

Relação entre a Resistência Mecânica do Pavimento Asfáltico e a Interação Química de seus Constituintes

Livia Pinheiro de Araújo

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UERJ

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Profº. - Eng. Químico, M. Sc

Julio César Guedes Correia

Orientador, Químico, D. Sc

Resumo

Em virtude do rápido crescimento da frota de veículos no Brasil, problemas no pavimento asfáltico têm se tornado freqüentes. Dessa forma, torna-se cada vez mais importante um conhecimento profundo sobre a interação química de seus constituintes, ou seja, agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo (CAP), e como tal processo está relacionado com a resistência mecânica do pavimento asfáltico. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi o de verificar como a interação química entre diferentes CAPs e diferentes agregados minerais, afeta a resistência mecânica do pavimento. Os agregados minerais foram caracterizados por meio de análises química e mineralógica; e o processo de interação com os CAPs foi analisado por meio de medidas de adsorção e adesividade. Por fim, moldou-se corpos de prova de misturas asfálticas, a fim de se verificar sua resistência mecânica. Os resultados indicaram que os agregados minerais que apresentaram maior adsorção e adesividade com os CAPs foram os que apresentaram maiores valores de resistência mecânica, indicando a relação direta entre a interação química e a resistência mecânica.

1. Introdução

1.1 - Pavimentação Asfáltica

O pavimento asfáltico é formado pela mistura entre um conjunto de agregados minerais, que correspondem a 94 - 95%, em peso da mistura, e 5 - 6% de cimento asfáltico de petróleo(CAP), que é responsável pela agregação dos minerais (Curtis, 1999).

1.2 - Agregados Minerais

Os agregados minerais correspondem a um conjunto de rochas classificadas em diferentes frações granulométricas que segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), constituem um dos principais componentes da pavimentação rodoviária, tendo como principais finalidades manter a estabilidade mecânica dos revestimentos, suportar o peso do tráfego e, ao mesmo tempo, transmiti-lo às camadas inferiores com uma pressão unitária reduzida.

1.3 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Segundo Leite (1999), o asfalto é considerado como resíduo formado no processo de destilação à vácuo do petróleo, sendo utilizado como ligante dos agregados minerais na formação do pavimento asfáltico. No Brasil, este ligante é conhecido como cimento asfáltico de petróleo (CAP), que é definido como um líquido extremamente viscoso, semi-sólido ou sólido à temperatura ambiente, que apresenta um comportamento termoplástico. Torna-se líquido quando aquecido, retornando ao estado original quando resfriado.

1.4 – Problemas encontrados no Pavimento Asfáltico

Problemas em pavimentação asfáltica são encontrados em boa parte do mundo, e muito se tem estudado a fim de entender as principais causas de tais problemas, bem como maneiras para solucioná-los. Segundo Pauli *et al.* (2005), um bom entendimento da adesão do asfalto à superfície do agregado permitirá a geração de pavimentos com maior resistência e durabilidade.

Baseado nisto, o objetivo desse trabalho é verificar o processo de interação química entre diferentes agregados minerais e CAPs, relacionando tais resultados com sua resistência mecânica, contribuindo assim, na melhoria das condições dos pavimentos asfálticos produzidos no país.

2 . Metodologia

2.1 - Origem dos Agregados Minerais e CAPs

Os agregados minerais utilizados neste trabalho foram: um basalto, um gnaiss, um granito, um calcário e dois tipos de argilas, um caulim e uma montmorilonita, que foram calcinadas, a fim de se obter suas respectivas britas. Todos os agregados foram britados, peneirados e classificados nas frações: brita 1, pedrisco e pó de pedra e estavam enquadrados segundo às normas de granulometria, abrasão, densidade e forma, preconizadas pelo DNIT, que estabelecem os critérios de utilização de agregados minerais em pavimentações. E Os CAPs utilizados são provenientes de cinco refinarias brasileiras, que serão chamados de A, B, C, D e E.

