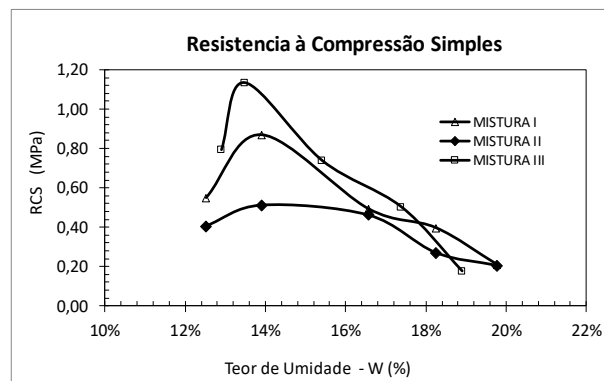


Figura 06: RCS versus Teor de Umidade – Misturas I, II e III.

4.1.1 Solo Cinza Cimento

Conforme já mencionado no item 3.2, a CBC 02 (Pitangueiras) foi escolhida para a realização dos demais ensaios pelo seu desempenho, aumentando a Massa Específica Aparente Seca - MEAS do solo (Figura 05) e por ter aumentado o pico de resistência do solo in natura (Figura 06), características estas que a CBC 01 (Iracema), ao ser incorporada ao solo, não proporcionou melhora.

- Fixação do teor de cinza e variação do teor de cimento

Neste estudo – Figura 07 (a) e (b), optou-se por fixar o teor de cinza para avaliar a mudança na adição de cimento. Pode-se observar que a Mistura VIII apresentou valores mais elevados de RCS quando comparados com a Mistura VII, a quantidade de cinza entre as misturas é a mesma, logo, o que as diferencia é a quantidade de cimento adicionado, dado igualmente observado entre as misturas IX e X. O composto com maior porcentagem de cimento apresenta melhores resultados para todas as idades, com 7 e 28 dias, o que já era intuitivo. Porém, comparando as Misturas VII, VIII, IX e X comprovamos que a adição de cinza tem uma ação positiva nas misturas.

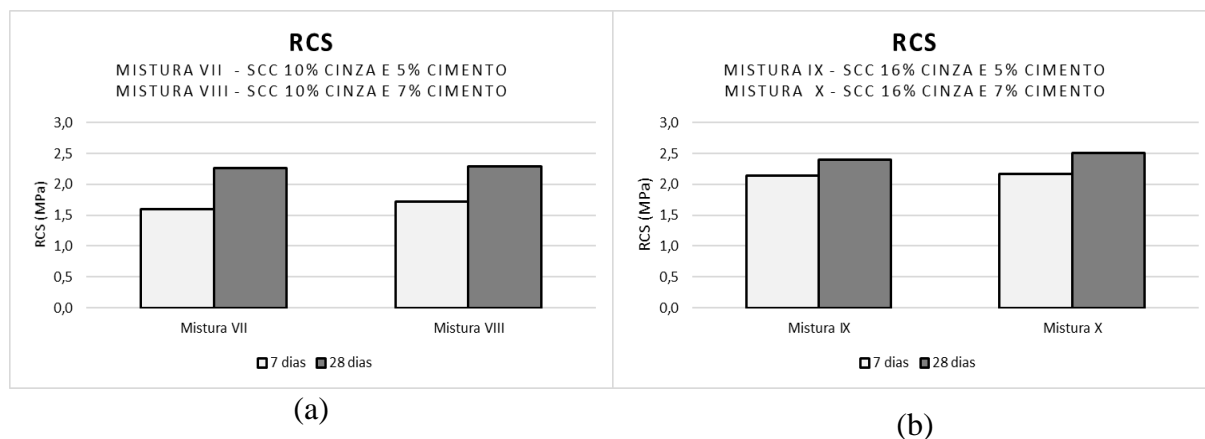


Figura 07: (a) Resistência Compressão Simples - Mistura VII e VIII. (b) Resistência à Compressão Simples – Misturas IX e X.

