

# **Relação entre a Resistência Mecânica do Asfalto e a Interação Química de seus Constituintes**

**Ana Paula Alves Viana Melo**

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ.

**Julio Cesar Guedes Correia**

Orientador, Químico, D. Sc.

**Roberto Carlos da C. Ribeiro.**

Co-orientador, Prof -Eng. Químico, M. Sc.

## **Resumo**

Devido aos enormes problemas encontrados no pavimento asfáltico brasileiro, estudou-se o processo de interação química entre seus constituintes, agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo (CAP), e relacionar tais resultados com a resistência mecânica do pavimento. Para tal, utilizou-se os agregados minerais calcário, basalto e gnaiss e dois diferentes CAPs previamente caracterizados pela Petrobras. Os minerais foram analisados por meio de análise química e mineralógica, resistência à abrasão e densidade. O processo de interação mineral/CAP foi avaliado por meio de medidas de adsorção e ângulo de contato. Por fim, moldou-se corpos de prova de asfalto e realizou-se a análise de resistência mecânica. Os resultados indicaram que os minerais basalto e gnaiss se enquadraram às normas estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT, estando aptos para pavimentação. Os ensaios de adsorção e ângulo de contato mostraram uma interação química mais efetiva entre o CAP A e os minerais basalto e gnaiss. Tais resultados foram corroborados pelo ensaio de resistência mecânica que indicou os asfaltos formados com esses materiais como os de maior resistência. Dessa forma pode-se concluir que o processo de interação química entre os constituintes do asfalto está relacionado com sua resistência mecânica.

## **1. Introdução**

### **1.1- Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)**

A especificação brasileira (EB-78) do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás (IBP) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), IBP/ ABNT-EB-78, define CAP como o asfalto obtido especialmente para atender as qualidades e consistências próprias para uso direto na construção de pavimento, tendo uma penetração a 25°C entre 5 e 300 decímetros de milímetro sob uma carga de 100 gramas, aplicada durante 5 segundos (JOHN *et al*, 2000).

Os CAPs são obtidos por meio da destilação do petróleo, e constituem o último subproduto da torre de destilação. Por meio da inserção de petróleo pré-aquecido na torre de destilação, e o aquecimento do mesmo a uma temperatura entre 300° e 350°, separa-se as gasolinas e os gasóleos do restante que é o CAP, ou seja, a sobra da destilação a vácuo (JOHN *et al*, 2000).

## **1.2- Agregados Minerais**

Segundo o DNIT, agregados minerais 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.

A grande variedade de minerais em todo Brasil torna inviável uma padronização de utilização dos mesmos no pavimento. A pedra britada é o agregado mais importante para a construção de rodovias e sua utilização se dá nas diversas camadas da pavimentação. Geralmente utilizam-se britas de basalto, pois representam a maior parcela de minerais encontrados nas regiões mais pavimentadas do país (sul e sudeste). Entretanto, observa-se uma grande quantidade de pedreiras de gnaiss e calcário nas regiões sudeste e nordeste, fazendo com que os mesmos também sejam utilizados em pavimentação nas suas respectivas regiões. Já em regiões com carência de minerais, como é o caso do centro-oeste e norte, utiliza-se a argila calcinada. Dessa forma, pode-se verificar que diferentes minerais compõem as estradas brasileiras em cada região do país. Porém, independentemente do tipo de mineral, os mesmos devem estar enquadrados segundo as normas estabelecidas pelo DNIT, em termos de granulometria, forma, densidade, abrasão, entre outros.

## **1.3- Mistura Asfáltica**

Segundo as especificações brasileiras do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) e do DNIT, pode-se definir mistura asfáltica como a mistura entre uma quantidade pré-determinada de agregados minerais e CAP, que após sofrer compactação é aplicada em vias públicas e estradas.

## **1.4- Problemas encontrados no Pavimento Asfáltico**

Apesar das usinas de asfalto seguirem as especificações determinadas pelo DNIT, tanto para agregados quanto para CAPs, observa-se uma grande quantidade de problemas no pavimento, como desprendimentos da camada mais externa, rachaduras, depressões e trincas. Esses problemas podem estar relacionados com a grande variedade de minerais e CAPs encontrados no Brasil e, principalmente, com a falta de estudos mais aprofundados no setor.

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho é verificar o processo de interação química entre diferentes minerais e CAPs e relacionar tais resultados com sua resistência mecânica. Dessa forma, pretende-se contribuir com uma melhoria nas condições dos pavimentos asfálticos produzidos no país.

