

## ESTABILIZAÇÃO DO SOLO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS PROVENIENTES DA EXTRAÇÃO DE PEDRA AMETISTA

**Marcos Tres**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
marcos-tres@hotmail.com

**Andréia Balz**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
bzadreia@yahoo.com.br

**Paolo Daniel Angeloni**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
paolodanielangeloni@gmail.com

**Bruna Thaís Liesenfeld**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
brunaliesenfeld@gmail.com

**Cristiane Dalcin**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
cris-dalcin@hotmail.com

**André Luiz Bock**

Professor do curso de Engenharia Civil da UNIJUI  
andre.bock@unijui.edu.br

**Resumo.** *Visando uma Estabilização Granulométrica de solo com incorporação de agregado mineral proveniente da extração de pedras semipreciosas, o presente estudo visa analisar as características de compactação e capacidade de suporte para determinar sua possível utilização em camadas de pavimentos rodoviários. Utilizou-se para a estabilização do solo o agregado proveniente da extração de pedra de Ametista, propondo o aproveitamento de rejeitos da mineração que se acumulam em garimpos da cidade de Ametista do Sul, os quais causam impactos ambientais e visuais nos arredores das minas. Através dos ensaios obteve-se os gráficos da curva de compactação e o Índice de Suporte Califórnia, onde pode-se analisar o comportamento do solo genuíno e com a adição de agregado, ou seja, utilizou-se 100% solo para a primeira análise sequencialmente analisou-se o comportamento de 80% de solo com 20% de brita de ametista e em seguida a composição de 60% de solo e 40% de brita de ametista. Sendo assim obteve-se para a*

*amostra 100% solo um CBR de 9,07%, 80% solo 9,25% e para 60% solo 7,25. A possível utilização em pavimentos seria na camada de subleito.*

**Palavras-chave:** *solo, agregado, pedra de ametista, estabilização.*

### 1. INTRODUÇÃO

As propriedades de um solo, como a resistência e deformabilidade, podem ser alteradas por métodos mecânicos, físicos e/ou químicos. A estabilização escolhida depende das propriedades no estado natural, propriedades desejadas para o solo e dos efeitos no solo após a estabilização (SANTOS, 2012).

A estabilização do solo consiste na utilização de solos naturais, rochas alteradas, naturais ou misturas artificiais de solos e rochas alterados ou da combinação destes materiais, que após a compactação e o umedecimento proporcionam estabilidade (SENÇO, 2001). Nota-se a

melhoria da capacidade de resistência, suporte de cargas e esforços induzidos pelo tráfego geralmente aplicado sobre o pavimento e também ações erosivas de agentes naturais sob diversas condições de solicitações. Basicamente, a estabilização de um solo consiste no estudo da resistência do solo e da suplementação necessária desta resistência (MARQUES, 2006).

A distribuição adequada dos diâmetros de grãos é chamada de estabilização granulométrica. Onde a distribuição de tamanhos diferentes é tal que os vazios de grãos maiores, são preenchidos pelos grãos médios e esses pelos finos. Esta estrutura, apresenta massa específica superior à dos componentes, o que proporciona a estrutura maior resistência e impermeabilidade (SENÇO, 2001).

A estabilização granulométrica, impõe-se aos índices físicos, como limite de liquidez e índice de plasticidade, o que garante um solo estabilizado, devidamente compactado e drenado, formando assim uma estrutura estável, capaz de atender as necessidades características das camadas ou fundações de um pavimento. Ainda, quando o solo não possui características próprias para utilização direta na base de um pavimento pode-se realizar uma correção granulométrica, podendo utilizar pedregulho, areia, silte ou argila (SENÇO, 2001).

Também conhecida como estabilização por compactação, a estabilização mecânica que visa dar ao solo ou mistura a ser utilizado em uma camada do pavimento a densidade máxima relativa a umidade ótima e compactação. É um método complementar a outros métodos de estabilização, sempre utilizado na realização das camadas dos pavimentos (MARQUES, 2006).

Neste contexto, no presente estudo foram utilizados os métodos de estabilização granulométrica e mecânica, utilizando os materiais locais e tecnologias obtidas na região, procurando obter um resultado técnico, ambiental e economicamente satisfatório. Para

este fim foram utilizados agregados providos da extração das pedras de Ametista e também o solo da cidade de Santa Rosa.

De acordo com Sasso, et al., “[...] a principal atividade econômica da cidade de Ametista do Sul-RS é a extração de pedras preciosas e semipreciosas provindas de atividades vulcânicas, em diversas minas espalhadas por toda a extensão de sua região.” (SASSO, et al., 2016, p.1).

Nesta cidade, localizada no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul situa-se a Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural do Médio Uruguai (COOGAMAI), a qual segundo Soares, libera a exploração da mineração na região, onde há uma grande concentração de rejeitos da mineração com aproximadamente 15.000 toneladas de rejeitos de basaltos hidrotermalizados concentrados nos garimpos mensalmente (SOARES, 2018).

Para retirada das pedras de Ametista, formadas em câmaras de rochas basálticas são necessárias explosões e rejeição de grande quantidade de minério, este resíduo é constituído de um basalto típico da Formação Serra Geral, afetado em suas propriedades físicas pela gênese de geodos de Ametista, o que o torna menos resistente. Em razão da grande quantidade de material descartada no meio ambiente, que causa tanto impactos ambientais quanto visuais no entorno das minas, busca-se uma solução para que esse detrito se torne uma matéria prima (SASSO et al., 2016).

Com o objetivo de aproveitar este material foram realizados estudos e ensaios com intuito de utilizá-lo na estabilização do solo. Conforme Peurifoy, et al. a determinação das propriedades do solo pode ser feita através de ensaios laboratoriais, um ensaio crítico é a curva de compactação, através da qual pode-se determinar a densidade máxima e a umidade ótima do solo para determinado esforço de compactação (PEURIFOY, et al., 2015).

Uma alternativa de reaproveitamento deste material seria a utilização na estrutura de pavimentos misturados com o solo, assim

deve-se obter a resistência ao cisalhamento, para determinar a camada de utilização. Segundo Benucci 2006, pode-se determinar a utilização do material pelo seu CBR: para subleito o CBR deve ser maior igual a 2% e a expansão menor que 2%, reforço de subleito CBR entre 10 a 20% e expansão menor que 1%, sub-base CBR maior que 20% e expansão menor que 1% e base um CBR maior que 80% e a expansão menor que 0,5%.

O presente estudo objetiva testar a utilização da brita de ametista para a estabilização do solo, com o intuito de determinar a possível utilização na estrutura de pavimentação. Deste modo realizou-se ensaios laboratoriais para determinar a umidade ótima e o CBR (*Califórnia Bearing Ratio*) de três composições solo-brita, e assim estipular uma utilização nas camadas de pavimentação.

## 2. METODOLOGIA

Este artigo baseou-se em uma pesquisa experimental, assim realizou-se a compactação de solo para determinar a umidade ótima com dois teores de pedra de ametista (20% e 40%) incorporada, determinando a umidade ótima de compactação, para após a realização do ensaio de CBR (*Califórnia Bearing Ratio*). Foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI campus Santa Rosa –RS, sendo feito três amostras para cada teor de incorporação e mais três para o referencia, de somente solo, estas estão representadas na Figura 1.

Figura 1. Amostras para cada teor de incorporação



Para o ensaio de compactação, coletou-se o solo em um terreno limdeiro ao campus da universidade, com o intuito de preparação da amostra secou-se em estufa por 24h, para posterior destorroamento, homogeneização e peneiramento. O agregado também foi seco em estufa por 24h e caracterizado como rege a norma.

Para o ensaio de compactação utilizou-se da Norma Rodoviária DNER–ME 162/94, a qual, estabelece um método para determinar a correlação entre o teor de umidade e a massa específica do solo seco, quando a fração do solo que passa na peneira de 19 mm é compactada com energias de compactação diferentes (DNER-ME 162, 1994).

Assim retirou-se e pesou-se duas amostras da parte central para determinação da umidade, estas secas em estufas por 24h, para posterior pesagem. Em seguida realizou-se a compactação do material, a energia utilizada foi a intermediária, com 5 camadas de 26 golpes cada, o cilindro utilizado foi o grande, assim como o soquete. Pesou-se o material úmido mais o molde para determinação do peso do material úmido compactado. O ensaio de compactação está apresentado na Figura 2.

Figura 2. Ensaio de Compactação com Energia Intermediária



Após realizado esses procedimentos, efetuou-se os cálculos de umidade e massa específica aparente do solo seco compactado. E com esses resultados obteve-se as curvas de compactação para cada dosagem, esta determina a umidade ótima de compactação.

Para a realização do CBR, utilizando a norma DNIT 172/2006, compactou-se novamente na umidade ótima uma amostra de cada composição. Fixadas as amostras nos respectivos pratos-base perfurados, colocou-se a haste de expansão com os pesos anelares, para determinar a expansão do material devido a absorção d'água, foram medidas de 24 em 24 horas em porcentagem de altura dos corpos-de-prova, imersos em água por 96 horas (Figura 3).

Para determinar a penetração colocou-se os corpos-de-prova em uma prensa que faz o assentamento do pistão de penetração no solo, por meio, da aplicação de uma carga, que penetra a uma velocidade de 0,12cm/min, então se realizou as leituras no extensômetro do anel, estas medem o encurtamento diametral provenientes da atuação das cargas. Desta forma pode-se determinar uma utilização para as misturas na pavimentação asfáltica.

Figura 3. Saturação das Amostras



Após realizados os devidos procedimentos do ensaio, efetuados os respectivos cálculos, obteve-se a curva de pressão-penetração, o índice de suporte e a expansão das amostras.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

É natural que materiais granulares como solo, apresentem uma massa específica inferior à de materiais como a rocha britada, desta forma, ao efetuar ensaios de compactação com apenas solo, o esperado é que a massa específica seja inferior ao comparar com amostras onde haja mistura de solo com materiais mais densos.

Ao substituir uma parcela do solo por resíduo britado de pedra ametista, espera-se que ocorra um aumento da massa específica da mistura conforme maior for a substituição, desde que haja material fino suficiente, neste caso o solo, para fechar os vazios entre as partículas de resíduo britado de pedra ametista. Além da massa específica, espera-se que haja também uma redução da umidade ótima proporcional ao aumento do teor de substituição de solo pelo resíduo britado de pedra ametista, pois é natural que um material granular como o solo terá mais absorção de água em relação a rocha britada.

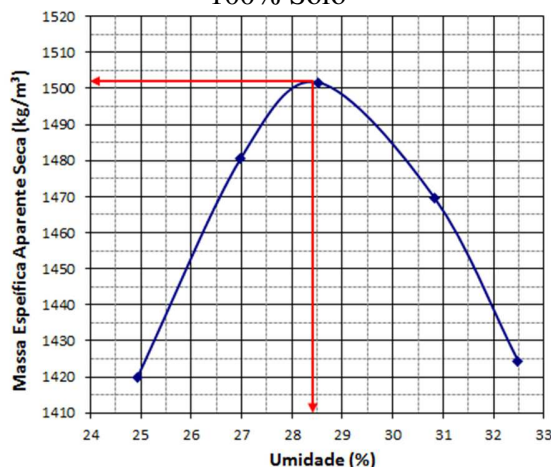
Com o ensaio do CBR obteve-se a resistência à penetração, que é considerada no ensaio a medida de resistência de cisalhamento do material.

As condições acima podem ser verificadas através das tabelas e gráficos dispostos a seguir, onde estão apresentados os resultados dos ensaios de Proctor, as curvas de compactação e a umidade ótima de cada uma das misturas e do ensaio de CBR.

