

# REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ARENITO DA FORMAÇÃO BOTUCATU EM INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

Fábio dos Santos Colares (1), Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)fabicolares\_eng.civil@yahoo.com.br, (2)par@unesc.net

## RESUMO

Apesar de o Brasil ser um país de dimensões continentais, o principal meio de transporte é o rodoviário. Para que as rodovias suportem as cargas que por elas transitam, deverão ser projetadas e executadas conforme as normas, pois são responsáveis pelo escoamento de aproximadamente 70% de toda a produção de manufaturados, industriais e agrícolas produzidas no país. Neste trabalho, buscou-se pesquisar e estudar um material nobre, oriundo da exploração de jazidas da Formação Botucatu, situada no sul de Santa Catarina, no município de Santa Rosa do Sul, da qual se extraem vários produtos usados na construção civil, dentre outras finalidades. Desta forma procurou-se dar uma utilidade ao material residual proveniente das jazidas, para a sua utilização na pavimentação de rodovias e vias urbanas. Este estudo foi todo conduzido e realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC. Constituiu-se o mesmo da caracterização física, compreendendo os ensaios de granulometria, limite de líquidos (LL) e limite de plasticidade (LP), bem como dos ensaios mecânicos, correspondentes aos ensaios de Compactação, do Índice de Suporte Califórnia (I.S.C) e Expansão. Os resultados obtidos do I.S.C foram expressivos, além da baixa Expansão, nos permitindo, assim, afirmar que o material estudado é de excelente qualidade, podendo ser utilizado como camada constituinte de um pavimento, tanto para tráfego leve, médio e, mesmo, para tráfego pesado, podendo ser utilizado como sub-base e base. Logo, o mesmo poderá substituir os materiais comumente utilizados como camadas de um pavimento, os quais têm custos mais elevados, podendo gerar uma economia significativa na execução de uma rodovia ou de uma via urbana, principalmente em municípios próximos a estas.

*Palavras-Chave: Rodovias, Pavimento, Arenito Botucatu, Residuais, Economia.*

## 1. INTRODUÇÃO

A rochas da Formação Botucatu pertencem à Bacia do Paraná, constituída basicamente por arenitos, originados por depósitos de areia, em ambientes desérticos, ao longo de milhões de anos.

Os arenitos da Formação Botucatu são utilizados na extração de blocos ou pisos regulares para a construção civil, e é feita rudimentarmente por trabalhadores da região.

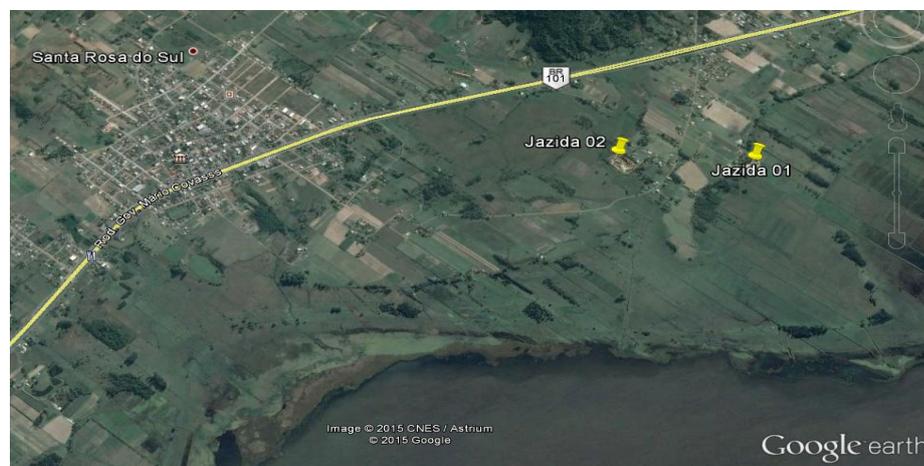
O processo de silicificação observado em grande parte dos arenitos da Formação Botucatu forneceu a essa rocha características que favorecem seu manuseio e permitem que sejam utilizadas em diferentes produtos como placas de rocha para revestimentos, pisos, calçamentos, muros, palanques, mesas, molduras de portas e janelas, batentes e muitos outros. (MONTANHEIRO *et al.*, 2011, p 240).

Os materiais extraídos são comercializados para atender uma expressiva demanda, para fins diversos. Porém, a extração dos mesmos gera um volume de rejeitos não aproveitados, que são despejados ao pé da própria jazida. Como este trabalho visa dar um destino ao entulho, proveniente da extração de pedras regulares do arenito, principalmente como camada de um pavimento de rodovia ou em vias urbanas.

Rochas arenosas de várias formações geológicas da Inglaterra foram testadas, com resultados positivos de testes físicos e mecânicos para utilização em estradas, demonstrando que existem materiais de alta qualidade para revestimento de estradas representado por arenitos e sedimentos com potencial de utilização como materiais de construção (pedra para construção, pedra de revestimento, enrocamento, agregado de sub-base, agregado de acabamento e enchimento e concreto. (MINEROPAR, 1999).