## **2. Metodologia**

### **2.1- Origem dos Minerais**

Os agregados minerais utilizados neste trabalho foram: um basalto proveniente da região de São Carlos – SP, um calcário da região do Cariri – CE e um gnaiss da região de Stº Antônio de Pádua – RJ.

### **2.2- Origem dos CAPs**

Os CAPs utilizados neste trabalho são oriundos de duas refinarias brasileiras, que serão chamadas de A e B.

## **2.3- Análise dos Agregados Minerais**

Os ensaios dos agregados minerais seguiram as normas preconizadas pelo DNIT que estabelecem os critérios de utilização de agregados minerais em pavimentações.

### **2.3.1- Análise Mineralógica**

Para determinação da composição mineralógica de cada agregado mineral utilizou-se a metodologia descrita em Almeida (2000) e foi realizada pela Coordenação de Análise Minerais (COAM) do CETEM.

### **2.3.2 - Análise Química**

A caracterização química do conjunto de agregados minerais foi realizada em um difratômetro de raios-X, utilizando-se, varreduras de 4 a 70°, com passo de 0,01° e tempo de análise de 5s por passo.

### **2.3.3 - Densidade**

Para o ensaio de densidade cada agregado foi lavado e levemente seco em um pano úmido e a seguir pesado, obtendo-se assim o Peso Úmido ( $P_u$ ). A seguir o material foi colocado em uma cesta acoplada à balança e imerso em água para a obtenção do Peso Imerso ( $P_i$ ). Retirado da cesta, o material foi seco em estufa e pesado novamente para obtenção do Peso Seco ( $P_s$ ). Por meio das equações:  $D_R = P_s / P_s - P_i$  e  $D_A = P_s / P_u - P_i$ , pôde-se obter os valores de densidade real e aparente dos agregados.

### **2.3.4 - Abrasão**

Para o ensaio de abrasão *Los Angeles*, 2.500g de agregado, livre de poeira, foi adicionado ao aparelho, que ficou em operação durante 40 minutos a 500r.p.m.. Após esse período todo o material foi peneirado (4# ou menor 2mm), sendo o retirado da peneira lavado, seco e pesado. O valor da abrasão *Los Angeles* pôde ser obtido por meio da diferença entre a massa total adicionada e quantidade de pó gerada, multiplicada por 100 %.

## **2.4- Avaliação da Interação CAP/ Agregados**

### **2.4.1- Adsorção**

Para realização dos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de mineral e colocou-se em 10 tubos de centrifuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de CAP nas seguintes concentrações: 0,0005; 0,001; 0,0015; 0,0025; 0,005; 0,0075; 0,01; 0,0125; 0,015 e 0,02 mg/L. A seguir os tubos foram agitados por 4 horas, a 200 r.p.m., centrifugados por 30 minutos, a 3000 r.p.m., e cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta visível, em comprimento de onda fixo em 402nm. Uma vez que estudos anteriores de Gonzales e Middea (1988) indicaram este comprimento de onda como o mais adequado. Com isso pôde-se obter os valores de absorvância antes e após adsorção de CAPs com os agregados minerais e verificar o percentual de adsorção.

### **2.4.2- Ângulo de contato**

Para realização das medidas de ângulo de contato utilizou-se um goniômetro Ramé-Hart-Inc e seções polidas de calcita, basalto e gnaisse. As leituras do ângulo de contato foram realizadas na fase líquida, utilizando-se o

método da bolha cativa nos seguintes valores de pH: 3, 5, 7, 9 e 11. Numa etapa seguinte os mesmos ensaios foram realizados, porém as seções polidas foram condicionadas aos diferentes CAPs.

## 2.5 - Avaliação da Resistência Mecânica do Asfalto

Para realização dos ensaios de resistência mecânica, moldou-se três corpos de prova contendo basalto e o CAP A. O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência mecânica por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois corpos foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo, congelamento por 18 h e aquecimento em banho-maria por 24 h, sendo avaliados posteriormente quanto à resistência mecânica por compressão diametral. O resultado do ensaio foi obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e, a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como indicado na equação: Razão de Resistência (%) =  $(RC/RSC) \cdot 100$ . O mesmo procedimento foi repetido utilizando-se o CAP B e também para os outros minerais.

## 3 - Resultados e Discussão

### 3.1- Análise dos Agregados Minerais

#### 3.1.1- Análise Mineralógica

A tabela 3.1 apresenta os resultados da análise mineralógica realizada com os minerais. Pode-se verificar uma semelhança entre as composições mineralógicas do basalto e do gnaiss, observando-se uma alta concentração de feldspatos e baixa concentração de mica, típico desse tipo de minerais (Dana, 1970). Com relação ao mineral calcário, observa-se uma alto percentual da forma calcítica, chegando-se a valores em torno de 97%.

