

ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA DE UM SOLO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO DESTINADO A PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Rodrigo de Souza Germano (1), Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)germano.civil@hotmail.com, (2)par@unesc.net

RESUMO

O impacto ambiental que ocorre na exploração de materiais e agregados, precisa ser reduzido por meio da pesquisa de materiais alternativos. Os resíduos gerados em atividades industriais, como a produção cerâmica, podem ser considerados como um material alternativo para fins geotécnicos. O Brasil é hoje o segundo maior produtor cerâmico do mundo, conseqüentemente, a quantidade de resíduo produzido no processo de polimento cerâmico é considerável. O presente trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade do aproveitamento do resíduo, produzido no processo de polimento cerâmico, para estabilização de um solo da Formação Geológica Serra Geral, para uso em pavimentos rodoviários. Foram realizados os ensaios de caracterização física e mecânica do solo natural, sendo este classificado como A 7-5, pelo sistema Transportation Research Board – TRB. O ensaio de caracterização mecânica foi realizado por meio de compactação na Energia do Proctor Intermediária – PI. Para o Índice de Suporte de Califórnia – ISC e expansão, foram preparadas misturas do solo, com resíduo de polimento de porcelanato – RPP, nos percentuais de 3%, 6% e 9%. Estas foram submetidas aos mesmos ensaios do solo natural. Verificou-se que na caracterização física, as misturas sofreram significativa redução na sua plasticidade, em relação ao solo natural. Além da diminuição da plasticidade, houve também, a redução no Índice de Grupo – IG, e mudança na classificação do solo, quando o incremento atingiu 9%. Todos os corpos de prova, para a determinação do ISC e expansão foram moldados em duplicatas, onde um foi executado conforme norma (NBR 9895:2016) e o segundo ficou exposto ao tempo por um período de 7 dias e após submerso por 96h. Quanto ao ISC, o melhor resultado obtido foi a do incremento com 3% de RPP, superior ao solo natural. Os de 6% e 9%, resultaram em valores inferiores, porém, ainda acima de 2%. Com relação a expansão o pior resultado foi com 6% de RPP, onde o valor ficou acima de 2%, os demais ficaram abaixo, atendendo ao exigido para material de sub-leito. Quando os corpos de prova ficaram expostos por 7 dias e após submersos por 96h, apresentaram ISC inferiores ao do ensaio normatizado, contudo acima do valor mínimo exigido para sub-leito. Também as expansões ficaram abaixo do valor mínimo exigido. Os resultados das misturas com RPP atenderam aos quesitos do ISC como material de sub-leito, já a expansão na mistura de 6% RPP (96h submerso) não atendeu. Quando expostos ao tempo por 7 dias e após 96h de submersão, todas as misturas atenderam aos quesitos de ISC e expansão para camada de sub-leito.

Palavras-Chave: Estabilização, Resíduo de polimento de porcelanato, Índice de Grupo, Índice de plasticidade, Índice de Suporte Califórnia.

1. INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de diminuir os impactos ambientais, que ocorrem na exploração de jazidas de materiais e agregados utilizados na pavimentação rodoviária, a pesquisa de materiais alternativos avançou muito nas últimas décadas. Estes materiais alternativos, são os aditivos químicos que incorporados ao solo natural do leito da rodovia, reagem com o mesmo, aumentando as suas características físicas e mecânicas, para que possa ser utilizado como camada de um pavimento. Existem ainda os resíduos de construção civil, que podem ser utilizados, após a sua reciclagem, bem como da indústria cerâmica. Segundo Leite (2001), a melhor forma de diminuir o impacto ambiental é reciclando os resíduos gerados em processos industriais. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2017), 60% do transporte de mercadorias é realizado pelo modal rodoviário, e dos 1,7 milhões de quilômetros de rodovias, apenas 213.676 quilômetros são pavimentados, o que impacta diretamente no custo final do transporte.

