

ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS ARGILOSOS COM RESÍDUOS DE RETIFICAÇÃO CERÂMICA (RRC) E CAL PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS

Winie Canto Antonio (1), Pedro Arns (2), Ingrid Milena Reyes Martinez Belchior (3);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) winie.canto@gmail.com, (2) par@unesc.net, (3) ingridbelchior17@gmail.com

RESUMO

Os resíduos gerados nas indústrias cerâmicas podem ser uma saída viável a sustentabilidade, com a reutilização dos mesmos na pavimentação, gerando lucro as empresas e também a diminuição do descarte destes produtos em aterros. O presente trabalho tem por finalidade estudar a viabilidade de estabilização de um solo de Formação Geológica Palermo com adição de cal e resíduo de retificação cerâmica (RRC). Foram realizados estudos de caracterização mecânica por meio de ensaios de compactação na energia Proctor Normal, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão. Foram preparadas misturas de solo com adições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de RRC e com 1% de cal. As misturas com 40% e 50% de RRC foram também avaliadas com uma adição de cal de 5%. Os corpos de prova para determinação do ISC e da expansão foram preparados na umidade ótima de compactação e na densidade máxima seca determinadas no ensaio de compactação Proctor Normal. Do grupo de misturas tratadas com 1% de cal, unicamente a mistura RRC50/S49/C1 satisfaz simultaneamente os parâmetros de expansão (menor que 2%) e ISC (maior que 2%) para material de subleito. Com o incremento na dosagem de cal em 5%, todas as misturas estudadas conseguiram atender os quesitos de ISC e expansão para material de subleito. O aproveitamento do RRC se mostrou bastante eficaz, podendo ser destinado a usos sustentáveis que diminuem a exploração de novas jazidas.

Palavras-chave: Estabilização. Solos. Resíduo de Retificação Cerâmica. Pavimentação.

1. INTRODUÇÃO

O descarte de resíduos sólidos é um problema de grande relevância para a indústria cerâmica. De acordo com Jacoby e Pelisser (2015), estima-se que a indústria cerâmica do sul do Estado de Santa Catarina gera 1.000 toneladas por semana de resíduos sólidos. O mercado nacional de revestimentos cerâmicos é constituído por 93 empresas instaladas em 18 estados, tendo sua maior concentração nas regiões

Sudeste e Sul. No estado Catarinense, a região de Criciúma é destaque no ramo cerâmico, Aqui se encontram as maiores empresas cerâmicas do Brasil, que por sua vez, devem se adequar as leis do descarte correto de resíduos (DALFRÉ, 2012).

Novos usos podem ser dados aos resíduos de retificação cerâmica (RRC), que geram elevadas quantidades de lama residual, e requerem disposição em aterros controlados (RAMOS, 2017). Dentre esses usos, este estudo propõe a utilização do resíduo de retificação cerâmica (RRC), como material geotécnico, para estabilização de solos destinados a subcamadas de pavimentos. Pois, por consequência, o Brasil encontra dificuldades no desenvolvimento de infraestrutura de rodovias devido à escassez de materiais de boa qualidade geotécnica. Segundo a Pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT) de Rodovias (2016), estima-se que, em média, apenas 12,3% das rodovias brasileiras sejam pavimentadas, deixando explícito que a expansão da infraestrutura não acompanha o aumento do fluxo de veículos.

Novos materiais geotécnicos derivados de diferentes resíduos industriais, como é o caso do RRC, podem precisar de adições de materiais cimentantes (como cal ou cimento), que os auxiliem para atingir as propriedades mecânicas necessárias para serem usados como materiais geotécnicos. Silva (2010) diz que a cal tem se mostrado bastante eficaz, ecológica e economicamente, na medida em que permite o aproveitamento dos solos existentes no local de implementação da obra, sem precisar substituí-lo, evitando despesas adicionais e impactos ambientais. Para a estabilização de solos, a cal mostra demasiada utilidade, principalmente por sua granulometria fina, que influencia na velocidade de hidratação, deixando a mistura mais homogênea. Estes fatores fazem com que, na estabilização com aditivos, a cal venha a ser um importante fator na mistura, conferindo mais estabilidade e resistência na implantação. Devido a estas características, a cal pode ser adicionada em misturas de solo estabilizado, como neste com RRC, a fim de atingir as propriedades mecânicas mínimas exigidas para materiais de subcamadas de pavimentos.