### 3.1 Amostra 100% Solo

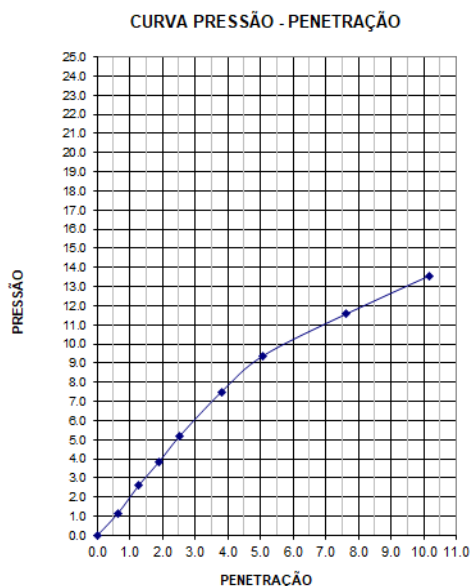
Para a amostra composta por 100% de solo, com os resultados do ensaio de compactação obteve-se a curva de compactação (Figura 4):

Figura 4. Curva de Compactação para amostra 100% Solo



Encontrou-se uma umidade ótima de aproximadamente 28,4% e uma massa específica de 1501 kg/m<sup>3</sup>. Com o ensaio de CBR obteve-se uma curva de pressão-penetração apresentada na Figura 5 e o índice de suporte exposto no Quadro 1.

Figura 5. Curva Pressão-Penetração para amostra 100% solo



Quadro 1. Leituras de Penetração e Índice de Suporte, amostra 100% solo

PENETRAÇÃO					
Tempo em min.	Penetr. em mm.	Leitura Deflec.	PRESSÃO		I. S. C. %
			Calc.	Corr.	
0,5	0,63	11,00	1,15	1,15	
1,0	1,27	25,00	2,61	2,61	
1,5	1,90	37,00	3,86	3,86	
2,0	2,54	50,00	5,21	5,21	7,557
3,0	3,81	72,00	7,51	7,51	
4,0	5,08	90,00	9,39	9,39	9,069
6,0	7,62	111,00	11,58	11,58	
8,0	10,16	130,00	13,56	13,56	
10,0	12,70		0,00	0,00	
RESULTADOS					
Dens. Aparente Seca	1552,57 Kg/m <sup>3</sup>				
I. S. C.	9,07 %				
Expansão	0,23 %				

Percebe-se no Quadro 1 que a expansão obtida é 0,23% e o Índice de Suporte Califórnia é de 9,07%, desta maneira o mesmo poderia ser apenas utilizado para material de subleito, em aterros e reforço de subleitos com baixa capacidade de suporte.

### 3.2 Amostra 80% Solo e 20% Agregado

Para o ensaio com um teor de substituição em massa de solo por resíduo pétreo britado da extração de pedra ametista correspondente a 20%, encontraram-se os resultados dispostos na Figura 6, Figura 7 e Quadro 2.

Figura 6. Curva de Compactação para amostra de 80% Solo e 20% Resíduo.

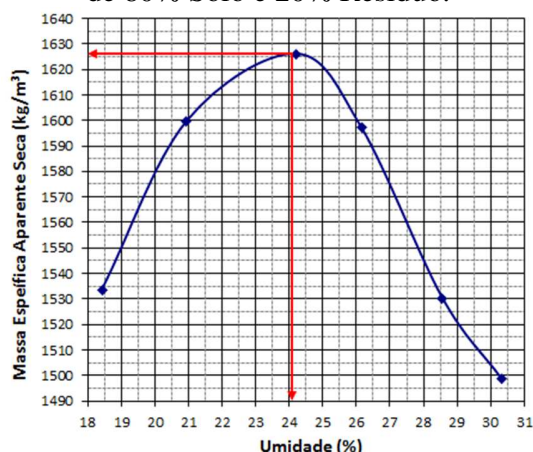
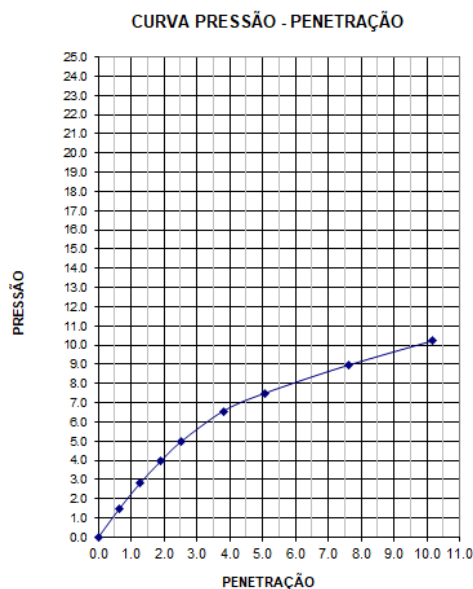