Constitui requisito prévio para o projeto de qualquer obra, sobretudo se de vulto (barragem, túnel, obra de arte, corte, aterro), o conhecimento da formação geológica local, estudo das rochas, solos, minerais que o compõem, bem como a influência da presença da água sobre ou sob a superfície da crosta. (CAPUTO et al.,2015, p. 06).

Pinto (2006), comenta que a fundação para um pavimento rodoviário denomina-se subleito, sendo o mesmo limitado superiormente pelo leito da estrada ou pelas camadas de sub-base, base e revestimento asfáltico.

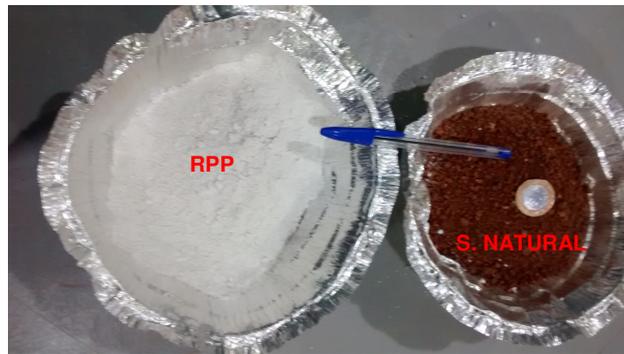
O solo é um material cujas propriedades físico-mecânicas possuem uma grande variabilidade. Por serem empregados na engenharia, principalmente em obras rodoviárias, é de fundamental importância que essas propriedades atinjam o mínimo exigido para seu uso. (BRESCIANI, 2009, p.13)

Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, um material de subleito deve atender a norma nº 108/2009 – ES – Terraplanagem – Aterros - Especificação de serviço, onde o índice de Suporte Califórnia – ISC deve ser $\geq 2\%$ e a expansão $\leq 2\%$. O Brasil é hoje o segundo maior produtor cerâmico do mundo, de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica – ANFACER (2016). A quantidade produzida de resíduo no polimento cerâmico (RPP) é considerável, e o mesmo deve ser descartado em locais licenciados, para não afetar o meio ambiente. Assim, o presente estudo, tem como objetivo, avaliar o aproveitamento do RPP, incorporando-o a um solo da Formação Geológica Serra Geral e analisar suas propriedades mecânicas (ISC e Expansão), para verificar se atende aos requisitos de materiais destinados a subcamadas de pavimentos rodoviários.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de solo foi coletada no Parque Científico e Tecnológico – IPARQUE, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, e encaminhada para o Laboratório de Mecânica dos Solos – LMS do IPARQUE, e a amostra de resíduo de polimento de porcelanato – RPP foi coletada na Cerâmica Elizabeth Sul Ltda., ambos situados no município de Criciúma/SC. O RPP é constituído de uma mistura de material cerâmico procedente do polimento do porcelanato e material abrasivo, geralmente composto por partículas de diamante ou carbeto de silício aglomerados por cimentos à base de cloretos magnesianos (Breitenbach *et al.*, 2018). A figura 1 mostra o aspecto dos dois materiais utilizados no presente trabalho, nos seus estados naturais.