2.2 - Análise dos Agregados Minerais

2.2.1 – Análises Química e Mineralógica

As análises química e mineralógica das amostras de agregados minerais foram realizadas pelo Laboratório de Análises Químicas da Coordenação de Análises Minerais (COAM), do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

2.3 - Avaliação da Interação CAP/ Agregados

2.3.1 - Ensaio de Adsorção

Para realização dos ensaios de adsorção, pesou-se 0,5g de agregado mineral (< 100#) e colocou-se em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de CAP nas seguintes concentrações: 0,001 - 0,1 mg/L. Em seguida, os tubos foram agitados por 4 horas a 200rpm e centrifugados por 30 minutos a

3000 rpm, e cada sobrenadante foi analisado em UV- visível, em comprimento de onda de 402nm (Gonzáles e Middea, 1987). Com isso, pôde-se obter os valores de adsorção de CAP por cada agregado mineral.

2.3.2 - Ensaio de Adesividade

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94, utilizando cada um dos cinco CAPs e todos os agregados graúdos, que consiste em avaliar o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-brita é imersa em água destilada a 40°C durante 72 horas. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película.

2.4 - Avaliação da Resistência Mecânica das Misturas Asfálticas

Para realização do ensaio de resistência mecânica moldou-se corpos de prova da mistura asfáltica, utilizando-se os cinco CAPs e os agregados minerais estudados por meio de compactação *Marshall*, e por fim, realizou-se o ensaio que verifica resistência mecânica (método AASHTO T 283/89-LOTTMAN).

3. Resultados e Discussões

3.1 – Análise dos Agregados Minerais

3.1.1 - Análise Mineralógica

A tabela 3.1 apresenta os resultados da análise mineralógica realizada com os agregados minerais onde pode-se verificar uma semelhança entre as composições mineralógicas do gnaiss e granito, uma vez que se tratam de rochas com mesma formação geológica, observando-se uma alta concentração de feldspato, chegando-se a valores em torno de 62%, e quartzo em torno de 25%. Observa-se também um teor de mica em torno de 15 a 20% para ambas as rochas. Em relação ao basalto, verifica-se um alto teor de feldspato, chegando-se a valores em torno de 64%, seguido pelo baixo teor de quartzo, em torno de 2%. Em relação ao calcário, observa-se um alto percentual da forma calcítica, chegando-se a valores em torno de 97%. Em relação aos argilominerais, pode-se verificar que se tratam de uma caulinita e de uma montmorilonita, no qual se observa um pequeno percentual de quartzo presente.

Tabela 3.1: Composição Mineralógica dos Agregados Minerais

Minerais	Rochas				Argilominerais	
	Basalto	Gnaiss	Granito	Calcário	Caulim	Esmectita
Feldspato	64	62	61	--	--	--
Quartzo	2	25	19	--	10	6
Mica	--	13	20	--	8	10
Piroxênios	30	--	--	--	--	--
Calcita	--	--	--	97,4	--	--
Dolomita	--	--	--	1,88	--	--
Montmorilonita	--	--	--	--	--	80
Caulinita	--	--	--	--	72	--

3.1.2 - Análise Química

Pode-se verificar na tabela 3.2 que os agregados minerais (basalto, granito e gnaiss) apresentam resultados muito semelhantes, caracterizado por um alto teor de sílica e alumina, com relações Si/Al em torno de 4,5. Em relação aos argilominerais, caulim e montmorilonita apresentam uma relação Si/Al em torno de 1,8, caracterizando-os como materiais argilosos (Dana, 1970). Em relação ao calcário, resultados bastante diferenciados foram obtidos se comparados aos resultados dos demais agregados minerais, podendo-se observar um baixo teor de sílica e alumina. No entanto, observa-se um alto teor de cálcio e um baixo teor de magnésio, confirmando os resultados de análise mineralógica que caracterizavam tal minério como calcítico.

Tabela 3.2: Análise Química dos Agregados Minerais

Composição (%)	Rochas				Argilominerais	
	Gnaiss	Granito	Basalto	Calcário (*)	Caulim	Montmorilonita
SiO ₂	67,14	70,5	72,40	1,1	49,18	56,19
Al ₂ O ₃	14,92	18	16,54	0,22	28,11	27,60
K ₂ O	5,18	5,6	6,69	0,045	1,05	0,68
Na ₂ O	2,93	2,7	3,08	Traços	1,23	0,51
Fe ₂ O ₃	4,4	1,4	2,49	0,61	13,8	10,82
CaO	1,91	1,2	7,51	54	0,70	1,44
TiO ₂	0,03	0,03	3,17	Traços	0,6	0,78
MgO	0,03	0,1	2,91	0,69	4,56	2,79

(*) Perda por calcinação de 43%

3.2- Avaliação da Interação CAP/ Agregados

3.2.1- Adsorção

Observa-se na figura 3.1 a adsorção dos CAPs à superfície do gnaiss, onde se verifica um processo mais efetivo por parte dos CAPs A e C à superfície do agregado mineral, chegando-se a valores máximos de adsorção, em torno de 4,0 mg/g. Tais resultados indicam que os CAPs A e C apresentarão melhor desempenho quando utilizados na mistura asfáltica com este agregado, pois apresentaram as melhores adsorções. Em relação ao processo de adsorção dos CAPs à superfície do granito (figura 3.2), verifica-se um resultado similar ao obtido com o gnaiss, devido, possivelmente à sua composição mineralógica. Dessa forma, verifica-se que para estes agregados, os CAPs A e C são os mais recomendados.

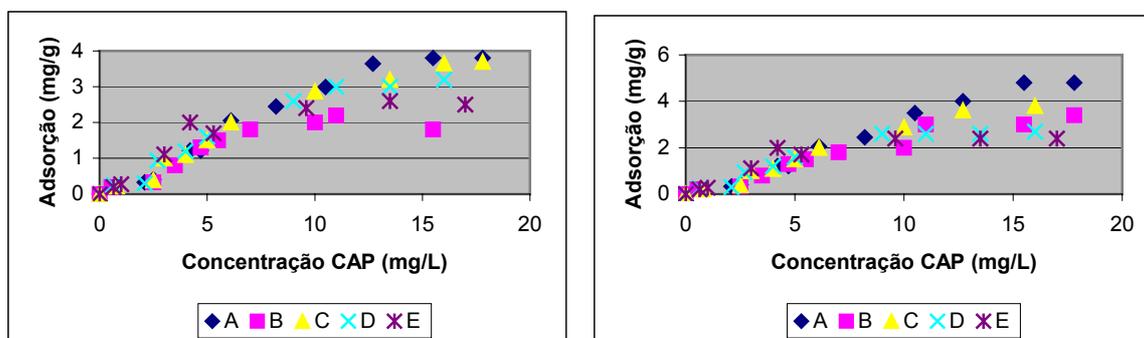


Figura 3.1: Adsorção de CAPs à superfície do gnaiss. **Figura 3.2:** Adsorção de CAPs à superfície do granito.

A fim de se compreender melhor o processo de interação entre estes agregados (gnaisse e granito) e os CAPs, verificou-se o processo de adsorção entre os 5 CAPs e os minerais, feldspato e quartzo (figuras 3.3 a e b), que constituem os referidos agregados. Pode-se verificar altos valores de adsorção dos CAPs à superfície do feldspato, chegando-se a valores em torno de 6 mg/g e baixos valores de adsorção à superfície do quartzo (4 mg/g). Tais resultados indicam que a interação química entre os CAPs e agregado é mais efetiva com o mineral feldspato.

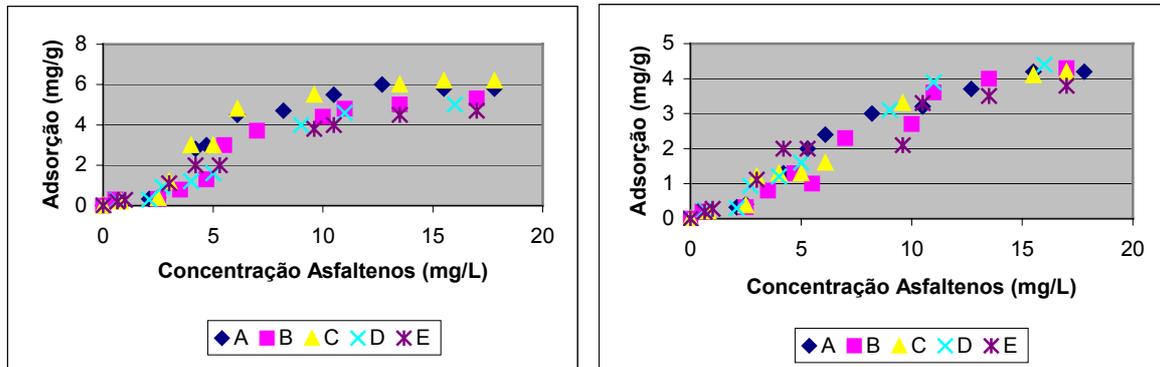


Figura 3.3 (a): Adsorção de CAPs na superfície do feldspato. **Figura 3.3 (b):** Adsorção na superfície do quartzo

Em relação aos resultados da adsorção dos CAPs à superfície do basalto (figura 3.4), verifica-se um desempenho similar ao do gnaisse e do granito. Esperava-se, no entanto, um melhor desempenho de adsorção do basalto, pois os teores de quartzo são baixos (2%) se comparados aos do gnaisse e granito (em torno de 25%). Todavia, a ausência de mica na composição do basalto pode ser um dos fatores que afete o processo de adsorção com os CAPs. Em relação ao processo de adsorção dos CAPs à superfície do calcário, verifica-se na figura 3.5 um comportamento similar para todos os CAPs, observando uma baixa adsorção de todos à superfície do agregado, em torno de 3 mg/g. Tais resultados indicam que agregados minerais sílico-aluminatos apresentam melhores resultados de adsorção e, conseqüentemente, maior desempenho na mistura asfáltica.

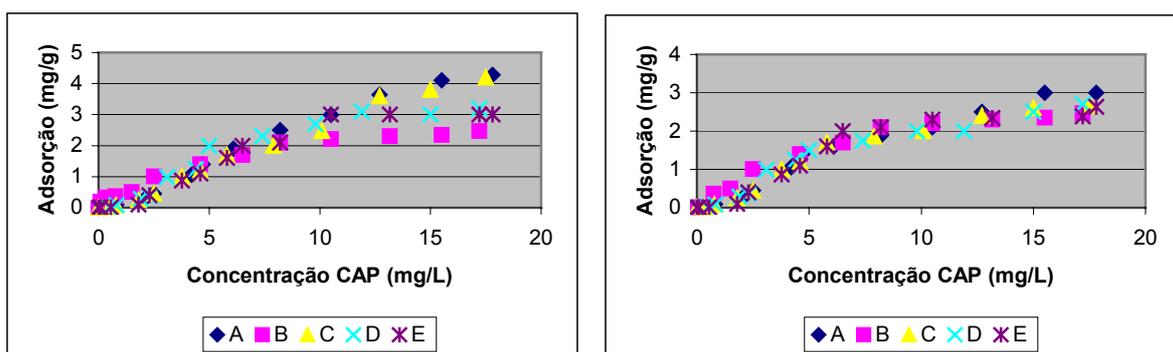


Figura 3.4: Adsorção de CAPs na superfície do basalto. **Figura 3.5:** Adsorção de CAPs no calcário.

Em relação ao processo de adsorção dos CAPs à superfície do caulim e da montmorilonita, verificam-se valores de adsorção em torno 40 e 100 mg/g respectivamente. Isso ocorreu devido, possivelmente, a grande área superficial destes argilominerais, que permite que ocorra também o processo de absorção. A diferença nestes valores vem do fato da estrutura da montmorilonita apresentar uma camada a mais de silício que o caulim em

sua estrutura. No entanto, nas figuras 3.6 e 3.7 verificam-se valores de adsorção de CAPs à superfície das argilas calcinadas. Esses valores são bem menores, devido a formação do complexo silico-aluminato após o processo térmico sofrido pelas argilas. Esse fato corrobora com a idéia de que o alumínio é o responsável pela interação com os CAPs, uma vez que na formação do complexo, o teor de silício é muito maior que o de alumínio. O aumento no percentual de silício, gera boas condições físicas para argila ser utilizada como brita, porém, o percentual de alumínio é inalterado, refletindo na má adesão com os CAPs.

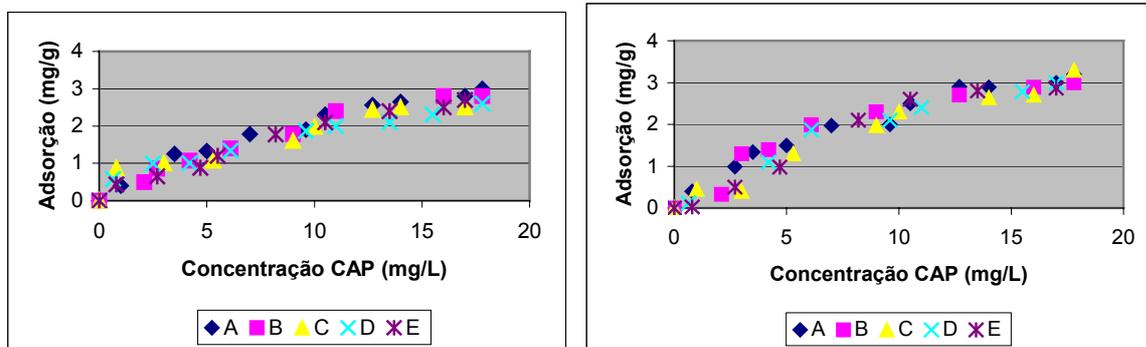


Figura 3.6: Adsorção de CAPs na superfície do caulim calcinado. **Figura 3.7:** Adsorção de CAPs da montmorilonita calcinada