A região do extremo sul catarinense possui várias jazidas, abrangendo os municípios de Turvo, Jacinto Machado e Santa Rosa do Sul, na qual se localizam as jazidas cujo material é objeto de estudo, conforme mostram a figura 1.

Figura 1: Localização das Jazidas.



FONTE: Google earth

## 1.1 Mineralogia dos arenitos

O mineral comumente encontrado nos arenitos, em sua grande maioria, é o quartzo, conforme consta em um estudo mineralógico feito no arenito: "As rochas são essencialmente quartzosas, ou seja, caracterizadas como quartzo-arenito, segundo a classificação de Dott (1964), as quais são compatíveis com os estudos das amostras de sub-superfície realizados por Gesicki (2007)". (MINEROPAR *et al.*, 2011).

## 1.2 Contexto geológico

As duas jazidas de arenito do presente trabalho, fazem parte de pequenas áreas isoladas respectivamente, onde estão localizadas dentro de uma região que é caracterizada como Depósitos de Barreira Pleistocênica (Planície Lagunar), como estão descrita no estudo de DIEHL, F.L. & HORN FILHO, (1996):

As fácies sedimentares da barreira pleistocênica são interpretadas como originadas em ambiente praial e marinho raso, recobertos por sedimentação eólica. Os sedimentos são constituídos por areias quartzosas, fina a média de coloração amarelo-claro até acastanhado, eventualmente contendo estruturas sedimentares do tipo estratificação cruzada acanalada. Os sedimentos eólicos que os recobrem, compõem-se de areias quartzosas, bimodais, de coloração amarelo-acastanhado até avermelhado, muitas vezes enriquecido em matriz secundária composta por argilas e óxidos de ferro.

De acordo com o estudo de DIEHL, F.L. & HORN FILHO, (1996), quando fala-se de Planícies Lagunares, estas são consideradas depósitos sedimentares recentes geologicamente, de idade quaternária. Porém, as jazidas em estudo são consideradas depósitos sedimentares consolidados antigos, de idade jurássica a cretácea.

## 1.3 Objetivo geral

Estudo do rejeito da exploração do arenito da Formação Botucatu, localizado no município de Santa Rosa do Sul/SC para o uso em pavimentação rodoviária.

## 1.4 Objetivos específicos

- Coleta de amostras para ensaios físicos de granulometria, LL, LP.
- Ensaios mecânicos de Compactação para obter densidade máxima e umidade ótima do mesmo, além do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (I.S.C) e da Expansão.

## 2. MATERIAIS

Foram coletadas várias amostras de material residual, proveniente da exploração do arenito em seu estado natural, de duas jazidas localizadas no Bairro Glórinha - Santa Rosa do Sul/SC, que foram encaminhados ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). As amostras foram homogeneizadas e preparadas, a qual foi utilizada para a realização dos ensaios de caracterização mecânica e física de acordo com as suas respectivas normas.

As figuras 1, 2 e 3 mostram o material já destorroado e peneirado na peneira 4 (4,8 mm), além da extração, e o rejeito depositado ao pé da jazida, respectivamente.

Figura 2: Resíduo de arenito homogeneizado e passante na peneira 4,8 mm.



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Figura 3: Extração de blocos de arenito.



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Figura 4: Resíduos gerados na extração, depositado.



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

## 2.1 MÉTODOS

A partir da coleta das três amostras do rejeito de arenito em campo e transportado ao LMS, os mesmos foram devidamente preparados através de destorroamento e fragmentação. A seguir juntaram-se as mesmas, transformando-as numa única amostra, a qual foi submetida aos seguintes procedimentos:

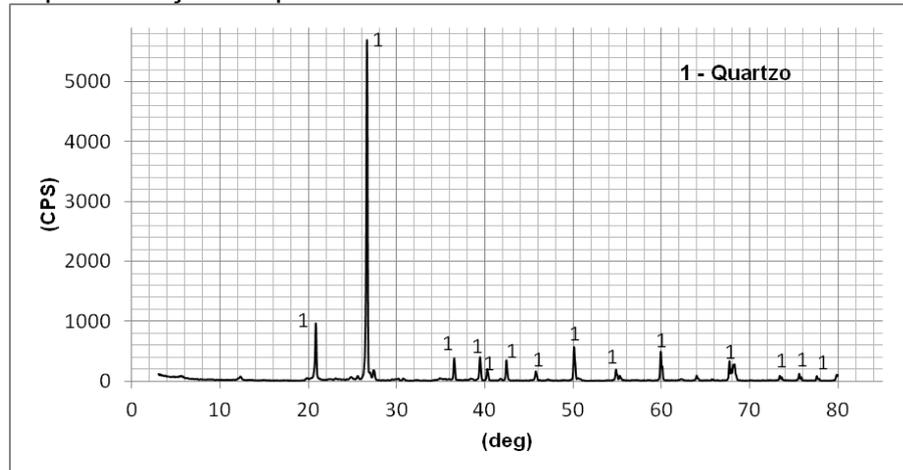
- Caracterização física, pelos ensaios de granulometria, de acordo com norma NBR 7181/84, pelo LL da norma NBR 6459/84, (DNER - ME 122-94), LP pela NBR 7180/84 (DNER-ME 82-94);
  - Com os resultados obtidos da caracterização física, classificou-se o material de acordo com a *Highway Research Board* (antigo HRB), hoje *Transportation Research Board* (TRB);
  - Os ensaios mecânicos de compactação, do I.S.C e o da Expansão, pela NBR 7182/86 (DNER 49-74);
  - Com a execução dos ensaios de compactação nas Energias do P.N., P.I. e P.M., obteve-se as densidades máximas aparentes e as umidades ótimas de cada uma, de acordo com os gráficos 3, 6 e 9;
  - Para a obtenção da curva resultante do I.S.C e da expansão, foram moldados 3 (três) corpos de prova, para cada energia, variando a umidade em 2 (dois) pontos percentuais abaixo e acima da umidade ótima, obtida na compactação;
  - Realizou-se ainda, o ensaio de Difração de Raios-X (DRX), para identificação da predominância de minerais cristalizados contidos no material, o qual não foi normatizado até o presente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Contexto mineral

O presente estudo não representa a quantidade de mineral, mas ilustra picos de quartzo cristalizado, obtido pelo ensaio de Difração de Raios-X, realizado pelo Laboratório de Engenharia de Materiais do Instituto Científico e Tecnológico (IPARQUE) da UNESC, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Representação de picos de mineral.



FONTE: Lab. de Eng. de Materiais, IPARQUE (UNESC), 2015

O gráfico demonstra vários ciclos de intensidade de quartzo, confirmando-se o mineral que na maioria dos arenitos é normalmente encontrado, sendo o único presente na amostra.

## 5.2 Caracterização física do arenito

A granulometria da amostra de arenito, mostra que mais de 90% do material passou na peneira número 10 (2 mm), e quase 60% ficou retido na peneira número 200 (0,074 mm), como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 1: Valores retidos das frações granulométricas.

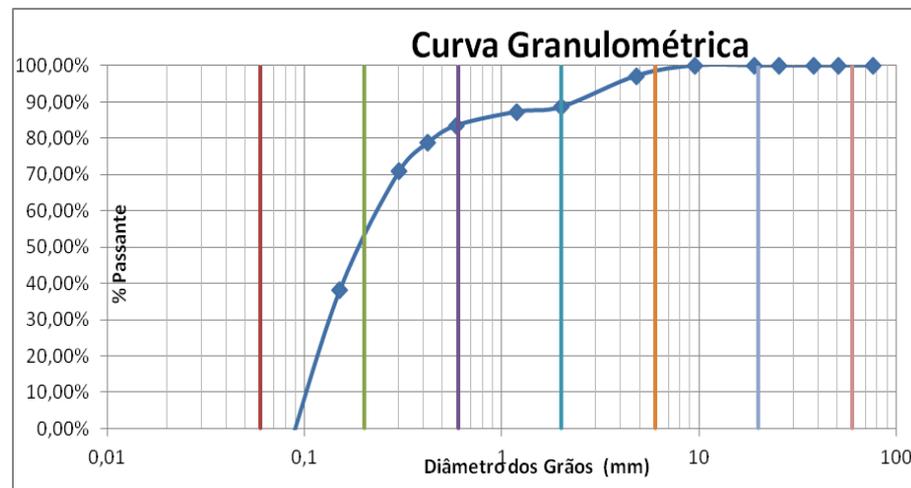
			Peso Total de cada fração (g)	Percentagem Retida (%)
			500	100,00
<b>Fração Grossa</b>	<b>Peneira Nº</b>	<b>Material Retido (g)</b>		
	<b>(mm)</b>			
	4	4,800	13,93	2,79
	10	2,000	42,62	8,52
			120	100,00
<b>Fração Fina</b>	16	1,190	1,80	1,50
	30	0,590	5,02	4,18
	40	0,420	6,47	5,39
	50	0,300	10,67	8,89
	100	0,150	44,09	36,74
	200	0,074	70,44	58,70

FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

De acordo com a classificação TRB afirma-se que é uma areia fina, contendo, também pequenas quantidades de areia média, grossa, pedregulho e silte. Por tratar-se praticamente de uma areia em que a quantidade de material passante na peneira número 200 (0,074 mm) foi insuficiente, não houve condições da realização dos ensaios de LL e LP, considerado, portanto, um material Não Plástico (NP) e Não Líquido (NL).