Desta maneira, o presente estudo propõe avaliar a possibilidade de estabilizar um solo argiloso com a inserção de resíduos de retificação cerâmica (RRC) e cal, como produto cimentante. Através de testes mecânicos e de caracterização, serão analisadas as características de resistência e deformação do novo material, obtido com adição por misturas de RRC/solo/cal.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar, através de ensaios mecânicos, a possibilidade de estabilizar o solo argiloso de Formação Geológica Palermo com adições de resíduo de retificação cerâmica (RRC) e cal em diferentes dosagens, para uso em subcamadas de pavimentos flexíveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

- Determinar as características físicas do solo em sua condição natural;
- Determinar as características físicas de diferentes misturas de RRC/solo/cal;
- Determinar a umidade ótima de compactação e a densidade máxima seca da mistura de RRC/solo/cal;
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) para as misturas estudadas, no teor de umidade ótima e sua correspondente expansão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados neste estudo são: solo de Formação Geológica Palermo, cal e resíduo de retificação cerâmica. A Figura 01 mostra o aspecto destes três materiais. O solo argiloso de Formação Geológica Palermo foi retirado do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Segundo a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Palermo é um solo formado por siltitos arenosos, siltitos e folhelhos sílticos.

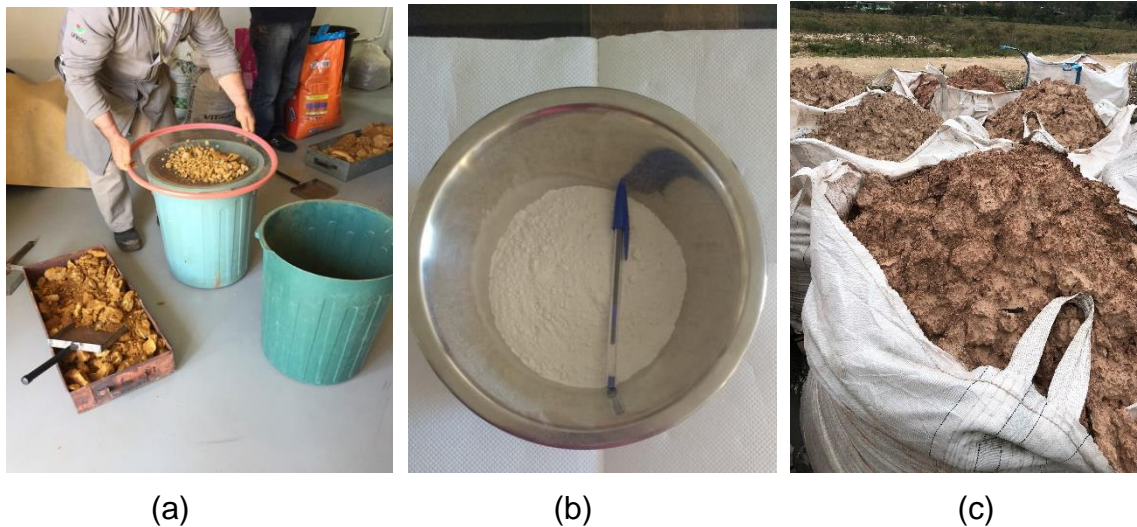


Figura 01: Materiais de estudo: a) Solo argiloso; b) Cal hidratada; c) RRC

As características físicas do solo argiloso de Formação Geológica Palermo são mostradas na Tabela 01.

Tabela 01: Características físicas do solo natural

Características	Resultados
Limite de liquidez	60%
Limite de plasticidade	37%
Índice de plasticidade	23%
Índice de grupo	18
Classificação TRB	A7-5
ISC	5,2%
Expansão	3,7%
Densidade Máxima Seca	1,342 g/cm ³
Umidade Ótima	27,7%

Fonte: Laboratório de Mecânica dos Solos – IPARQUE (2018).