Figura 7. Curva Pressão-Penetração para amostra de 80% solo e 20% Resíduo



Quadro 2. Leitura de Penetração e Índice de Suporte para amostra de 80% solo e 20% Resíduo

PENETRAÇÃO					
Tempo em min.	Penetr. em mm.	Leitura Deflec.	PRESSÃO		I. S. C. %
			Calc.	Corr.	
0.5	0.63	14.00	1.46	1.46	
1.0	1.27	27.00	2.82	2.82	
1.5	1.90	38.00	3.96	3.96	
2.0	2.54	48.00	5.01	5.01	7.255
3.0	3.81	63.00	6.57	6.57	
4.0	5.08	72.00	7.51	7.51	7.255
6.0	7.62	86.00	8.97	8.97	
8.0	10.16	98.00	10.22	10.22	
10.0	12.70		0.00	0.00	

RESULTADOS	
Dens. Aparente Seca	1580.46 Kg/m³
I. S. C.	7.25 %
Expansão	0.29 %

Conforme apresentado na Figura 6, a umidade ótima para os teores de 80% de solo e 20% de resíduo britado de pedra ametista é de 24,1% aproximadamente. A densidade da mistura encontrada em laboratório corresponde a 1626 kg/m³. Houve também uma redução da umidade ótima em relação a amostra composta por 100% de solo na ordem de 4,3%.

Na capacidade de suporte alcançou-se um CBR de 7,25% e uma expansão de 0,29%, nota-se uma redução na capacidade de suporte e um aumento na expansão do corpo-de-prova em relação à amostra de 100% solo.

### 3.3 Amostra 60% Solo e 40% Agregado

A curva de compactação da amostra com 60% de solo e 40% de substituição do solo por pedra britada de ametista está apresentada na Figura 8, os resultados do ensaio de CBR estão apresentados na Figura 9 e Quadro 3.

Figura 8. Curva de Compactação da amostra 60% solo e 40% Resíduo

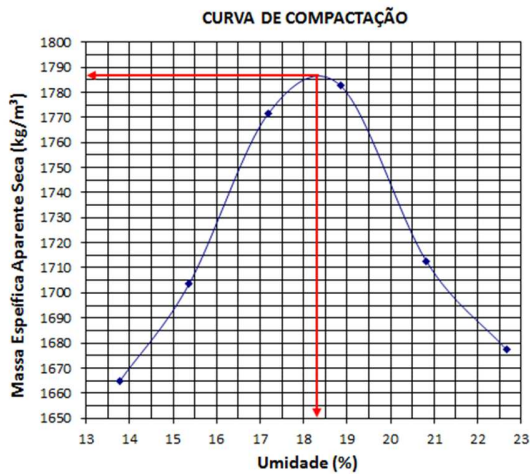
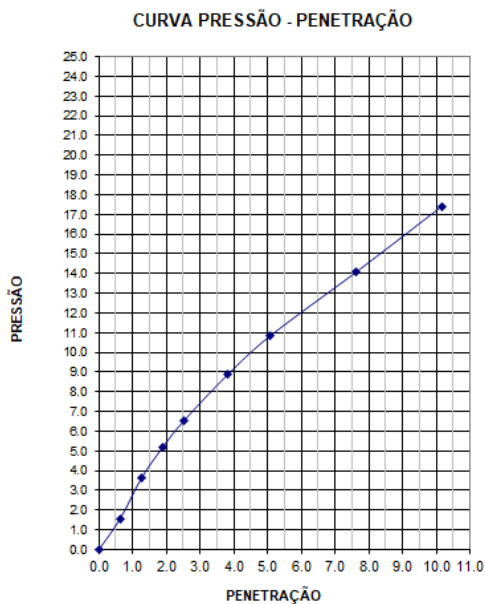