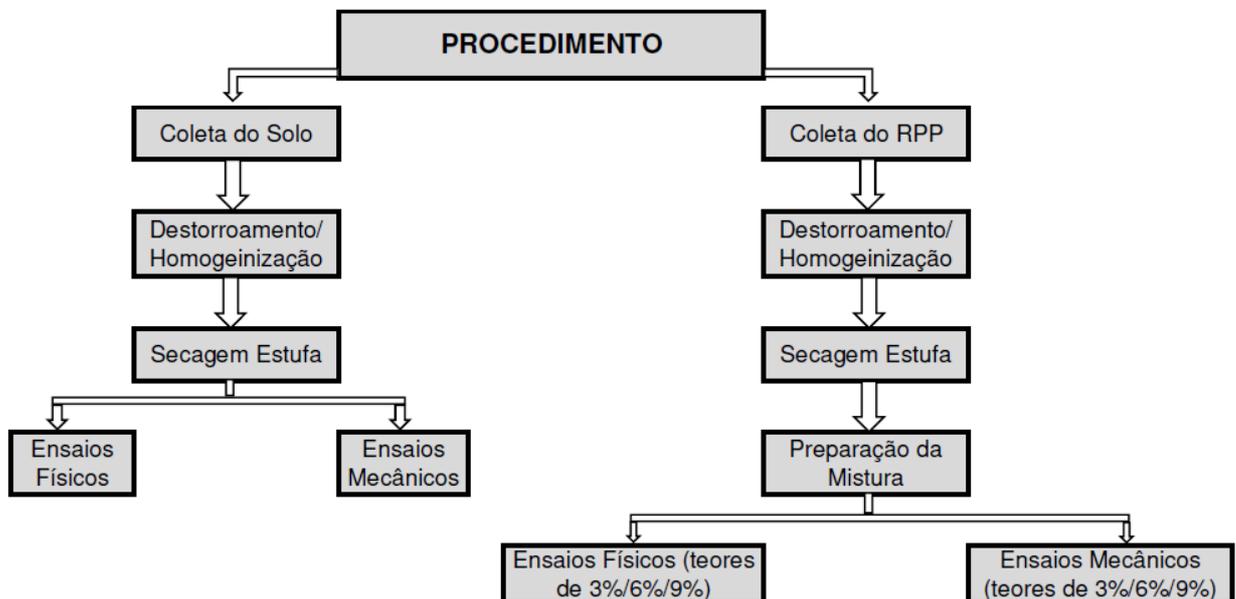
Figura 1: Aspecto visual dos materiais estudados



Fonte: Do autor, (2018)

Os processos laboratoriais tiveram por finalidade, analisar as características físicas e mecânicas do solo natural e do solo com a adição do RPP. A figura 2 mostra o fluxograma dos procedimentos desenvolvidos no presente trabalho.

Figura 2: Fluxograma dos Procedimentos



Fonte: Do autor, (2018)

2.1 LOCALIZAÇÃO

O solo em estudo (Figura 3) foi coletado no Parque Científico e Tecnológico – IPARQUE, localizado na Rod. Gov. Jorge Lacerda, Km 4,5 – Bairro Sangão, no município de Criciúma/SC.

Figura 3: Localização da coleta da amostra de solo



Fonte: Google Earth

Estão apresentados na tabela 1 os pontos de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) do local da coleta do solo.

Tabela 1 – Coordenadas UTM das coletas

Material	Coordenadas	
	Norte	Leste
Solo	6820735.81	655502.20

Fonte: Google Earth

2.2 FORMAÇÃO GEOLÓGICA

Potter (2004 apud Kammer, 2013), comenta que o local é representado por solo Podzólico Vermelho-Escuro, textura argilosa/muito argilosa, floresta tropical com relevo suave ondulado. Este local está inserido na bacia sedimentar do Paraná e unidade litoestratigráfica grupo São Bento, da Formação Geológica Serra Geral e pela Formação Geológica Palermo. Litologicamente, a Formação Geológica Serra Geral, é caracterizada por uma sucessão de derrames de lavas, predominantemente básicas, de granulometria fina. Na figura 4 está representado uma vista lateral em corte, onde se observa na parte superior o solo de Formação Geológica Serra Geral e abaixo deste o solo de Formação Geológica Palermo.

Figura 4: Vista Longitudinal do perfil do solo



Fonte: Do autor, (2018)

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Inicialmente foram realizados os ensaios de caracterização física do solo em seu estado natural, pelos ensaios de Granulometria, Limite de Liquidez - LL e Limite de Plasticidade – LP para a classificação do solo segundo o sistema TRB. A caracterização mecânica teve como finalidade obter os valores do ISC e Expansão, pelo ensaio de compactação na energia do Proctor Intermediária - PI. Após os ensaios de caracterização física e mecânica do solo natural, foram preparadas 3

Misturas nos percentuais de 3%, 6% e 9%, que também foram submetidos aos mesmos ensaios do solo natural. Na tabela 2 estão descritas as normas técnicas de cada ensaio realizado.