Foi utilizada cal do tipo virgem calcítica – Cal hidratada CH-III da marca Cerro Branco, composta por hidróxidos de cálcio e magnésio e tem suas indicações principais descritas na tabela 02, conforme NBR 7175:2003.

Tabela 02: Propriedades da Cal

Propriedades químicas e físicas da cal hidratada		
Óxidos totais (base não volátil)	≥88%	
Óxidos totais não hidratados	≤15%	
	Fábrica	≤13%
CO ₂	Depósito ou na obra	≤15%
Retido em peneira #30 (0,600mm)	≤0,5%	
Retido em peneira #200 (0,075mm)	≤15%	
Retenção de água	≥70%	
Incorporação de areia	≥2,2%	
Estabilidade	Ausente de cavidades ou protuberâncias	
Plasticidade	≥110%	

Fonte: <http://www.cerrobranco.com.br/wp-content/uploads/2016/03/FTP-201-Cal-Hidratada-CH-III-v03.pdf>

O RRC foi cedido pela empresa Poligress, situada na cidade de Maracajá – SC. O RRC é produto de peças cerâmicas que depois de prontas e queimadas, passam entre rolos diamantados para garantir maior precisão nas suas dimensões. Desta forma o RRC constitui-se por uma mistura de água, material cerâmico e esmalte, que geram uma pasta chamada “lodo de acabamento”. Segundo Carvalho (2013) o lodo de acabamento é desidratado e descartado direto em aterros classe II-a, que são os resíduos não inertes de baixa periculosidade, que oferecem capacidade de reação química em certos meios

3.2 MÉTODOS

O solo utilizado foi caracterizado, em sua forma natural e com adições de RRC e cal. Após a classificação foram realizados os ensaios de compactação para determinar a umidade ótima e a densidade máxima de compactação. Conhecidos estes parâmetros, foram preparadas amostras para realizar o ensaio do CBR e para determinar a expansão das misturas RRC/solo/cal. Na Tabela 03 encontram-se as normas utilizadas no desenvolvimento do programa experimental.

Tabela 03: Normas ABNT para realização dos ensaios

Título da norma	Código da norma
Solo – Índice de Suporte Califórnia	NBR 9895/2016
Ensaio de compactação	NBR 7182/2016

As misturas que foram utilizadas neste estudo e suas respectivas nomenclaturas estão descritas na Tabela 04.

Tabela 04: Nomenclatura e composição das misturas.

Nomenclatura da mistura	RRC (%)	Solo (%)	Cal (%)
RRC10/S89/C1	10	89	1
RRC20/S79/C1	20	79	1
RRC30/S69/C1	30	69	1
RRC40/S59/C1	40	59	1
RRC50/S49/C1	50	49	1
S99/C1	0	99	1
RRC40/S55/C5	40	55	5
RRC50/S45/C5	50	45	5
S95/C5	0	95	5
S100	0	100	0
RRC100	100	0	0

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 PROPRIEDADES DE COMPACTAÇÃO

Após preparação das misturas descritas na Tabela 04, foi realizado o ensaio de compactação na energia Proctor Normal (PN) para determinar a umidade ótima e densidade máxima de cada mistura. A Figura 02 mostra a variação da densidade

máxima seca (DMS) das misturas com diferentes porcentagens de RRC e com adição de 1% de cal. Observou-se que a DMS tendeu a aumentar juntamente com o acréscimo da porcentagem de RRC nas misturas, atingindo o máximo valor de 1,38 g/cm³ para a mistura de RRC50/S49/C1. Desta maneira pode-se afirmar que a adição de RRC gera misturas mais entrosadas, sugerindo um melhoramento na granulometria das misturas.

