

ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO ARGILOSO COM REJEITO DE BENEFICIAMENTO DE CARVÃO PARA SUB-BASE E SUBLEITO DE PAVIMENTOS

Heloisa Manenti Martins (1), Ingrid Milena Reyes Martinez Belchior (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) helomanenti@gmail.com, (2) ingridbelchior@unesc.net

RESUMO

A insuficiência de jazidas de materiais geotécnicos convencionais e a disponibilidade de grandes quantidades de resíduos e rejeitos industriais, têm motivado o desenvolvimento de estudos sobre materiais geotécnicos não convencionais. A região catarinense tem muitas mineradoras de extração de carvão, sendo necessário dar um destino sustentável aos rejeitos gerados por esta atividade. Neste estudo é avaliado o comportamento mecânico de um solo argiloso misturado com rejeitos carbonosos liberados da exploração da camada Barro Branco, com o fim de verificar a possibilidade de destinar estes rejeitos na construção de camadas rodoviárias. Foram utilizadas misturas de solo argiloso com adições de 0%, 20%, 40%, 60% e 100% de resíduo de beneficiamento de carvão (RBC). A adição de RBC altera as características de plasticidade do solo, incrementando o valor do IP com adições de RBC inferiores a 40%. Os ensaios de caracterização mecânica mostraram que a umidade ótima de compactação tende a reduzir com o incremento na porcentagem de RBC adicionado ao solo. Simultaneamente, a densidade seca máxima de compactação incrementa com o aumento na dosagem de RBC. Portanto, a adição de RBC produz um entrosamento nas amostras de solo, contribuindo com uma maior resistência. Os valores de ISC e expansão se mostraram desfavoráveis para todas as misturas de solo e RBC, pois não atingiram as especificações mínimas para materiais de sub-base e subleito. Unicamente, o RBC no seu estado natural, sem ser misturado com o solo argiloso da formação Palermo, atendeu os requerimentos mínimos para material de subleito ou reforço de subleito, com expansão de 0,8% (menor de 2%) e ISC de 16,3% (superior a 2%).

Palavras-Chave: Rejeito de beneficiamento de carvão (RBC). Estabilização de solo. Pavimentação.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda rodoviária brasileira e o aumento do fluxo de automóveis, tem sido motivo de preocupação no Brasil, assim como o aumento de rejeitos gerados pelas indústrias de beneficiamento de carvão que poluem ou exigem espaço físico para seu descarte. Com isso, viu-se a necessidade da constante manutenção e ampliação da malha rodoviária, porém esses serviços tem o custo elevado e no quadro atual do país, o investimento em pesquisas de reutilização de rejeitos e

reaproveitamento de materiais, é o melhor caminho econômico para isso, além de incentivar a sustentabilidade e resolver o problema do “lixo” gerado em alguns segmentos industriais.

A insuficiência de jazidas de materiais geotécnicos convencionais e a disponibilidade de grandes quantidades de resíduos e rejeitos, tem motivado o desenvolvimento de estudos sobre materiais geotécnicos não convencionais. A região catarinense possui muitas mineradoras de extração de carvão, sendo necessário dar um destino sustentável aos rejeitos gerados por esta atividade.

Segundo Zilli (2002), a mineração em geral, é tida como um dos ramos do setor produtivo que mais contribui à poluição do solo e de águas superficiais. Um dos problemas mais sérios de poluição nesta área está associado, à disposição dos rejeitos que são lixiviados pela ação da água das chuvas. Denominada drenagem ácida, ela é resultante de reações químicas dos sulfetos na presença de ar e de água. Este problema é comum em áreas de mineração de carvão, uma vez que a pirita e marcasita, são minerais encontrados nas camadas de carvão.

Segundo Amaral Filho (2009), os rejeitos do beneficiamento do carvão são materiais minerais com densidade intermediária e características inertes que podem servir como base para estudos de seu aproveitamento na construção civil.

Zilli (2002), afirmou que no Estado de Santa Catarina os rejeitos do beneficiamento do carvão representam praticamente 60% do carvão bruto e que o ganho ambiental com o aproveitamento do rejeito carbonoso seria de grande relevância, pois este rejeito é um grande poluidor, em função da pirita que contêm. Dependendo do conteúdo de enxofre os rejeitos de beneficiamento são usualmente classificados em carbonosos e piritosos.

Uma das fontes de carvão mais exploradas nas regiões próximas à cidade Criciúma é a camada de carvão denominada “Barro Branco”. Neste estudo foram utilizados os rejeitos carbonosos liberados da exploração desta camada. Foram avaliadas as propriedades geotécnicas do rejeito puro e de misturas de rejeito com um solo argiloso onde verificou-se o comportamento mecânico e a possibilidade de utilização destes rejeitos para fins de construção de camadas rodoviárias.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento geotécnico de um solo argiloso estabilizado com rejeito do beneficiamento de carvão (RBC) da Camada Barro Branco verificando através de ensaios as características físicas e geotécnicas de misturas de solo/rejeito com o fim de procurar dosagens que cumpram com os requisitos técnicos para materiais de sub-base e subleito de pavimentos flexíveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

- Determinar as características físicas (granulometria e propriedades de plasticidade) do solo puro e de misturas solo/rejeito dosadas nas seguintes proporções: 100/0; 80/20; 60/40; 40/60; 0/100.
- Determinar a umidade ótima de compactação e a densidade máxima seca do solo puro e das misturas solo/rejeito, aplicando a energia de compactação Proctor Normal.
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e porcentagem de expansão do solo puro e das misturas solo/rejeito compactadas na umidade ótima e densidade máxima obtida nos ensaios de compactação com energia Proctor normal.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para esse estudo, foram utilizados os seguintes materiais: solo argiloso e Rejeito de Beneficiamento de Carvão (RBC). A aparência física destes dois materiais é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - (a) Solo argiloso da formação Palermo; (b) Rejeito de beneficiamento de carvão (RBC)

a)



b)



Fonte: Do autor (2018).

