

Influência da inclusão de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar sobre a compactação, CBR e resistência à compressão de um material de granulometria fina

O. Ojeda-Farías¹ , J. M. Mendoza-Rangel^{1*} , M. A. Baltazar-Zamora² 

* Autor de Contato: jose.mendozarn@uanl.edu.mx

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.282>

Recepção: 11/12/2017 | Aceitação: 26/03/2018 | Publicação: 30/04/2018

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar a influência da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) como uma substituição parcial do Cimento Portland Composto (CPC), a fim de melhorar as propriedades de um solo de areia granular. O teste de compactação padrão AASHTO, a resistência à compressão e a CBR foram feitas. Foi comparado o comportamento do solo natural em estudo com misturas com porcentagens de 3%, 5% e 7% de CPC como porcentagem de controle, sendo realizadas substituições parciais de CPC por CBCA em porcentagens de 0%, 25%, 50% e 100% em relação ao peso do solo seco. Os resultados mostram aprimoramentos nos recursos de compactação, CBR e resistência à compressão simples não confinada, reduzindo até 25% o consumo de CPC.

Palavras-chave: bagaço de cana de açúcar; compactação; CBR; solo; resistência à compressão.

Citar como: O. Ojeda-Farías, J.M. Mendoza-Rangel, M. A. Baltazar-Zamora (2018), “*Influência da inclusão de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar sobre a compactação, CBR e resistência à compressão de um material de granulometria fina*”, Revista ALCONPAT, 8 (2), pp. 194 - 208, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.282>

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, San Nicolás de los Garza, N.L, México.

² Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Xalapa, Veracruz, México.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo: No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2019, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2018.

Influence of sugar cane bagasse ash inclusion on compacting, CBR and unconfined compressive strength of a subgrade granular material.

ABSTRACT

The aim of the present work was study the influence of sugar cane bagasse ash (SCBA) as a partial substitution of Compound Portland Cement (PCC) in order to enhance the properties of a granular sand soil. AASHTO standard compaction test, unconfined compressive strength test, and CBR test were made, has been compared the behavior of natural soil in study and mix with percentages of 3%, 5% and 7% of PCC as a control percentage, being carried out partial substitutions of PCC by SCBA in 0%, 25%, 50% and 100% percentages with respect to dry soil weight. The results showed enhances in the compacting, CBR and unconfined compressive strength features, reducing up to 25% the consumption of PCC.

Keywords: sugar cane bagasse ash; compaction; CBR; soil; subgrade.

Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto parcial del Cemento Portland Compuesto (CPC) para mejorar las propiedades de un suelo granular arenoso. Se llevaron a cabo ensayos de compactación AASHTO estándar, resistencia a la compresión simple y CBR, comparándose el comportamiento del suelo natural en estudio y mezclado con porcentajes de 3%, 5% y 7% de cemento portland como porcentajes de control, realizándose sustituciones parciales del mismo por CBCA en porcentajes de 0%, 25%, 50% y 100% con respecto al peso del suelo en estado seco. Los resultados mostraron mejoras en el suelo en las características de compactación, resistencia a la compresión y CBR, reduciéndose hasta un 25% el consumo del CPC.

Palabras clave: ceniza de bagazo de caña de azúcar; compactación, CBR, suelos; subrasante.

1. INTRODUÇÃO

Nas obras de infraestrutura viária, os solos encontrados na área do projeto são os materiais utilizados principalmente para a construção de aterros, portanto, seu desempenho é de vital importância para uma adequada vida útil em qualquer estrutura em funcionamento. Esses solos, quando utilizados em obras de engenharia, devem atender aos requisitos de qualidade estabelecidos em normas internacionais e, caso esses requisitos não sejam atendidos, devem ser utilizados métodos de melhoria, principalmente em termos de estabilidade volumétrica e resistência (Fernández Loaiza, 1982; Jofre et al. al., 2008; Juárez & Inzunza, 2011).

A melhoria de um solo está fortemente relacionada ao processo de compactação e adição de agentes estabilizantes e influencia diretamente no controle de qualidade das camadas formadas, buscando obter estruturas de solo resistentes, econômicas e com contribuições para a sustentabilidade (Rico-Rodríguez & Del Castillo, 2006).

Do exposto acima, a adição de agentes que atuam por princípios físico-químicos tem sido uma das técnicas mais utilizadas no tratamento de solos, substâncias como cal, cimento Portland, asfalto, cinzas volantes, escória de alto forno, cinzas, arroz, entre outros, têm sido objeto de pesquisa e análise sobre sua influência em solos de diferentes classificações (Behak & Perez Nuñez, 2008;

Cristelo, Glendinning, Miranda e Oliveira, 2012; Sargent, Hughes, Rouainia, & Glendinning, 2012; Correia & Graca Rasteiro, 2016) observando aumentos na resistência e durabilidade devido aos processos físico-químicos que ocorrem nas misturas e que, além disso, no caso das pozolanas foram utilizadas com o objetivo de reduzir o consumo de cimento portland, cal e asfalto devido à alta demanda de energia e geração de CO₂ durante o processamento desses materiais.

Atualmente CBCA é um dos materiais suplementares com mais investigação como materiais suplementares de cimento portland em misturas de betões e argamassas (Moraes et al., 2015), sendo uma alternativa mais recente para o melhoramento do solo nas características físicas como confinamento, densificação e estabilidade volumétrica e química através das reacções do agente de estabilização (cimento ou cal) com água e, em casos excepcionais, com constituintes do solo (argila), principalmente quando a sua utilização como material de construção ajuda resolver os problemas de geração e de eliminação de resíduos agro-industrial, que só no México seus 57 refinarias de açúcar na colheita 2016-2017 53308643 toneladas de terra de cana de 777.078 ha colhidas, obtendo-se 15,222,471 toneladas de bagaço (CONADESUCA, 2017) uma vez calcinados torna-se cinzas cuja disposição final não é determinada. Diversos estudos relataram que a combustão do bagaço em moinhos de caldeiras gera um subproduto chamado bagaço de cana de cinzas (CBCA), com elevados teores de sílica e alumina, como óxidos principais, que sob condições apropriadas reage com hidróxido de cálcio, gerando uma atividade pozolânica (Cordeiro & Kurtis, 2017).

Esta atividade pozolânica é uma função do tamanho das partículas, conteúdo de material amorfo (aluminossilicatos), hidróxido de cálcio presente e teor de umidade adequado, alguns pesquisadores mencionam, que a cinza não consumida durante a reação pode servir como um enchimento, ocupando os espaços vazios presentes no material composto (Sing, Singh, & Rai, 2000; Cordeiro, Toledo Filho, Tavares e Fairbairn, 2008; Cordeiro, Toledo e Fairbairn, 2009; Morales, Villar Cociña, Frias, Santos, & Savastano, 2009; Arenas Piedrahita et al., 2016; Joshaghani & Amin, 2017;) e onde, em um solo dinamicamente compactado, ofereceria uma alternativa para aumentar sua estabilidade devido ao efeito selador de poros no solo compactado e uma possível reação pozolânica em idades tarde.