- Fixação do teor de cinza e variação do teor de cimento

Os gráficos contidos nas Figuras 08 (a) e (b) estão separados conforme o teor de cimento aplicado, para melhor visualização das alterações ao se adicionar CBC na mistura. Fixando tanto o teor de 5% de cimento, como o de 7% de cimento, tem-se que a Mistura IX e X são as mais resistentes visto às demais misturas, já que ambas apresentam o maior teor de cinza - 16%, dado que mostra que a introdução de cinza trouxe melhoria ao composto.

No que diz respeito ao ganho de resistência entre 7 e 28 dias, a mistura VII apresentou melhores resultados (41,25% de aumento), isto já foi evidenciado por Valenciano (2004), ao notar o ganho de resistência da mistura solo-cinza-cimento aos 60 dias, por conta da atividade pozolânica que a CBC possui ao associar-se com o cimento. A partir deste fato, pode-se observar na Figura 08 (a) e (b) que os CPs convencionais de solo-cimento – Misturas V e VI não possuem alto crescimento de resistência entre os 7 e 28 dias em visto à demais misturas de solo-cinza-cimento.

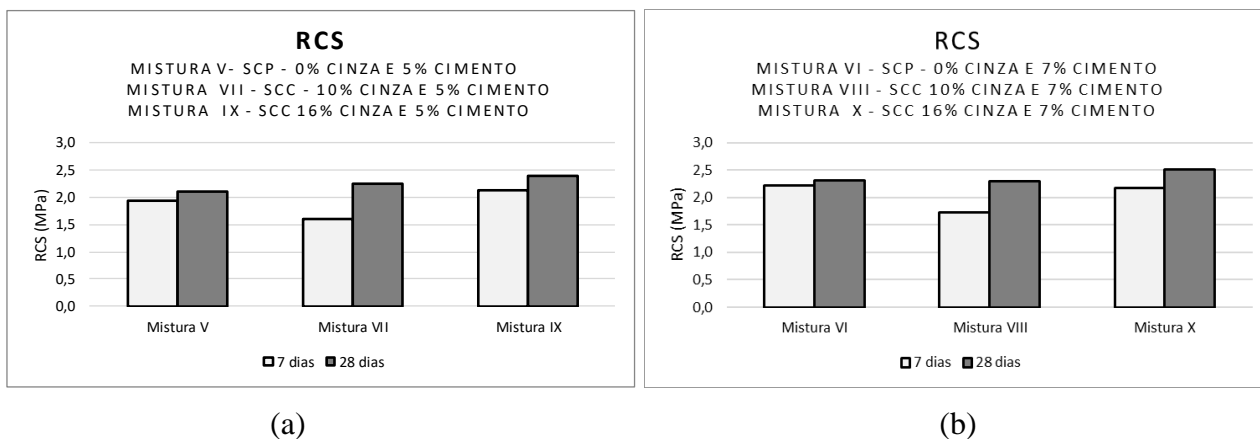


Figura 08: Resistência Compressão Simples – (a) Misturas V, VII e IX. (b) Misturas VI, VIII e X.

4.1.2 Resumo dos resultados

A Tabela 04 apresenta os resumos referente aos resultados encontrados para as diferentes misturas propostas neste estudo. A Especificação de Serviço 143/2010 – Bases de solo-cimento do DNIT, adota o valor de 2,1 MPa para a resistência à compressão aos 7 dias como o mínimo necessário para a aplicação de solo-cimento em bases de pavimentos. Consoante a esta especificação, pode-se destacar que entre as composições estudadas de Solo-Cimento e Solo-Cinza-Cimento, a única mistura compostas de 5% de cimento que atingiu valor maior do que o especificado foi a Mistura IX (5% de cimento e 16% de cinza), já com o teor de 7% as Misturas VI (7% cimento 0% cinza) e X (7% cimento e 16% cinza) obtiveram valores acima do que determina a norma.