O solo para a realização deste estudo foi extraído do Parque Científico e Tecnológico (IPARQUE), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Este tipo de solo argiloso pertencente à formação Palermo, que segundo Bresciani (2009, p.68), é uma formação que está representada por folhelhos silticos argilosos, que tendem a formar solos tipo, silte argilosos e argilas siltosas. As propriedades físicas do solo argiloso da formação Palermo são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades do solo argiloso da formação Palermo

Propriedade	Valores
Limite de liquidez (LL)	59%
Limite de plasticidade (LP)	45%
Índice de plasticidade (IP)	14
Classificação HRB	A7-5
Índice de Suporte Califórnia (ISC)	5,2%
Umidade ótima de compactação na energia Proctor Normal.	27,7%
Densidade máxima seca	1,342 g/cm ³
Expansão	3,7%

Fonte: Souza (2016).

O rejeito de carvão utilizado neste estudo é proveniente da região de Criciúma, Siderópolis e Urussanga. Segundo Zilli (2002), durante o beneficiamento de carvão natural são produzidos rejeitos piritosos (R1) e rejeitos carbonosos (R2 e R-3). O rejeito piritoso é a fração pesada da primeira separação por densidade feita no beneficiamento do carvão bruto. Assim chamado por conter a maioria de pirita liberada na britagem, e com isto um alto teor de enxofre. Os rejeitos carbonosos representam

as frações pesadas de segunda e terceira separações, realizadas com a fração leve da primeira separação. A quantidade de pirita nestes rejeitos é bem menor, predominando os siltitos e argilitos carbonosos. Neste estudo foram usados rejeitos de baixo teor de enxofre, ou seja, os liberados durante a segunda e terceira fase do beneficiamento.

A partir do estudo realizado por Moreno (2017) foram obtidas informações sobre ensaios de absorção atômica feitos no rejeito de beneficiamento de carvão (RBC). A Tabela 2 mostra os resultados da composição química do RBC obtida através deste ensaio. Segundo Moreno (2017), os resultados do RBC mostraram que ele apresenta duas fases, uma fase cristalina, formada por sua maior parte de quartzo, caulinita e moscovita, e uma fase amorfa.

Tabela 2 - Composição química do RBC obtida através de absorção atômica.

Elementos	Teor (%)	Elementos	Teor (%)
SiO ₂	50,51	Na ₂ O	0,29
Al ₂ O ₃	22,47	P ₂ O ₅	0,07
Fe ₂ O ₃	8,05	MgO	<0,05
K ₂ O	2,07	MnO	<0,05
TiO ₂	0,96	Perda ao Fogo	15,18
CaO	0,49		

Fonte: Moreno (2017).

3.2 MÉTODOS

Para determinar os efeitos da inserção de RBC como material estabilizador de solos para camadas rodoviárias, diversas misturas de solo e RBC foram preparadas fazendo dosagens do rejeito em relação ao peso seco do solo. A Tabela 3 mostra a nomenclatura utilizada para cada mistura com as respectivas porcentagens de solo e RBC que as conformam.

Tabela 3 - Distribuição das misturas (dosagens) de Solo e Rejeito

Nomenclatura	Solo (%)	RBC (%)
S100/RBC0	100 – Solo referencial	0
S80/RBC20	80	20
S60/RBC40	60	40
S40/RBC60	40	60
S0/RBC100	0	100

Fonte: Do autor (2018).

Após preparação das misturas, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização física: ensaio de granulometria, determinação dos limites de liquidez e limites de plasticidade e determinação da densidade real dos grãos. Posteriormente, foram realizados ensaios mecânicos de compactação na energia Proctor Normal, determinação de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão das misturas e dos materiais puros compactados nas suas respectivas umidades ótimas e densidades secas máximas. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas listadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Normas Brasileiras para os Ensaios - ABNT

Ensaios	ABNT
Corpos de Prova	NBR 5739/2007
Limite de Liquidez	NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade	NBR 7180/2016
Granulometria	NBR 7181/2016
Compactação	NBR 7182/2016
Índice Suporte Califórnia	NBR 9895/2016

Fonte: Do autor (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

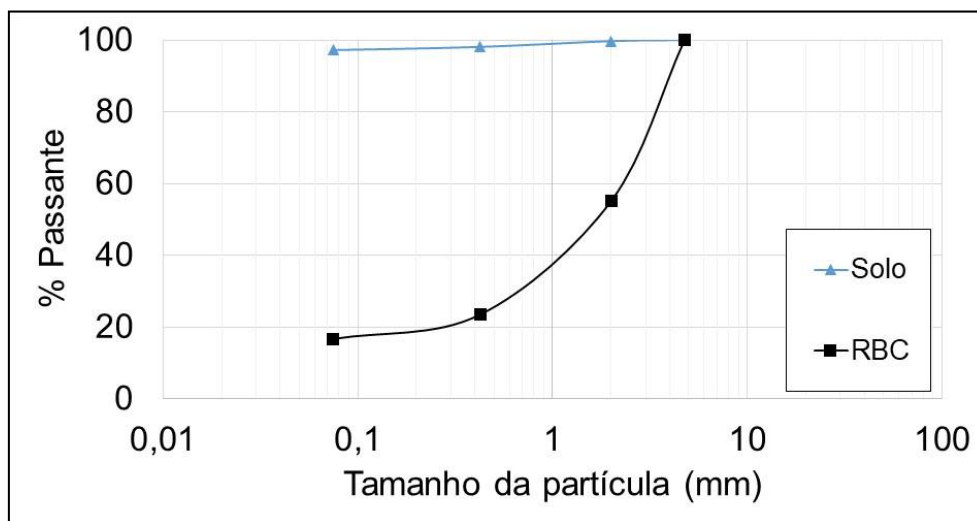
4.1.1 Granulometria por peneiramento

O tamanho das partículas e sua distribuição dentro da massa de solo podem indicar o uso apropriado do solo para fins de engenharia. O ensaio de granulometria por peneiramento foi realizado apenas para os materiais puros. A Figura 3 mostra as curvas granulométricas do solo argiloso da formação Palermo e do RBC. Observa-se que o RBC apresenta uma granulometria mais grossa que o solo natural, pois enquanto para o solo natural 97,2% das partículas passam na peneira #200 (0,075mm), somente 16,7% das partículas do RBC passam nesta peneira.