Obtidos os pesos retidos de cada peneira, traçou-se a curva granulométrica na qual estão representados os valores constantes no gráfico 2.

Gráfico 2: Curva granulométrica.



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

De acordo com os resultados de, Granulometria, além de caracterizado como NP e NL, classificam-se os solos em um grupo de materiais granulares, ou materiais silto-argilosos, onde esta forma, pela classificação da TRB, trata-se de um material A-4, de acordo com a figura 5.

Figura 5: Classificação TRB.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

\* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

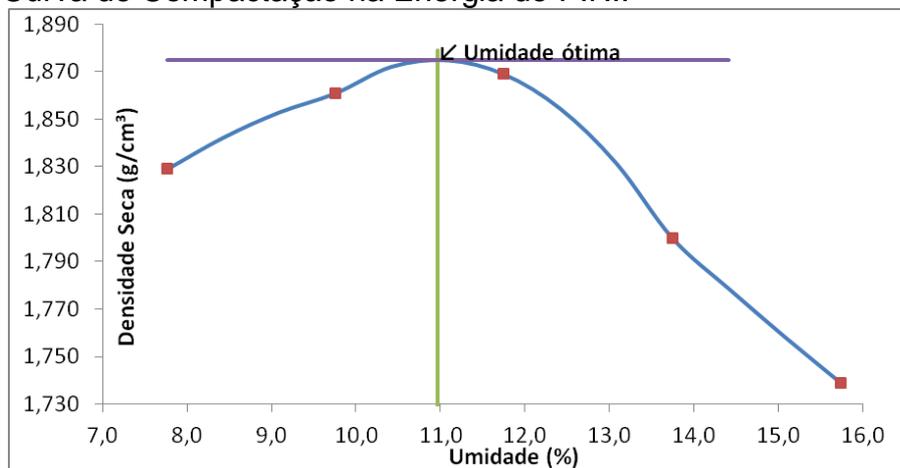
FONTE: Classificação TRB – AASHTO (DNER, 1996).

### 5.3 Comportamento mecânico do arenito da Formação Botucatu

#### 5.3.1 Energia Proctor Normal

Para obter os três pontos percentuais mencionados, compactou-se na Energia P.N. os cinco pontos, tendo como resultado uma umidade ótima de 11,0%, para a qual atingiu a densidade máxima de 1,875 g/cm<sup>3</sup>, como mostra o gráfico 3.

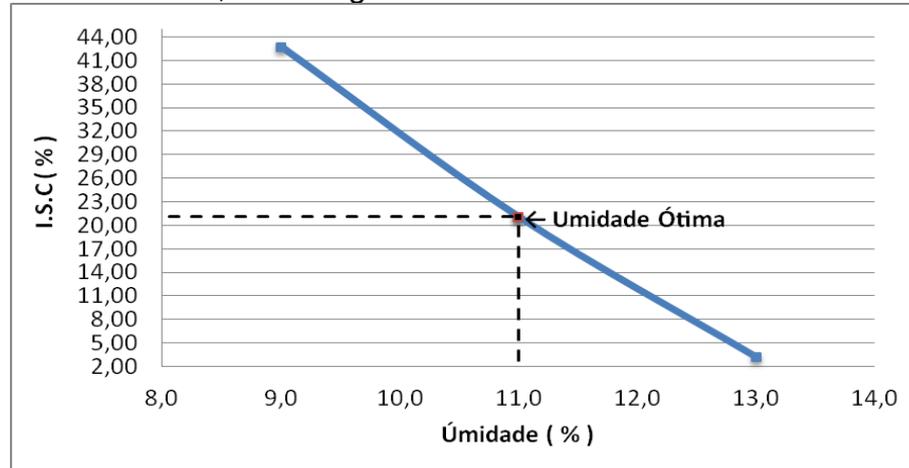
Gráfico 3: Curva de Compactação na Energia do P.N..



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

O gráfico 4, mostra o comportamento da curva de I.S.C, utilizando-se a Energia do P.N., com 3 (três) teores de umidade obtidos pela curva de Compactação do gráfico 3.