3.2.2- Adesividade do Ligante ao Agregado Graúdo

Em relação ao resultado de adesividade do ligante ao agregado graúdo, pode-se verificar que todos os CAPs apresentaram o mesmo comportamento para cada tipo de agregado. No basalto, gnaiss e granito, observou-se o não deslocamento da película de nenhum CAP após 72 horas em água. No caso do calcário e das argilas calcinadas, observou-se um deslocamento total da película de CAP.

3.3- Avaliação da Resistência Mecânica da Mistura Asfáltica

A tabela 3.5 apresenta os resultados da resistência mecânica das misturas asfálticas. Pode-se verificar que apenas as misturas asfálticas produzidas com o gnaiss, granito e basalto e os CAPs A e C apresentaram valores superiores a 80%, que são os recomendados pelo DNIT. Esses resultados vão de encontro com os estudos de adsorção e adesividade, mostrando a importância do processo de interação química entre CAPs e agregados na resistência do pavimento.

Tabela 3.5: Valores de razão de resistência mecânica (%) das misturas asfálticas

Agregados	CAP A	CAP B	CAP C	CAP D	CAP E
Basalto	114,46	69,49	104,64	74,54	73,97
Gnaiss	130,0	66,78	98,7	77,34	64,3
Granito	99,9	74,23	104,5	68,89	76,71
Calcário	70,09	58,9	60,32	59,79	59,89
Argila Montmorilonita	53,7	52,6	53,45	51,23	53,7
Argila Caulim	50,03	50,34	53,85	52,89	50,08

4. Conclusão

Pode-se concluir que a interação química entre CAPs e agregados minerais está relacionada com a resistência mecânica do pavimento. Verificou-se que agregados constituídos por minerais que apresentam alumínio em sua estrutura, como basalto ou gnaiss, obtiveram melhor interação química com os CAPs e que tal processo se reflete no comportamento mecânico da mistura asfáltica. Já agregados minerais ausentes de tal elemento, como o calcário, apresentaram baixos valores de adsorção e resistência mecânica, não sendo adequados para pavimentação. Por fim, conclui-se que o processo de calcinação que as argilas sofrem para serem utilizadas em pavimentação é capaz de gerar britas de alta dureza, devido ao aumento do teor de silício, porém observa-se uma baixa interação com os CAPs, devido ao baixo incremento no percentual de alumínio, que é, possivelmente, o responsável pela adsorção com os CAPs. Dessa forma, verifica-se que o alumínio é um elemento essencial na composição do agregado, para que haja uma boa adsorção com CAPs e, conseqüentemente para geração de pavimentos de melhor qualidade.

5. Referências Bibliográficas

- AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, normas ASTM: AASHTO T 283/89 – LOTTMAN
- CURTIS, C. W., “Investigation of Asphalt-Aggregate Interactions in Asphalt Pavements”, Chemical Eng Dept, Auburn University, 1999.
- DANA, J. D., *Manual de Mineralogia*, São Paulo: EDUSP, vols. 1 e 2, 1970.
- GONZÁLES, G. e MIDDEA, a, “Efeito de Resinas e Asfaltos sobre as Propriedades Superficiais de Partículas de Quartzo, Feldspato e Calcita”, Comunicação Técnica SECRES-023/87, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, Novembro, 1987.
- KIEHL, J. E., *Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta*, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979, p. 264.
- LEITE, L. F. M., “Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero”, Tese de Doutorado, Instituto de Macromoléculas – IMA, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, p.9, 1999.
- NASCIMENTO, R. R., “Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre”, Dissertação do Mestrado, COPPE- Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- PAULI, A. T., MIKNIS, F. P., BEEMER, A. e WILDE, B., “Use of NMR imaging to measure interfacial properties of asphalts”, *Fuel*, vol. 84, 2005, pp. 1041-1051.