O objetivo deste trabalho é determinar a influência da substituição parcial do CPC pelo CBCA nas propriedades de compactação, resistência à compressão e CBR de um solo arenoso granular, a fim de melhorar suas características mecânicas e ser utilizado em uma camada estrutural de pavimento, aproveitando um resíduo agroindustrial e reduzindo os percentuais de cimento utilizados na estabilização do solo, que apesar de pequenos percentuais de adição, acabam gerando um impacto econômico e ambiental devido à crescente construção de quilômetros de estradas ao longo do mundo.

1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1.1 Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram cimento portland composto, classificado como tipo III ou CPC 30R de acordo com as normas vigentes (ASTM C150, 2017; NMX C414, 2004), com densidade de 3,11 g / cm³. Cinza de bagaço de cana de açúcar obtida na usina de açúcar Mahuixtlan, município de Coatepec, Veracruz, México. As cinzas foram amostradas em uma das caldeiras, onde a temperatura de combustão estava em torno de 700°C. Uma vez coletado e resfriado, foi submetido a um processo de moagem a 1500 rpm por 1 hora, recuperando o material através da peneira No. 200 e cuja densidade foi de 2,1 g / cm³. O tratamento de moagem foi aplicado com o objetivo de reduzir as partículas para um tamanho menor que 75 microns e, assim, aumentar sua área superficial específica, que está correlacionada com o aumento da reatividade pozolânica do CBCA, como

vários autores descreveram (Cordeiro GC, Toledo Filho, Tavares e Rego Fairbairn, 2009; Cordeiro & Kurtis, 2017).

O solo utilizado neste estudo foi obtido do banco de material de El Castillo, município da cidade de Xalapa, Veracruz, México. Amostragem, identificação, preparação de amostras e testes de qualidade foram realizados conforme estabelecido pelos procedimentos para análise e avaliação de materiais utilizados na conformação de aterros (ASTM D 2217, 1998, ASTM D 421, 2007, ASTM D 2216, 2010 ; ASTM D 698, 2012; ASTM D 4318, 2017).

1.2 Caracterização dos materiais

A composição química em óxidos da CBCA em estudo foi obtida por análise de fluorescência de raios X (FRX), além disso, as fases presentes nas cinzas foram determinadas por difração de raios-X (DRX), a morfologia e as características da superfície foram determinadas por observação por microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinando também a distribuição do tamanho de partícula (DTP) do CBCA utilizado por análise granulométrica por difração de laser, a fim de se conhecer o tamanho médio das partículas de cinzas.

1.3 Dosagem das Misturas de Solo

Para a dosagem das misturas, três porcentagens de adição de cimento Portland foram utilizadas de acordo com a classificação do material, e para solos granulares como o caso da areia utilizada neste estudo, os percentuais de adição devem ser inferiores a 10%, a fim de evitar rachaduras devido a um excesso de rigidez, conforme estabelecido por várias prescrições técnicas (Jofre et al., 2008; Juarez Gutierrez e Inzunza Ortiz, 2011). As porcentagens utilizadas foram de 3%, 5% e 7% em relação ao peso do solo seco. As substituições parciais de CPC pelo CBCA foram estabelecidas em cada percentual previamente selecionado, utilizando 0%, 25%, 50% e 100%, perfazendo um total de 12 misturas.

1.4 Características de compactação

A compactação é um processo mecânico que melhora as características de resistência dos materiais que constituem seções estruturais nas estradas, para isto uma energia de impacto é transferida por unidade de volume de solo obtendo uma curva de compactação da qual os parâmetros de massa volumétrica são extraídos. Máxima umidade seca e ideal do material. Para este trabalho, a relação entre a densidade seca máxima e a umidade ótima foi determinada em cada mistura, a fim de analisar a variação em seus valores como consequência das adições e como dados para a posterior elaboração de amostras de solo-cimento. Os testes foram realizados conforme estabelecido pelo procedimento para materiais granulares em moldes de 944 cm³, utilizando compactação dinâmica com 2,5 kg de pistão e altura de queda de 30,48 cm (ASTM D558, 2011).

1.5 Ensaios CBR

O CBR é um teste de resistência à penetração que compara a capacidade de suporte de um material em estudo com uma pedra britada graduada como referência (100% do CBR), pois esta carga é aplicada a um pistão com uma deformação de 1,3 mm por minuto registrando as cargas de 0,64 mm a 7,62 mm; Neste trabalho o valor do suporte californiano (CBR) foi determinado em cada uma das misturas descritas acima, para isso, para cada mistura foram compactados dinamicamente em moldes de aço três corpos de prova por teste até o teor ótimo de água, para posteriormente colocar as sobrecargas que estabelece a regulação e submerge-os em água por 24 h simulando as condições mais críticas, seguidas de seu teste na prensa de carregamento na velocidade de deformação descrita acima (ASTM D1883, 2016).

1.6 Resistência à compressão simples

Para avaliar a resistência à compressão de cada mistura, as amostras, ou corpos de prova, solo-cimento, solo-cimento-cinza foram preparados para um grau de compactação de cem por cento. Estes corpos de prova foram fabricados conforme indicado pelo procedimento de teste para solos estabilizados com cimento (ASTM D558, 2011), usando os valores das características de compactação obtidas anteriormente. As dimensões das amostras foram de 101,6 mm de diâmetro e 116,4 mm de altura, com uma relação de diâmetro de 1,15 mm, extraídas do molde com a ajuda de um extrator mecânico, para uma cura posterior de 7 dias sem contato direto com a água.

O ensaio dos corpos de prova foi realizado seguindo o procedimento de ensaio de resistência à compressão em amostras de solo-cimento (ASTM D1633, 2017), antes do ensaio, os corpos de prova foram imersos em água por um período de 4 horas, obtendo as condições. mais crítico, aplique a carga axialmente por uma prensa automática.

2. RESULTADOS e DISCUSSÃO

2.1 Caracterização físico-química dos materiais

A Tabela 1 apresenta a caracterização feita para o solo em estudo, mostra os parâmetros geotécnicos deste material, pode-se observar que o material predominante é areia com 89,5% passando pela malha nº 4 e 20,7% passando pelo nº. 200, e que de acordo com os resultados de plasticidade, não há intervalo entre o limite de líquido e o limite de plástico, concluindo que os finos presentes no solo são não-plásticos, ou seja, possui um material com características completamente granulares com gravidade específica de 2,0, que de acordo com o sistema unificado de classificação de solos corresponde a um SM com finos não plásticos (ASTM D 2487, 2011).