O Sistema de Classificação Unificado de Solo recomenda que para uma classificação adequada de materiais geotécnicos deve se definir a porcentagem de pedregulho (ou seja, a fração que passa na peneira #10 com abertura de 76,2mm e retida na peneira #4), porcentagem de areia (ou seja, a fração que passa na peneira #4 de abertura 4,75mm e retida na peneira #200 de abertura 0,075mm) e a porcentagem de argila

(ou seja, a fração que passa na peneira #200). Segundo esta definição, o solo argiloso da formação Palermo contém 97,2% de argila, 2,8% de areia e 0% de pedregulho, enquanto que o RBC está conformado por 16,7% de argila, 83,3% de areia e 0% de pedregulho.

Figura 2 - Curvas granulométricas dos materiais



Fonte: Do autor (2018).

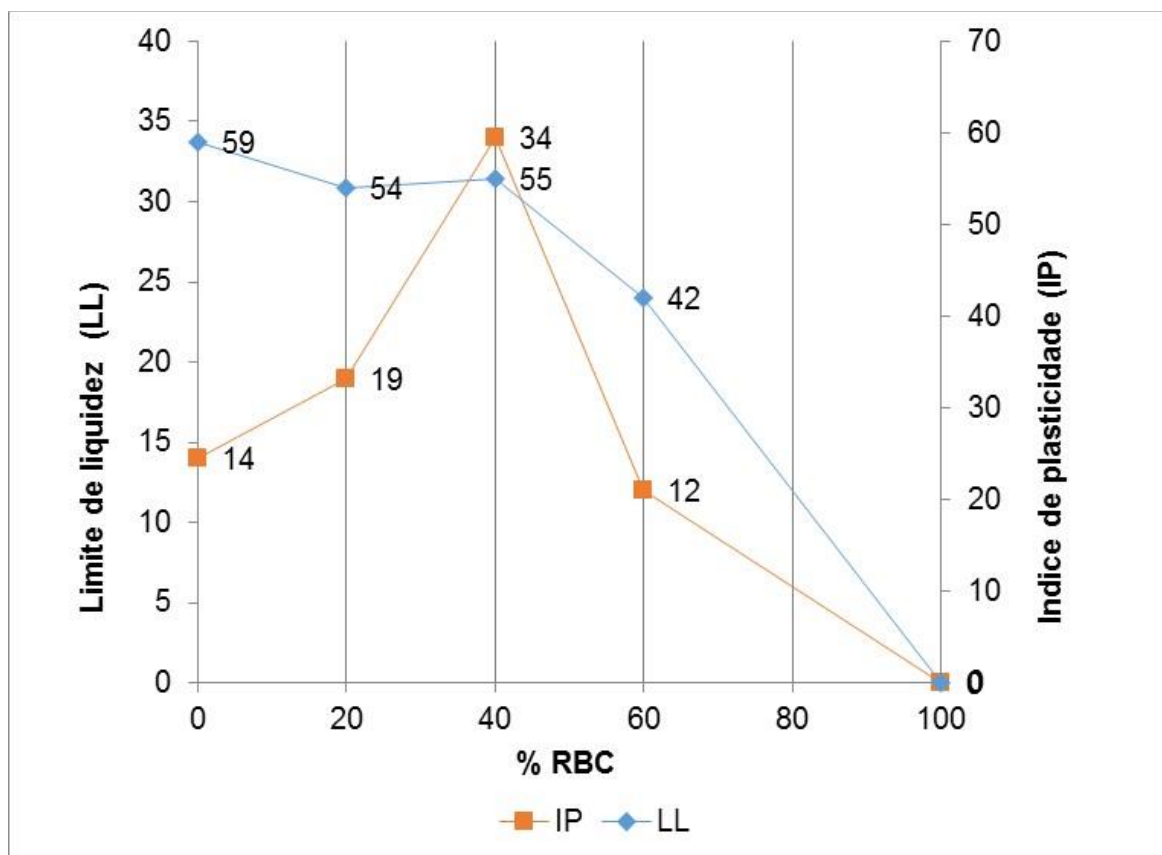
4.1.2. Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade

Segundo Budhu (2015), a proporção de água na matriz de um solo pode alterar o comportamento deste. Assim, o comportamento físico e mecânico do solo está associado a quatro estados distintos dele: sólido, semissólido, plástico e líquido, relativos a um aumento da sua umidade.

Foram realizados ensaios de determinação de LL e LP para todas as misturas descritas na Tabela 3. Na Figura 3 são mostrados a variação dos valores de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) com as diferentes dosagens de RBC adicionadas ao solo argiloso. Observa-se que a medida que aumenta a porcentagem de RBC nas misturas, estas tendem a ter um valor menor de LL, ou seja, as misturas com maior dosagem de RBC precisam de menos água para mudar seu comportamento de um estado líquido para um estado plástico. Os valores de IP mostraram com adições de RBC inferiores a 40%, o solo tende a ficar mais plástico, ou seja, consegue se deixar moldar em umidades mais altas que o solo natural. Porém com adições de RBC superiores a 40%, as misturas perdem plasticidade, tendendo a

se comportar como o RBC puro (100% de RBC) que não permite ser moldado ($IP = 0$).

