

Capítulo II

Revisão Bibliográfica:

Cenário Econômico e a Petrografia de Pedra Britada

2.1. O CENÁRIO ECONÔMICO DO SETOR DE AGREGADOS

O setor de agregados, juntamente com o setor da construção civil é de grande importância como indicador econômico. A partir deles pode se ter uma idéia do que realmente está acontecendo com a economia nacional, ou mesmo internacional. Entretanto, a precariedade de dados econômicos mais recentes fez com que em alguns casos os dados presentes neste capítulo estejam desatualizados, mas que mesmo assim são de importância para ilustrar o panorama nacional e internacional do setor de agregados, em especial o setor de brita.

2.1.1. Panorama Nacional e Internacional

O Brasil está no sétimo lugar na produção de agregados, mas sobe para sexto lugar na produção de pedra britada, em comparação com os demais países na **TABELA 2.1**. Sendo que, em primeiro lugar está os Estados Unidos com uma produção de 2,85 bilhões de toneladas de agregados e 1,65 bilhões de toneladas de pedra britada; seguido pela Alemanha em segundo lugar com 0,5 bilhões de toneladas de agregados, e Espanha com 0,3 bilhões de toneladas de pedra britada.

Na União Européia, que é composta por 21 países, a produção em 2005 ultrapassou os 3 bilhões de toneladas de agregados, com um consumo médio de 7 t/hab/ano de agregados; apenas nos Estados Unidos essa produção chegou perto da européia, com um consumo médio de 8 e máximo de 18 t/hab/ano; no Canadá houve uma produção de 250 milhões de toneladas e um consumo de até 14 t/hab/ano. Enquanto que no Brasil com uma produção de 315 milhões de toneladas ocorreu um consumo médio em torno de 2 t/hab/ano, não ultrapassando a casa dos 4 t/hab/ano, menos de 1/3 da média européia e em torno de 1/4 da média norte-americana.

No Brasil, a indústria de agregados é uma das que representa maior produção em volume, cerca de 315,7 milhões de toneladas em 2004, sendo a pedra britada representada

por 40,8 % desse valor, ou seja, 128,7 milhões de toneladas ocupando o terceiro lugar no ranking nacional, conforme **TABELA 2.2**. Em 2005 este valor aumentou um pouco atingindo um total de 331 milhões de toneladas de agregados representando um aumento de 4,8% em relação a 2004, sendo a pedra britada representada por 135 milhões de toneladas.

TABELA 2.1: Posição do Brasil em relação a produção de agregados e pedra britada entre os principais países.

País	Produção de Agregados (10 ⁶ t)	País	Produção de Pedra Britada (10 ⁶ t)
1º) EUA	2850	1º) EUA	1650
2º) Alemanha	513	2º) Espanha	300
3º) Espanha	460,3	3º) França	223
4º) Canadá ⁽¹⁾	250,1	4º) Alemanha	174
5º) França	410	5º) Itália	145
6º) Itália	377,5	6º) Brasil	135
7º) Brasil	315,7	7º) Canadá ⁽¹⁾	124,7
8º) Reino Unido	277	8º) Reino Unido	85
9º) Polônia	150,8	9º) Portugal ⁽²⁾	82
10º) Irlanda	134	10º) Irlanda	79
11º) Finlândia	107,5	11º) Suécia	49
12º) Áustria	104,5	12º) Finlândia	44
13º) Portugal ⁽²⁾	88,3	13º) República Tcheca	38
14º) Suécia	80,1	14º) Bélgica	38
15º) República Tcheca	67,2	15º) Noruega	38
16º) Bélgica	65,1	16º) Polônia	37,7
17º) Dinamarca	58,3	17º) Áustria	32
18º) Suíça	57,1	18º) Eslováquia	16,9
19º) Noruega	53,2	19º) Suíça	5,3
20º) Países Baixos	48,2	20º) Países Baixos	4
21º) Eslováquia	26,3	21º) Dinamarca	0,3

Fonte: (DNPM, 2006); (UEPG, 2006); (TEPORDEI, 2006); (PANGAPKO, 2005).

(1) Números de 2004;

(2) Números de 2003.