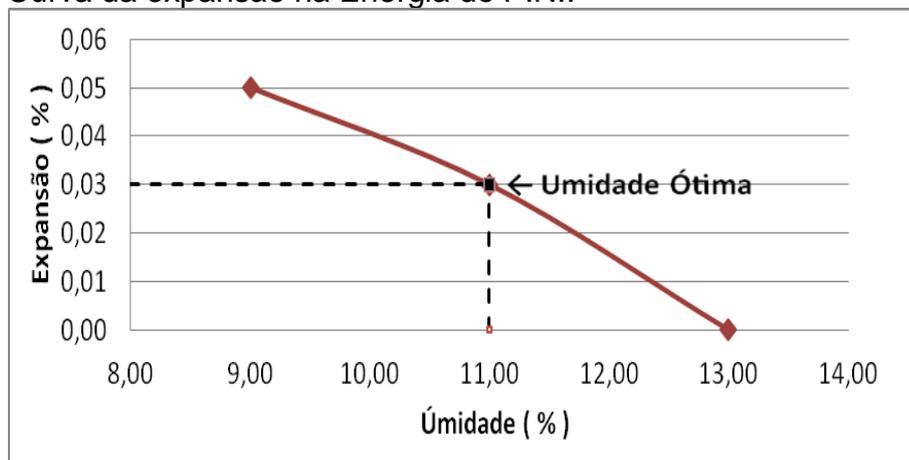
Gráfico 4: Curva do I.S.C, na Energia do P.N..



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

O resultado é significativo, mostrando que no ramo seco atingiu-se a maior resistência a penetração, resultando em 21,1% na umidade ótima, atingindo neste teor um I.S.C aceitável para uma sub-base. Observa-se pela curva gerada, uma queda acentuada quando houve o aumento de umidade na amostra, significando que o comportamento do material na presença de água acima da umidade ótima não é recomendado. Além de atingir um I.S.C adequado para a sub-base, o material atingiu uma expansão no teor de umidade ótima de 0,03% e a máxima no ramo seco de 0,05%, como mostra o gráfico 5.

Gráfico 5: Curva da expansão na Energia do P.N..



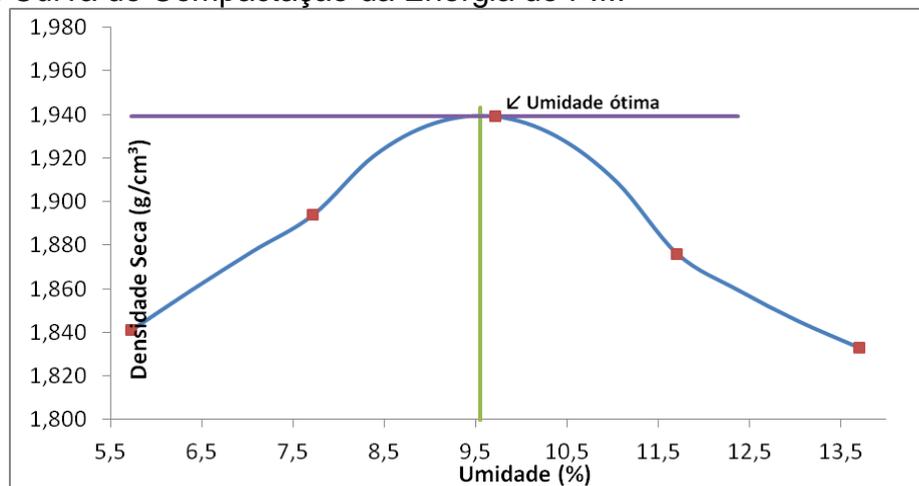
FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Contudo é permitido afirmar que o material nesta energia, pode ser utilizado como sub-base de um pavimento, pois satisfaz as especificações ou normas de que o I.S.C seja maior ou igual a 20,0% e a expansão menor ou igual a 1%.

### 5.3.2 Energia Proctor Intermediária

A curva do gráfico 6 mostra os cinco pontos de umidade, obtendo a densidade máxima de compactação no valor de 1,939 g/cm<sup>3</sup>, na umidade de 9,5%.

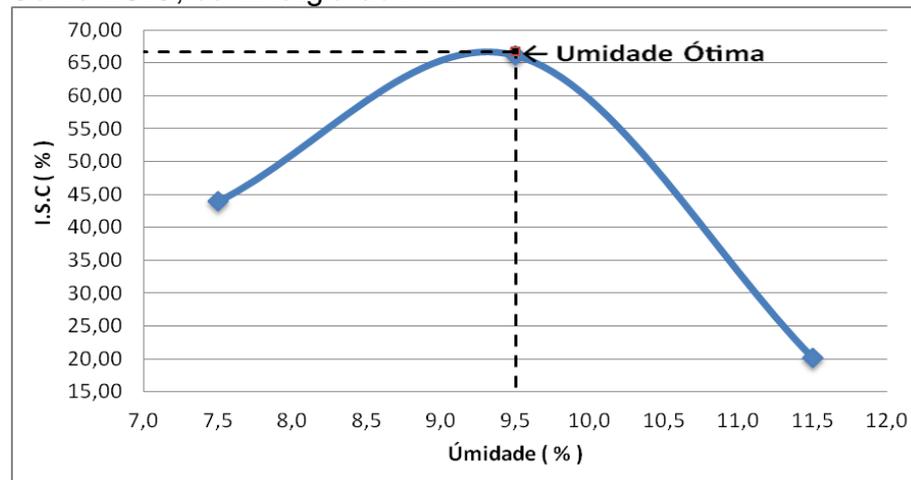
Gráfico 6: Curva de Compactação da Energia do P.I..