Figura 3 - Variação de LL e LP com a porcentagem de adição de RBC no solo argiloso da formação Palermo



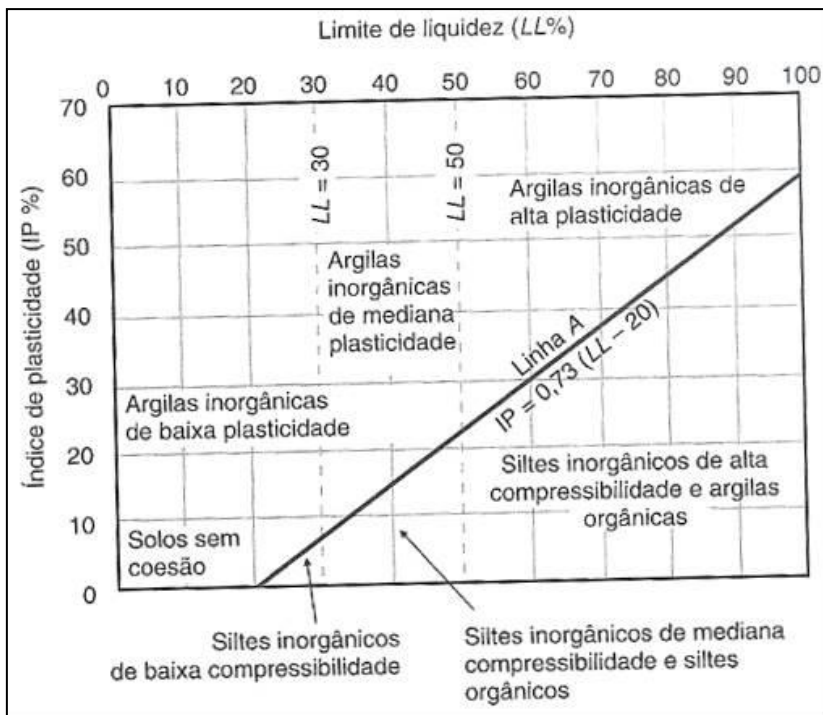
Fonte: Do autor (2018).

Casagrande (1932) estudou a relação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez e propôs o gráfico de plasticidade (DAS, 2014) mostrado na Figura 4. Este gráfico contém uma linha limite denominada “linha A” definida pela equação: $IP = 0,73(LL - 20)$. A linha “A” separa as argilas inorgânicas dos siltes inorgânicos. Os valores das argilas inorgânicas permanecem acima da linha A, e os valores dos siltes inorgânicos ficam abaixo desta linha. Os siltes orgânicos estão abaixo da linha A e com LL variando de 30 a 50. As argilas orgânicas de alta compressibilidade se situam abaixo da linha A e LL maior que 50.

Utilizando o gráfico de Casagrande foram localizados os resultados de LL e IP obtidos para as misturas de solo e RBC, como se mostra na Figura 6. Observou-se que o solo natural (S100/RBC0) e a mistura com menor conteúdo de RBC (S80/RBC20) apresentaram uma classificação de silte inorgânico de alta compressibilidade segundo o gráfico de plasticidade de Casagrande. Igualmente, observou-se que o efeito de uma

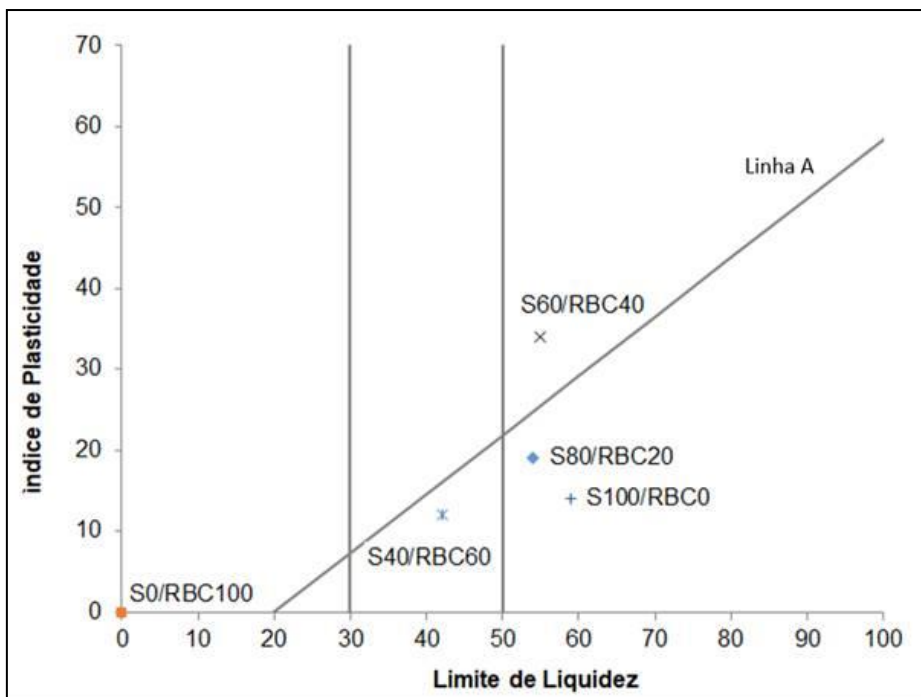
maior dosagem de RBC no solo provoca perda das propriedades de compressibilidade do solo, como pode se ver na mistura com 60% de RBC (S40/RBC60) que se classificou como um silte inorgânico de mediana compressibilidade.

Figura 4 - Gráfico de plasticidade de Casagrande



Fonte: Das (2014).