Tabela 2: Normas Técnicas para os ensaios

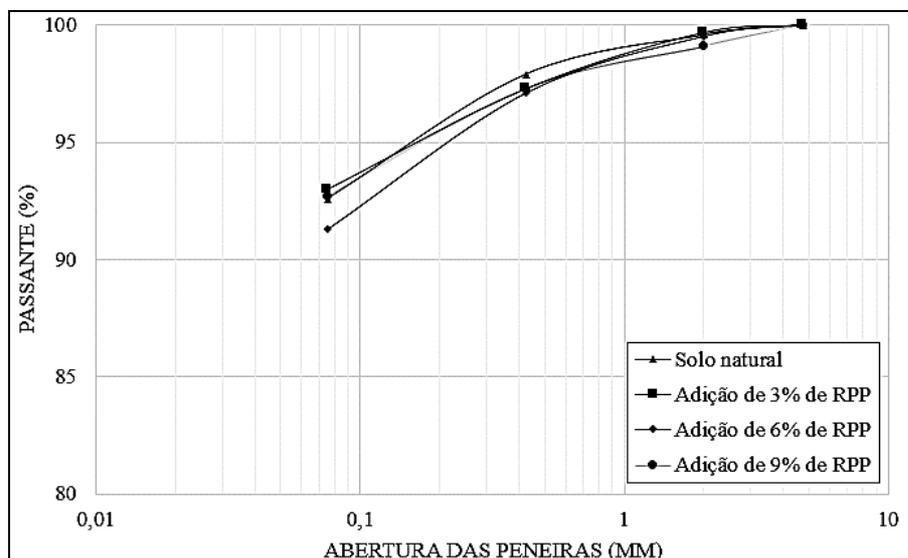
Ensaio	Norma ABNT
Granulometria	NBR 7181:2016 - Versão Corrigida: 2017
Limite de Liquidez	NBR 6459:2016 - Versão Corrigida: 2017
Limite de Plasticidade	NBR 7180:2016
Compactação	NBR 7182:2016
ISC	NBR 9895:2016
Preparação ensaios de compactação e caracterização	NBR 6457:2016 - Versão Corrigida: 2017

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 5 mostra as curvas granulométricas obtidas por peneiramento do solo natural e das misturas com diferentes teores de RPP. Estes resultados mostram uma alteração pouco significativa na granulometria, pois todas as misturas continuaram apresentando percentual de material passante na peneira nº 200 (0,075mm) acima de 90%, ou seja, tanto o solo natural como as três misturas ensaiadas contém uma porcentagem predominante de material argiloso.

Figura 5: Curva Granulométrica



Fonte: Do autor (2018)

Os resultados da caracterização física do solo natural e das misturas solo/RPP, o valor do material passante na peneira nº 200 (0,075mm), os respectivos índices de grupo (IG) e a classificação pela TRB, constam na tabela 3.

Tabela 3: Propriedades físicas, classificação TRB e do IG do solo natural e das misturas de solo/RPP

Características	Solo Natural	3% RPP	6% RPP	9% RPP
LL	57	50	52	55
LP	32	36	38	50
IP	25	14	14	5
Passante peneira 200	92,6	93	91,9	92,7
IG	18	12	12	11
TRB	A 7-5	A 7-5	A 7-5	A5

Fonte: Do autor, (2018)

Observou-se que a adição do resíduo gera um decréscimo na plasticidade do solo, diminuindo seu IP de 25 para 5 com uma adição de 9% de RPP, significando que o RPP pode ser usado para melhorar solos altamente plásticos. Como foi visto, no ensaio de granulometria, o percentual de material passante na peneira nº 200, manteve-se quase estável, considerando o solo natural e o das misturas. Porém, o IP sofreu variação muito significativa, o que alterou a classificação do IG. Isto resulta que um maior percentual de RPP melhora a qualidade do solo como sub-leito. Observou-se ainda que a mistura de 9% alterou a classificação de um solo A 7-5 para um solo A-5, sendo que as misturas com menores percentuais de resíduo mantiveram a classificação original do solo.