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Com a identificação do valor de umidade ótima, além dos dois pontos percentuais acima e abaixo, obteve-se a curva conforme os resultados de I.S.C dos três pontos, como mostra o gráfico 7.

Gráfico 7: Curva I.S.C, da Energia do P.I..

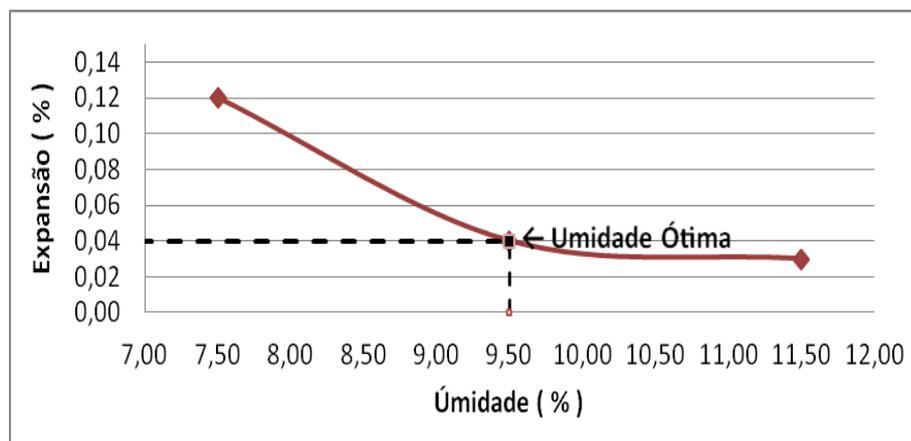


FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Ao aplicar a Energia do P.I., obteve-se uma curva, em que o I.S.C máximo é coincidente com o teor ótimo de umidade, e que tanto no ramo seco quanto no úmido há uma queda do mesmo. A análise da curva nos permite afirmar, que o material em estudo, além de servir como camada de sub-base, pode servir como base, quando se tratar de tráfego leve para médio, de acordo com o DNER/1996, desde que atenda as demais características supracitadas no trabalho, além do Equivalente de Areia. As normas e especificações determinam que para as camadas de sub-base e de base se aplique sempre, no mínimo, a Energia Intermediária.

O gráfico 8 mostra o comportamento da expansão, quando o corpo de prova fica na condição submersa, e compactado na Energia P.I., atingindo 0,04% na umidade ótima, além de obter 0,12% no ramo seco.

Gráfico 8: Curva da expansão da Energia do P. I..

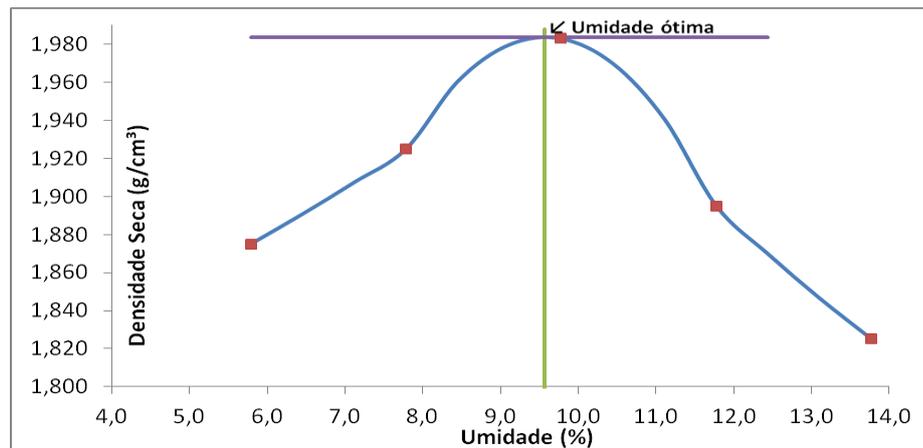


FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

### 5.3.3 Energia Proctor Modificada

Estabeleceu-se a umidade ótima através da curva de compactação na Energia P.M., atingindo uma densidade máxima de  $1,984 \text{ g/cm}^3$ , no teor de umidade igual a 9,6%, verificado no gráfico 9.