**Tabela 3.1:** Composição Mineralógica dos Minerais.

Minerais	Calcário	Basalto	Gnaiss
Feldspato	--	64%	62%
Quartzo	--	27%	25%
Mica	--	9%	13%
Calcita	97,4 %	--	--
Dolomita	1,88 %	--	--

#### 3.1.2- Análise química

Os resultados obtidos por difração de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na tabela 3.2. Pode-se verificar que os minerais basalto e gnaiss apresentam resultados muito semelhantes, apresentando um alto teor de sílica e alumina, com relações Si/Al em torno de 4, 5, característico de um aluminossilicato (Dana, 1970). Observa-se, no entanto um maior teor de ferro para o gnaiss, devido, possivelmente ao maior teor de mica, como apresentado na tabela 3.1.

Com relação ao minério calcário, observam-se resultados bastante diferenciados, se comparados aos resultados dos demais minerais, podendo-se observar um baixo teor de sílica e alumina. Observa-se, no entanto um alto

teor de cálcio e um baixo teor de magnésio, corroborando os resultados de análise mineralógica que caracterizavam tal minério como calcítico.

**Tabela 3.2:** Análise Química dos Minerais

<b>Composição (%)</b>	<b>Gnaisse</b>	<b>Basalto</b>	<b>Calcário (*)</b>
SiO <sub>2</sub>	67,14	72,40	1,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,92	16,54	0,22
K <sub>2</sub> O	5,18	6,69	0,045
Na <sub>2</sub> O	2,93	3,08	Traços
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,4	2,49	0,61
CaO	1,91	7,51	54
TiO <sub>2</sub>	0,73	3,17	Traços
MgO	0,73	2,91	0,69

(\*) Perda por calcinação de 43%

### 3.1.3- Densidade

Os resultados das densidades real e aparente dos minerais encontram-se ilustrados na tabela 3.3. Pode-se verificar valores de densidade em torno de 2,9 g/mL para os minerais basalto e gnaisse, comprovando novamente a similaridade de ambos. Quanto ao calcário, observa-se um valor de densidade um pouco menor, chegando-se a valores em torno de 2 g/mL.

Segundo LEITE *et al* (2002), geralmente, os agregados minerais utilizados em pavimentação apresentam valores de densidade e em uma faixa entre 2 e 4 g/mL. Dessa forma, observa-se que os minerais, basalto e gnaisse encontram-se dentro desta faixa e que o mineral calcáreo encontram-se no limite dos valores aceitáveis.

**Tabela 3.3:** Resultados das densidades real e aparente

<b>Mineral</b>	<b>Densidade Real (g/mL)</b>	<b>Densidade Aparente (g/mL)</b>
Basalto	2,96	2,68
Gnaisse	2,98	2,83
Calcário	1,98	1,88

### 3.1.4 - Abrasão

Com relação aos resultados de abrasão, pode-se verificar que o basalto é o mineral de maior resistência, apresentando um valor de abrasão em torno de 13%, seguido do gnaisse com um valor em torno de 45 % e por fim o calcário com a menor resistência, apresentando um valor em torno de 58%. Verificou-se que apenas os minerais basalto e gnaisse apresentaram valores aceitáveis pelo DNIT, inferiores a 50%, estando aptos para utilização em pavimentação.

### 3.2- Avaliação da Interação CAP/ Agregados

#### 3.2.1- Adsorção

A figura 3.1 a e b apresenta os resultados da adsorção dos CAPs A e B, respectivamente na superfície dos minerais. Pode-se observar o aumento da adsorção de CAP à superfície mineral à medida que a concentração final de CAP é aumentada em todas as condições de estudo. Observa-se que ambos os CAPs adsorvem preferencialmente à estrutura dos minerais basalto e gnaisse ao invés do calcário. Esses resultados indicam o efeito da estrutura dos minerais no processo de interação com os CAPs. Porém, verifica-se adsorção mais efetiva entre o CAP A e a superfície de todos os minerais, uma vez que se atingiu valores máximos de adsorção, em torno de 5 mg/g, contra valores máximos de 3 mg/g para o CAP B. Dessa forma, verifica-se que além da estrutura do mineral, o CAP afeta também o processo de interação.

