

# **ESTUDO DO REJEITO DE QUARTZITO MINEIRO PARA O EMPREGO EM ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS**

**Adson Viana Alecrim**

**Glauco Tulio Pessa Fabbri**

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

**Liedi Légi Bariani Bernucci**

**Edson de Moura**

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## **RESUMO**

Este trabalho tem o propósito de apresentar uma alternativa para a utilização dos rejeitos das minerações de quartzito do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis. A adoção da alternativa para o uso destes rejeitos deverá, não só diminuir o impacto ambiental das minerações, mas também promover uma maior valorização desses materiais, principalmente, para uso na pavimentação. Os quartzitos estudados estão localizados na região do Sudoeste Mineiro, que compreende os municípios de Alpinópolis, São José da Barra, São João Batista do Glória, Capitólio e Guapé. Foram estudadas misturas desses rejeitos com solos de maior incidência da região (Latossolo Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo e Podzólico Vermelho-Escuro). Após a caracterização dos materiais, foram preparadas misturas agregado-solo, com granulometria descontínua, segundo proposta de Nogami e Villibor (1984 e 1995), e com granulometria contínua, segundo os critérios tradicionais de estabilização. Com essas misturas foram realizados ensaios de compactação, índice de suporte Califórnia e módulo de resiliência. Os resultados indicam que não há influência significativa da distribuição granulométrica nas propriedades mecânicas das misturas e que se poderia utilizar misturas com granulometria descontínua na pavimentação, o que é interessante tanto do ponto de vista operacional quanto ambiental, pois propicia o aproveitamento integral dos rejeitos.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to test an alternative use for quartzite mining wastes in the Southwest of the State of Minas Gerais as base and sub-base layers of flexible pavements. The adoption of this alternative will not only reduce environmental impacts of quartzite mining but will also increase the value of the quartzite, mainly for road applications. The quartzites of this research came from the Southwest of the State of Minas Gerais, where are the cities Alpinopolis, Sao Jose da Barra, Sao Joao Batista do Gloria, Capitolio and Guape. Mixtures of quartzite wastes with the most common soils in this region (ferrosol, luvisol and acrisol) were studied. These quartzites were characterized and aggregate-soil mixtures were prepared, using two types of aggregate gradation: a gap-graded gradation, in accordance with Nogami e Villibor (1994 and 1995), and a dense-graded gradation, in accordance with traditional stabilization criteria. Compaction, California bearing ratio and resilient modulus tests were performed. Results indicate that there is no expressive influence of the quartzite gradation on mixture mechanical properties. It was also verified that it is possible to use these dense-graded mixtures for road applications. This conclusion is valuable from the operational and environmental point of view, as it leads to a full reuse of quartzite wastes.

## **1. INTRODUÇÃO**

A exploração do quartzito nos Estados de Goiás e Minas Gerais (principais produtores de quartzito no Brasil) vem sendo desenvolvida há anos com grande produção de resíduos. Ainda atualmente, em determinadas regiões, não há uma prática de disposição e aproveitamento adequados do rejeito.

A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2003) e o Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental (CODEMA, 2003) revelam que cerca de 90% dos quartzitos desmontados em Minas Gerais são transformados em rejeitos, traduzindo baixo

aproveitamento. Segundo essas entidades, os fatores que causam o baixo aproveitamento dos quartzitos são as técnicas inadequadas de desmonte (com explosivos), a grande incidência de fraturamento no maciço rochoso e a intercalação de níveis puramente quartzosos que não sofrem delaminação.

A exploração deste minério é normalmente direcionada à construção civil, para revestimento e ornamentação de ambientes internos e externos. Essa exploração vem provocando debates polêmicos, principalmente em relação às questões ambiental e sócio-econômica. Os profissionais da área ambiental afirmam que a exploração é predatória, devido ao baixo aproveitamento, que está entre 8 e 10%. Do ponto de vista sócio-econômico, são essas pedreiras que geram muitos empregos nas cidades, chegando, às vezes, a representar mais de um terço da economia local, o que, per si, justifica a sua manutenção (Alecrim e Fabbri, 2004).

Mendes (2004) chama atenção para o caso das pedreiras, afirmando que, apesar de potencialmente poluidoras, têm seu papel social por serem geradoras de emprego e de impostos para os municípios que praticam a exploração de quartzito em Minas Gerais.

A taxa de aproveitamento do quartzito é bastante baixa e, somado a esse baixo aproveitamento, está o crescimento dessa atividade, que acarreta, ano a ano, o aumento do passivo ambiental, na mesma proporção da exploração. Um exemplo desse crescimento é que no ano de 2000 a produção de quartzito em Minas Gerais, foi de 35.417,61 toneladas e em 2001 a produção foi de 50.390,10 toneladas, correspondendo a uma alta de 42,27% (Alecrim e Fabbri, 2004). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2004), a produção brasileira de quartzito em 2004 apresentou um crescimento médio de 37,6% em relação a 2003.

Algumas pesquisas revelam que os rejeitos das minerações de quartzitos de Minas Gerais podem ser aplicados em vários seguimentos da engenharia civil, seja como agregado no concreto para pré-moldados, seja como agregado para pavimentação ou ainda em misturas com cal para a produção de blocos para vedação. Kropp (1999) afirma que a busca de alternativas de uso para esses materiais foi apenas iniciada e que a abrangência do tema pode ser acentuadamente estendida, principalmente, levando-se em consideração que a quantidade de resíduo já gerado e ainda a ser gerado, o que justificaria o esforço.

Assim, o objetivo desse trabalho foi estudar a possibilidade de utilização do rejeito da exploração de quartzito do sudoeste de Minas Gerais em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis. Esse estudo desenvolveu-se em laboratório, em misturas contendo o rejeito de quartzito britado e solos de maior ocorrência na região, através de ensaios de caracterização dos materiais, compactação, CBR e módulo de resiliência. Foram estudados, basicamente, dois tipos de misturas – descontínuas e contínuas. As descontínuas seguiram as orientações descritas em Nogami e Villibor (1984 e 1995) e foram estudados teores de resíduo de quartzito variando de 50 a 70% em peso. Já as contínuas foram elaboradas segundo os preceitos convencionais de misturas estabilizadas granulometricamente, seguindo as normas vigentes. Em ambos os casos, as misturas utilizaram agregados passando integralmente na peneira de # 25 mm.

## 2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

Segundo Costa (1950), a maior parte das rochas metamórficas apresenta aspecto nitidamente cristalino. Os mármore e quartzitos são os mais importantes nesta família e apresentam, na sua maioria, foliações mais ou menos nítidas e dureza 7 na escala Mohz.

Os quartzitos são formados, essencialmente, por grãos de quartzo (finos) fortemente unidos, compactados e duros, contendo fraturas e brilho semelhante ao do quartzo e, em geral, menos nítido. Além do quartzo, muitos quartzitos podem conter outros minerais, tais como: mica e feldspato ou ainda novos minerais formados por metamorfização. Os quartzitos são em geral brancos com algumas variações para amarelo, vermelho ou acastanhado. O aspecto dos quartzitos assemelha-se a alguns calcários, felsitos e o que os distingue é a dureza. A composição química do quartzito pode corresponder praticamente à da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), mas pode conter pequena porção de alumínio, ferro, cálcio entre outros minerais. Os quartzitos são comercialmente conhecidos como “pedra São Tomé ou mineira” e a sua aplicação pode ser em revestimentos de pisos, muros e paredes (Costa, 1950; Frasca e Sartori, 1998; Tasong *et al.*, 1998; Ullemeyer *et al.*, 2000; Iamaguti, 2001; Fernandes, 2002; Deschamps *et al.*, 2002; Frazão, 2002; Kumar e Bhattacharjee, 2003).

Fernandes (2002) fez uma descrição petrográfica de amostras dos diferentes tipos de quartzitos de São Tomé das Letras, segundo a norma NBR 12.768 da ABNT (1992). A análise mineralógica constou de estudos macro e microscópico, em lâmina delgada e luz transmitida, com o intuito de identificar a mineralogia (minerais essenciais e acessórios), aspectos texturais (arranjo dos grãos, forma e dimensão), aspectos estruturais (microfissuras) e o grau de alteração da rocha. A Tabela 1 mostra os resultados das caracterizações petrográficas dos quartzitos de São Tomé das Letras, obtidas pelo método de lâmina em seção delgada por Fernandes (2002) e também por Deschamps *et al.* (2002).

**Tabela 1:** Resumo dos resultados de análises petrográficas de quartzitos de São Tomé das Letras.

Pesquisadores Mineralogia (%)	DESCHAMPS (2002)	FERNANDES (2002)
Quartzo	98 – 95	95
Muscovita	5 – 2	5
Turmalina	< 1	Traços
Zircão	Raríssimo	Traços
Rutilo	Raríssimo	Traços

Hennies *et al.* (1997) analisaram quartzitos brancos de São Tomé das Letras/MG e constataram que, quanto à composição mineralógica, aproximadamente 95% é quartzo e que os 5% remanescentes são micas, feldspatos, etc. Alguns minerais não puderam ser analisados na lâmina.

Segundo Yoder (1959), as propriedades geotécnicas de uma mistura de solo-agregado dependem, basicamente, da distribuição granulométrica, do peso específico da mistura e da geometria e resistência dos agregados. Alguns autores confirmaram a importância desses fatores, ressaltando em seus estudos a influência da distribuição granulométrica do agregado

(Holtz e Gibbs, 1956) e do solo (Holtz e Williard, 1996), da porcentagem de finos na mistura (Donaghe e Townsend, 1975) e da resistência dos agregados (Barros, 1974 e Ferreira, 1986).

As misturas contínuas se enquadram no método tradicional, em virtude dos critérios de escolha dos materiais, que devem seguir quesitos específicos, tais como: distribuição granulometria contínua, LL inferior a 25% e IP menor que 6% e agregados com desgaste à abrasão Los Angeles menor que 50%, etc.

O bom desempenho de bases estabilizadas com materiais tropicais, no final da década de 70, levaram Villibor e Nogami (1984) a propor um critério para escolha de misturas descontínuas de solo-agregado para uso em base de pavimentos. Esse critério consta, basicamente, de três itens: (1) escolha de um solo de comportamento laterítico (LA, LA' e LG'), segundo a classificação MCT, (2) escolha de agregados com diâmetro máximo de 25 mm e abrasão menor ou igual a 30% e (3) as misturas devem apresentar, no mínimo, 50% de agregado em peso, CBR maior ou igual a 80% e expansão inferior a 0,2%.

### **3. MATERIAIS, PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS**

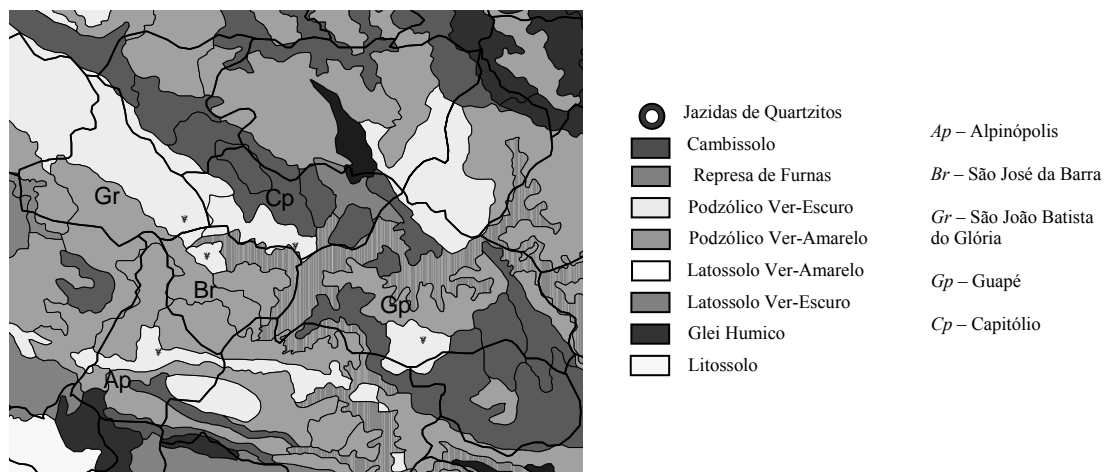
#### **3.1. Jazidas de quartzito e de solos**

As jazidas de quartzito estudadas na pesquisa localizam-se na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais, e pertencem ao Centro Produtor Alpinópolis, que compreende os Municípios de São José da Barra (*Br*), São João Batista do Glória (*Gr*), Capitólio (*Cp*), Guapé (*Gp*) e Alpinópolis (*Ap*).

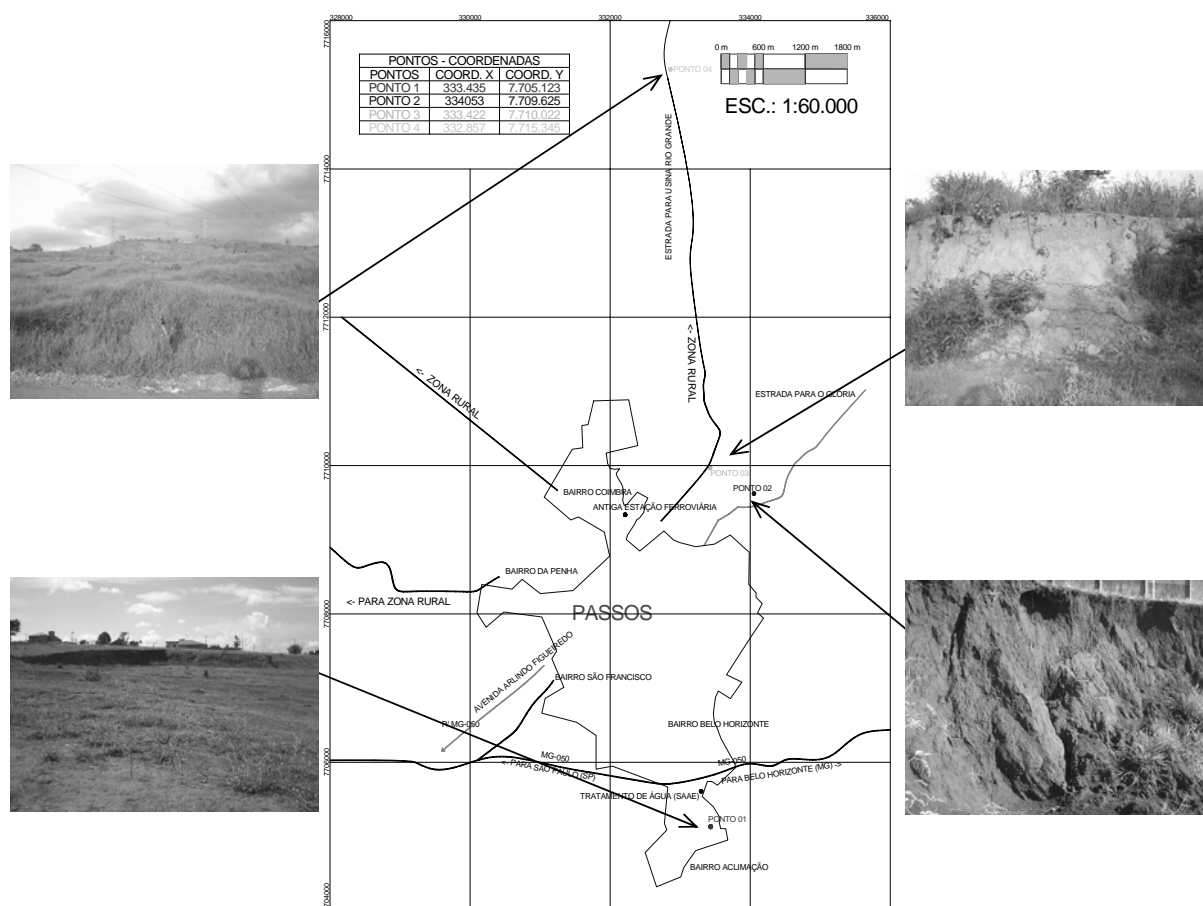
A escolha dessas jazidas se deu, principalmente, pelo fato de estarem eventualmente contribuindo para ocorrência de processos erosivos (tipo linear) próximos aos talvegues e estradas de acesso às cidades e próximo a Represa de Furnas - Rio Grande.

Para a escolha das amostras de solos avaliou-se, inicialmente, a distribuição das unidades pedológicas na região, com a finalidade de determinar as de maior ocorrência no Sudoeste de Minas Gerais e que teriam potencial para uso em pavimentação. Foram selecionados dois Latossolos Vermelho Escuro, um Latossolo Vermelho Amarelo e um Podzólico Vermelho Amarelo. A Figura 1 mostra parte do mapa pedológico da região, com as respectivas unidades e as jazidas escolhidas para o estudo.

Os critérios que nortearam a coleta das amostras deram-se, principalmente, pelas características de aptidão para aplicação na pavimentação, segundo Nogami e Villibor (1995), e facilidade de acesso aos pontos de amostragem. Assim, foram coletadas quatro amostras de solos no município de Passos-MG, cujos aspectos dos locais de coleta estão apresentados na Figura 2.



**Figura 1:** Pedologia da região do Sudoeste Mineiro e jazidas de quartzitos selecionadas.



**Figura 2:** Localização e perfis dos solos coletados para a pesquisa.

## 3.2 Caracterização dos quartzitos

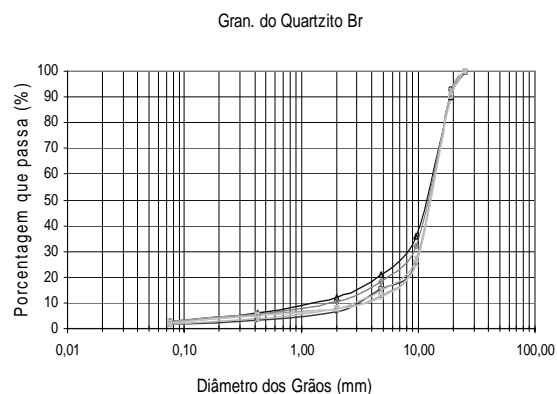
### 3.2.1 Ensaio de britagem

A caracterização dos quartzitos iniciou-se a partir da britagem seguindo as recomendações da norma do DNER - ME 083/98 Agregados - Análise Granulométrica. A britagem se fez

necessária devido à forma e ao tamanho das partículas de rejeito de quartzito encontrado nas cavas (área de exploração). Na sua grande maioria, os rejeitos estão na forma de pedra de mão, chegando até a blocos de 70 cm de comprimento. A Figura 3 apresenta o britador e o quartzito após britagem e a Figura 4 as curvas granulométricas obtidas da britagem do quartzito de São José da Barra (Br).



**Figura 3:** Britador de mandíbula e agregados após britagem.

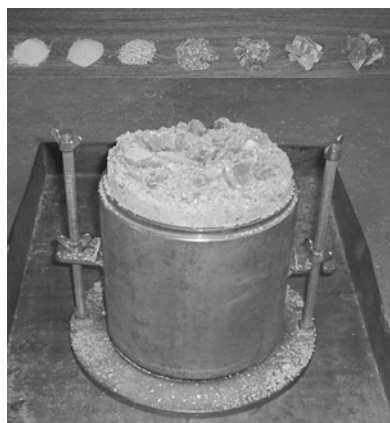


**Figura 4:** Granulometria do quartzito de São José da Barra (Br).

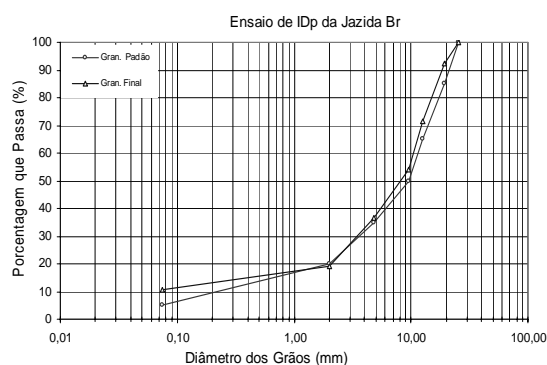
As amostras, após britagem, foram submetidas ao ensaio de abrasão Los Angeles, segundo o método de ensaio DNER-ME 035/98. A amostra *Br* apresentou perda igual a 28% e a amostra *Ap*, 31%.

### 3.2.2 Ensaio de desagregação após compactação Proctor

Para avaliação do índice de desagregação após compactação Proctor (IDp), empregou-se o procedimento preconizado pelo DNER - ME 398-99. A Figura 5 apresenta o agregado separado nas peneiras utilizadas no ensaio e o corpo-de-prova pronto para avaliação final por peneiramento. A Figura 6 apresenta as curvas granulométricas antes e após a compactação.



**Figura 5:** Granulometria e cp ensaiado.



**Figura 6:** Curvas antes e após ensaio de IDp.

### 3.2.3 Análise petrográfica

Para a descrição petrográfica, seguiram-se as orientações da NBR 12768, ABNT (1992) e DNER-IE 006/94. A preparação das amostras foi realizada no Laboratório do Departamento de Pedologia e Metalogenia (DPM) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP de

Rio Claro. A Tabela 2 apresenta a mineralogia dos quartzitos e a Figura 7, o aspecto textural típico do quartzito (*Br*). Como pode ser visto, todos os quartzitos analisados apresentaram baixa porcentagem de muscovita (material deletério).

### 3.2.4 Análise química

As análises químicas dos elementos foram realizadas no laboratório de microsonda eletrônica e microscopia eletrônica do IQSC-USP, (Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo) segundo procedimento adotado por Fernandes (2002). Os compostos analisados foram: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>3</sub>, MgO e CaO. A Tabela 2 também apresenta o resumo dos resultados das análises químicas dos quartzitos.

**Tabela 2:** Resumo das análises petrográfica e química dos quartzitos.

Análise. Petrográfica	Análise. Química	
	Br	Ap
Amostras	Br	Ap
Minerais (%)	Óxidos (%)	
Quartzo	97-98	95-96
Muscovita	1-2	4-5
Plagioclásio	Tr	Tr
Turmalina	Tr	Tr
Zircão	Tr	Tr
Magnetita	<1	Tr
Rutilo	<1	Tr
Biotita	Tr	Tr
	SiO <sub>2</sub>	98,88
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,84
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
	TiO <sub>3</sub>	0,06
	MgO	0,10
	CaO	0,01



**Figura 7:** Textura do quartzito.

## 3.3 Caracterização e Classificação dos solos

### 3.3.1 Massa específica dos sólidos

A determinação da massa específica dos sólidos, necessária aos cálculos do ensaio de sedimentação, foi realizada de acordo com o método de ensaio “Solos-Determinação da Densidade Real” - ME 93-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. Os resultados encontram-se na tabela 3.

### 3.3.2 Análise granulométrica conjunta

As análises granulométricas por peneiramento dos solos foram realizadas, segundo o procedimento de ensaio “Solos - Análise Granulométrica” ME 080-94 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. A análise granulométrica por sedimentação (partículas com diâmetros inferiores a 0,074 mm) foi realizada de acordo com “Solos - Análise Granulométrica” ME 081-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, DNER. Para esse ensaio utilizou-se o defloculante hexametáfosfato de sódio. Os resultados encontram-se na tabela 3.

### 3.3.3 Limites de consistência

Para a determinação dos limites de consistência foram empregados os procedimentos preconizados pelo DNER. O limite de liquidez foi determinado segundo a ME 44-94, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Para a determinação do limite de plasticidade empregou-se o método de ensaio ME 82-94, do Departamento Nacional de Estradas de

Rodagem, DNER. Esses limites foram utilizados para as classificações USCS e HRB. Os resultados encontram-se na tabela 3.

### 3.3.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura foi executado na fração fina do solo (partículas menores que 0,074 mm) com o objetivo de avaliar a ocorrência de laterização através da microestrutura dos argilo-minerais presentes nos solos. As Figuras 8 e 9 apresentam a microscopia dos solos Glória e Aclimação.

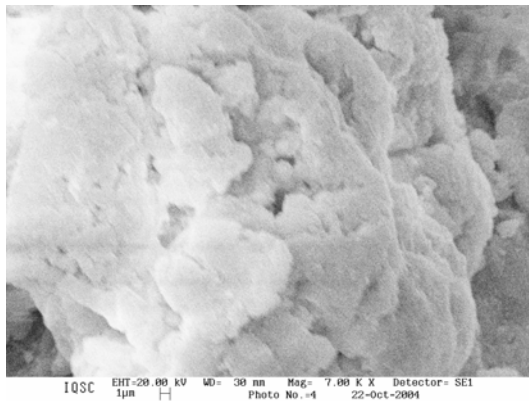


Figura 8: Microscopia do solo Glória.

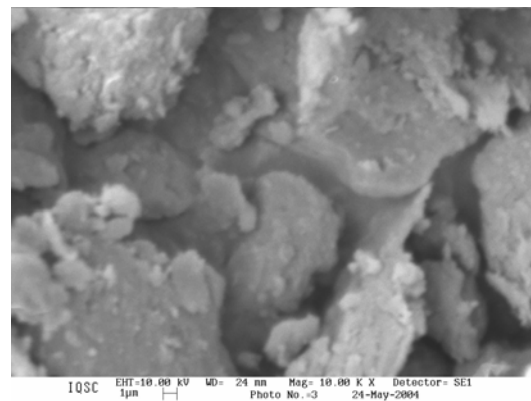


Figura 9: Microscopia do solo Aclimação.

### 3.3.5 Adsorção por azul de metileno pelo método da mancha

O ensaio de adsorção por azul de metileno foi executado segundo procedimento proposto por Fabbri (1994). Os resultados encontram-se na Tabela 3.

### 3.3.6 Classificação MCT

A classificação MCT dos solos foi realizada segundo os procedimentos de ensaios DER M 191-88 (mini-MCV) e DER M 196-88 (perda de massa por imersão), ambos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 1991). A Tabela 3 apresenta os resultados.

**Tabela 3:** Características físicas e mecânicas dos solos.

Propriedades	Solos			Quartzitos	
	S-1	S-2	S-3	Ap	Br
<i>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</i>	2.74	2.77	2.70	2,68	2.66
<b>Limites de Consistência</b>					
<i>LL (%)</i>	52	45	42	-	-
<i>LP (%)</i>	29	33	27	-	-
<i>IP (%)</i>	23	12	15	-	-
<b>Classificação</b>					
<i>HRB</i>	A7- 6	A7- 5	A7- 6	-	-
<i>USCS</i>	MH	ML	ML	-	-
<i>MCT</i>	LG'	LA'	LA'	-	-
<i>Azul de Metileno</i>	P. at	P. at	P. at	-	-
<b>Mecânicas</b>					
<i>CBR com imersão 4 dias</i>	30	38	22	-	-
<i>pd máximo (g/cm<sup>3</sup>)</i>	1,72	1,69	1,85	-	-
<i>Umidade ótima (%)</i>	19,5	19,3	16,0	-	-
<i>Expansão (%)</i>	0,1	0,0	0,1	-	-

Nota: P.at = pouco ativos; S-1 solo Glória, S-2 solo Aclimação e S-3 solo usina B.

### 3.4 Resultados das misturas

#### 3.4.1 Índice Suporte Califórnia (CBR cinco pontos)

Para a determinação do CBR (Índice de Suporte Califórnia) e da expansão utilizou-se do método de ensaio NBR 7182 - Solo - Ensaio de Compactação CBR simultâneo da ABNT. A Tabela 4 apresenta o resumo dos principais resultados para as misturas estudadas (misturas descontínuas e contínuas). Para as ambas misturas a expansão foi nula.

**Tabela 4:** Resultados de CBR das misturas descontínuas e contínuas.

Misturas Descontínuas											
Barra x Aclimação				Barra x Usina B				Barra x Glória			
Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot
50 X 50	80	1,995	10,7	50 X 50	80	1,980	10,3	50 X 50	74	2,005	11,0
60 X 40	82	2,020	9,50	60 X 40	84	2,010	9,20	60 X 40	84	2,005	10,2
70 X 30	70	2,000	6,60	70 X 30	70	1,990	6,60	70 X 30	60	2,010	7,60

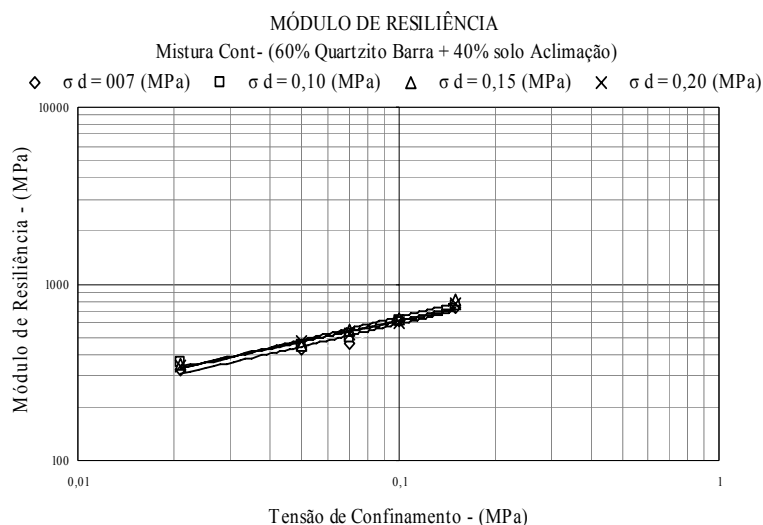
  

Misturas Contínuas							
Barra x Aclimação				Barra x Glória			
Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot
60 X 40	84	2,060	9,50	60 X 40	82	2,052	10,40

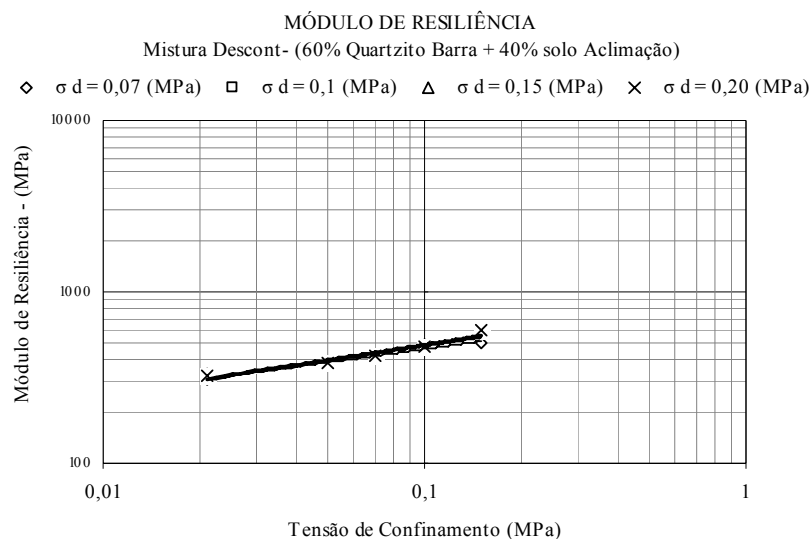
Nota: Qt - Quartzitos, S - Solo, pd – Massa Específica Seca Máxima em g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.4.2 Módulo de Resiliência (M<sub>R</sub>)

Os ensaios de módulo de resiliência foram realizados segundo o preconizado pelo DNER-ME 131-94. Os níveis de tensão de confinamento ( $\sigma_3$ ) utilizados foram 0,021, 0,05, 0,07, 0,10 e 0,15 MPa e tensões desvio ( $\sigma_d$ ) foram 0,07, 0,10, 0,15 e 0,20 MPa. Para os ensaios de módulo de resiliência foram utilizados dois solos e dois quartzitos. Os corpos de prova foram moldados para as condições de massa específica seca máxima e umidade ótima, determinadas a partir dos ensaios de CBR de cinco pontos. A compactação foi realizada em cilindro de 10x20, na energia de compactação intermediária. A Figura 10 apresenta, como exemplo, os resultados obtidos para uma mistura contínua e a Figura 11 para uma mistura descontínua.



**Figura 10:** Módulos de resiliência de uma mistura contínua.



**Figura 11:** Módulos de resiliência de uma mistura descontínua.

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser constatado na Tabela 2, os quartzitos apresentam baixa porcentagem de muscovita (material deletério), elevadas porcentagens de quartzo e sílica e perdas por abrasão relativamente baixas, aquém do máximo permitido pelo DNER (1998), que é 50%.

Na avaliação do ensaio de índice de desagregação após compactação Proctor, os quartzitos (Ap e Br) apresentaram bom desempenho ( $ID_p = 4\%$ ), abaixo do recomendado, que é  $ID_p \leq 6\%$ , segundo IPR (1998).

Os resultados indicam que as misturas com 60 % de quartzito britado e 40 % de solo são as que apresentaram melhor desempenho, com CBR de 84 %; já as de pior desempenho são as com 70 % de agregado e 30 % de solo, chegando a apresentar CBR da ordem de 60%. Observou-se também que não há influência significativa da distribuição granulométrica do quartzito nas resistências das misturas e expansão nula.

As misturas 60 x 40, quando avaliadas através dos resultados de CBR, seriam aprovadas para uso em bases, pois apresentam CRB da ordem de 84% . Segundo o método de dimensionamento empírico do DNER, bases para vias com tráfego pesado ( $N = 10^7$ ) devem apresentar  $CBR \geq 80\%$  e expansão inferior a 0,5 %.

Como pode ser observado nas Figuras 8 e 9, os módulos de resiliência das misturas apresentam valores relativamente altos e seguem a mesma tendência verificada nos resultados dos ensaios de CBR, no que diz respeito à influência da granulometria. Observou-se também que os níveis de tensões desvio não têm influência significativa nos valores de módulo de resiliência.

#### 5. CONCLUSÕES

Em virtude dos resultados obtidos na fase experimental conclui-se que os rejeitos de quartzito têm potencial para utilização em bases e sub-bases de pavimentos, possibilitando uma eventual minimização do problema ambiental causado pela sua exploração.

Além disso, julga-se que seria interessante utilizar as misturas descontínuas, apesar delas apresentarem características ligeiramente inferiores às das contínuas sob o ponto de vista de aplicação em pavimentação. O melhor comportamento das misturas contínuas se deve ao fato delas utilizarem o material integral da britagem, e sem a necessidade de classificação e separação para enquadramento em curva granulométrica pré-estabelecida, torna o aproveitamento do rejeito de quartzito mais simples do ponto de vista operacional e, do ponto de vista ambiental, mais interessante, pois utiliza praticamente 100% do rejeito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alecrim, A. V., e Fabbri, G. T. P. (2004). Aproveitamento de rejeitos da mineração de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis. In: 1º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 1. São Carlos, 2004. 23 e 24 de agosto de 2004. São Carlos-SP.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO: DNPM, Brasília, 1998-2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rochas para revestimentos. Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água – NBR 12.766. Rio de Janeiro, 1992.
- 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. Análise granulométrica – NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.
- Barros, C. T. (1978). Bases Estabilizadas Executadas com Solos Argilosos Laterizados. 44p. Dissertação de (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- Costa, J. B. (1950). Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico. 4.ed. In: Fundação Calouste Gulbenkian. Portugal, Lisboa. P.161-184.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ensaio de compactação de solo – DER/SP M 13. São Paulo, 1971.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Determinação da Abrasão “Los Angeles” – DNER-ME 035. Rio de Janeiro, 1994.
- Deschamps, E. et al. (2002). Controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé. Projeto minas ambiente. Belo Horizonte: Secrac.
- Donache, R. T., e Townsend, F. C. Scalping and replacement effects on the compaction characteristics of earth-rock mixtures, soil specimen preparation for laboratory testing. ASTM, STP, 197, p. 248-277, 1975.
- Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de Classificação de Solos, Brasília, 1999. 412p.
- Fabbri, G. T. P. (1994). Caracterização da fração fina dos solos tropicais através da adsorção de azul de metileno. 197p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.
- Feam., e Codema. (2003). Fundação Estadual do Meio Ambiente e Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental: depoimento [abr. 2003]. Entrevistador: A. V. Alecrim. Minas Gerais: Passos MG. Entrevista concedida por meio telefônico. Passos MG.
- Fernandes, T. M. G. (2002). Caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos do centro produtor de São Tomé das Letras no Sudoeste do Estado de Minas Gerais. 169p. Tese de (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.
- Ferreira, M. A. G. (1986). Considerações Sobre Misturas Solo-Agregado Compostas por Materiais Tropicais para o Uso em Pavimentação. Dissertação de (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1986.
- Frascá, M. H. B. O., e Sartori, P. L. P. (1998). Minerais e rochas. In: *Geologia de engenharia*. São Paulo. Ed.Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap.2. p.15-38.
- Frazão, E. B. (2002). Tecnologia de rochas na construção civil. São Paulo. Ed. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 132p.
- Holtz, W. G., e Gibbs, H. J. Triaxial shear tests on pervious gravelly soils. In: Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, v. 82. n SM1, p 867/1-867/22, Jan, 1956.
- Holtz, W. G., e Lowitz, C. A. Compaction characteristics of gravelly soils. ASTM, STP n 232, p 67-84. 1957.

- Holtz, W. G., e Williard, E. (1961). Triaxial shear characteristic of clayey gravel soils. In: International Conference on Soil Mechanics and Foudation Engineering 5., Paris, v. 1, p 143-149, 1961.
- Iamaguti, A. P. S. (2001). Manual de rochas ornamentais para arquitetos. 317p. Dissertação de (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2001.
- Kropp, L. (1999). Universidade Técnica de Bremem. Alemanha. Comunicação pessoal. 1999.
- Kumar, R., e Bhattacharjee, B. (2003). Porosity, poreSize distribution and in situ Strength of Concrete. In: Cement and Concrete Reseach. p 155-164.
- Moya, M. M. (1995). A indústria de rochas ornamentais: estudo de caso na região de Bragança Paulista, SP. 116p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1995.
- Nogami, J. S., e Villibor, D. F. (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Villibor.
- Tasong, W. A., Cripps, C. J., e Lynsdale, C. J. (1998). Aggregate – Cement Chemical Interations. In: Pergamon. In: P II. p 1037-1048.
- Villibor, D. F., e Nogami, J. S. (1984). Critério para Escolha de Misturas Descontínuas de Solo Laterítico-Brita para Bases de Pavimentos. Anais da 19ª Reunião Anual de Pavimentação, v. 1, Rio de Janeiro – Basil.
- Ullemeyer, K., Braun, G., Dahms, M., e Olesen, N. (2000). Texture Analysis of a Muscovite-Bearing Quartzite: a comparison of some currently used techniques. In: Journal of Structural Geology. P 1541-1557.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de biblioteca (2002). Diretrizes para elaboração de dissertação e teses na EESC-USP. 3.ed. São Carlos.