TABELA 2.2: Posição dos agregados para construção civil em relação a produção mineral nacional em 2004

Substância Mineral	Produção em 10 ⁶ t
1º) Ferro	346,7
2º) Areia	187
3º) Pedra Britada e Cascalho	128,7
4º) Calcário	83,1
5º) Titânio	38,3
6º) Fosfato	30,7
7º) Alumínio	30,7
8º) Ouro	24,7
9º) Estanho	21,3
10º) Argilas	16,5
11º) Zircônio	12,9
12º) Carvão Mineral	11,7
13º) Cobre	11,2

Fonte: (DNPM, 2005a); (DNPM, 2005b)

Os cinco estados com maior produção de pedra britada do Brasil, conforme já dito no *Capítulo I, Item 1.3*, são: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná. Outros Estados com uma produção de destaque são: Bahia, Santa Catarina e Goiás, conforme ilustrado na **FIGURA 2.1**.

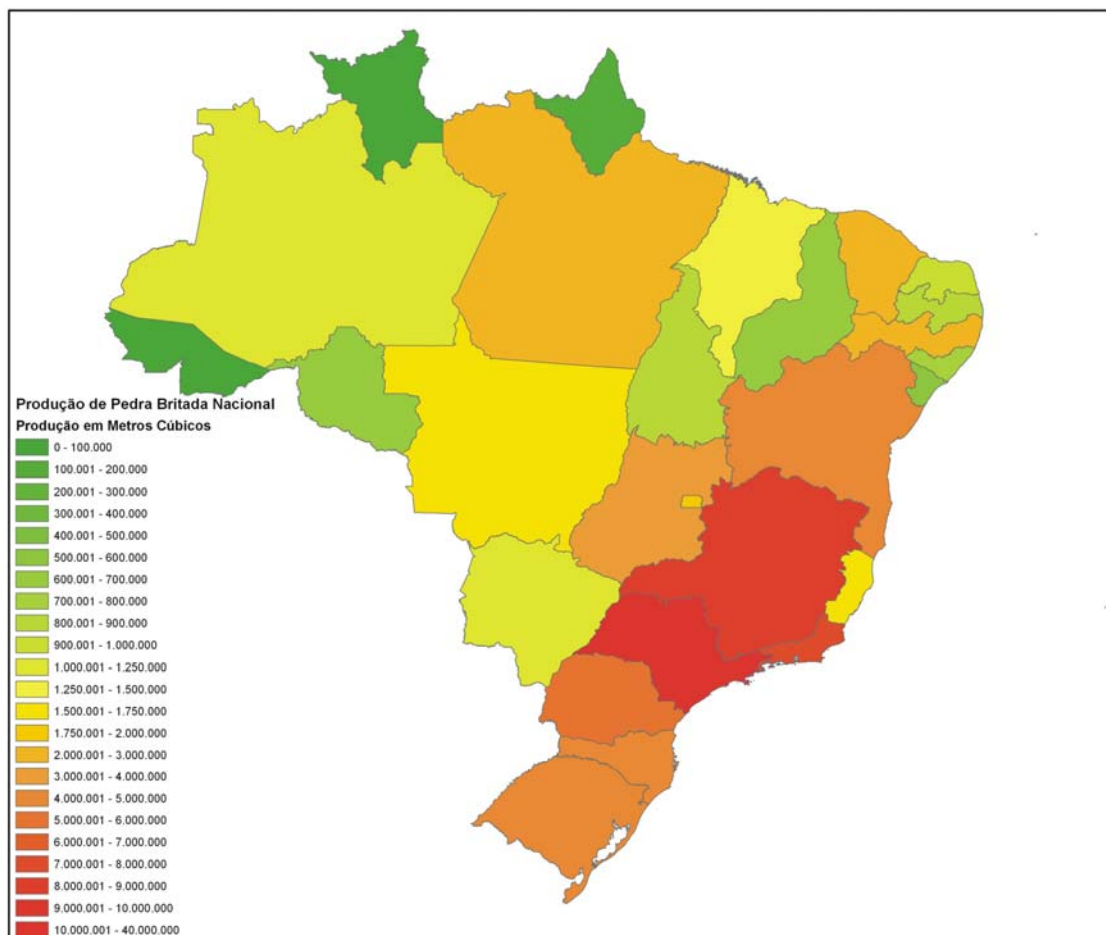


FIGURA 2.1: Produção de pedra britada nos estados brasileiros.

Fonte: (DNPM, 2005a).

Dentre os principais estados produtores de pedra britada, conforme ilustrado na **FIGURA 2.2**, apenas o Estado de São Paulo, com uma área de 248.808 km² e uma população de quase 37 milhões de habitantes, possui uma produção em toneladas superior à produção da Suécia (49 milhões de toneladas, ou aproximadamente 18,85 milhões de metros cúbicos, conforme **TABELA 2.1**) com uma população de 9 milhões de habitantes (1/4 da população do Estado de São Paulo) e uma área de 449.964 Km² (quase o dobro da área do Estado de São Paulo).