Na determinação da caracterização mecânica, realizaram-se os ensaios de compactação na energia do PI, tanto para o solo natural, quanto para as misturas. Para obtenção do ISC e expansão, os corpos de prova foram moldados nas densidades e umidades ótimas determinadas e constantes na tabela 4. Foram preparadas amostras do solo natural e de misturas do solo/RPP, nos percentuais adotados. Com as amostras devidamente preparadas, moldou-se 2 (dois) corpos de prova do solo natural, como também, das respectivas misturas.

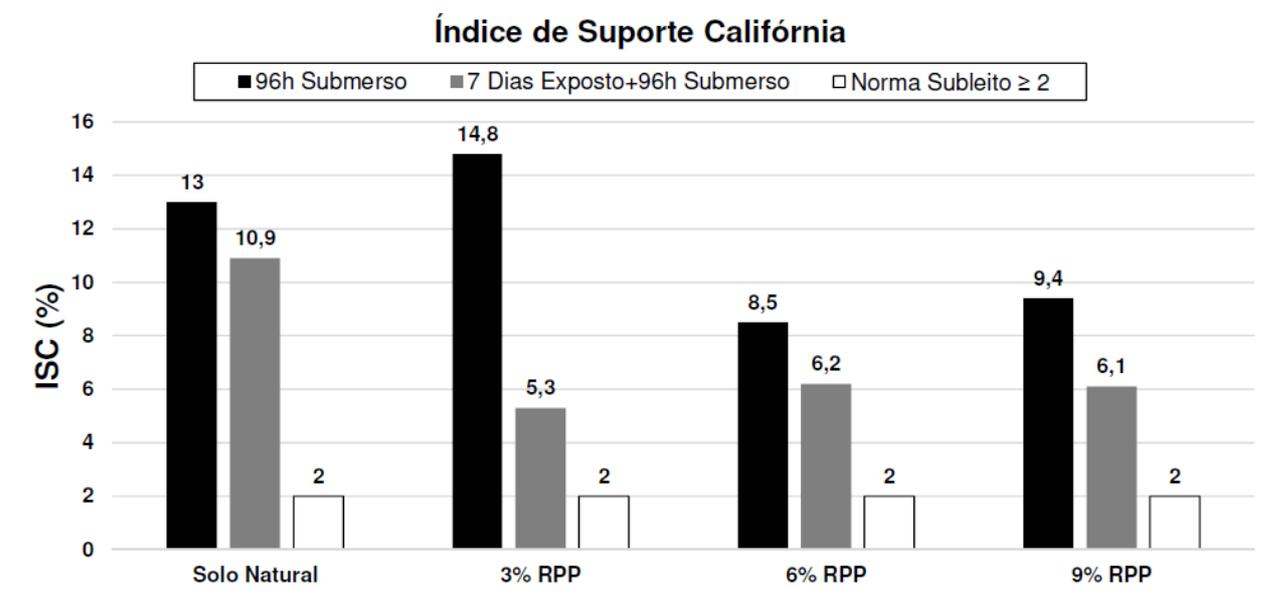
Tabela 4: Umidade ótima (w) e densidade máxima seca ($\gamma_{\text{máx}}$)

Características	Solo Natural	3% RPP	6% RPP	9% RPP
$\gamma_{\text{máx}}$ (g/cm ³)	1,356	1,441	1,356	1,318
w ótima (%)	33,2	29,6	34,1	34,1

Fonte: Do autor, (2018)

Um dos corpos de prova moldados em duplicata, foi direto para água, pelo período de 96 horas e após rompido e determinado o ISC e expansão. O outro corpo de prova permaneceu exposto por 7 dias ao tempo, findo o qual foi submerso em água por mais 96 horas para então ser rompido e determinado o seu ISC e expansão. Os resultados obtidos podem ser observados na figura 6, considerando as duas situações acima descritas.