Figura 9: Curva Pressão-Penetração da amostra 60% solo e 40% Resíduo



Quadro 3. Leitura da Penetração e Índice de Suporte para amostra de 60% solo e 40% Resíduo

PENETRAÇÃO					
Tempo em min.	Penetr. em mm.	Leitura Deflec.	PRESSÃO		I. S. C. %
			Calc.	Corr.	
0.5	0.63	15.00	1.56	1.56	
1.0	1.27	35.00	3.65	3.65	
1.5	1.90	50.00	5.21	5.21	
2.0	2.54	63.00	6.57	6.57	9.522
3.0	3.81	85.00	8.86	8.86	
4.0	5.08	104.00	10.85	10.85	10.4794
6.0	7.62	135.00	14.08	14.08	
8.0	10.16	167.00	17.42	17.42	
10.0	12.70		0.00	0.00	

RESULTADOS	
Dens. Aparente Seca	1648,34 Kg/m <sup>3</sup>
I. S. C.	10,48 %
Expansão	0,37 %

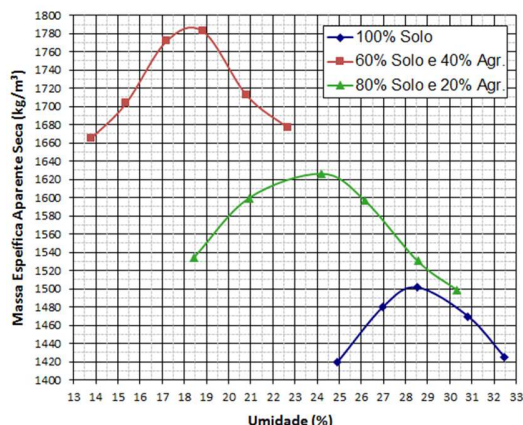
De acordo com os dados dispostos na Figura 8, a umidade ótima para os teores de 60% de solo e 40% resíduo britado de pedra ametista, é de 18,3% aproximadamente. A massa específica máxima encontrada no ensaio de Proctor foi de 1787 kg/m<sup>3</sup>. Houve também uma redução da umidade ótima em relação a amostra composta puramente de solo da ordem de 10,1%. No ensaio de Suporte Califórnia obteve-se uma CBR de 10,48% e uma expansão de 0,37%, assim este pode ser usado na pavimentação como subleito e reforço de subleito.

### 3.4 Síntese dos resultados

Na Figura 10 apresentam-se as curvas de umidade ótima e na Figura 11 expõem-se as curvas de Pressão-Penetração. Conforme é perceptível na Figura 10, os valores de massa específica aumentaram conforme aumentou-se a substituição de solo por agregado. Verificou-se que houve um aumento da massa específica da amostra de 100% solo para amostra 80% solo e 20% agregado na ordem de 125 g/cm<sup>3</sup>, assim como da amostra 100% solo para a

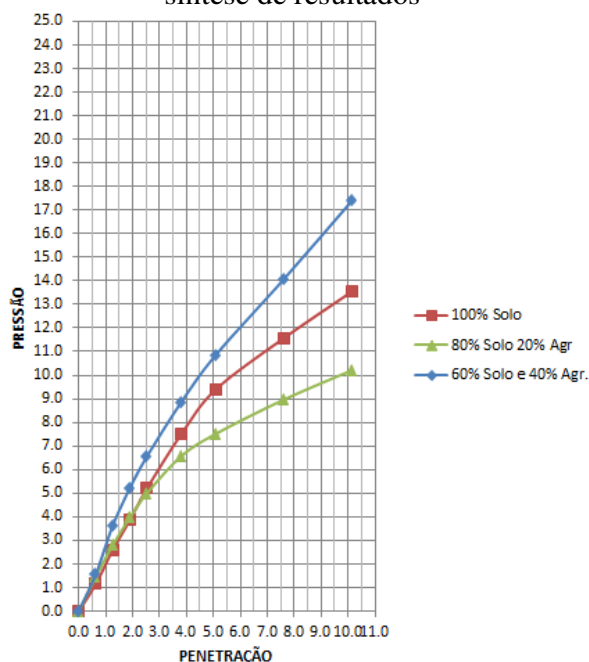
amostra 60% solo e 40% agregado o aumento foi de 286 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 10. Curva de Compactação, síntese de resultados.