Quanto às características de compactação, com umidade de 21,7%, obtém-se uma densidade seca máxima de 1311 kg / m³, sendo que nessa densidade o valor do suporte na Califórnia é de 24% com 0% de expansão, cumprindo com as características a serem usadas na camada de subleito, conforme estabelecido pelas normas mexicanas (Rico Rodríguez, Orozco e Orozco, Telles Gutierrez, & Perez García, 1990)

Tabela 1. Características geotécnicas do solo granular arenoso em estudo

Propriedades	Resultados
Umidade Natural (%)	22.38
Passante na peneira 3" (%)	100
Passante na peneira No 4 (%)	89.50
Passante na peneira No 200 (%)	20.70
Límite de liquidez (%)	31.2
Límite Plástico (%)	N/P
Índice Plástico (%)	N/P
Densidade seca máxima (kg/m ³)	1311
Umidade Ótima (%)	21.7
Densidade	2.0
Valor Relativo de Suporte (%)	24.5
Expansão (%)	0

A Tabela 2 mostra a composição química nos óxidos do CBCA, na qual se observa que a soma dos principais óxidos (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) dá um total de 73,069%, ficando acima de 70% conforme estabelecido pela norma para pozolana e que também tem um valor de perda de ignição de 1,5% classificando-o como classe de pozolana N (ASTM C 618, 2017).

Esses resultados foram contrastados com os de diferentes investigações que utilizaram o CBCA como material suplementar do cimento Portland, obtendo consistência com vários autores (Frias, Villar, & Savastano, 2011, Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, 2007).

Tabela 2. Composição química da cinza de bagaço de cana de açúcar em estudo.

Componente	Concentração
SiO ₂	62.66
Al ₂ O ₃	5.20
Fe ₂ O ₃	5.19
TiO ₂	0.64
CaO	4.87
MgO	2.19
SO ₃	0.30
K ₂ O	13.93
Na ₂ O	0.56
P ₂ O ₅	3.36
Densidade (g/cm ³)	2.1
Ponto Ignição (%)	1.5

A Figura 1 mostra as fases presentes no CBCA por meio do padrão de difração, em que a presença de partículas amorfas é observada no halo localizado na região 2 de 10 - 40°, também se observa que a cinza é composta principalmente de tridimita, Kyanite, óxido de potássio, óxido de ferro e óxido de silício e alumínio, encontrados como materiais cristalinos. Diferentes difratogramas foram obtidos por diferentes autores, coincidindo em apontar a região descrita acima (Jagadesh, Ramachandramurthy, Murugesan, & Sarayu, 2015, Torres Rivas, Gaitán Arévalo, Espinoza Perez, & Escalante Garcia, 2014).

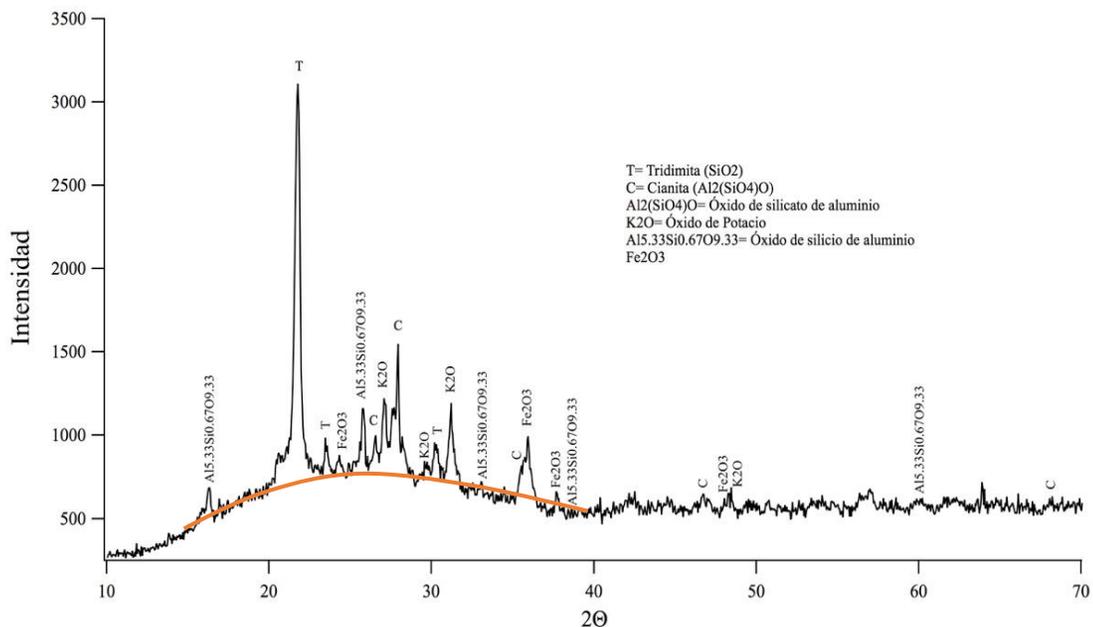


Figura 1. Resultados de DRX da cinza de bagaço de cana de açúcar em estudo.

A Figura 2 mostra a análise realizada por MEV na cinza de bagaço de cana-de-açúcar, na qual existem formas alongadas e irregulares em suas partículas componentes, pertencentes a uma mistura de tridimita (SiO_2) e partículas porosas de cinza como Na abordagem 500x, os vários tamanhos das partículas também podem ser observados, tomando a escala de 50 μm como referência na micrografia. Por outro lado, e com um foco de 800x, partículas correspondentes à tridimita podem ser vistas, com grãos menores apreciáveis, observando tamanhos variando entre 20 μm e 40 μm .

A morfologia encontrada está associada ao processo e temperatura de queima do bagaço, conforme relatado por vários pesquisadores. Adicionalmente, a distribuição do tamanho de partícula do CBCA é mostrada na mesma figura, valorizando a distribuição uniforme de tamanho do CBCA, ou seja, a cinza é composta de partículas de tamanhos de 10 μm a 200 μm , tendo um tamanho médio de 86,62 μm de acordo com a análise granulométrica por difração de laser. A simetria adequada mostrada pelas porcentagens entre tamanhos reflete a distribuição uniforme no CBCA. A morfologia e composição das partículas coincidem com várias imagens obtidas em pesquisas realizadas por outros autores (Alavez Ramirez, Montes Garcia, Martinez Reyes, Altamirano Juarez e Gochi Ponce, 2012, Jiménez Quero, Leon Martínez, Montes Garcia, Gaona Tiburcio, & Chacon Nava, 2013).