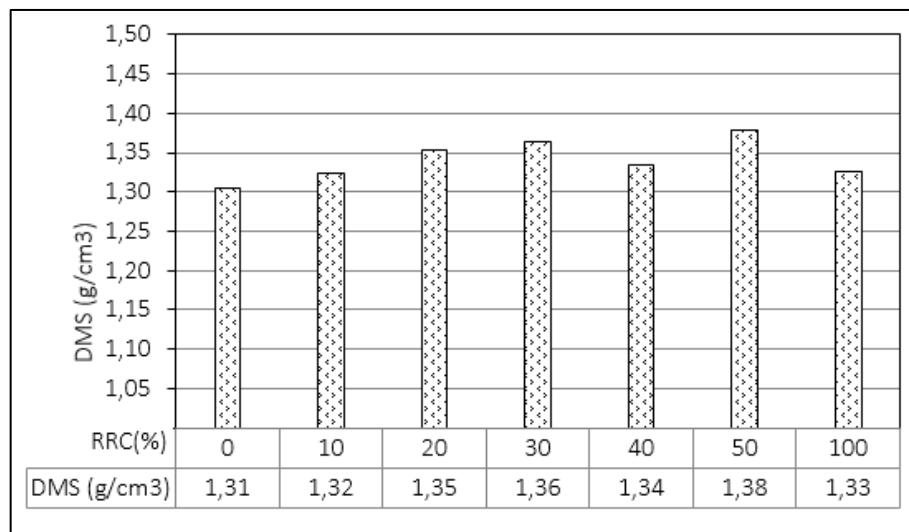


Figura 02: Densidades máximas secas em misturas com 1% em cal e diferentes porcentagens de RRC

A Figura 03 mostra os resultados de umidade ótima de compactação para amostras de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC compactados na energia Proctor Normal. Percebeu-se que, em geral as umidades ótima de compactação foram menores nas misturas do que no solo natural e no RRC puro. A partir de uma adição de 40% RRC a umidade ótima de compactação tende a se estabilizar, pois os valores de umidade ótima do solo natural e de resíduo puro são muito próximas entre si.

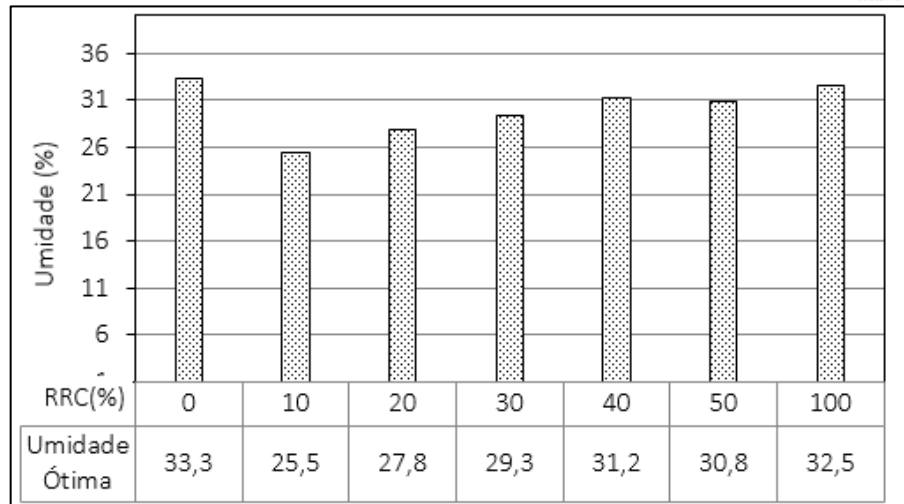


Figura 03: Umidade ótima de compactação em misturas com 1% em cal.

A Tabela 05 apresenta um resumo dos resultados obtidos de densidade máxima seca e umidade ótima de compactação para as misturas com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Como reportado na literatura, o incremento na porcentagem de cal gerou misturas com menor densidade, e maior umidade de compactação, devido à demanda de água para a reação do solo argiloso e a cal.

Tabela 05: Resumo dos valores de DMS e umidade ótima de compactação para misturas de solo/RRC/Cal

Cal (%)	RRC (%)	Solo (%)	Densidade Máxima Seca (DMS) (g/cm ³)	Umidade Ótima de compactação (%)
0	0	100	1,34	27,7
	0	99	1,31	33,3
	10	89	1,32	25,5
	20	79	1,35	27,8
	30	69	1,36	29,3
	40	59	1,34	31,2
	50	49	1,38	30,8
	100	0	1,33	32,5
5	0	95	1,32	33,2
	40	55	1,36	29,1
	50	45	1,34	32,7
	100	0	1,33	32,5

Utilizando os valores resumidos na Tabela 05, foram preparadas as amostras para determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) e da expansão, mostrados na seguinte secção.