Ao considerar os resultados da umidade ótima, percebe-se que ocorre um decréscimo da amostra 100% solo para amostra 80% solo e 20% agregado de 4,3%, contudo, para amostra 100% solo em comparação com a amostra 60% solo e 40% agregado, o decréscimo foi de 10,1%.

Figura 11. Curva de Pressão-Penetração, síntese de resultados



Na Figura 11 apresenta-se uma síntese das curvas de penetração das amostras, sendo a que melhor capacidade de suporte, foi a amostra de 60% solo e 40% agregado, esta podendo ser utilizada para subleito e reforço de subleito e as demais apenas possibilitam a utilização para subleito. Observa-se que na substituição de 20% do solo por resíduo de ametista a capacidade de suporte decai, entretanto quando substitui 40% há um aumento.

#### 4. CONCLUSÃO

Após realizados os ensaios de Proctor obteve-se as curvas de compactação, encontradas assim a massa específica máxima e umidade ótima das amostras. Já no ensaio de Índice de Suporte Califórnia obteve-se a expansão e a penetração das amostras gerando o índice de suporte. Observando o comportamento dos gráficos para cada ensaio, pode-se perceber que ao misturar materiais de massas específicas distintas tem-se uma massa específica intermediária, proporcional ao teor de adição de agregado ao solo. Verifica-se também, que ao aumentar a quantidade de rocha britada adicionada ao solo, tem-se a diminuição da umidade ótima, constatando-se assim que o agregado absorve menos umidade que o solo. Este poderia ser apenas utilizado para material de subleito, em aterros e reforço de subleitos com baixa capacidade de suporte.

Contudo, pensando na questão ambiental, sabendo da grande quantidade de rejeitos provenientes da extração pedra de Ametista, pode-se ter uma boa alternativa para substituir os agregados convencionais, principalmente quando estes são escassos no local da pavimentação.

Deste modo, percebe-se que há alternativas para serem estudadas e que podem contribuir tanto para o desenvolvimento acadêmico em pesquisas, quanto para o



profissional que busca ideias sustentáveis pensando em custo-benefício.

## 5. REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6457: **Amostra de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.

BARIANI BERNUCCI... [et al.]. Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedt. Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006

\_\_\_\_\_. DNER – ME 162/1994: **Solos: ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas.** Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. DNER – ME 172/2016: **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2016.

PEURIFOY, et al. **Planejamento, equipamentos e métodos para a construção civil.** 8. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2015.

SASSO, Larissa F.; OLIVEIRA, Jessamine Pedroso de.; TRES, Marcos.; MORAES, Guilherme Amaral de.; LOPES, Diorges Carlos. **Análise e caracterização de resíduos gerados na extração mineral para incorporação em produtos da construção civil.** Salão do Conhecimento Unijuí, 2016, Ijuí, RS.

SANTOS, Monique Nascimento dos. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra. Relatório de Iniciação Científica. Relatório de Iniciação Científica.** 2012. Pontifícia Universidade

Católica Iniciação Científica (PUC). Disponível em: [http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2012/relatorios\\_pdf/ctc/CIV/CIV-Monique%20Nascimento%20dos%20Santos.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2012/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIV-Monique%20Nascimento%20dos%20Santos.pdf) Acesso em 26 nov. 2018.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação:** volume 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001. 764 p.

SOARES, Leonardo. **Caracterização Laboratorial do Resíduo da Extração de Mineração de Pedras Semipreciosas como Agregado Alternativo para Utilização em Pavimentação.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil - UNIJUÍ, 2018, Santa Rosa,RS.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação, Versão 2006.** Faculdade De Engenharia Universidade Federal De Juiz De Fora Campus Universitário. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf> Acesso em 25 nov. 2018.