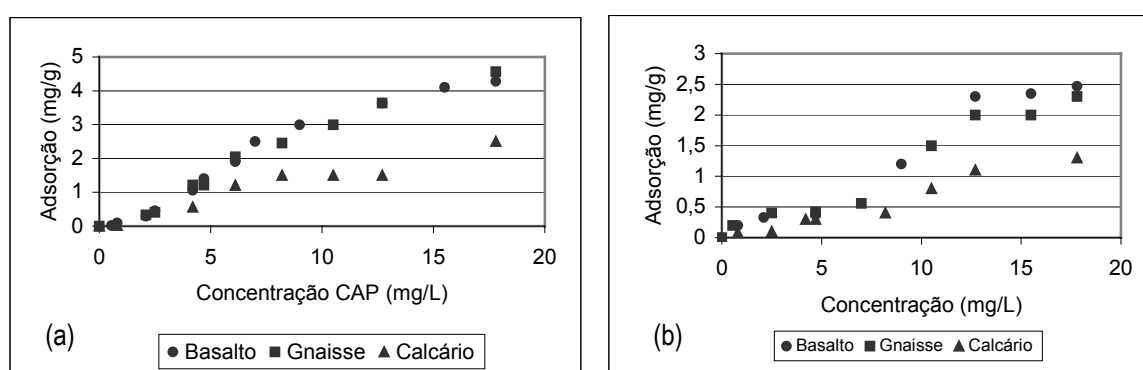


Figura 3.1 a e b: Adsorção dos CAPs A e B, respectivamente, na superfície dos minerais.

#### 3.2.2 - Ângulo de Contato

Por meio da tabela 3.4 pode-se verificar os valores de ângulo de contato da superfície mineral antes e após adsorção com os CAP A. Pode-se verificar que todos os minerais ausentes de CAPs apresentaram valor de ângulo de contato igual a zero e que a adição de CAP fazia com que o ângulo aumentasse proporcionalmente com os valores de pH, indicando a adsorção do CAP à superfície do mineral. Verifica-se maiores ângulos para os minerais basalto e gnaisse, indicando uma maior adsorção de CAP nesses minerais. Esses resultados corroboram os melhores desempenhos de adsorção apresentados por estes minerais.

Tabela 3.4: Valores de Ângulo de Contato dos Minerais antes e após interação com CAP A.

Mineral \ pH	3,0		5,0		7,0		9,0		11,0	
	<b>Gnaisse</b>	0	75,0	0	78,0	0	84,0	0	89,0	0
<b>Basalto</b>	0	80,0	0	85,0	0	83,0	0	85,0	0	92,0
<b>Calcário</b>	0	52,0	0	52,0	0	54,0	0	64,0	0	67,0

### 3.3 - Avaliação da Resistência Mecânica do Asfalto

A tabela 3.5 apresenta os resultados de resistência mecânica dos asfaltos produzidos utilizando-se os minerais e CAPs em estudo. Pode-se verificar que apenas os asfaltos produzidos com o CAP A/gnaiss e CAPA/ basalto apresentam valores superiores a 80%, que são recomendados pelo DNIT. Dessa forma, pode-se verificar que a resistência mecânica dos asfaltos está relacionada com a melhor interação química entre os minerais e CAPs, como já havia sido indicado nos resultados anteriores.

**Tabela 3.5:** Valores de Resistência Mecânica (%) dos Asfaltos.

Minerais	CAP A	CAP B
Basalto	114,46	69,49
Gnaiss	130,0	66,78
Calcário	68,7	58,9

### 4. Conclusão

Pode-se concluir que a resistência mecânica dos asfaltos está relacionada com a interação química existente entre seus constituintes, ou seja, o tipo de agregado mineral e cimento asfáltico de petróleo.

### 5. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, S. L. M., Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Stº de Pádua na Produção de Britas e Areia, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 2000.
- DANA, J. D., Manual de Mineralogia, Volume 2, Rio de Janeiro, RJ, 1970.
- GONZÁLEZ, G. & MIDDEA, A., Asphaltenes Adsorption by Quartz and Feldspar, J. Dispersion Science and Technology, 8 (5 & 6), P: 525-548, 1988.
- JENNINGS, P. W. (1991), Binder Characterization and Evaluation by NMR Spectroscopy, Final Report, Dept. of Chemistry Montana State University.
- JOHN, V. M., VILELA, L. O., WUL. e YUKI, M. A. (2000), “Materiais Betuminosos para Pavimentação”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- LEITE, L. F. M., RIBEIRO, R. C. C., DA SILVA, P. D., A., BORGES, P., e MORÃO, F., Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas, Relatório Técnico, CENPS, Rio de Janeiro, 2002.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte, ME 035/98 Agregados: Determinação da Abrasão *Los Angeles*, Rio de Janeiro, 3p, 1998.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte, ME 084/98 – Agregados: Determinação de densidade real, Rio de Janeiro, 3p, 1998.