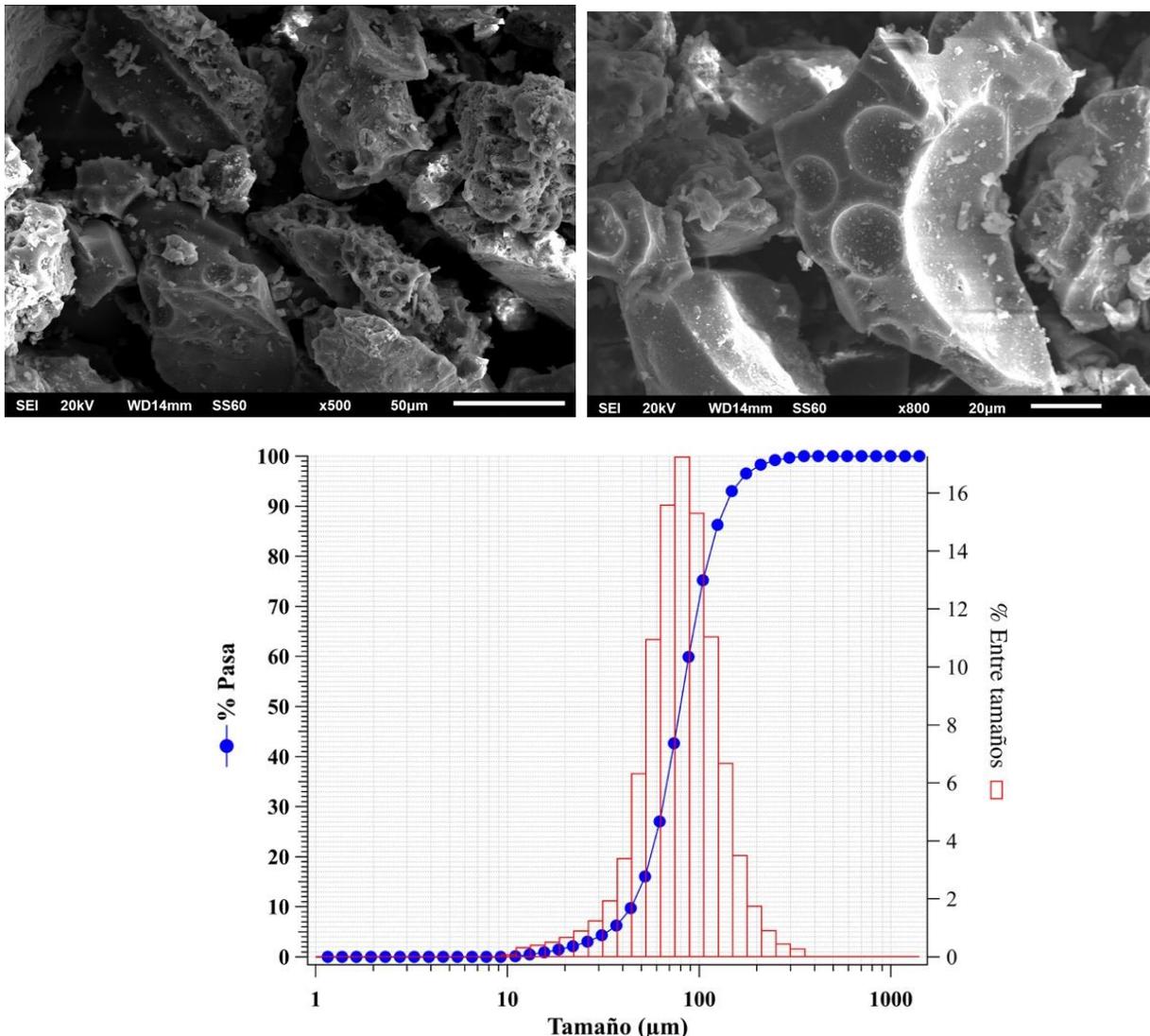


Figura 2. Microfotografías MEB e curvas de distribuição de tamanho de partículas da CBCA.

2.2 Efeitos nas características de compactação

Na Figura 3, o efeito sobre o peso máximo de volume seco (WvW), devido à adição do TPC e CBCA em 3%, 5% e 7% para baixo em estudo, de modo que o efeito também é relatada por adição observou-se a CPC-CBCA nessas mesmas percentagens (3%, 5%, 7%), mas em combinações de 75% de CPC - 25% de CBCA e 50% de CPC-50% de CBCA. Aprecia-se que, com o cimento adições WvW nenhuma variação significativa, com um valor de -0,84% com adição de 3% de CPC CPC 0,07% com 5% sem qualquer variação de 7% de adição de CPC, apresentando o mesmo solo WvW sem valor adição de 1311 kg / m³, estes resultados coincidem com os indicados na literatura (IMCYC, 2017), onde se menciona que o solo estabilizado com cimento portland, exceto em casos excepcionais, a WvW e óptima humidade compactação não mostram grande variação em relação ao chão sem a adição de cimento, sendo esta uma característica valiosa na estabilização do solo, uma vez que o efeito do cimento só irá melhorar a durabilidade e a resistência do solo.

Para o caso de solo com a adição da combinação 75% CPC-25% CBCA apresenta os maiores aumentos no MVSM, quando o solo foi adicionado 3% da referida combinação CPC-CBCA com o maior aumento de todas as misturas de solo de estudo com 2,8% atingindo um MVSM de 1348 kg / m³; Para o solo com uma combinação de 5% de 75% CPC-25% CBCA apresentou um aumento no seu MVSM de 1,22% e para o solo com 7% de 75% CPC-25% CBCA e um MVSM de 1345 kg / m³ que representa um aumento de 2,6%.

O aumento no MVSM pode ser associado a três mecanismos: 1) Uma maior compactação devido à boa distribuição das partículas e tamanho do CBCA, 2) Devido à tensão pela sucção da água nos poros, o que produz um fenômeno de adesão entre partículas por pressão negativa ou forças capilares, chamada de coesão aparente (Suarez, 2009), e 3) Uma provável reação pozolânica do produto Ca (OH) 2 da hidratação do CPC com os componentes amorfos do CBCA em idades precoces. à mudança na cinética de reação gerada pela presença de cinzas (Cordeiro & Kurtis, 2017).

Para os solos com a adição da combinação 50% CPC - 50% CBCA, foi demonstrado que com 3% da referida combinação seu MVSM teve um aumento de 2,6% associado a uma boa compactação devido às características do CBCA, quando o solo 5% da combinação de 50% CPC - 50% CBCA foi adicionado, seu MVSM diminuiu em 1,6%, e para o solo com 7% desta combinação foi apresentado o menor MVSM de todos os solos em estudo, diminuindo 3,66. %, essa diminuição no MVSM pode estar associada à exigência de menor energia de compactação para atingir seu MVSM, pois, como tem sido demonstrado em vários estudos para o caso das areias sem argila, a permeabilidade é alta o suficiente para não desenvolver pressões de poros no interior durante o processo de compactação, e onde em baixas concentrações de água se desenvolvem forças capilares que impedem a acomodação das partículas do solo obtendo uma ineficiência não permanente A compactação, e que com um aumento no teor de água, tais forças desaparecem eficientemente no processo (Rico-Rodriguez & Del Castillo, 2006).

Do exposto acima, a ineficiência de compactação é observada no conteúdo de 50% do CBCA causado pelas forças capilares, mas aumentando o teor de CBCA para 100% a quantidade de água requerida pela absorção das cinzas produz o desaparecimento das forças que eles permitem que a compactação seja eficiente, o que teria um impacto nos custos mais baixos de construção de estradas, conforme mostrado em pesquisas recentes (Muntohar & Hantoro, 2016).

Os solos com 100% de CBCA também apresentaram aumentos em seu MVSM, tendo valores de 1,3% de solo com adição de 3% de CBCA, 0,4% para o solo com adição de 5% de CBCA, finalmente o solo com um A adição de 7% de CBCA apresentou um pequeno decréscimo de 0,6% em seu MVSM, este bom desempenho no MVSM dos solos com a adição de apenas CBCA está associado a uma eficiente compactação e preenchimento de vazios devido à distribuição uniforme de partículas do CBCA. CBCA, efeito de preenchimento, que é confirmado com os resultados do CBR e sua análise correspondente.

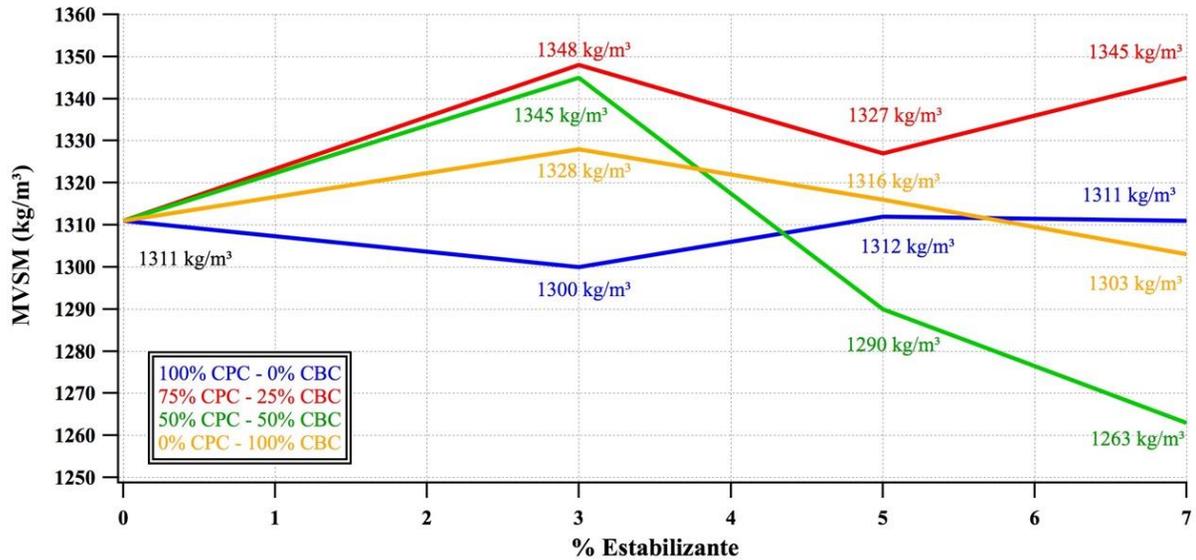


Figura 3. Efeitos da substituição parcial de CPC por CBCA sobre a densidade seca máxima do solo em estudo.

Com relação às umidades da compactação, a Figura 4 mostra a influência da adição de CPC e sua substituição pelo CBCA. Em termos gerais, as humidades nas misturas contendo CBCA aumentaram como consequência de uma maior absorção de água pelas suas partículas, observando-se o maior aumento na mistura com 50% de substituição do CPC de até 2%, o que pode estar associado ao redução da massa volumétrica seca máxima por ter água suficiente para gerar as forças capilares entre as partículas que impedem sua compactação como mostra a Figura 3. Em misturas com substituições de 25% e 100%, o aumento de umidade encontrados dentro da faixa de água que permitiu um processo de compactação adequado, a variabilidade nos resultados de umidade ótima é semelhante aos relatados por outras investigações (Onyelowe, 2012)

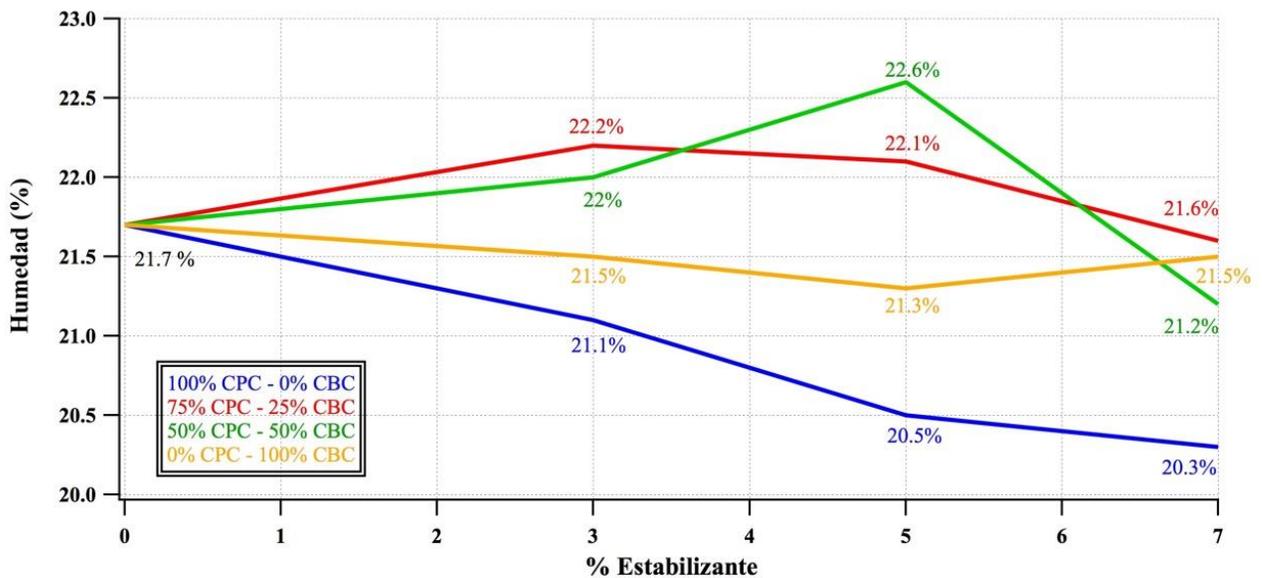


Figura 4. Efeitos da substituição parcial de CPC por CBCA sobre a umidade ótima de compactação do solo em estudo

2.3 Efeitos na resistência à compressão simples

A Figura 5 mostra o comportamento da força compressiva confinada de estudo solo adicionado, em três diferentes percentagens de PCC, CBCA, combinação de 75% de CPC-25% de CBCA, 50% por cento de CPC-50% CBCA sendo três %, 5% e 7% em relação ao peso do solo. Observa-se que o solo com a adição de PCC tem um aumento da resistência à compressão simples como a percentagem de CPC adicionado aumenta, apresentando resistências de 9,89 kg / cm², 12,78 kg / cm² e 30,85 kg / cm², para adições de três %, 5% e 7%, respectivamente, o solo, com a adição de 7% de CPC a mais elevada resistência à compressão, no entanto, o chão, com a adição da combinação de 75% de CPC-25% de CBCA foi a entrega de um melhor desempenho quando adicionado em 3% e 5%, apresentando resistência à compressão de 10,29 kg / cm² e 14,25 kg / cm², respectivamente, superiores às do solo com CPC; Para o solo com adição de 7% da combinação de 75% a 25% de CPC-CBCA exibiu uma força de 29,19 kg / cm², 1,66 kg / cm² menor que o solo com o CPC.

Para o caso do solo com a adição da combinação de 50% de CPC-50%, o CBCA apresenta com 3% da referida mistura uma resistência de 5,44 kg / cm², para a adição de 5% a resistência de 13,26 kg / cm² e de 19,69 kg / cm² para uma adição de 7%, estes solos têm um aumento linear na resistência à compressão, à medida que a adição de 3%, 5% e 7% aumenta, como pode ser visto na figura 5, finalmente Solos com adição de 100% CBCA, apresentaram menor resistência à compressão simples de todos os solos estudados, com 2,26 kg / cm² quando adicionados em 3% de CBCA, e 1,5 kg / cm² para 5% de CBCA, mostrando uma resistência muito baixa na adição de 7% CBCA, observando uma diminuição linear de acordo com o aumento no teor de CBCA, o que indica que, aumentando o teor de CBCA sem alguma quantidade de cimento, a simples resistência à compressão diminui.

Para solos estabilizados com cimento portland, a resistência à compressão depende tanto da adição de uma porcentagem de cimento quanto da energia específica fornecida ao piso por unidade de volume, observando que, se não houver cimento, a resistência é um par de unidades por centímetro quadrado, e que maiores teores de cimento são alcançados maior resistência pela rede de produtos de hidratação que forma uma estrutura, mas que a quantidade de cimento pode ser toneladas porque essa estrutura é da ordem de quilômetros. Diante do exposto, de acordo com os resultados de resistência oferecidos pela combinação de 75% CPC-25% CBCA, o consumo de cimento pode ser reduzido em até 25%, obtendo resistências semelhantes, tornando o processo de compactação mais eficiente como discutido na seção 3.2. Ao incorporar o CBCA, além de aproveitar um resíduo agroindustrial cujo armazenamento gera um problema de contaminação.

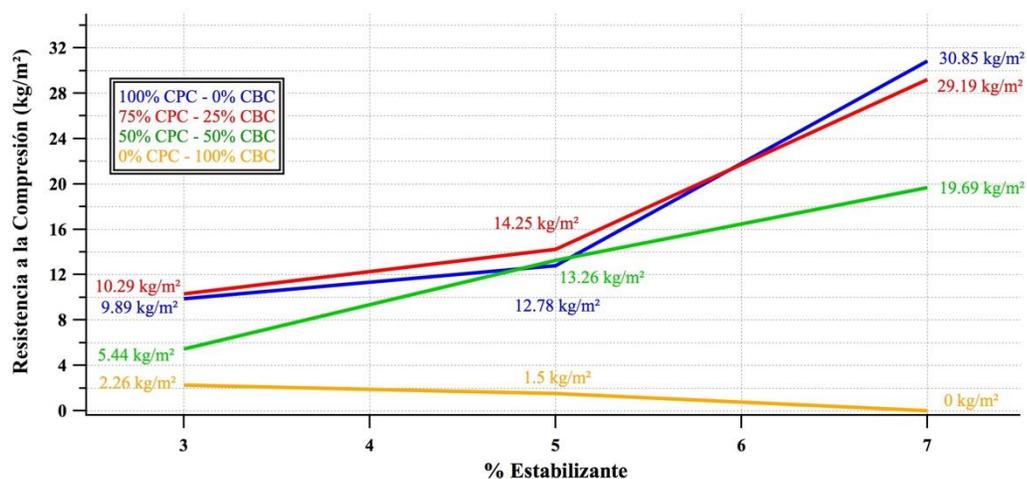


Figura 5. Efeitos da substituição parcial de CPC por CBCA sobre a resistência à compressão simples do solo em estudo.

2.4 Efeitos no CBR do solo

A Figura 6 mostra o comportamento do CBR nas diferentes misturas de solos testados, observa-se que as diferentes misturas apresentam desempenho semelhante ao apresentado no teste de resistência à compressão simples, pois o solo com adição de 100% de CPC apresentou aumentos significativos nos valores de CBR, aumentos superiores a três vezes em relação ao solo sem adição, com um valor de CBR de 24,5% como referência; O solo com adição de 3% de CPC apresentou um CBR de 92,50%, para o solo com 5% de CPC o CBR relatado foi de 110% e ao adicionar um CPC de 7% o solo do estudo atingiu um CBR de 208%. Por outro lado solos com adição em 3%, 5% e 7% da combinação de 75% CPC-25% CBCA também apresentam excelente desempenho no teste CBR, apresentando o solo com 3% da referida combinação um CBR de 95%, o solo com adição de 5% da combinação 75% CPC-25% CBCA apresentou um CBR de 107%, estes valores de CBR são muito semelhantes aos reportados por solos com adição de 3 e 5% CPC, o solo com 7% da combinação 75% CPC-25% CBCA apresentou um valor de CBR de 137% permanecendo abaixo do solo com CPC em 71% mas acima do solo sem acréscimos em 112,5%. Estes aumentos significativos no CBR estão associados à reação de hidratação água-cimento e à energia de compactação dada ao solo.

No caso de solos com adições da combinação 75% CPC-25% CBCA, o aumento nos valores de CBR está associado ao processo de hidratação água-cimento, mais a cinética de reação entre Ca (OH) 2 e amorfo de sílica presente no CBCA adopção de modificações desde as primeiras horas de mistura, conforme relatado em investigação (Cordeiro & Kurtis, 2017), e um efeito de enchimento partículas CBCA que não reagiu comparando esses resultados conjecturas várias investigações como Basha et. al, que avaliou a estabilização de um solo residual com cimento portland e cinzas de casca de arroz (CCA), encontrando o máximo aumento era de RBC com a adição de 4% de cimento Portland (PC) e 5% CCA, e mostrando os estudos de DRX e MEB uma alteração na estrutura do solo porque a reação pozolânica (Basha, Hashim Mahmoud, & Muntohar, 2005) em um outro estudo da estabilização do tipo de solo CH (argila alta plasticidade) foi avaliada com adição de CP e CCA, onde demonstraram que a adição ótima de CCA foi de 10% com 6% de CP para obter os maiores aumentos nos valores de resistência à compressão simples e CBR.

Para o solo com uma combinação de 50% CPC-50% CBCA em 3% apresentou um CBR de 142% associado a este excelente desempenho para o desenvolvimento da reação de hidratação água-cimento, uma reação inicial e em menor grau pozolânica e uma contribuição muito importante Como um preenchimento de poro CBCA, esses efeitos diminuem à medida que aumenta a porcentagem de adição da combinação 50% CPC-50% CBCA, o que gerou que o solo com 5% apresentou um CBR de 83%, e o solo com 7% a CBR de 70%, o exposto está diretamente associado à discussão feita na seção 3.2 referente ao processo de compactação que ocorre na referida mistura. Todos os valores de CBR dos solos com o acréscimo de CPC, CPC-CBCA, em suas duas combinações, atendem perfeitamente para que o material possa ser utilizado como material de sub-base na construção de estradas de acordo com as estipulações do manual de qualidade da Secretaria de Comunicação e Transportes do próprio México (SCT), que indica um valor mínimo de RBC de 40%, e para solos que apresentaram um RBC maior que 100%, eles cumprem com o valor de RBC solicitado para ser usado como material de base, isto significa que os solos com adição de CPC-CBCA poderiam ser usados nas camadas de base e sub-base, o que significaria uma substancial economia e contribuição ecológica na construção e reconstrução de estradas (Rico Rodriguez, Orozco e Orozco, Telles Gutierrez, & Perez Garcia, 1990).

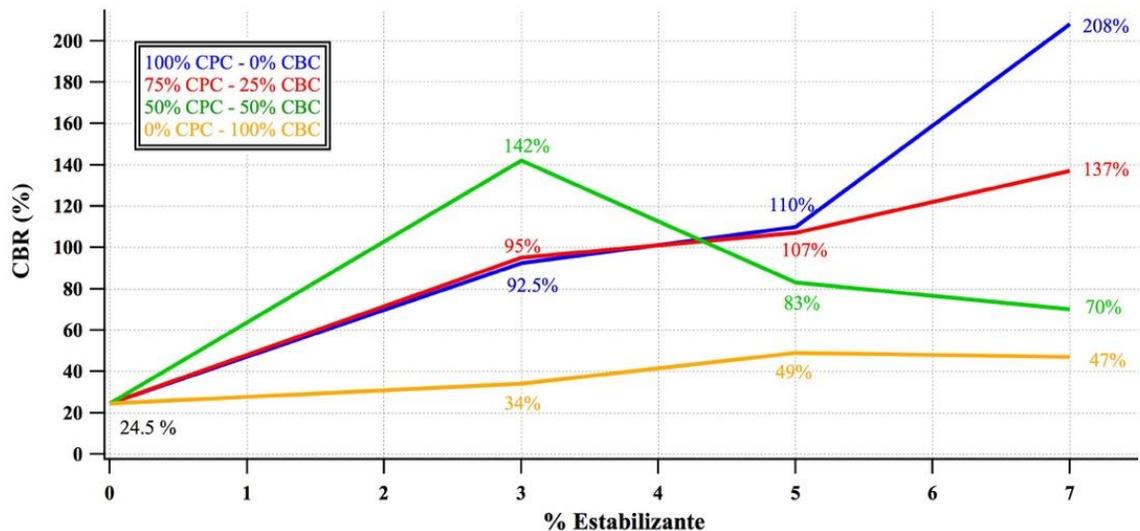


Figura 6. Efeitos da substituição parcial de CPC por CBCA sobre o CBR do solo em estudo.

Para solos com adição de CBCA em 3%, 5% e 7% observa-se que os valores de CBR aumentaram em todos os casos em relação à referência. De um CBR de 24% sem acréscimo para 34% com 3% de CBCA, 49% com 5% de CBCA e 47% com 7% de CBCA. Este resultado complementa a discussão na seção 3.2, que aponta a compactação como parte fundamental de um aumento mecânico nos solos, e que embora este projeto tenha um solo específico e uma única forma de compactação, os resultados variam de caso a caso para as condições em que a mistura foi formada, e que o CBCA adicionado ao solo ou em substituição de 25% por CPC no caso específico do ensaio CBR, é uma alternativa técnica, ambiental e econômica para a modelagem de terraplenagem.

3. CONCLUSÕES

A substituição parcial do CPC pelo CBCA nos percentuais estabelecidos e de acordo com os resultados obtidos nos ensaios experimentais utilizados neste estudo permite concluir:

- Os 25% de substituição parcial de CPC por CBCA podem ser estabelecidos como uma porcentagem ótima em solo arenoso granular, pois apresentou excelente desempenho na compactação, resistência à compressão simples e ensaios de CBR, comportando-se de forma muito semelhante ao solo com a adição de 100% portland, o que implicaria que a utilização do CBCA como substituto parcial do cimento é viável para a melhoria das propriedades mecânicas de um solo para a construção de camadas estruturais nas estradas.
- As misturas com substituição parcial de 50% do CPC pelo CBCA, também oferecem uma melhoria nas propriedades do solo, destacando-se principalmente no teste de resistência à compressão simples e no teste CBR, onde os resultados mostram uma melhora significativa em relação ao solo sem adição, obtendo valores de CBR que cumprem com os regulamentos atuais mesmo para o material básico.
- O uso de CBCA como material único a ser utilizado na melhoria de solos granulares mostra aumentos na resistência do solo em condições de confinamento, assim como o teste CBR, alcançando para o caso de adição de 5 e 7% de valores CBR que cumprem com os regulamentos atuais como material básico.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimento ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CONACYT) por apoiar o projeto de ciência básica, No. 155363. Também agradecem à empresa ASPHALTPAVE S.A de C.V pelo seu apoio durante o projeto.

5. REFERÊNCIAS

- Alavez Ramirez, R., Montes Garcia, P., Martinez Reyes, J., Altamirano Juarez, D., Gochi Ponce, Y. (2012). *The use of sugar cane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks*. Construction and Building Materials , 296-305. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.072>
- Arenas Piedrahita, J. C., Montes Garcia, P., Mendoza Rangel, J. M., Lopez Calvo, H. Z., Mart, & Martinez Reyes, J. (2016). *Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash* . Construction and building materials , 69-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.047>
- ASTM International. (2017). *ASTM C618-17a Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/C0618-17A>
- ASTM International. (2017). *ASTM C150/C150M-17 Standard specification for portland cement*. Retrieved from https://doi.org/10.1520/C0150_C0150M-17
- ASTM International. (2010). *ASTM D2216-10 Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D2216-10>
- ASTM International. (1998). *ASTM D2217-85 Standard practice for wet preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants*. (Withdrawn 2007) Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D2217-85R98>
- ASTM International. (2011). *ASTM D2487-11 Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified soil classification system)*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D2487-11>
- ASTM International. (1998). *ASTM D421-85 Standard practice for dry preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants*. (Withdrawn 2016) Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D2217-85R98>
- ASTM International. (2017). *ASTM D4318-17 Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D4318-17>
- ASTM International. (2012). *ASTM D698-12 Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D0698-12>
- ASTM International. (2017). *ASTM D1633-17 Standard test methods for compressive strength of molded soil-cement cylinders*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D1633-17>
- ASTM International. (2016). *ASTM D1883-16 Standard test method for california bearing ratio (cbr) of laboratory-compacted soils*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D1883-16>
- ASTM International. (2011). *ASTM D558-11 Standard test methods for moisture-density (unit weight) relations of soil-cement mixtures*. Retrieved from <https://doi.org/10.1520/D0558-11>
- Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B., Muntohar, A. S. (2005). *Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement*. Construction and building materials , 19 (6) pp: 448-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.08.001>
- Behak, L., Perez Nuñez, W. (2008). *Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cascara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación*. Revista Ingeniería de Construcción, 23 (1), pp: 34-41. <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/BEHAK>

- CONADESUCA. (2017). *4to. Informe estadístico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en México*. Ciudad de México: SAGARPA.
- Cordeiro, G. C., Kurtis, K. E. (2017). *Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity*. *Cement and Concrete Research*, Volume 97, pp: 41-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.03.008>
- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. M. (2008). *Pozzolan activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in portland cement and lime mortars*. *Cement and Concrete Composites*, Volume 30, Issue 5, pp: 410-418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001>
- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Rego Fairbairn, E. de M. (2009). *Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolan admixture in concrete*. *Cement and Concrete Research*, 39 (2), pp: 110-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.005>
- Cordeiro, G. C., Toledo, R. D., Fairbairn, E. M. (2009). *Effect of calcination temperature on the pozzolan activity of sugar cane bagasse ash*. *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 10, pp: 3301-3303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.013>
- Cristelo, N., Glendinning, S., Miranda, T., Oliveira, D. (2012). *Soil stabilization using alkaline activation of fly ash self compacting rammed earth construction*. *Construction and building materials*, Volume 36, pp: 727-735. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.037>
- de Soares, M. M., Garcia, D. C., Figueiredo, R. B., P. Aguilar, M. T., & Cetlin, P. R. (2016). *Comparing the pozzolan behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO₂*. *Cement and Concrete Composites*, Volume 71, pp: 20-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.04.005>
- Fernandez Loaiza, C. F. (1982). *Mejoramiento y estabilización de suelos*. D.F: LIMUSA.
- Frias, M., Villar, E., & Savastano, H. (2011). *Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture*. *Cement and Concrete Composites*, Volume 33, Issue 4, pp: 490-499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.02.003>
- Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2007). *Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material*. *Cement and Concrete Composites*, Volume 29, Issue 6, pp: 515-524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>
- Imcyc (2017). *Estabilización de suelos con cemento portland*. Biblioteca digital . (IMCYC, Ed.) Ciudad de México, D.F, México.
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., Murugesan, R., Sarayu, K. (2015). *Micro-Analytical studies on sugar cane bagasse ash*. *Sadhana*, Volume 40, Issue 5, pp: 1629–1638. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12046-015-0390-6>
- Jimenez Quero, V. G., Leon Martinez, F. M., Montes Garcia, P., Gaona Tiburcio, C., Chacon Nava, J. G. (2013). *Influence of sugar-cane bagasse ash and fly ash on the rheological behavior of cement pastes and mortars*. *Construction and Building Materials*. Volume 40, pp: 691-701, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.023>
- Jofre, C., Kraemer, C., Sampedro, A., Lopez Bachiller, A., Atienza, M., Diaz, M., et. al. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid: Instituto Español del cemento y sus aplicaciones.
- Joshaghani, A., & Moeini, M. A. (2017). *Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar*. *Construction and building materials*, Volume 152, pp: 818-831. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.041>
- Juarez Gutierrez, O., & Inzunza Ortiz, M. A. (2011). *Guía practica de estabilización y recuperación de pavimentos con cemento portland en México*. Ciudad de México: AMIVTAC.

- Moraes, J. C., Akasaki, J. L., Melges, J. L., Monzo, J., Borrachero, M. V., Soriano, L., Payá, J., Tashima, M. M. (2015). *Assessment of sugar cane straw ash (SCSA) as pozzolanic material in blended portland cement: microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars*. *Construction and Building Materials*, Volume 94, pp: 670-677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.108>
- Morales, E. V., Villar Cociña, E., Frias, M., Santos, S. F., & Savastano, H. J. (2009). *Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes (SCWA): Influence in the pozzolanic activation*. *Cement & Concrete Composites*, Volume 31, Issue 1, pp: 22-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.10.004>
- Muntohar, A. S., & Hantoro, G. (2016). *Influence of the rice husk ash and lime on engineering properties of clayey sub-grade*. *EJGE*, 1-13.
- NMX C414. (2004). *Cementos hidráulicos especificaciones y métodos de prueba*. Ciudad de México : ONNCCE.
- Onyelowe, K. C. (2012). *Cement stabilized Akwete Lateritic soil and the use of bagasse ash as admixture*. *Science and engineering investigations*, 1, 16-20.
- Rico Rodriguez, A., Orozco y Orozco, J., Telles Gutierrez, J. M., Perez Garcia, A. (1990). *Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros*. Sanfandilla.
- Rico-Rodriguez, A., Del Castillo, H. (2006). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres carreteras, ferrocarriles y aeropistas (Vol. 1)*. (N. editores, Ed.) Ciudad de México: Limusa.
- Correia, A. A. S., Rasteiro, M. G. (2016). *Nanotechnology applied to chemical soil stabilization*. *ProcediaEngineering*, Volume 143, pp: 1252-1259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.113>
- Sargent, P., Hughes, P. N., Rouainia, M., Glendinning, S. (2012). *Soil stabilization using sustainable industrial by-product binders and alkali activation*. *GeoCongress*, 948-957. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412121.098>
- Sing, N. B., Singh, V. D., Rai, S. (2000). *Hydration of bagasse ash-blended portland cement*. *Cement and Concrete Research*, Volume 30, Issue 9, pp: 1485-1488. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00324-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00324-0)
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos. Análisis geotécnicos (Vol. 1)*. Colombia: U. Industrial de Santander.
- Torres Rivas, B. J., Gaitan Arevalo, J. R., Espinoza Perez, L. J., Escalante Garcia, J. I. (2014). *Valoración de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera Nicaragüense como sustituto parcial al cemento portland*. *Nexo Revista Científica*, Vol. 27, Núm. 2, pp: 82-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.5377/nexo.v27i2.1944>