Figura 5 - Localização das misturas de solo e RBC no gráfico de plasticidade de Casagrande

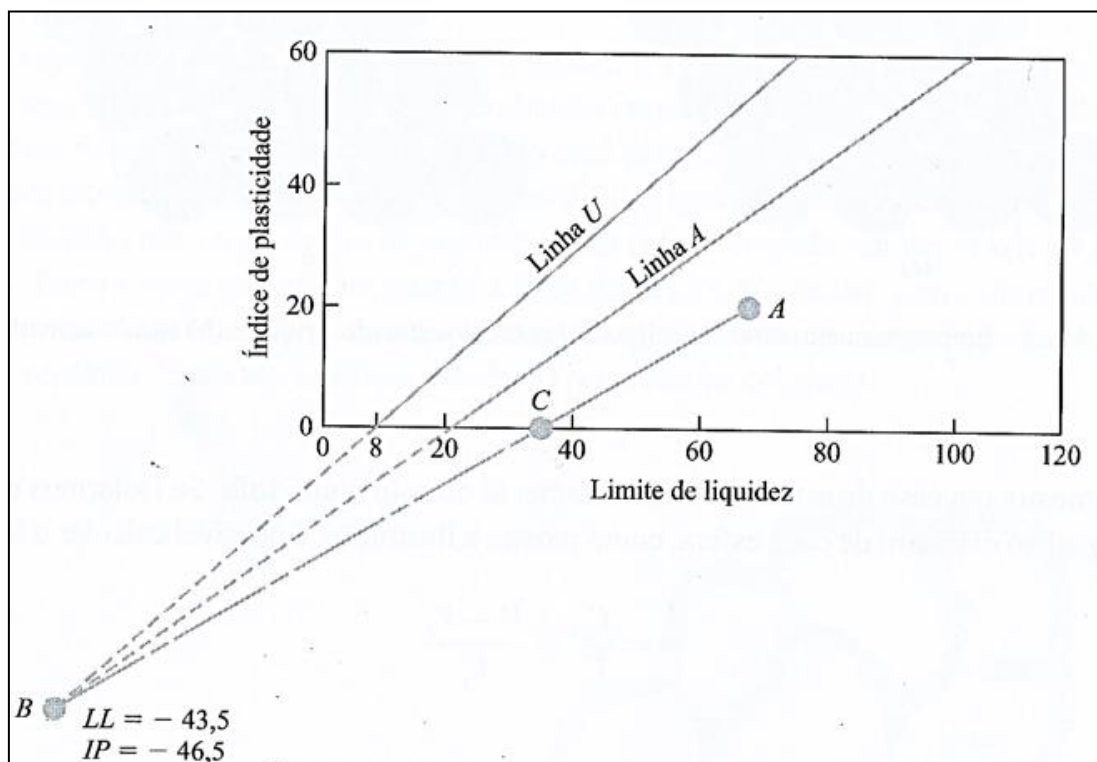


Fonte: Do autor (2018).

O gráfico de plasticidade de Casagrande inclusive pode ser usado para determinar o limite de contração dos solos aproximadamente. Isso pode ser feito através do procedimento descrito por Das (2014), como segue:

1. Localizar o ponto A correspondente ao limite de liquidez e índice de plasticidade do solo no gráfico de plasticidade de Casagrande.
2. Projetar a linha A (definida pela equação: $IP=0,73(LL-20)$) e a linha U (definida pela equação: $IP=0,9(LL-8)$) para abaixo, até interceptar o ponto B. O ponto B terá as coordenadas $LL=-43,5$ e $IP=-46,4$
3. Unir os pontos A e B com uma linha reta. O intercepto no eixo do limite de liquidez (ponto C) é o limite de contração (LC) estimado (ver Figura 7).

Figura 6 - Estimativa de contração com base no gráfico de plasticidade



Fonte: Das (2014).

Com o procedimento descrito acima foram determinadas as retas que unem os valores das coordenadas de IP e LL de cada mistura, com a coordenada $LL=-43,5$ e $IP=-46,4$. As retas e suas respectivas equações são mostradas na Figura 8. Igualando a zero o valor de IP nas equações destas retas foi possível calcular o limite de contração de cada mistura. Os valores de LC estão resumidos na Tabela 5 e mostram uma

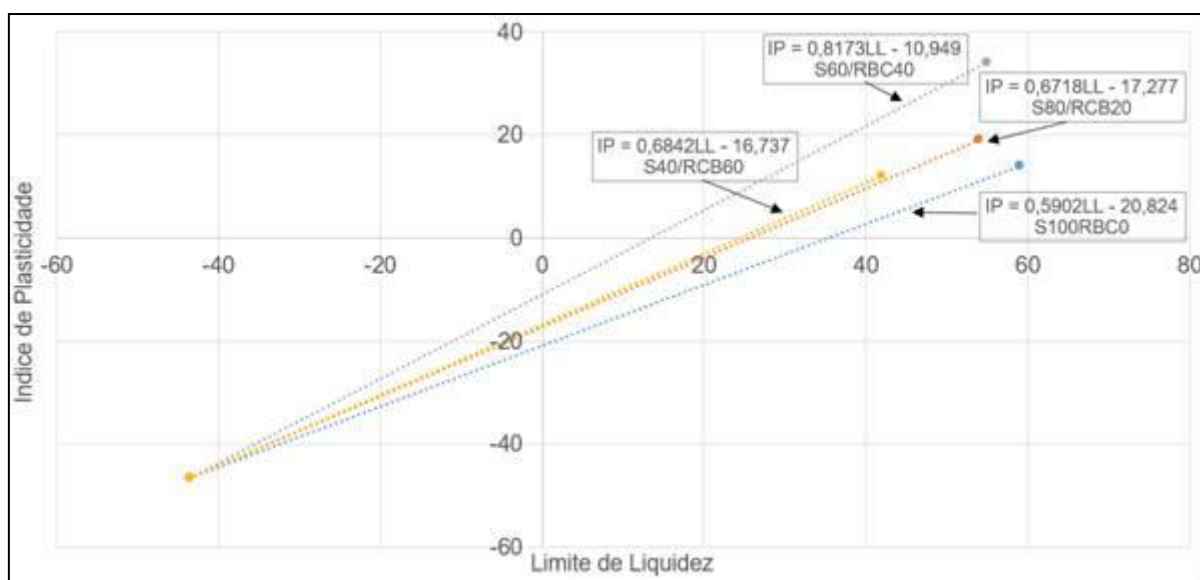
tendência de decréscimo do limite de contração com o aumento de porcentagem de RBC na mistura, exceto para a mistura S60/RBC40.