Tabela 04: Resumos dos resultados

Classificação	Mistura	Descrição	MEAS ótimo (g/cm ²)	W ótimo (%)	RCS (MPa) 7 dias	RCS (MPa) 28 dias
Solo In Natura	I	Solo in Natura	1,8	16,6%	0,9	-
	II	Solo Cinza - Iracema	1,6	20,7%	0,5	-
Solo Cinza	III	Solo Cinza - Pitangueiras	1,8	15,4%	1,1	-
	IV	Solo cinza - Pitangueiras	1,8	15,5%	1,5	-
Solo Cimento	V	Solo Cimento Portland 5%	2,0	14,9%	1,9	2,1
	VI	Solo Cimento Portland 7%	2,0	15,1%	2,2	2,3
Solo Cinza Cimento	VII	Solo Cinza Cimento (10% Cinza e 5% Cimento)	1,7	13,6%	1,6	2,3
	VIII	Solo Cinza Cimento (10% Cinza e 7% Cimento)	1,9	13,2%	1,7	2,3
	IX	Solo Cinza Cimento (16% Cinza e 5% Cimento)	1,7	12,7%	2,1	2,3
	X	Solo Cinza Cimento (16% Cinza e 7% Cimento)	1,7	12,4%	2,2	2,5

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir com os resultados e discussões realizadas na presente pesquisa que,

avaliando o ganho de resistência, a aplicação de CBC provenientes das usinas sucroalcooleiras como aditivo mineral na produção de camadas de pavimentos estabilizadas quimicamente com solo-cimento é viável e pode contribuir na diminuição do volume de resíduos de CBC descartados em locais inadequados.

Referindo-se a norma de 143/2010 – Bases de Solo-cimento do DNIT, os estudos levaram a conclusão de que as composições que atenderam o mínimo exigido foram as Misturas VI, IX e X. Esses resultados permitiram a abertura de uma discussão de viés econômico, pois entre as misturas de solo-cimento apenas a composta com 7% de cimento atingiu o valor necessário, já no grupo solo-cinza-cimento, tanto as composições com 5% como 7% de cimento alcançaram este parâmetro, concluindo assim que a adição de CBC além de ser utilizada como aditivo mineral, pode reduzir o consumo de cimento.

É necessário enfatizar ainda que todos os resultados apresentados são correspondentes às cinzas definidas neste estudo, não sendo possível a homogeneização das análises para cinzas provenientes de outras usinas e que para uma avaliação completa sobre a implantação desse resíduo em camadas de pavimentos é necessário a realização de outros estudos, como a determinação do módulo de resiliência da mistura para uma análise mecanicista em camadas de pavimento.

Ensaio adicionais para uma melhor caracterização das CBC podem ser realizados, já que existem diferentes componentes químicos presentes, e identificar a ação pozolanidade em função do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, Mateus Carvalho (2014). *Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo dos Goytacazes.
- Balbo, José Tadeu (2007). *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Campos, Liliane Pereira (2014). *Aplicação de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar nos atributos químicos e biológicos do solo*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.
- Castro, Tainara Rigotti de; Martins, Carlos Humberto (2018). *Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para a redução de impactos ambientais*. Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa, PR.
- CONAB (2017). *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Monitoramento de cana-de-açúcar – Safra 2016/2017 quarto levantamento*, Brasília, DF.
- Cruz, Maria de Lourdes S. da (2004). *Novas Tecnologias da aplicação de Solo-Cimento*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- DNIT (2010). *143/2010. Pavimentação – Base de solo-cimento – Especificações de serviço*. Rio de Janeiro.
- Freitas, Elaine de Souza (2005). *Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, RJ.
- Martins, Carlos H.; Altoé, Silvia P.S. (2015). *Avaliação da utilização de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v.8, p.39-54.
- Oliveira, Rodrigo F. V. de (2011). *Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Paula, Marcos Oliveira de (2006). *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Pereira, Kiev Luiz de A (2012). *Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

- Proálcool (2006). *Programa Brasileiro de Álcool*. Disponível em: <www.biodieselbr.com/proalcool/proalcool/programa-etanol.htm>. Acesso em: 08 mar. 2018.
- Sanbonsuge, Kendi et al. *Efeito da umidade inicial e do tempo de cura nas propriedades mecânicas de misturas solo-cimento*. Transportes, [s.l.], v. 25, n. 4, p.68-82, 30 dez. 2017.
- Valenciano, Martha Del C. Mesa; Freire, Wesley J (2004). *Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar*. Eng. Agric., Jaboticabal, v.24, n.3, p.484-492.
- Vizcarra, Gino O. Calderón (2010). *Aplicabilidade de cinzas de resíduo sólido urbano para base de pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ.