

## MELHORAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE UM SOLO COM ADIÇÃO DO ADITIVO QUÍMICO DYNACAL E REAGENTE SULFATO DE ALUMÍNIO

Lucas dos Santos de Souza (1), Pedro Arns (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)lucas\_souzas@hotmail.com, (2)p.arns@terra.com.br

### RESUMO

Com o elevado preço dos agregados minerais, a pavimentação asfáltica atende ainda poucas ruas com tráfego leve nas cidades, devido à relação custo benefício na implantação. Existem técnicas para a redução de custos na pavimentação, como a aplicação de aditivos químicos para melhorar as características de um solo. Na região de criciúma existe a formação Rio Bonito um solo com boas características para subleito. No estudo em questão é aplicado o aditivo Dynacal com o reagente sulfato de alumínio em solos da formação Rio Bonito, com o objetivo de analisar a sua utilização em camadas do pavimento. As amostras foram caracterizadas no laboratório de mecânica dos solos da Universidade do Extremo Sul Catarinense, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Foram realizados ensaios físicos como granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade, e ensaios mecânicos como Índice de Suporte Califórnia e expansão. As amostras foram analisadas no estado natural e com dois percentuais de aditivo. Os resultados foram comparados com as especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), para a verificação do seu uso como sub-base ou base. Encontraram-se bons valores de Índice de Suporte Califórnia para o solo em seu estado natural. Quando aditivou-se com Dynacal e sulfato de alumínio, em todas as amostras, a resistência ao suporte de carga aumentou em algum ramo de umidade, porém o mesmo em outro ramo diminuiu. O aumento de resistência ao suporte de carga chegou a duplicar na amostra 03 e 04, sendo possível a sua utilização como base em pavimentos com tráfego leve. Analisado a expansão na maioria dos casos se manteve-se estável, e com valores dentro da especificação do DNIT para a utilização como sub-base e base.

*Palavras-Chave: pavimentação, aditivo, reagente*

### 1.INTRODUÇÃO

A infraestrutura terrestre, na qual estão inseridas as rodovias, são hoje em nosso país, as maiores geradoras de recursos, pois por elas são transportados, aproximadamente, 70% de todos os bens de consumo manufaturados e industrializados, havendo perdas consideráveis pela não pavimentação ou conservação das mesmas. Portanto, a construção das rodovias é de suma importância, pois irá reduzir as perdas de mercadorias, principalmente as perecíveis,

como também, gerará economia na reposição de peças dos veículos transportadores e na redução do tempo de transporte.

Vias bem projetadas geométricamente e dimensionadas corretamente irão aumentar o ganho dos bens transportados. Contudo, as mesmas deverão ter um monitoramento constante para que não entrem em colapso, tornando-as perigosas, aumentando o tempo na entrega de mercadorias no prazo, gerando custos finais elevados.

Bernucci & Motta & Ceratti & Soares ( 2008, p. 11) entendem que:

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Em vias vicinais municipais, que interligam municípios ou localidades importantes, porém, com baixo fluxo de tráfego, a pavimentação das mesmas pelo município, se torna impraticável, por falta de recursos e altos custos dos insumos. O governo não pode assumir a responsabilidade, segundo Art.30. da Constituição Federal Brasileira de 1988, compete aos municípios prover uma pavimentação de qualidade para as vias urbanas.

Para tornar viável a pavimentação dessas vias, é possível conseguir recursos junto ao governo federal, ou alternativas que reduzam o custo na execução das mesmas. Atualmente há várias soluções aplicáveis na melhoria do solo, para fins de pavimentação como solo-cimento, solo-cal, solo melhorado com cimento, solo com aditivos químicos e orgânicos, etc.

Segundo Tadeu Baldo (2007. Pag.38):

O emprego de camadas de reforço de subleito não é obrigatório, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam em tese, aliviar as pressões sobre um subleito medíocre. Contudo, procura-se utilizá-lo em tais circunstâncias por razões econômicas, pois subleitos de resistência baixa exigiriam, para projeto, camadas mais espessas de base e sub-base. Logicamente, o reforço do subleito, por sua vez, resistira à maior ordem de grandeza, respondendo parcialmente pelas funções do subleito e exigindo menores espessuras de base e sub-base sobre si, sendo em geral menos custoso o emprego de solos de reforço, em vez de maiores espessuras de camadas granulares ou cimentadas, quaisquer que sejam.

Para realizar o melhoramento das características mecânicas do solo, empregou-se o aditivo químico Dynacal, fabricado pela empresa DYNACAL - ESTABILIZAÇÃO E PAVIMENTAÇÃO DO BRASIL. “O Dynacal é um produto empregado na estabilização de solo para construção de estradas e aeroportos de baixo custo”( Johnston apud Vertamatti p.125, 2010).

Segundo Johnston (2010), o Dynacal é um composto orgânico metálico alcalino, derivado de um hidrocarbureto saturado. Sua função é impermeabilizar o solo, que depende da afinidade gerada com o mesmo em análise. A impermeabilização em solos siltosos e argilosos gera uma melhoria na capacidade de suporte de carga, garantindo uma resistência ao suporte de tráfego permanente, atingida pela redução da capilaridade e expansão dos mesmos. Ao se atingir as características de maior capacidade de suporte com menos expansão, e a impermeabilização do solo, ele se tornará um material que poderá ser utilizado numa camada do pavimento.

Contudo, consegue-se a estabilização do solo, pela aplicação do aditivo Dynacal e de um reagente, como o sulfato de alumínio, que é um sal metálico, o qual produz a impermeabilização e a cimentação do mesmo. A impermeabilização ocorreu porque a argila absorveu parte do produto (retendo os íons de alumínio) produzindo alteração nas partículas, reduzindo a capilaridade. A mistura do Dynacal e seu reagente produzem um gel insolúvel que preenche os microporos existentes no solo. Na região onde foram coletadas as amostras, “encontram-se rochas da formação Rio Bonito, possivelmente, seu membro intermediário” (informação Verbal)<sup>1</sup>. Segundo (MÜHLMANN & SCHNEIDER & TOMMASI & MEDEIROS & DAEMON & NOGUEIRA, 1974) a formação Rio Bonito compreende o pacote sedimentar, constituído por uma seção arenosa basal, uma média essencialmente argilosa e uma superior, areno-argilosa, contendo as principais jazidas de exploração de carvão mineral. Na formação Rio Bonito, em seu membro intermediário, são encontrados folhelhos e siltitos de cor arroxeados, marrons e avermelhados, visualizados na figura 01. Nas amostras do estudo, o solo era composto por arenitos finos, de cor marrom, com fragmentos de até 4 mm de material arenoso, de fina à média, de coloração branca.

<sup>1</sup> Análise geologia realizada pelo geólogo Gustavo Simão (UNESC-IDT)

Figura 01. Perfil estratigráfico da rua João Sônego.



Fonte: Autor,2015.

## 2.OBJETIVO

O presente trabalho tem como finalidade melhorar as propriedades mecânicas de um solo da formação Rio Bonito, aplicando estabilizante químico Dynacal® e o reagente sulfato de alumínio.

## 3. MATERIAIS

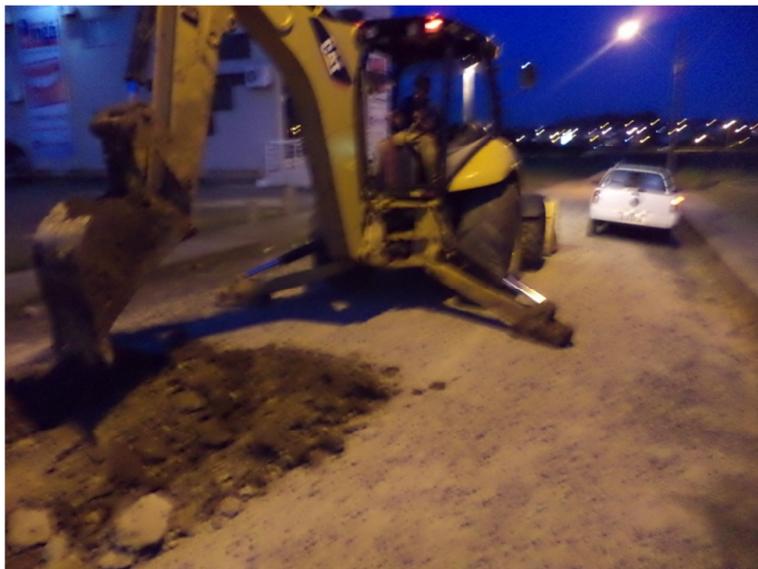
Através de bibliografias e pesquisa de fabricantes de aditivos químicos, buscou-se as informações para realização do presente trabalho.

### 3.1 COLETAS DAS AMOSTRAS

A sondagem foi realizada no dia 10 de março de 2015, e para o presente estudo coletou-se 4 (quatro) amostras de material numa profundidade de 1,50 m, na rua João Sônego, apresentado na figura 02, nas quais o perfil geológico mostrou-se

homogêneo, de um solo argilo-siltoso de cor vermelha, caracterizando como sendo da formação Rio Bonito.

Figura 02. Sondagens realizada na rua João Sônimo.

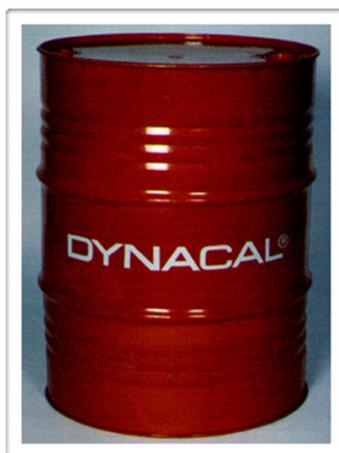


Fonte: Autor,2015.

### 3.2 ADITIVO

Utilizou-se o aditivo Dynacal nas proporções de 0,8% e 1,6% em relação ao peso seco do solo, seguindo a especificação do fabricante, figura 03. O aditivo foi diluído em uma solução com concentração de 1:10 usando água como solvente, para a sua aplicação no solo para a realização do ensaio de compactação.

Figura 03. Aditivo Dynacal em galão de 200 l.



Fonte: [www.dynacal.com.br](http://www.dynacal.com.br)

### 3.3 REAGENTE

Para que a reação do Dynacal seja efetiva, é necessária a aplicação de um reagente, que no presente trabalho foi o sulfato de alumínio, na mesma percentagem em relação ao peso seco de solo. Para adicionar no solo fez-se uma solução de 1:25 usando água como solvente para a mesma. O sulfato de alumínio em pó esta ilustrado na figura 04.

Figura 04. Sulfato de alumínio em pó.



Fonte: Autor,2015.

## 4 MÉTODOS

As amostras coletadas foram transportadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), onde foram preparadas, conforme a NBR 6457/1986, e submetidas aos ensaios de caracterização física e mecânica conforme tabela 01.

Tabela 1. Normas técnicas utilizadas

Ensaio realizado	Norma ABNT
Análise granulométrica	NBR 7181:1984 Versão Corrigida:1988
Determinação do limite de liquidez	NBR 6459:1984
Determinação do limite de plasticidade	NBR 7180:1984 - Versão Corrigida: 1988
Ensaio de compactação	NBR 7182:1986 - Versão Corrigida: 1988
Índice de suporte Califórnia	NBR 9895:1987

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Os solos das amostras foram submetidos aos ensaios, inicialmente, no seu estado natural, tanto os físicos quanto os mecânicos. Para obtenção dos dados da densidade máxima aparente seca e teor de umidade ótima, empregou-se a energia de compactação P.I. (Proctor Intermediária), como mostra a figura 05, conforme preconiza a metodologia do fabricante do aditivo que foi utilizado. Portanto, utilizou-se a mesma metodologia também para o solo aditivado, para posterior comparação dos resultados.

Figura 05. Compactação do solo.



Fonte: Autor,2015.

## 5 RESULTADOS E DISCUSÕES

### 5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

As amostras naturais do solo foram submetidas aos ensaios físicos, cujos resultados constam na tabela 02.

Tabela 2. Resultados dos ensaios físicos.

AMOSTRA	LL	LP	IP	PASSANTE PENEIRA Nº # 200 (%)	IG	TRB
1	46	31	15	79,8	12	A7-5
2	33	NP	NP	45,5	4	A4
3	25	NP	NP	64,1	6	A4
4	28	20	8	64,5	7	A4

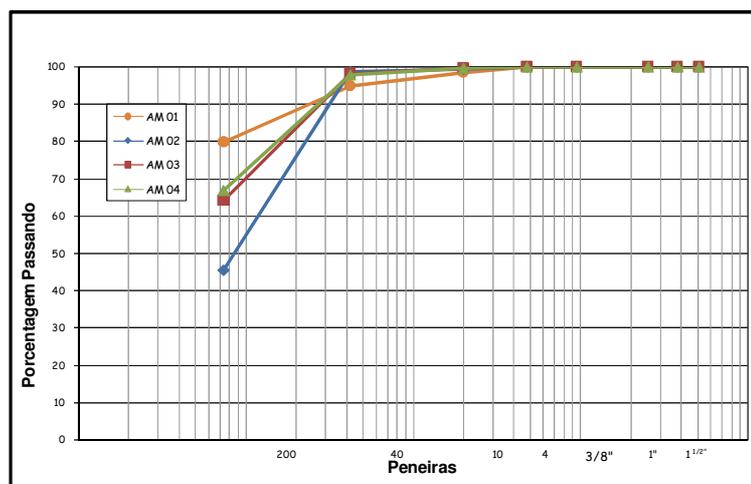
Fonte: Autor, 2015.

O solo da amostra 01 foi o que apresentou o pior resultado, quanto a sua classificação pela *Transportation Research Board* (TRB), um A7-5. Normalmente, este tipo de solo sofre rejeição no meio rodoviário, pois na sua maioria apresenta características de resistência e expansão não aceitáveis para um subleito. Porém, não é o caso da amostra de solo do estudo, pois os resultados mecânicos da mesma, apresentados nas figuras 07 e 08, demonstram que o mesmo atende perfeitamente os requisitos de um material de subleito de um pavimento.

As demais amostras, pela classificação TRB, são solos A-4, considerados bons, pois são não plásticos ou pouco plásticos.

Verificando a análise granulométrica dos materiais pela figura 06, percebe-se que os mesmos são compostos principalmente por finos silte e argila.

Figura 06. Análise granulométrica das amostras.

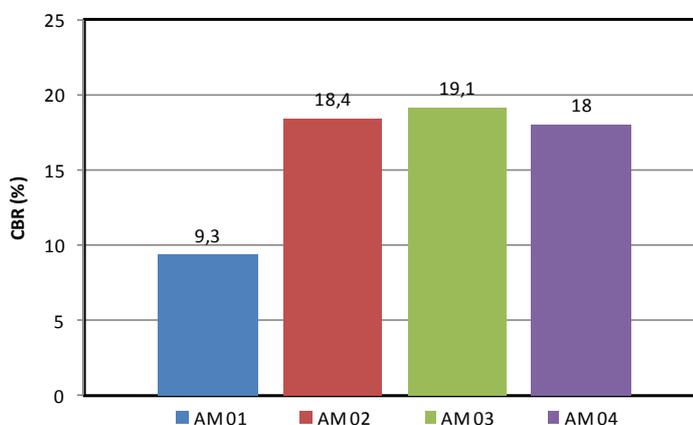


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS AMOSTRAS DOS SOLOS

Todos os solos coletados foram compactados na Energia do Proctor Intermediária (NBR-7182/1986 que teve sua correção em 1988), em seu estado natural. Os mesmos, no seu estado natural apresentaram resultados de Califórnia Bearing Ratio (CBR) e expansão, considerados muito bons como materiais de subleito, conforme Figura 07 e 08.

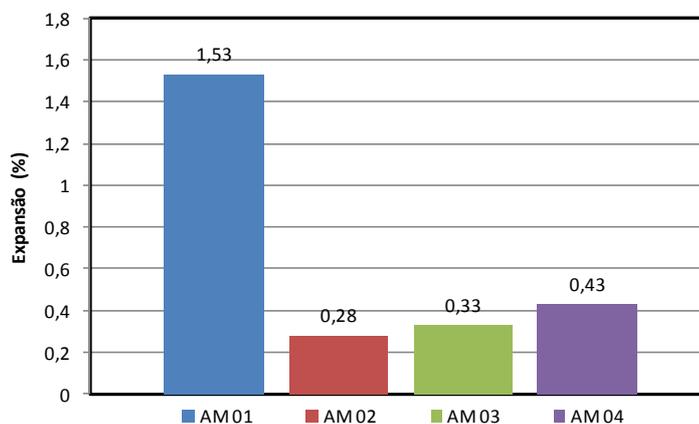
Figura 07. CBR dos solos no estado natural.



Fonte: Autor, 2015.

Todos os solos apresentam expansão inferior a 2%, e por isso podem ser utilizados como subleito. Apenas a amostra 01 apresentou valor mais alto, porém abaixo do limite especificado pelas normas, segundo figura 04.

Figura 08. Expansão dos solos no estado natural.

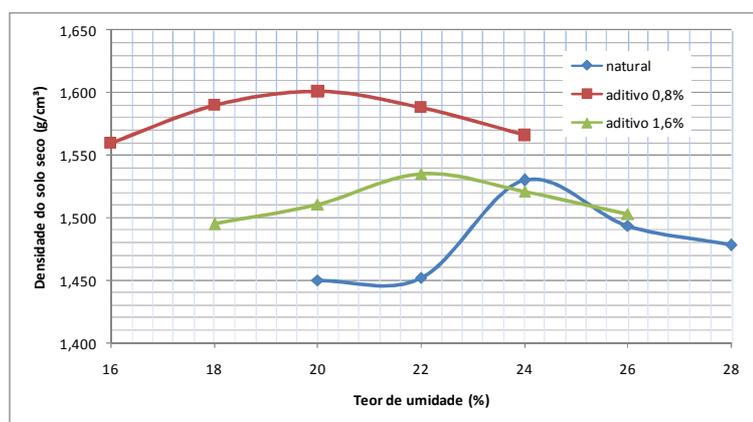


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3 .1 Características mecânicas do solos da amostra 01 aditivado

Segundo o fabricante do aditivo Dynacal, quando o solo é compactado com este, o mesmo tende a reduzir sua umidade ótima e com isso aumentar a densidade do solo seco, como pode ser observada na figura 09. O percentual de 0,8% apresentou o menor teor de umidade e a maior valor de densidade seca.

Figura 09. Compactação da amostra 01.



Fonte: Autor, 2015.

Após analisado o solo em seu estado natural considerando a umidade ótima, o mesmo da amostra 01 cujo CBR de 9,3%, em relação aos demais foi 50,4% inferior. A expansão do mesmo de 1,53% pode ser considerada alta comparada aos demais, porém, segundo as especificações pode ser material de subleito.

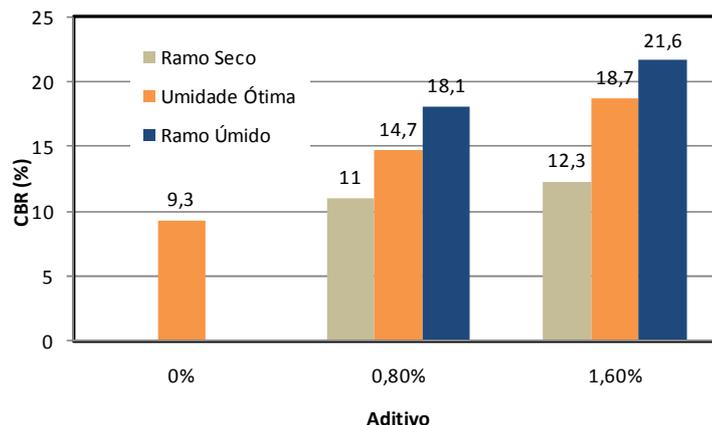
Ao se aditivar o solo com 0,8% com Dynacal e seu respectivo reagente, o mesmo teve na umidade ótima um aumento de 58,06% de resistência a compressão simples, e sua expansão aumentou de 1,53% para 2,94%. Porém, quando aditivado com 1,6% o CBR foi de 18,7%, um aumento de 101,07%, enquanto que a sua expansão se manteve estável em 1,53%. Logo o comportamento do solo da amostra 01, aditivado com 0,8% não poderá ser utilizado como subleito, pois, as expansões no ramo seco e na umidade ótima ficaram bem acima das especificações. Porém, o mesmo solo aditivado com 1,6% pode ser utilizado como subleito e mesmo como reforço de um pavimento, caso seja necessário essa camada.

Segundo o fabricante, utilizar o sulfato de alumínio como reagente em solos classificados como A6 e A7 pela TRB, não é viável, pois o mesmo, não reage da

forma esperada devido a presença de argila plástica. Nesse caso seria necessário utilizar cal hidratada como reagente.

Os resultados estão representados na figura 10, no estado natural e respectivamente aditivado.

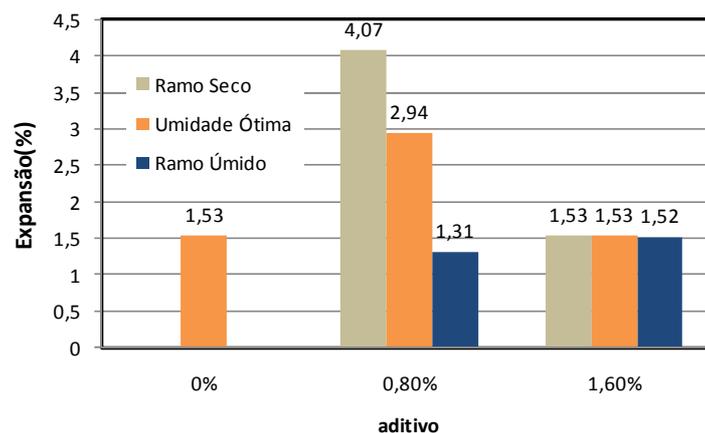
Figura 10. CBR da amostra 01.



Fonte: Autor, 2015.

Na figura 11 está representado o comportamento do solo quanto a sua expansão no estado natural e aditivado.

Figura 11. Expansão da amostra 01.

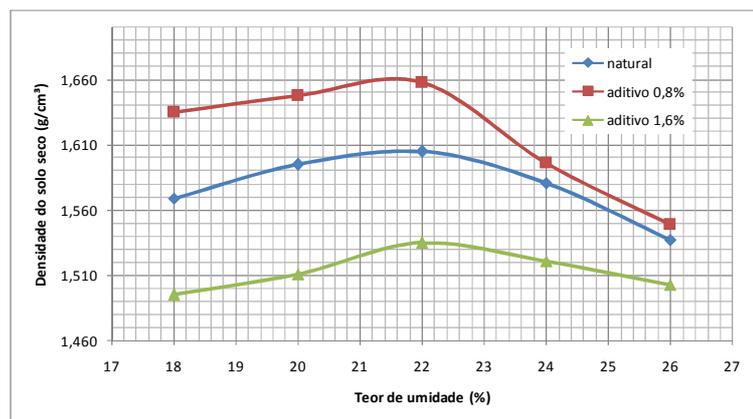


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3.2 Características mecânicas do solo da amostra 02 aditivado

Analisando a compactação da amostra 02, os teores de umidade ótima foram similares, contudo com o percentual de 0,8% de aditivo a sua densidade máxima seco foi maior de a do solo natural, como é representado na figura 12.

Figura 12. Compactação da amostra 01.



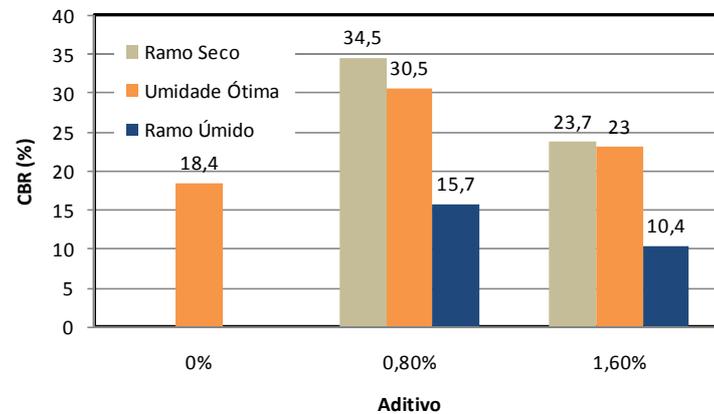
Fonte: Autor, 2015.

O solo 02 aditivado com 0,8% de Dynacal e seu reagente na umidade ótima, teve o seu CBR aumentado para 30,5%, representando um ganho de resistência de 65,76% em relação ao solo natural, e a expansão aumentou em 0,94%, porém, abaixo do limite das normas para sub-bases de 1%. Logo, pode ser usado como sub-base, de acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), p.146.

Quando aditivado com 1,6% resultou um CBR de 23%, na umidade ótima, com ganho de resistência de 25% em relação ao natural e expansão de 1,51%, tornando-o teoricamente não utilizável como sub-base, em função do aumento da expansão.

A figura 13 apresenta o CBR do solo da amostra 02 no estado natural e aditivado, nos percentuais de 0,8% e 1,6%, observando-se os respectivos aumentos de suporte.

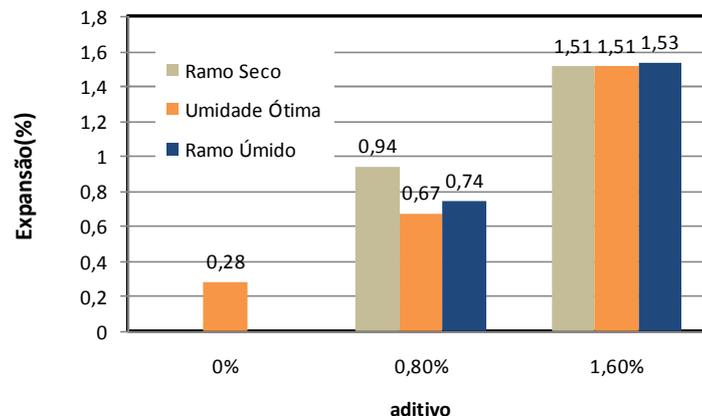
Figura 13. CBR da amostra 02.



Fonte: Autor, 2015.

Na figura 14 está representado o comportamento do solo quanto a sua expansão no estado natural e aditivado.

Figura 14. Expansão da amostra 02.

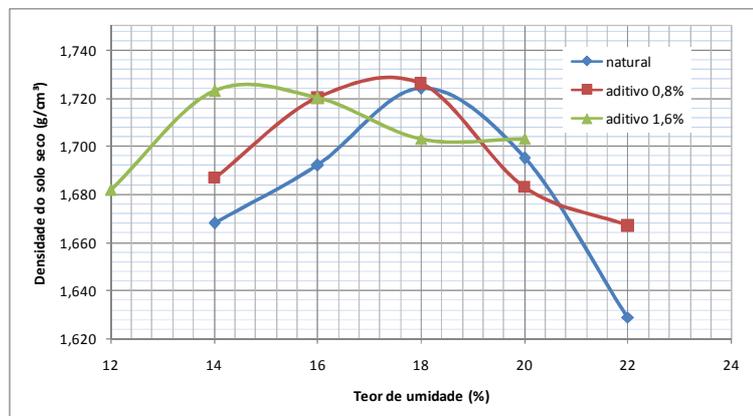


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3.3 Características mecânicas do solo da amostra 03 aditivado

Verificou-se que o percentual de 1,6%, diminui o teor de umidade, porém não alterou significativamente o valor de densidade máxima seca, visualizado na figura 15.

Figura 15. Compactação da amostra 03.



Fonte: Autor, 2015.

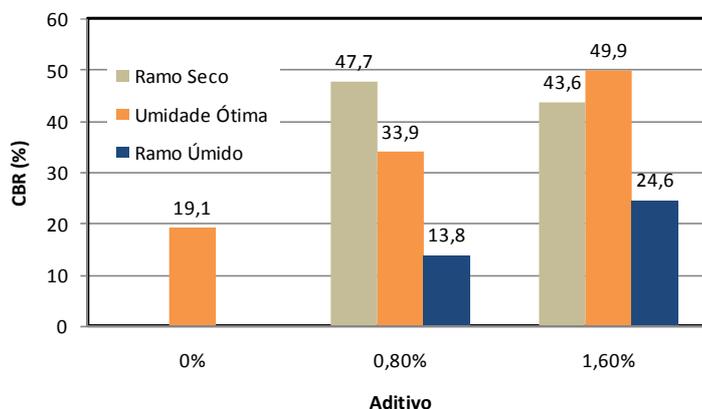
O solo da amostra 03 aditivado em 0,8% apresentou o CBR de 47,7% no ramo seco, 33,9% na umidade ótima e 13,8% no ramo úmido. Ou seja, um aumento percentual no ramo seco de 149,74%, na umidade ótima de 77,49%, e no ramo úmido houve uma diminuição do percentual de suporte de 27,7%.

Quando se utiliza 1,6% de aditivo os resultados de CBR foram de 43,6% no ramo seco, 49,9% na umidade ótima e de 24,6% no ramo úmido, com ganhos de suporte de 2,28 vezes, de 2,61 vezes e de 1,3 vezes, respectivamente.

Com relação a expansão, quando aditivado sofreu aumento, porém, todas abaixo de 1%, significando que o solo pode ser utilizado como sub-base segundo as especificações do DNIT, e mesmo como base quando se trata de tráfego leve.

A figura 16 apresenta o CBR do solo da amostra 03 no estado natural e aditivado, nos percentuais de 0,8% e 1,6%, observando-se os respectivos aumentos de suporte.

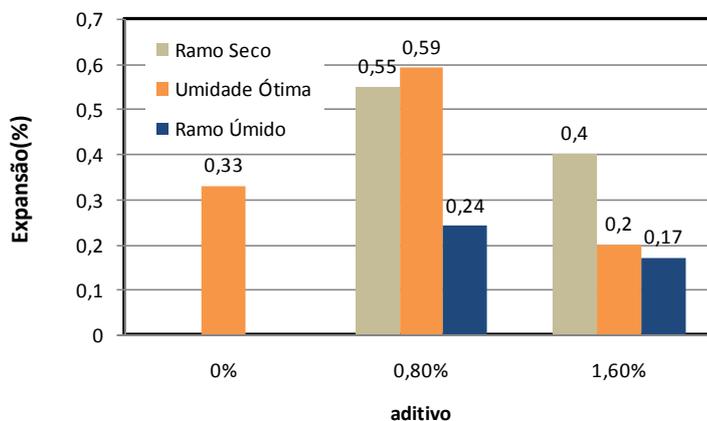
Figura 16. CBR da amostra 03.



Fonte: Autor, 2015.

Na figura 17 estão representados os comportamentos do solo quanto a sua expansão no estado natural e aditivado.

Figura 17. Expansão da amostra 03.

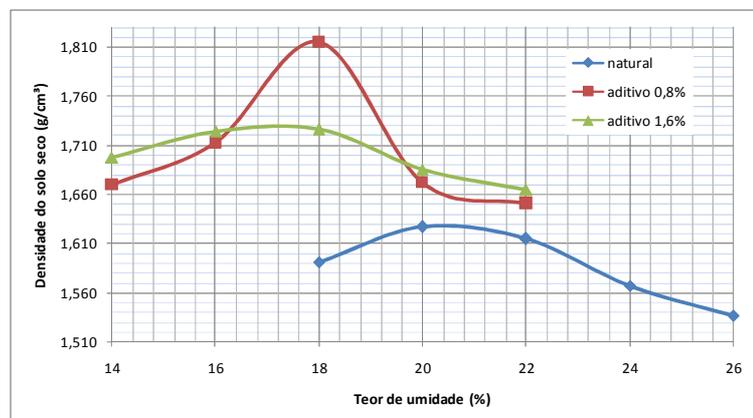


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3.4 Características mecânicas do solo da amostra 04 aditivado

Pelos resultados da compactação, o teor de umidade ótima não alterou entre os percentuais de aditivo. Mas o valor que sofreu alteração significativa foi o da densidade máxima seca do solo quando, o solo aditivado com 0,8% de Dynacal e sulfato de alumínio, ilustrado na figura 18.

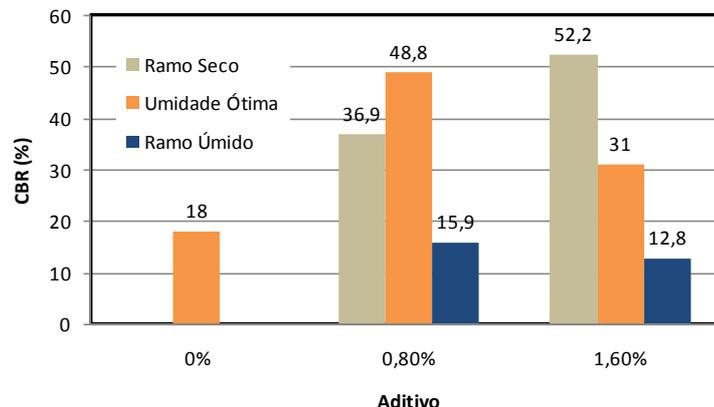
Figura 18. Compactação da amostra 02.



Fonte: Autor, 2015.

O solo da amostra 04 quando aditivado com 0,8%, o valor do CBR chegou a 48,8% na umidade ótima, representando um ganho de suporte de 171,11%, em relação ao seu estado natural, e a expansão não ultrapassou 0,49 %. Utilizando-se 1,6% de aditivo no solo, o mesmo, na umidade ótima, seu CBR elevou-se para 31%, resultando num ganho de suporte de 72,22%, enquanto que a expansão mais alta foi de 0,36% no ramo seco. Porém, no ramo seco o CBR teve um expressivo aumento de 190%, enquanto que sua expansão ficou inferior ao do estado natural do solo. Esse solo pode ser utilizado sem problemas como material de sub-base, e mesmo como base para tráfego leve, porém deve ser mais estudado. A figura 19 apresenta o CBR do solo da amostra 04 no estado natural e aditivado, nos percentuais de 0,8% e 1,6%, observando-se os respectivos aumentos de suporte.

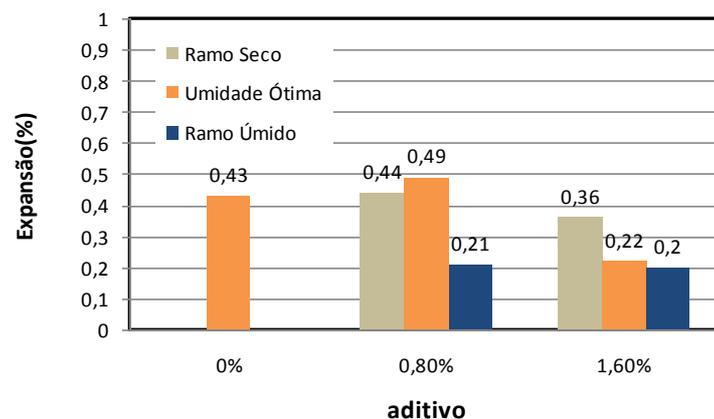
Figura 19. CBR da amostra 04.



Fonte: Autor, 2015.

Na figura 20 está representado o comportamento do solo quanto a sua expansão no estado natural e aditivado.

Figura 20. Expansão da amostra 04.



Fonte: Autor, 2015.

## 6. CONCLUSÕES

- O estudo geotécnico realizado em solos da formação Rio Bonito revelou que o solo apresenta boas características mecânicas, para utilização em pavimentação, como subleito ou reforço do subleito;
- O aditivo Dynacal e o reagente sulfato de alumínio apresentou boa afinidade com o solo da formação Rio Bonito;
- Considerando o percentual de aditivo, não houve expressivo aumento do suporte de carga, quando se alterou o percentual de 0,8% para 1,6% do mesmo, havendo casos de redução do CBR;

- Os solos em seu estado natural apresentaram expansão inferior a 2%, requisito mínimo por normas para subleito, e o uso do Dynacal não alterou significativamente essa característica, provocando oscilações para mais ou menos do mesmo;
- Ocorreu uma variação significativa do CBR em relação a umidade de compactação, sendo importante o controle tecnológico durante a execução em campo;
- Em estudos futuros, solos da formação Rio Bonito aditivados com Dynacal e seu reagente, Sulfato de alumínio, podem ser utilizados em bases para pavimentos de baixo custo, para tráfego leve. Esse processo foi e ainda está sendo utilizado no estado de São Paulo desde a década de 80, cujos os pavimentos executados com este aditivo, ainda estão resistindo ao tráfego e mantendo a sua funcionalidade. Recomenda-se, para o uso desta metodologia, outros estudos geotécnicos, como o da classificação MCT (miniatura, compactação, tropical), desenvolvida por Job Shuji Nogami e Douglas Fadul Villibor para classificar os solos tropicais brasileiros.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **NBR 7181:1984 Versão corrigida 1988: Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6459:1984: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro. ABNT: 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7180:1984 Versão Corrigida: 1988: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro. ABNT:1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **NBR 9895: 1987: Índice de Suporte Califórnia.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **NBR 7182:1986: Solo – ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **NBR 6457:1986: Preparação para ensaio de Compactação e ensaios de Caracterização.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani (Et al.). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 501 p.

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

JOHNSTON, Marlova Grazziotin. Desempenho de Pavimentos com Materiais Alternativos do Estado do Rio Grande do Sul. 2010. 344 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

MÜHLMANN, H.; SCHNEIDER, R. L.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná.** Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL, 1974. 186 p.

NOGAMI, Job Shuji; VILIBOR, Douglas Fadul. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** 1ª ed. São Paulo: Editora Vilibor, 1995. 240 p.