Figura 6: ISC do solo natural e das misturas de solo com RPP.

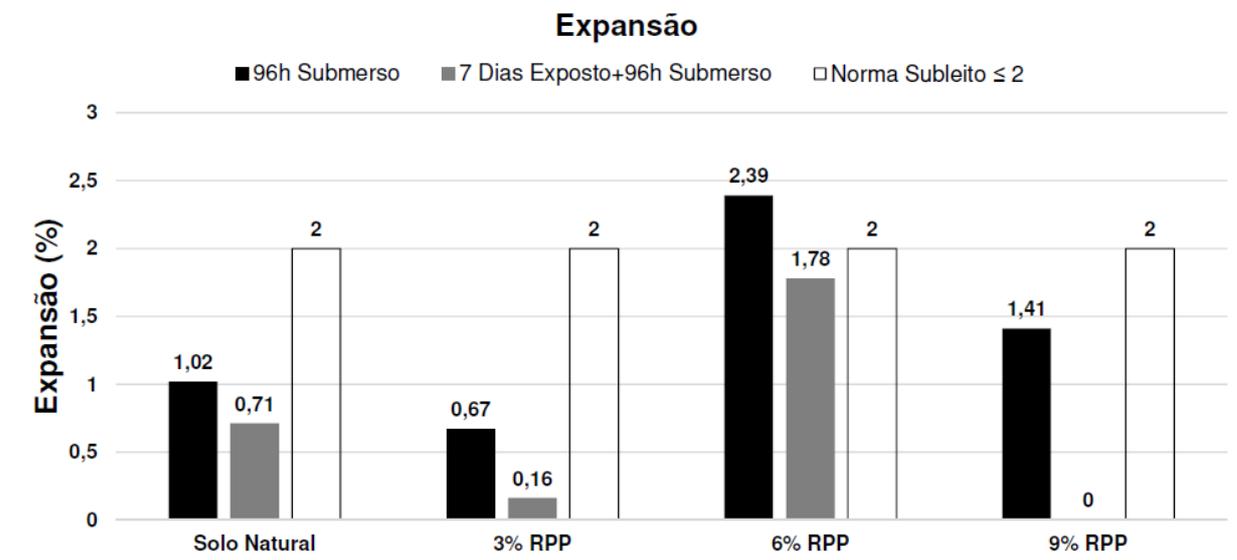


Fonte: Do autor, (2018)

Observou-se que todas as misturas de solo/RPP, independentemente do tipo de cura, apresentaram valores de ISC superiores ao mínimo exigido como subleito (2%). Observa-se, ainda, que houve um decréscimo em todas as amostras expostas ao tempo por 7 dias e posterior submersão em água, comparando-se com as amostras unicamente submersas. A mistura de 3% apresentou um ISC superior ao do solo em seu estado natural na condição de somente submersão por 96 horas.

Isto pode indicar que ocorreu alguma reação química durante a amostra exposta ao tempo que altera de forma negativa a resistência das misturas. Usando as mesmas misturas de solo/RPP, também, foi avaliada a expansão, ou seja, a variação de volume na presença de água. Os valores de expansão obtidos nas duas situações de cura são exibidos na figura 7. Da mesma forma que na análise do ISC, nesta figura foi inserido os valores máximos de expansão permitidos para camadas de subleito. Os resultados mostraram que todas amostras, exceto a amostra com 6% na situação de 96 horas submersa, atenderam a norma, pois obtiveram expansões menores que 2%. Nas três dosagens de RPP foi observado uma menor expansão quando as amostras ficaram expostas ao tempo e posterior submersão. Isto mostra que provavelmente as mesmas reações que modificaram a resistência das amostras durante a exposição ao tempo, também provocaram a redução da expansividade.

