

Estudos Preliminares da Utilização de Resíduos Oriundos do Beneficiamento da Pedra Sabão em Pavimentação Asfáltica

Marceli do Nascimento da Conceição
Bolsista de Iniciação Científica, Química , UFRRJ

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Orientador, Eng. Químico , D. Sc.

Julio Cesar Guedes Correia
Co-orientador, Químico , D. Sc.

Resumo

Mata dos Palmitos, município de Ouro Preto, MG, tem sua economia voltada para o beneficiamento da pedra sabão. Esse processo é rudimentar e os resíduos gerados são considerados um grave impacto ambiental. Baseado nisto, o objetivo desse trabalho é verificar a possibilidade de utilização desses resíduos no processo de pavimentação asfáltica, que utiliza 95% de agregados minerais e 5% de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Para tal, foram realizados ensaios de caracterização tecnológica do resíduo, por meio de DRX e MEV. O CAP foi caracterizado por meio de RMN de ^{13}C e ^1H . Por fim, realizaram-se estudos de interação resíduo-CAP, por meio de adsorção e modelagem molecular. Resultados indicaram a potencialidade de utilização do resíduo em pavimentação uma vez que os valores de adsorção do CAP no resíduo chegaram a 95% e os resultados de modelagem molecular indicaram a melhor interação química, apresentando os menores valores de energia potencial, em torno de 5,5 kJ. No entanto, faz-se necessário a realização de ensaios mecânicos com o pavimento para conclusões mais concretas.

1 Introdução

1.1 Pedrão sabão

A esteatita, ou pedra-sabão, como é popularmente conhecida, abunda na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. É uma rocha metamórfica, compacta, plástica, untuosa ao tato, encontrada nas tonalidades cinza, cinza azulado, cinza esverdeada, e nas tonalidades creme e creme avermelhado. É composta sobretudo de talco, que confere à rocha sua principal característica: a baixa dureza, que facilita o manuseio para esculturas (Castilhos *et al.* 2008).

Na figura 1 pode-se observar a estrutura cristalina do talco constituída de camadas de silício e magnésio, interligadas por oxigênio. Além disso, verificam-se hidrogênios coordenados aos oxigênios da estrutura e estes se encontram interligados ao magnésio na forma de hidroxila (Dana, 1970).

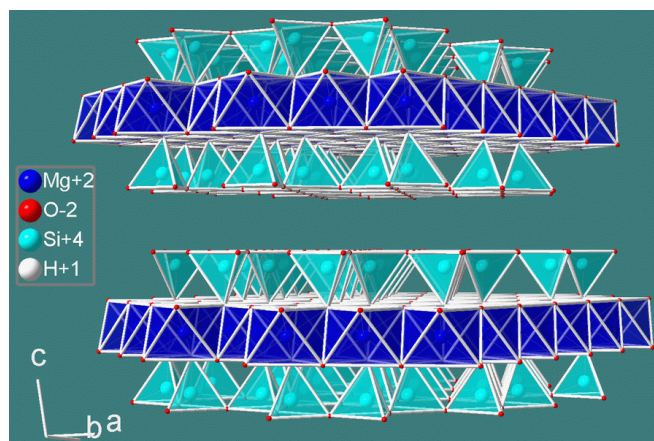


Figura 1: Estrutura cristalina do talco

1.2 O resíduo de pedra sabão

O trabalho artesanal desenvolvido pela comunidade em estudo gera grande quantidade de poeira mineral, cuja inalação e contato epidérmico, podem ocasionar problemas respiratórios e dermatológicos, respectivamente. Adicionalmente, o esteatito pode conter asbestos (amianto), em sua composição; fibra, que é potencialmente cancerígena. Estudos realizados na localidade detectaram a possível presença de asbestos na poeira mineral, e também demonstraram que os níveis de particulado gerado pela produção artesanal estão acima do recomendado pelas normas da Fundacentro (Castilhos *et al.* 2008)

1.3 Pavimentação Asfáltica

As misturas asfálticas utilizadas em pavimentação são constituídas, geralmente, por 95%, em peso, de agregados minerais e 5%, em peso, de cimentos asfálticos de petróleo (CAP). O CAP constitui a fração pesada da destilação do petróleo sendo classificado como um material termosensível utilizado, principalmente, em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis. Apresenta em sua composição dois compostos principais, asfaltenos e maltenos. Em termos de agregados minerais a pedra britada é sem dúvida a mais empregada, onde as britas zero e um correspondem a 10%, em peso, e o pó de pedra corresponde aos 90% restantes (Elphinstone, 1997).

1.4 Capacidade de Interação CAP/Agregado

Segundo Ribeiro (2003), a adsorção de CAPs aos agregados minerais está relacionada, principalmente, na capacidade dos asfaltenos presentes na estrutura dos CAPs se interligarem à superfície mineral, sem que haja uma contribuição significativa por parte dos maltenos.

O programa SHRP (Strategic Highway Research Program) propõe que forças intra e intermoleculares, dipolo-dipolo, ligações de hidrogênio, Van der Waals e atrações π - π de aromáticos, possam ser as responsáveis pela formação de redes tridimensionais que resultam no processo de interação dos asfaltenos.

1.5 Modelagem molecular

A modelagem molecular é uma técnica computacional relativamente recente que permite a construção e consequente visualização da estrutura de determinadas substâncias, analisando a posição dos átomos que as compõem, permitindo que se executem medições de distâncias entre diferentes moléculas, além de simular as melhores condições de algumas reações e os melhores reagentes a serem utilizados (Correia *et al.* 1998).

2 Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de utilização de resíduos oriundos do beneficiamento de pedra-sabão como agregado mineral, em substituição ao pó de pedra, na composição do pavimento asfáltico visando a diminuição do impacto ambiental e melhorias nas condições do pavimento, como a redução de ruídos e maior aderência, devido à plasticidade apresentada pelo resíduo.

3 Metodologia

3.1 Origem do material

O resíduo de pedra-sabão é oriundo de oficinas domiciliares da região de Mata dos Palmitos que localiza-se a 40 km de Ouro Preto. Existem duas nascentes de rios dentro das propriedades dos artesãos, que atravessam a região onde as peças são feitas, de modo que bastante poeira é depositada nesses rios. Já o CAP é oriundo de uma refinaria do Estado de Minas Gerais.

3.2 Caracterização do resíduo

3.2.1 Análise Mineralógica

A composição mineralógica do resíduo foi determinada por meio de difração de raios-x realizada pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

Determinou-se, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada ao sistema de EDS (Energy Dispersive System), a composição qualitativa e semiquantitativa do resíduo.

3.3 Caracterização do CAP

Para realização dos ensaios de adsorção e modelagem, trabalhou-se com a fração de asfaltenos presente no CAP, uma vez que Ribeiro (2003) já havia verificado que essa fração é responsável pela adesão com os agregados minerais. Os asfaltenos foram extraídos pelo laboratório de Química Orgânica da Escola de Química da UFRJ e caracterizados por meio de análise elementar de C, H, N, O e S e ressonância magnética nuclear (RMN) de ^1H e ^{13}C . Tais parâmetros foram decisivos para elaboração da molécula na modelagem molecular.

3.4 Avaliação da Interação CAP/Resíduo

3.4.1 Ensaio de Adsorção

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de resíduo peneirado (< 0,149 mm), sendo colocados em tubos de

centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas de 0,005 à 1,6 mg/mL. A seguir, os tubos foram agitados durante quatro horas a 200 r.p.m. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

3.4.2 Modelagem Molecular

As atividades em modelagem molecular foram realizadas pelo Grupo de Modelagem Molecular do Cetem. Por meio do programa *Hyperchem 7.0*, modelou-se a estrutura hipotética do asfalto constituinte do CAP com base em sua análise elementar, RMN de ^1H e ^{13}C e peso molecular. Otimizou-se a geometria da estrutura, através do módulo *geometry optimization*. Em seguida realizou-se a dinâmica molecular, simulada a uma temperatura de 300 K, em um tempo de 35 ps e com 0,001 ps de intervalo para descrição de cada conformação por meio do módulo *Molecular Dynamics*. As informações de cada conformação do asfalto foram salvas e das 35.000 conformações escolheu-se a de menor energia potencial, isto é a mais estável. Posteriormente, utilizaram-se os minerais feldspato, quartzo e talco do banco de dados do programa *Hyperchem 7.0* para interação com o asfalto.

4. Resultados e Discussões

4.1 Caracterização do resíduos

4.1.1 DRX e MEV

Na figura 2 podem-se observar no difratograma, picos específicos de talco e crisótilo, mineral asbestiformes do grupo da [serpentina](#), minerais estes constituintes da pedra sabão. Tais conclusões estão em consonância com os resultados de microscopia eletrônica de varredura (figura 3) onde se observam os minerais previamente descritos.

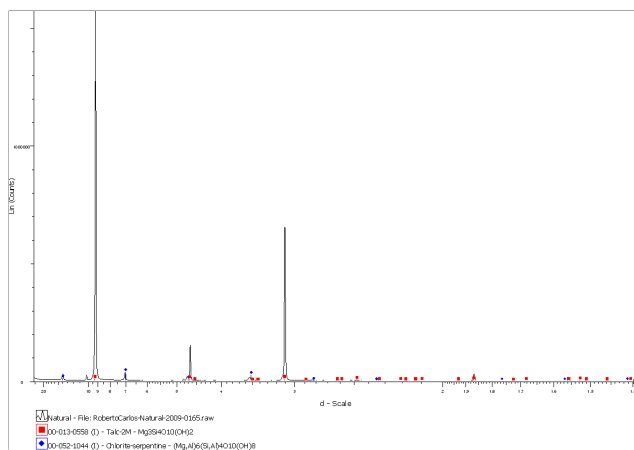


Figura 2: DRX do resíduo de pedra sabão.

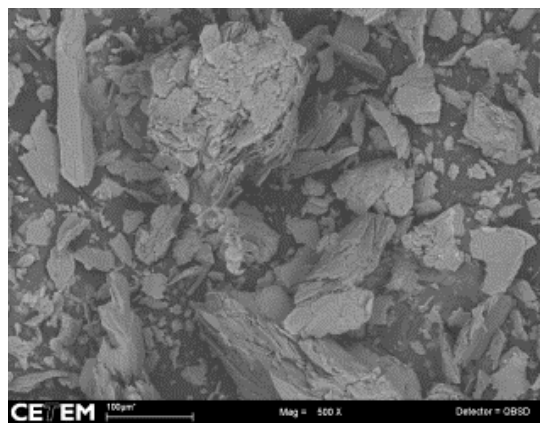


Figura 3: MEV do resíduo de pedra sabão.

4.2 Caracterização do Asfalto

4.2.1. Análise Elementar

A análise elementar indicou 83,9% de carbono; 9,8% de hidrogênio e 4,4% de oxigênio. No entanto teores bem menos significativos foram observados para enxofre e nitrogênio, sendo 1,4% e 0,5% respectivamente.

4.2.2. Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de ^1H e ^{13}C

Em relação ao carbono 38% são aromáticos, 62% são saturados, 11% são aromáticos ligados à alquilas, 13% são aromáticos não substituídos, 1,7% são metílicos terminais e 2,2% são metílicos em ramificações. No que diz respeito ao hidrogênio 92% são saturados e 8% são aromáticos.

4.3 Avaliação da Interação CAP/Resíduo

4.3.1 Adsorção

A figura 4 apresenta os resultados de adsorção do asfalteno oriundo do CAP A nas superfícies dos resíduos de pedra sabão, granito e pó de pedra (basalto). Pode-se observar que o aumento da concentração de asfalteno favorece o processo de adsorção na superfície dos agregados minerais. No entanto, observa-se um processo de adsorção mais efetivo na superfície do resíduo de pedra sabão, chegando-se a valores máximos de 95%, bem superior aos valores máximos obtidos para os demais agregados, que não ultrapassaram 75% de adsorção. Tal fato, pode estar relacionado com a composição mineralógica do resíduo de pedra sabão, que apresenta o mineral talco em maior teor. Este mineral, deve apresentar sítios ativos mais efetivos capazes de melhor interagir com o asfalteno. No entanto, tais resultados só poderão ser explicados efetivamente pela modelagem molecular.

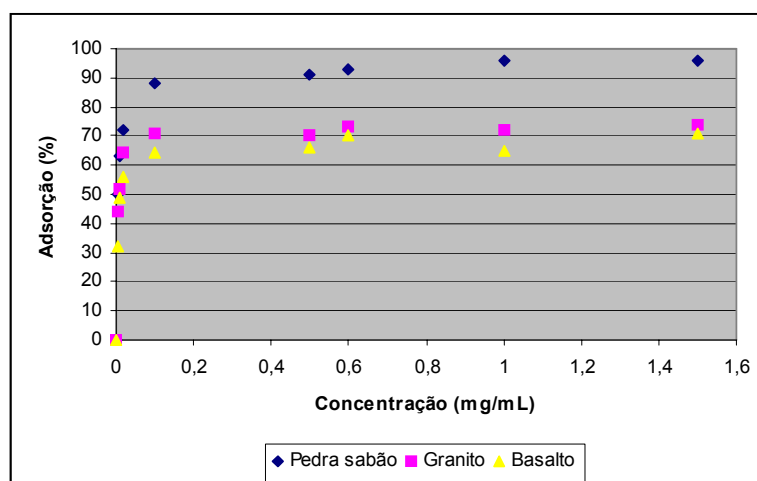


Figura 4: Adsorção (%) versus concentração de asfaltenos (mg/mL) na superfície dos resíduos.

4.3.2 Modelagem Molecular

Os melhores resultados de adsorção entre asfaltenos e resíduos de pedra sabão podem ser explicados por meio de interações entre os minerais que constituem esse resíduo e o asfalteno, por meio da técnica de modelagem molecular. Na figura 5 estão apresentadas duas moléculas de asfaltenos, onde os hidrogênios encontram-se em amarelo, o carbono em preto e o oxigênio em vermelho. No centro observa-se um fragmento do cristal de talco onde se verificam duas lamelas de silício e magnésio, que são interligadas por oxigênios e hidrogênios. Conforme se observa na figura 5, a adesão da molécula de asfalteno na matriz do talco pode ocorrer na superfície do cristal, verificando-se a ligação dos hidrogênios dos grupamentos hidroxilas ligados ao magnésio, da estrutura do talco, nos pares eletrônicos disponíveis do oxigênio presente no asfalteno, por meio de fortes

ligações de hidrogênio. Além disso, verifica-se a realização de ligações dipolo-dipolo em menor intensidade. Verifica-se também que a estrutura lamelar do talco favorece a química de intercalação da molécula de asfalto explicando, possivelmente, não só os melhores resultados de adsorção, mas também da realização de absorção da molécula de asfalto pelo mineral.

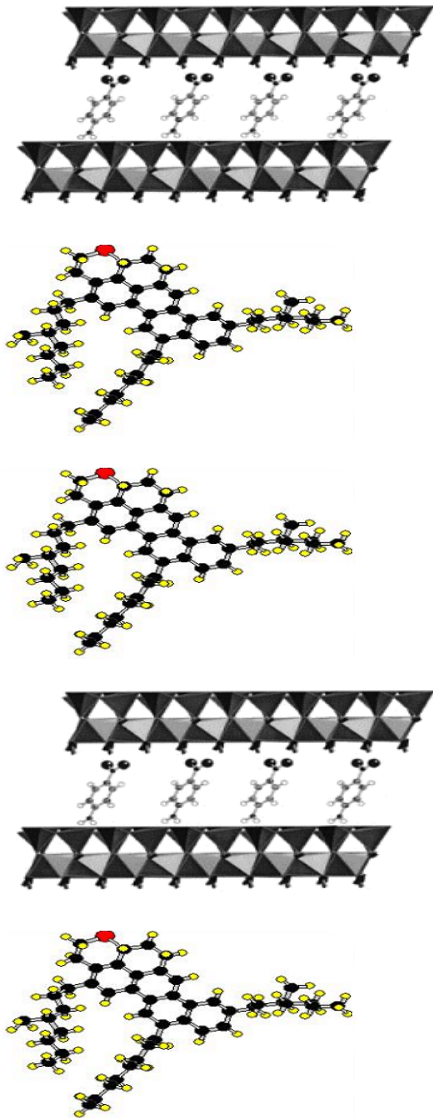


Figura 5: Ilustração das interações, superficial e interlamelar entre a superfície do talco e o asfalto.

Os resultados de adsorção menos efetivos com o resíduo de granito e o pó de basalto podem ser explicados quando se verifica as interações da molécula de asfalto com quartzo e feldspato, minerais em maior proporção nesses agregados. Nesses minerais não se observam interações intermoleculares do tipo ligações de hidrogênio, uma vez que em suas estruturas não são observados hidrogênios, configurando a ligação dipolo-dipolo, que é mais fraca que a ligação de hidrogênio (Kotz & Treichel, 2000). Tal fato é comprovado quando se avalia o comportamento das energias potenciais dessas interações, apresentado na tabela 1. Pode-se observar que as energias potenciais das interações são menores que a do asfalto isolado indicando que a interação tende a ocorrer. No entanto, os valores são bem mais significativos para o talco.

Tabela 1: Resultados de Energia Potencial (kJ)

Condição de ensaio	Energia (kJ)
Asfalteno	18,74
Asfalteno+ Feldspato	11,57
Asfalteno + Quartzo	13,44
Asfalteno+ Talco	4,98

5. Conclusões

Pode-se concluir que a utilização do resíduo de pedra sabão em substituição ao pó de pedra na composição do pavimento asfáltico é possível, uma vez que resultados de adsorção química e simulações em modelagem molecular mostraram resultados representativos. No entanto, faz-se necessário a realização de ensaios mecânicos e de aderência com esse resíduo.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa, ao CETEM pela infra-estrutura e ao Departamento de Pavimentação da COPPE-UFRJ.

7.Referências Bibliográficas

Castilhos, Z.C.; Araújo, P., Campos, C.B.P., Brandão L.P.; Zamboni, W., Morais, F., Middea, A, Bezerra, O.; Portugal, A. **Clean technologies for soapstone handcraft in a rural area of Ouro Preto** , Minas Gerais, Brazil . Apresentação feita na 8th Internacional Conference - Clean Technologies for the World Mining Industry – Santiago, Chile, abril, 2008 (I).

Correia, J. C. G., Leal Filho, L. S., Seidl, P. R., **Modelagem Molecular Aplicada à flotação de Minerais – Estudo de Caso**, Série Tecnologia Mineral, CETEM, 1998.

Dana, G., **Manual de Mineralogia**, v 2., 1970.

Elphinstone, G. M., **Adhesion and cohesion in asphalt aggregate systems**, dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of technology, 1997.

Kotz, R. & Treichl, C.; **Introdução à Química Geral**, Vol 1, p 10-106, 2000.

Rachele, K, Ribeiro, R.C.C. e Correia, J. C.; **Avaliação do Pavimento Asfáltico por Meio de Modelagem Molecular**; XV Jornada de Iniciação Científica do Cetem, 2007.

Ribeiro, R.C. C., **Estudo da Interação Asfalto-Brita**, Dissertação de Mestrado, Escola de Química da UFRJ, 2003.