Tabela 5 - Limite de contração das misturas calculado a partir do gráfico de plasticidade de Casagrande

Mistura	Limite de contração (LC)
S100/RBC0	35,3
S80/RBC20	25,7
S60/RBC40	13,4
S40/RBC60	24,4
S0/RBC100	0

Fonte: Do autor (2018).

Figura 7 - Estimativa do limite de contração das misturas de solo e RBC através do gráfico de plasticidade



Fonte: Do autor (2018).

4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

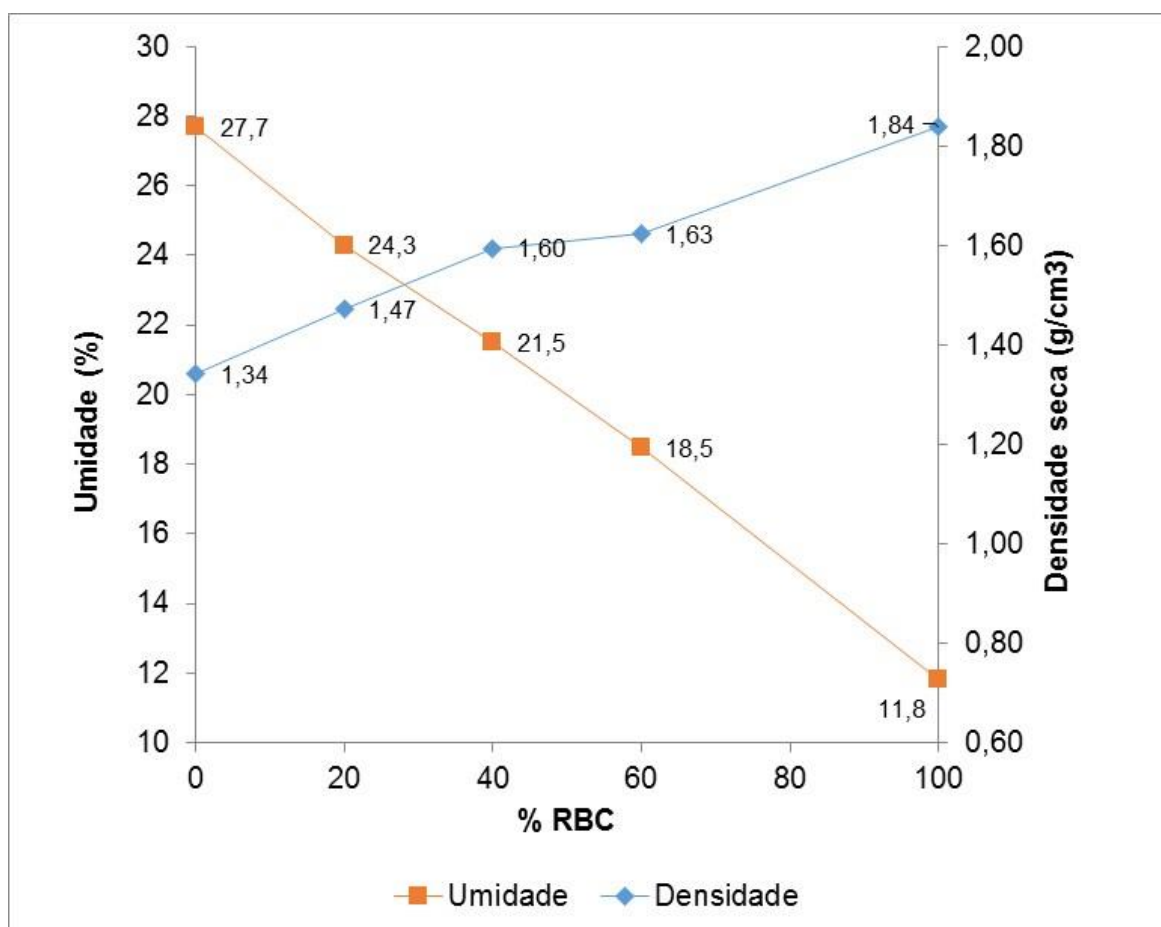
4.2.1 Análise de Compactação

A compactação consiste em densificar o solo por meio da remoção de ar através da aplicação de energia mecânica. O peso específico seco ou densidade seca é a medida do grau de compactação de um solo. Cada solo tem um valor máximo de densidade seca que é obtido com uma umidade específica chamada umidade ótima. O teste de laboratório geralmente usado para determinar a densidade máxima seca de compactação e o teor de umidade ótimo é o ensaio de compactação Proctor. O ensaio de compactação Proctor pode ser realizado com três energias de compactação

diferentes: normal, intermediária e modificada. Neste estudo as amostras foram analisadas com compactações feitas na energia Proctor Normal.

A Figura 8 mostra a relação entre a umidade ótima e a densidade máxima seca para as misturas de solo com diferentes porcentagens de RBC. Nesta figura observa-se que a umidade ótima de compactação tende a reduzir com o incremento na porcentagem de RBC adicionado ao solo. Assim, enquanto para o solo puro a umidade ótima de compactação foi 27,7%, para a mistura S60/40RBC a umidade ótima de compactação caiu para 18,5%, e finalmente para o RBC puro foi obtida uma umidade ótima de compactação de 11,8%. Observou-se também que a densidade seca máxima de compactação incrementa com o aumento na dosagem de RBC. Portanto, a adição de RBC produz um entrosamento nas amostras de solo, contribuído com uma maior resistência.