Figura 7: Expansão do solo natural e das misturas de solo com RPP



Fonte: Do autor, (2018)

4. CONCLUSÕES

- a) As adições de RPP no solo da Formação Geológica Serra Geral não geraram alterações significativas na granulometria do solo natural, pois todas as misturas continuaram apresentando porcentagens de material passante na peneira nº 200 acima de 90%.
- b) Incrementar a porcentagem de RPP no solo de estudo gerou decréscimo na plasticidade do solo, diminuindo seu IP de 25 para 5 com uma adição de 9% do resíduo, o que sugere que o RPP poderia ser usado para melhorar solos altamente plásticos.
- c) Embora o valor do ISC do solo natural caiu com adição de RPP, todas as misturas de solo/RPP atendem os valores mínimos exigidos para camadas de subleito e de reforço do subleito referentes à expansão e ao ISC, menos a mistura de 6% na situação 96 horas submerso que apresentou expansão maior que 2%.
- d) Todos os corpos de prova, solo natural e das misturas solo/RPP, quando expostos ao tempo por 7 dias e submersos, tiveram seus respectivos ISCs diminuídos, como também, suas respectivas expansões.
- e) O solo em seu estado natural, já apresenta características para uso como subleito e reforço de subleito, sendo que a incorporação do RPP, quanto as características mecânicas, nada influenciou.

Considerando estas conclusões, recomenda-se como um trabalho futuro, observar a nível microscópico a influência do tempo de cura das misturas solo/RPP, e novos estudos com valores maiores de RPP. Recomenda-se, ainda, estudos nos mesmos percentuais de RPP, acrescido de cal com 1%, 1,5% e 2%.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização: NBR 6457:2016. Versão corrigida 2017.** Rio de Janeiro. ABNT, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Análise granulométrica: NBR 7181:2016. Versão corrigida 2017.** Rio de Janeiro. ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Solo – Determinação do limite de liquidez: NBR 6459:2016. Versão corrigida 2017.** Rio de Janeiro. ABNT, 2017.

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

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA. **Dados do Setor.** Disponível em <<http://www.anfacer.org.br/brasil>>. Acesso em 05 de Março de 2018.

BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira, 1923. **Pavimentação.** Porto Alegre: Editora Globo, 1976. 3 v.

BRESCIANI, Denise. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo da Formação Palermo, estabilizado com aditivo Perma Zyme®.** 2009. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

BREITENBACH, S. B. et al. Adição de resíduo do polimento de porcelanato em argamassas de restauro à base de cal. *Cerâmica*, v. 63, n. 367, p. 395-401, 2018.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro, (7ª edição), 2015, 255 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletim Estatístico-2017.** Disponível em <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>>. Acesso em 03 de Março de 2018.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT)
– **Terraplanagem – Aterros – Especificação de Serviço: 108/2009 - ES.** Rio de Janeiro. DNIT, 2009.

GHEDIN, Sara Cristine Denoni. **Estabilização mecânica de um solo da Formação Palermo com aditivo RES 298®.** 2014. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

KAMMER, Vanessa Jesuino. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo estabilizado quimicamente com aditivo Con-Aid®/CBRPLUS para emprego em obras de pavimentação.** 2013. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270p. Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** São Paulo, (3ª edição), Editora Oficina de Textos, 2006, 367 p.

POTTER, Reinaldo Oscar; CARVALHO, Américo Pereira de; FLORES, Carlos Alberto; BOGNOLA, Itamar. **Embrapa Solos. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento. Solos do Estado de Santa Catarina, nº 46.** 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Embrapa, 2004.

SCARMAGNANI, Jakson Alexandre. **Análise das propriedades mecânicas de um solo da Formação Palermo estabilizado mecanicamente.** 2013. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

SILVA, Filipe Bruno dos Santos. **Avaliação de misturas de solo e resíduo de polimento de porcelanato para emprego em obras rodoviárias.** 2016. 116p. Tese (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. do Rio Grande do Norte, Natal.

TRINDADE, T.P.; et. Al. **Compactação de solos: Fundamentos teóricos e práticos.** Viçosa: Editora UFV, 2008. 95 p.