4.2 INDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC) E EXPANSÃO

O índice de suporte Califórnia é um dos parâmetros mais importantes para determinar se um material é apto para ser utilizado em subcamadas de pavimentação. Na Tabela 06 encontram-se os valores de referência mínimos e máximos de expansão e ISC para uso em camadas de pavimentos flexíveis, propostos pelo DNIT (2006).

Tabela 06: Valores de ISC e Expansão requeridos para materiais de subleito, reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos flexíveis (DNIT, 2006).

Tipo	ISC	Expansão
Subleito	$\geq 2\%$	$\leq 2\%$
Reforço do Subleito	Maior que do subleito	$\leq 1\%$
Sub-base	$\geq 20\%$	$\leq 1\%$
Base	$\geq 80\%$	$\leq 0,5\%$

Em primeiro lugar foi analisada a influência da porcentagem de RRC na mistura solo/cal, mantendo constante a porcentagem de 1% de cal nas misturas e variando a quantidade de RRC. A Figura 04 mostra a variação do ISC e da expansão para amostras de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Verificou-se um aumento, comparando ao solo natural, no valor do ISC quando se incrementou a dosagem de RRC na mistura. Comparando os valores de ISC obtidos com os valores da Tabela 06, pode se concluir que tanto o solo como o RRC no seu estado natural e todas as misturas de solo/RRC/cal estudadas, atendem a especificação para material de subleito, pois atingiram valores maiores ou iguais a 2%. Porém, somente a mistura com 50% de RRC atende completamente a exigência por apresentar uma expansão menor ou igual a 2%.

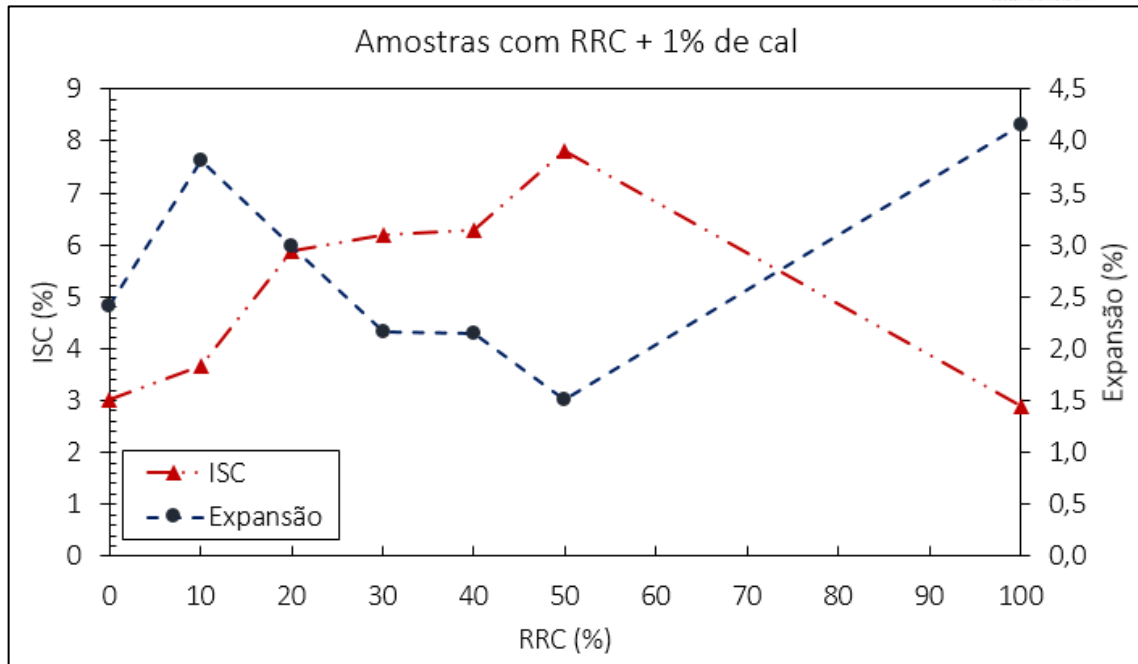


Figura 04: Variação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão para amostras de solo com 1% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

Encontra-se o pico de expansão, para misturas em 1% de cal, em RRC100, com seus 4,15% de expansão, porém em misturas com solo e cal, a mistura mais expansiva é com 10% de resíduo, que chega a expansão de 3,81%, após esta mistura as próximas tendem a diminuir sua expansão a medida que se aumenta a quantidade de resíduo, excluindo a mistura RRC100.