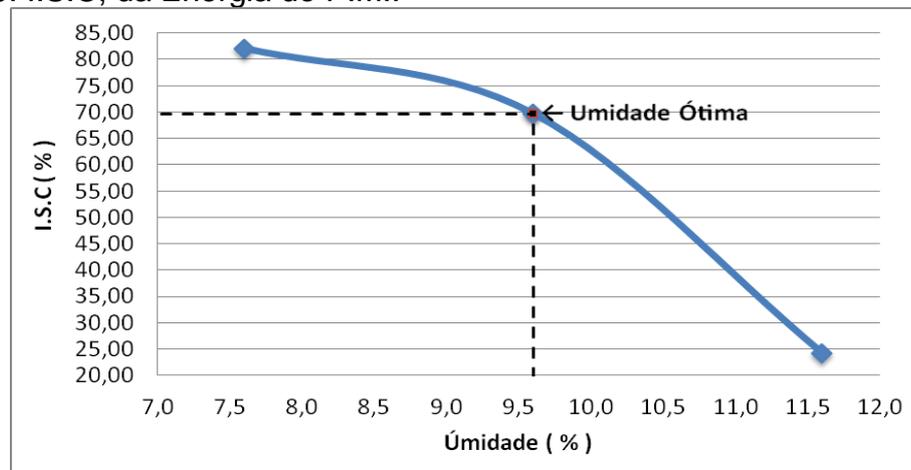
Gráfico 9: Curva de Compactação da Energia do P. M..



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

O gráfico 10 apresenta o comportamento da curva de I.S.C, na condição submersa dos três pontos percentuais obtidos da compactação, moldado na Energia P.M..

Gráfico 10: I.S.C, da Energia do P.M..

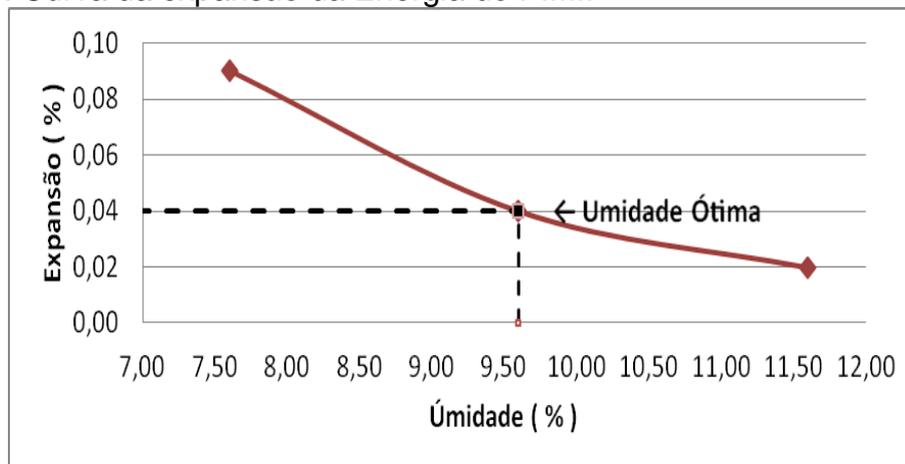


FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Observa-se no gráfico, que quando o arenito é submetido a uma Energia do P.M., o seu I.S.C é máximo no ramo seco, superior a 80,0%, enquanto que na umidade ótima é praticamente 70,0%.

A expansão se manteve praticamente zero em todas as energias, atingindo na umidade ótima da Energia P.M. 0,04%, e máxima no ramo seco de 0,09%, como mostra no gráfico 11.

Gráfico 11: Curva da expansão da Energia do P.M..



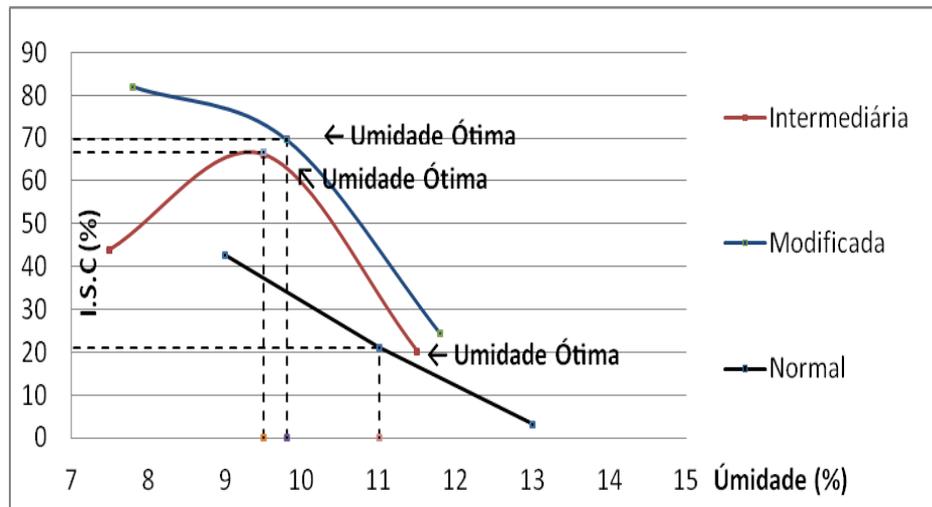
FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

#### 5.4 Análise dos resultados

Os resultados obtidos nas três energias, empregados na moldagem dos corpos de prova foram expressivos, demonstrando que o material pode ser utilizado como sub-base em rodovias de tráfego médio a pesado, e como base para tráfego leve a médio, principalmente em vias urbanas. Logo, o uso do arenito, com as características apresentadas no presente trabalho, quando utilizado como base em vias urbanas, ou como sub-base em vias de alto tráfego, pode gerar uma economia significativa.