Figura 8 - Umidade ótima e densidade máxima seca para misturas de solo com diferente porcentagem de RBC



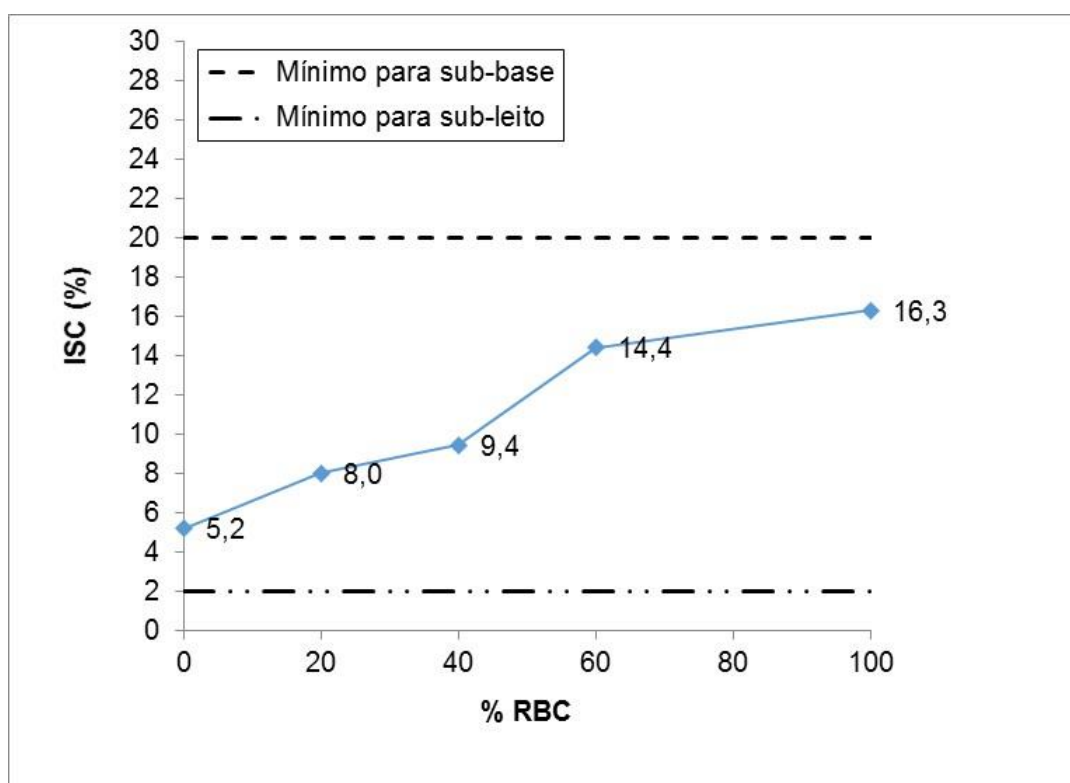
Fonte: Do autor (2018).

4.2.2 Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão

O ensaio de determinação do índice de suporte Califórnia (ISC) é um ensaio de grande valor na técnica rodoviária, pois é amplamente usado para dimensionamento de pavimentos flexíveis. O valor de ISC é a relação entre a carga necessária para a deformação de 0,1" ou 0,2" do material ensaiado e a carga obtida para a pedra britada. Quanto mais alto o valor do ISC melhor a qualidade geotécnica do material.

Neste estudo o ISC foi determinado para as amostras de solo misturado com RBC preparadas com suas respectivas umidades ótimas e densidades máximas secas determinadas na energia Proctor normal. Os valores de ISC obtidos para cada mistura de solo com diferentes porcentagens de RBC são mostradas na Figura 10. Nesta figura inclusive foram adicionadas duas linhas com os valores mínimos de ISC exigidos pelo DNIT/2009 (Revisão da norma DNER - ES 301/97) para materiais de sub-base e subleito para facilitar a visualização dos resultados obtidos.

Figura 9 - Índice de Suporte Califórnia (ISC) para misturas de solo com diferentes porcentagens de RBC.



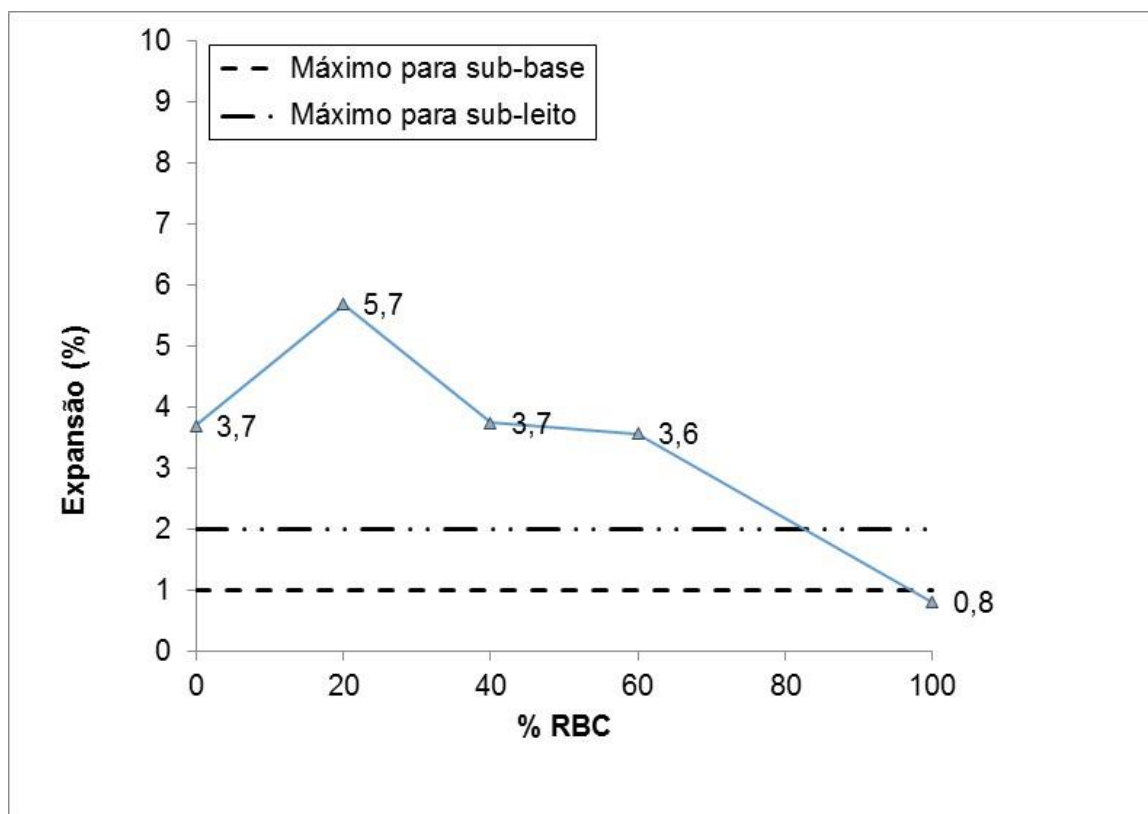
Fonte: Do autor (2018).