A Figura 04 mostrou que, embora as misturas estudadas atendam o quesito mínimo de ISC para material de subleito, elas apresentam expansões maiores ao valor máximo permitido de 2% para tal uso, então foram avaliadas as amostras com maior porcentagem de RRC (40% e 50%), nas quais aumentou-se a dosagem de cal para 5% a fim de verificar se este aumento na porcentagem de cal resultaria em melhora dos valores da expansão das misturas.

A Figura 05 exhibe os valores de ISC obtidos para dosagens de 1% e 5% de cal no solo natural, no RRC e nas misturas de 40% e 50% de RRC. Como esperado, o incremento do ISC com a adição de cal foi observado tanto nos materiais puros (solo e RRC) como nas misturas solo/RRC/cal.

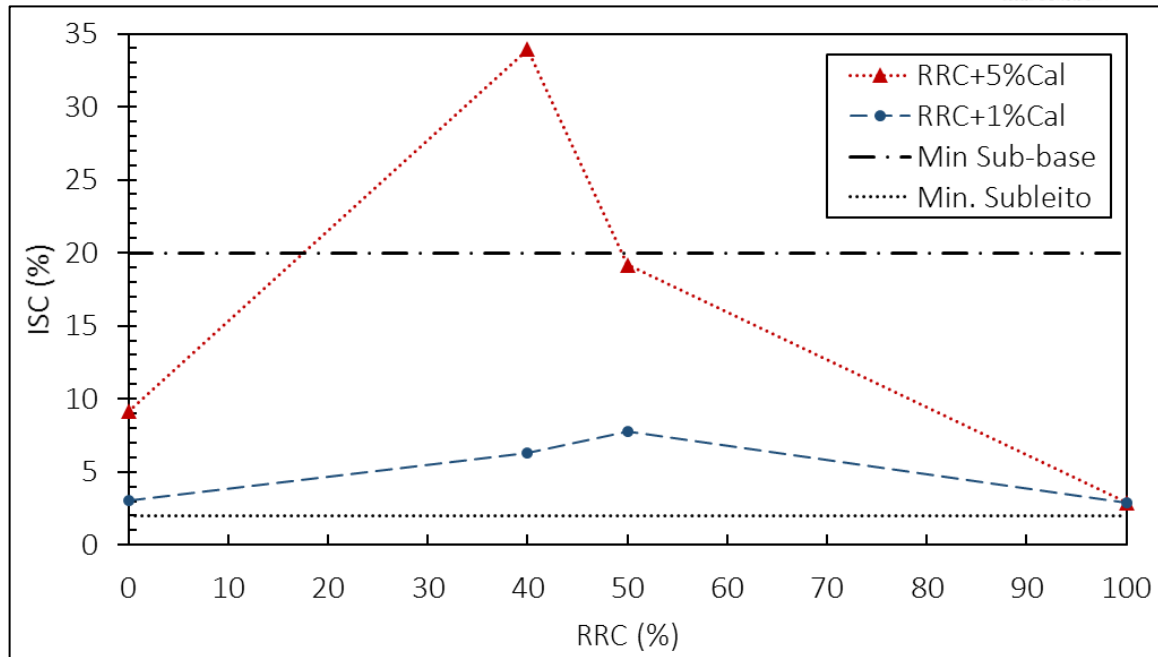


Figura 05: Índice de Suporte Califórnia (ISC) para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

A mistura RRC40/S55/C5 conseguiu ultrapassar o valor mínimo de ISC para material de subleito (2%). Porém, observou-se que adições maiores de 40% de RRC em misturas com dosagens de 5% em cal tendem a apresentar um comportamento de diminuição do ISC.