O gráfico 12 demonstra o comparativo dos resultados de I.S.C obtidos nas 3 (três) energias.

Gráfico 12: Comparação dos resultados de I.S.C nas três energias.



FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

Pela análise do gráfico 12, depreende-se que a curva gerada na Energia do P.N., se diferencia das do P.I. e P.M.. Observa-se que no P.N. gerou quase uma reta, onde o I.S.C máximo se dá no ramo seco. Já a curva gerada pela Energia P.I., a mesma inicia com I.S.C baixo, atingindo o valor máximo na umidade ótima, caindo significativamente no ramo úmido. Por fim, ao utilizar-se a Energia P.M., o I.S.C máximo se dá no ramo seco, havendo uma queda leve até a umidade ótima, a partir da qual se intensifica. No gráfico, observa-se, ainda, que no ramo úmido, as curvas do P.I. e P.M. mostram um paralelismo entre si, demonstrando que nestas energias o volume de vazios de uma para outra, é pouco alterável, ou seja, pela baixa diferença de resistências de ambas, é mais viável trabalhar na Energia do P.I.. Os resultados constantes na tabela 3 expressam de forma clara a representação do gráfico 12, além das expansões.

Tabela 2: Resultado I.S.C e expansão conforme a umidade, nas três energias.

	Umidade (%)	I.S.C (%)	Expansão (%)
<b>Proctor Normal</b>	9,0	42,7	0,05
	11,0	21,1	0,03
	13,0	3,2	0,00
<b>Proctor Intermediário</b>	7,5	43,9	0,12
	9,5	66,1	0,04
	11,5	20,2	0,03
<b>Proctor Modificado</b>	7,6	82,0	0,09
	9,6	69,7	0,04
	11,6	24,2	0,02

FONTE: Fábio dos Santos Colares, 2015

## 6. CONCLUSÕES

Analisando os rejeitos dos resíduos de arenito da Formação Botucatu do presente trabalho, observa-se que, por ter uma boa resistência ao destorroamento e à fragmentação, e também por ter variados formatos e tamanhos, recomenda-se uma britagem primária, para a diminuição dos tamanhos de resíduos do mesmo. Os ensaios foram realizados com o material passante na peneira número 4 (4,8 mm) conforme determina as normas, porém, em rodovias utilizar-se-á o mesmo em granulometrias maiores, preenchidas com finos, e que poderá ocorrer o aumento do suporte de carga superior ao de laboratório.

Mesmo que não tenha sido executado o estudo econômico e de viabilidade, verifica-se a economia que pode ser proporcionada com a utilização deste material, pois o mesmo pode substituir as camadas granulares pétreas, na qual tem custos mais elevados.

Deverá ser feito um estudo dos custos de transportes dos respectivos materiais, para verificação do seu custo final, quando da execução do pavimento com o material do presente estudo, se realmente é viável.

Desta forma, além de estar-se reaproveitando o rejeito como parte integrante de um pavimento, mantém-se limpo e desimpedido o local de trabalho para extração dos blocos, pisos, entre outros.

A verificação em pistas experimentais, análises de custos e viabilidade deste material, são sugestões para trabalhos futuros.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise granulométrica:** NBR 7181. *Rio de Janeiro, 1984.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do Limite de Liquidez:** NBR 6459. *Rio de Janeiro, 1984.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do Limite de Plasticidade:** NBR 7180. *Rio de Janeiro, 1984.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compactação:** NBR 7182. *Rio de Janeiro, 1986.*

COUTINHO, João Camilo Penna. **Dimensionamento de pavimento asfáltico.** Comparação do método do DNER com um método mecanístico - empírico aplicado a um trecho. *UFOP, Ouro Preto. p. 93-96, 2011.*

DIEHL, F.L. & HORN FILHO, N.O., 1996. **Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina.** *Notas Técnicas, 9, 39-50.*

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC.** 2004. 375 f. Tese (Doutorado em Geografia) - *Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.*

MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Perfil da Indústria de agregados.** Programa de desenvolvimento da indústria mineral paranaense. *Curitiba, 1999.*

MONTANHEIRO, T.J. et al. **Investigação tecnológicas de arenitos silicificados da Formação Botucatu (NE do Paraná) para o uso como rocha de revestimento.** *Geociências, UNESP, São Paulo. v. 30, n. 2, p. 237-251, 2011.*

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** *Brasília, 2014.*