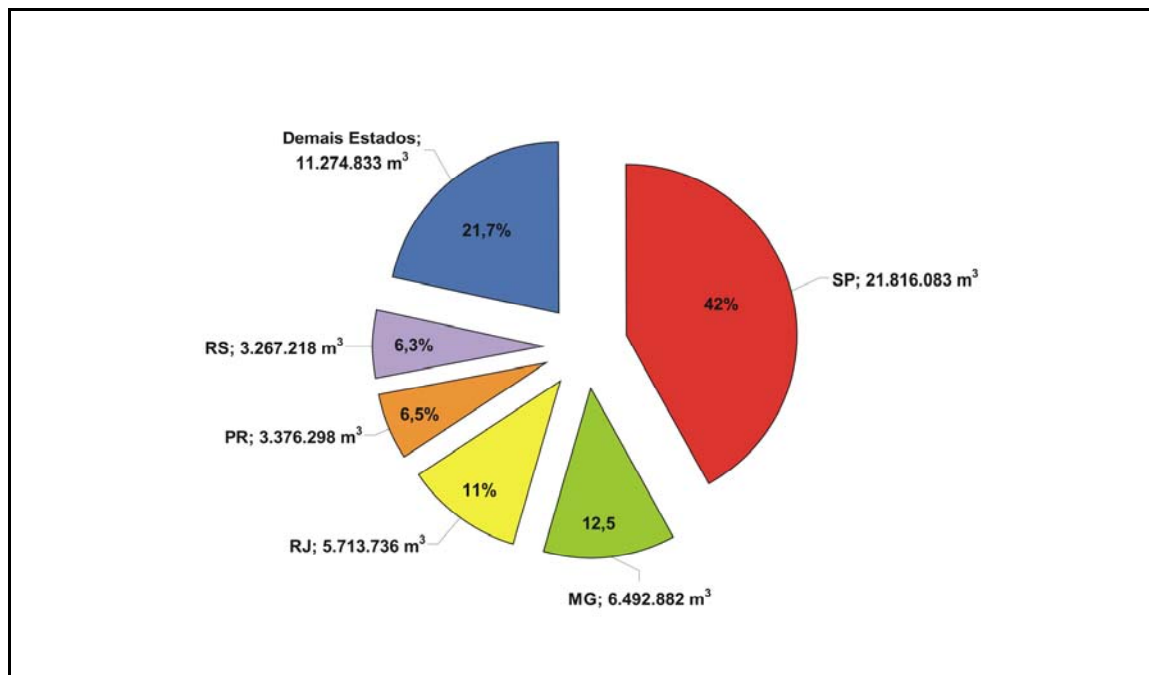


FIGURA 2.2: Representatividade estadual na produção de pedra britada em 2005.

Fonte: (DNPM, 2006).

A evolução da produção de pedra britada no país foi cheia de altos e baixos, conforme ilustrado na **FIGURA 2.3**, mas com uma tendência geral de aumento até o ano de 2000, quando então o mercado sofreu uma queda brusca na produtividade. Isso ocorreu devido a um processo de recessão econômica que começou no final do ano de 2000, devido à desvalorização da moeda brasileira em relação ao dólar americano, sendo agravado no segundo semestre de 2001, sob a onda de ataques terroristas que provocaram uma instabilidade econômica mundial. Essa queda além de diminuir o consumo de pedra britada no país pode ter sido responsável pela paralização das atividades de algumas pedreiras ao longo de todo o território brasileiro.

Em relação à produção estadual, São Paulo sempre se manteve na liderança, mas Minas Gerais e Rio de Janeiro, como também Paraná e Rio Grande do Sul, sempre disputaram colocação no *ranking* da produção nacional. Ressalta-se apenas o período entre 1997 a 2000, quando houve a maior produtividade de pedra britada no país, após houve queda e previsões apontam para uma retomada no crescimento.