Referente ao valor da expansão, a Figura 06 mostra os resultados obtidos para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC. Observou-se que a mistura RRC40/S55/C5 atendeu ao valor do ISC e expansão para material de sub-base e também reforço de subleito. A mistura RRC50/S45/C5, somente atende, com o valor da expansão, parâmetros de sub-base, mas não cumpre com o valor do ISC. As duas misturas com adição de 5% de cal (RRC40/S55/C5 e RRC50/S45/C5) satisfazem os quesitos de ISC e expansão para material de subleito e reforço de subleito.

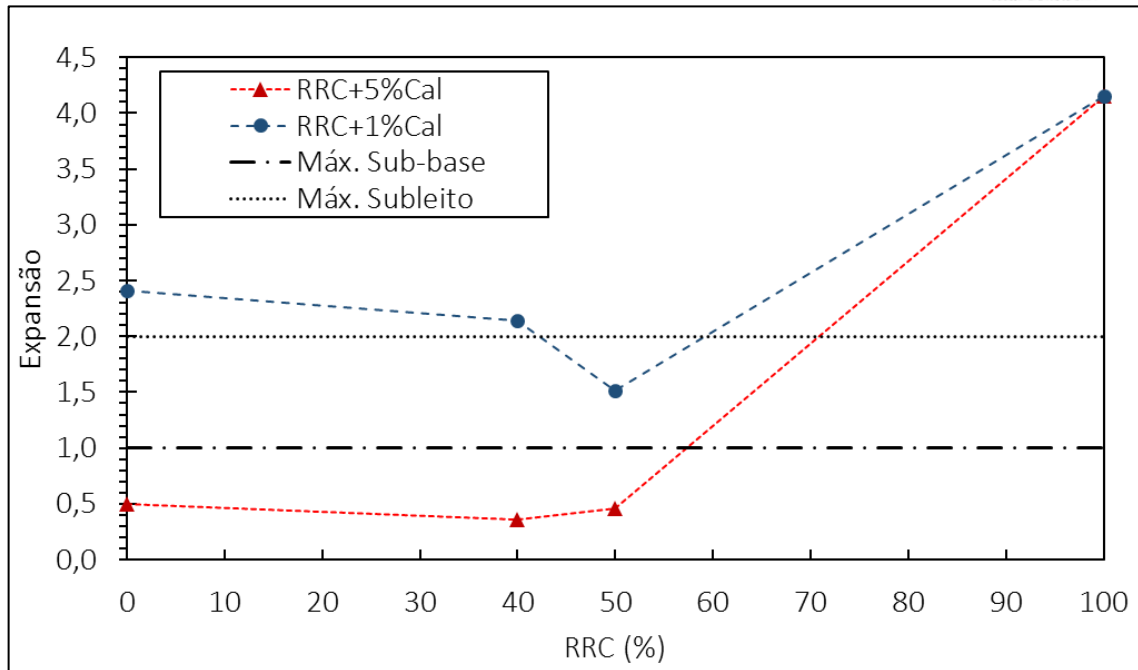


Figura 06: Expansão para amostras de solo com 1% e 5% de cal e diferentes porcentagens de RRC.

A Tabela 06 resume os resultados dos valores de ISC e expansão para as misturas solo/RRC/cal. A partir destes dados, observou-se que o RRC pode ser destinado à estabilização de solos em presença de um agente estabilizante, como a cal. Os incrementos paralelos de RRC e cal no solo produziram melhorias expressivas nos valores do ISC e da expansão do solo estudado.

Tabela 06: Resultados ISC e da expansão para misturas de solo/RRC/cal

Cal (%)	RRC (%)	Solo (%)	ISC (%)	Expansão (%)
0	0	100	5,2	3,70
	0	99	3,0	2,41
	10	89	3,7	3,81
	20	79	5,9	2,98
	30	69	6,2	2,16
	40	59	6,3	2,14
	50	49	7,8	1,51
	100	0	2,9	4,15
5	0	95	9,1	0,50
	40	55	33,9	0,36
	50	45	19,2	0,46
	100	0	2,9	4,15