Observou-se uma leve tendência de aumento no valor de ISC com incremento na porcentagem de RBC nas misturas. O valor mais favorável de ISC foi obtido para o RBC puro (100% de RBC) com um valor de 16,3%. Todas as misturas de solo e RBC

obtiveram valores de ISC menores que 20%, portanto não são aptas para serem usadas como material de sub-base. Porém, todas as misturas cumprem com o quesito mínimo de ISC para material de subleito com valores de ISC superiores a 2%, mas podendo ser utilizadas como reforço de subleito.

A variação volumétrica do solo em presença de água é medido através do ensaio de expansão que faz parte do procedimento de preparação de amostras para determinação do ISC. Este valor é importante porque grandes variações no volume do solo em presença de água podem gerar diversas patologias nos pavimentos. A Figura 11 mostra os valores de expansão obtidos para misturas de solo com diferentes porcentagens de RBC.

Figura 10 - Expansão para amostras de solo com diferentes porcentagens de RBC



Fonte: Do autor (2018).

Os resultados referentes à expansão não se mostraram favoráveis nem para o solo puro e nem para as misturas de solo e RBC. Todas as misturas obtiveram valores de expansão superiores a 2%, o que as inabilita com materiais de sub-base, subleito e reforço.

Analisando os resultados referentes à expansão e ao ISC, pode-se concluir que o RBC puro, sem ser misturado com o solo argiloso da formação Palermo, atende aos

quesitos mínimos para material de subleito com um ISC superior a 2% e expansão inferior a 1%. Já nenhuma das misturas de solo e RBC estudadas atenderam aos quesitos mínimos para material de subleito e sub-base ou reforço de subleito.

5. CONCLUSÕES

- A partir do estudo realizado foi possível concluir que a adição RBC alterou as propriedades de plasticidade do solo argiloso da formação Palermo. Os valores de IP mostraram com adições de RBC inferiores a 40%, o solo tende a ficar mais plástico, ou seja, consegue se deixar moldar em umidades mais altas que o solo natural. Porém com adições de RBC superiores a 40%, as misturas perdem plasticidade, tendendo a se comportar como o RBC puro (mistura com 100% de RBC) que não permite ser moldado ($IP = 0$).
- As adições de RBC no solo também produziram diminuição na compressibilidade do solo argiloso pelas características de ausência de plasticidade do RBC. Adicionalmente, o incremento de RBC nas misturas levou a uma diminuição do limite de contração estimado pelo gráfico de Casagrande.
- Nos ensaios de caracterização mecânica foi observado que umidade ótima de compactação tende a reduzir com o incremento na porcentagem de RBC adicionado ao solo. Simultaneamente, a densidade seca máxima de compactação incrementa com o aumento na dosagem de RBC. Portanto, a adição de RBC produz um entrosamento nas amostras de solo, contribuindo com uma maior resistência.
- Os valores de ISC obtidos foram desfavoráveis para todas as misturas de solo e RBC para utilização em sub-base, pois não atingiram as especificações mínimas exigidas por norma. Porém todos os valores de ISC para as misturas de solo e RBC, foram favoráveis na utilização para subleito e reforço de subleito, se não fosse a elevada expansão das misturas.
- Os valores de expansão obtidos foram desfavoráveis para todas as misturas de solo e RBC, unicamente, o RBC no seu estado natural, sem ser misturado como o solo argiloso da formação Palermo e atendeu os requerimentos mínimos para material de subleito ou reforço com expansão menor de 2% e ISC superior a 2%.

Para complementar o presente estudo são recomendados os seguintes trabalhos futuros:

- Avaliar o comportamento mecânico das amostras solo/RBC aplicando a energia de compactação Proctor intermediária;
- Usar adições de cal nas misturas solo/RBC para melhorar o comportamento das misturas e atingir as especificações mínimas de ISC e expansão para sub-bases e subleitos de pavimentos.
- Verificar o comportamento mecânico de outro tipo de solos, por exemplo solos arenosos, com adições de RBC.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL FILHO, J.R. **Avaliação ambiental e do potencial de aproveitamento de um módulo de rejeito de carvão na região carbonífera de Santa Catarina**. 2009. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA 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.

BRESCIANI, Denise. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo da formação palermo, estabilizado com aditivo perma zyme®**. 2009. 153 p. TCC (Curso de Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

BUDHU, M. **Fundações e estruturas de contenção**. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2015.

DAS, B. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução da 8 edição. Ed. Cengage Learning. São Paulo, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT/2009 (Revisão da norma DNER - ES 301/97):** Pavimentos flexíveis – sub-base estabilizada granulometricamente – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009. 9 p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/normas/download/pavimentacao/Sub_Base_Estabilizada_Granulometricamente.pdf>. Acesso em: 11 maio 2018.

MORENO, Kelyn Rodrigues. **Influência do rejeito de carvão mineral aplicado na pavimentação asfáltica.** 2017. 19 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

SOUZA, João Vitor de. **Estabilização de solo argiloso com cinza de casca de arroz e cal.** 2016. 17 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

ZILLI, C.B. **Considerações Sobre o Aproveitamento dos Rejeitos de Produção do Carvão Catarinense.** 2002. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Univ. de São Paulo.