A análise dos resultados obtidos com os ensaios deste trabalho, baseados nas diferentes dosagens de RRC/solo/cal, demonstraram por diversas vezes o potencial positivo do uso do resíduo de retificação cerâmica como produto para subleitos e sub-bases de pavimentos, analisando-se apenas a eficiência destes com os limites estabelecidos pelo DNIT. Não considerando, aqui, as análises químicas, e as funções geológicas, com as possíveis reações da incrementação desta mistura em diferentes meios geológicos.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise e discussão dos resultados dos ensaios experimentais (índice de suporte Califórnia e compactação) e das variáveis encontradas a partir de cada mistura, com 1% e 5% de cal, como as mudanças na relação RRC/solo/cal, conclui-se que:

- O solo natural e as misturas com 1% de cal, com exceção de RRC50/S49/C1, não resultaram em valores que enquadrassem o solo estabilizado como subleito.
- A mistura RRC50/S49/C1, foi a única no grupo 1% de cal, cujos resultados permitiriam seu uso como subleito e reforço de subleito.
- No subgrupo com 5% de cal, podemos classificar a mistura RRC40/S55/C5 como apta para uso em sub-bases e reforço de subleito.
- A mistura RRC50/S45/C5 confere as condições de expansão e ISC necessárias para uso em subleitos e reforço de subleito na pavimentação
- Após a adição de cal, os índices de expansão das misturas tenderam a diminuir, melhorando-as, como esperado.
- Os ensaios de compactação, em misturas com 1% de cal, apontaram, como esperado, uma variação nos índices de umidade ótima de compactação nas porções de acordo com o aumento da porcentagem de resíduos; e uma alteração nos valores das DMS, também com a adição de resíduo, ocorre uma evasiva destes pontos na amostra RRC40/S59/C1, que pode ser atrelada a erro nos ensaios, ou mesmo divergência natural no ponto.

O aproveitamento do RRC se mostrou bastante eficaz, podendo ser destinado a usos sustentáveis que diminuam a exploração de novas jazidas. Os efeitos decorrentes da avaliação destes ensaios podem ser comparados às características do solo natural, pois o resíduo em questão não tem função de aditivo e sim para ser substituído a alguma parte na totalidade do solo, para estabilização do mesmo; já a cal imprime característica de aditivo, que resultou na melhora da expansão que foi em partes prejudicada com a adição do resíduo, porém este não é o produto do estudo.

6. TRABALHOS FUTUROS

Para complementação deste estudo são propostos os seguintes trabalhos futuros:

- Verificação do comportamento dos parâmetros de compactação, ISC e expansão das misturas com RRC e cal para energias de compactação intermediária e modificada.
- Verificação do comportamento de misturas com adições de RRC superiores a 50%.
- Estudo do efeito da adição de outros agentes cimentantes diferentes à cal para as misturas solo/RRC.
- Estudo do efeito do tempo de cura em amostras de solo/RRC com diferentes agentes cimentantes (cal, cimento, etc.).
- Estudo de adições de resíduos de retificação de diferentes tipos de cerâmicas em solos argilosos e arenosos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097: Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS 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.

BRANCO, Cerro. **Ficha técnica de produto**. Disponível em: <<http://www.cerrobranco.com.br/wp-content/uploads/2016/03/FTP-201-Cal-Hidratada-CH-III-v03.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

CNT. **Brasil tem apenas 12,3% da malha rodoviária com pavimento**. 2016. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

DALFRÉ, Roberta Ribeiro. **Gerenciamento de resíduos sólidos em indústria de cerâmica: estudo de caso**. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. 3ª edição. Publicação IPR – 719. Rio de Janeiro, 2006.

IPARQUE. Laboratório de Mecânica dos Solos. **Características físicas do solo natural**. Criciúma, 2018.

JACOBY Pablo Cardoso; PELLISSER Fernando. Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p84-88, 2015.

POTTER, Reinaldo O. et al. Solos do Estado de Santa Catarina. **Embrapa Solos – Boletim de Pesquisa de Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2004.

RAMOS, Giovani Antonio, et al. **Cimento geopolimérico contendo resíduo do polimento de placas cerâmicas**. 2017.

SILVA, Mariana Fernandes da. **Estudo comparativo de dois solos argilosos estabilizados com cal**. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências de Tecnologia.