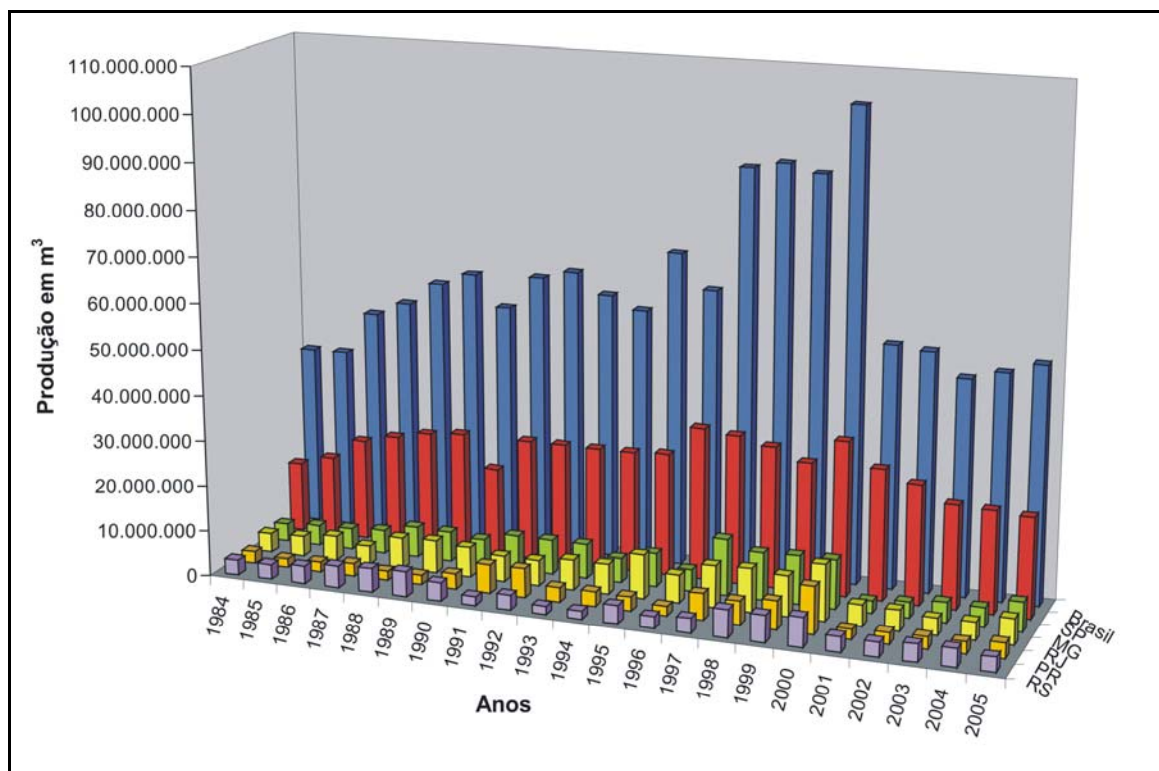


FIGURA 2.3: Evolução da produção pedra britada entre 1984 e 2005.
Fonte: (DNPM, 1985 a 2005a) e (DNPM, 2005b).

No geral, quase 78 % da produção de pedra britada nacional provêm apenas desses cinco Estados produtores, sendo que dentro de cada Estado, nas regiões metropolitanas relativas à Capital Estadual encontram-se quase 50 a 60% da produção de brita. Neste contexto a produção de pedra britada nacional é essencialmente representada pelas regiões metropolitanas das capitais, acrescentando-se outros mercados regionais de destaque, que segundo (DNPM, 2006) são: Baixada Santista (SP), Campos de Goytacazes (RJ), Blumenau (SC), Maringá - Londrina (PR), Foz do Iguaçu (PR), Ribeirão Preto - Franca (SP), Campinas (SP), Sorocaba (SP) e o Triângulo Mineiro (MG).

O Brasil utiliza principalmente rochas graníticas ou gnáissicas como pedra britada, quase a mesma porcentagem que os EUA utilizam de calcário e dolomito, conforme ilustrado na **FIGURA 2.4**, refletindo as diferenças geológicas e as diferentes disponibilidades de rochas para serem usadas. De acordo com DNPM (2006), o Brasil utilizou 30% da pedra britada em asfalto betuminoso; 35% em concreto; 15% em pré-fabricados; 10% em revendas; e 10% em lastro para ferrovias, cascalhamento, enrocamento, entre outros. Observando a **FIGURA 2.5** que compara o Canadá e Brasil em termos de usos para pedra

britada, o Canadá utiliza muito menos pedra britada para asfalto betuminoso, e muito mais para concreto e demais usos, principalmente lastro para ferrovias, do que o Brasil. Isso ocorre, primeiro porque o Canadá por ser um país desenvolvido utiliza muito mais concreto que o Brasil, principalmente em pré-fabricados e pavimentos de concreto, além do que possui uma malha ferroviária mais densa que a brasileira e segundo porque o Brasil possui e utiliza uma malha rodoviária como principal meio de transporte.

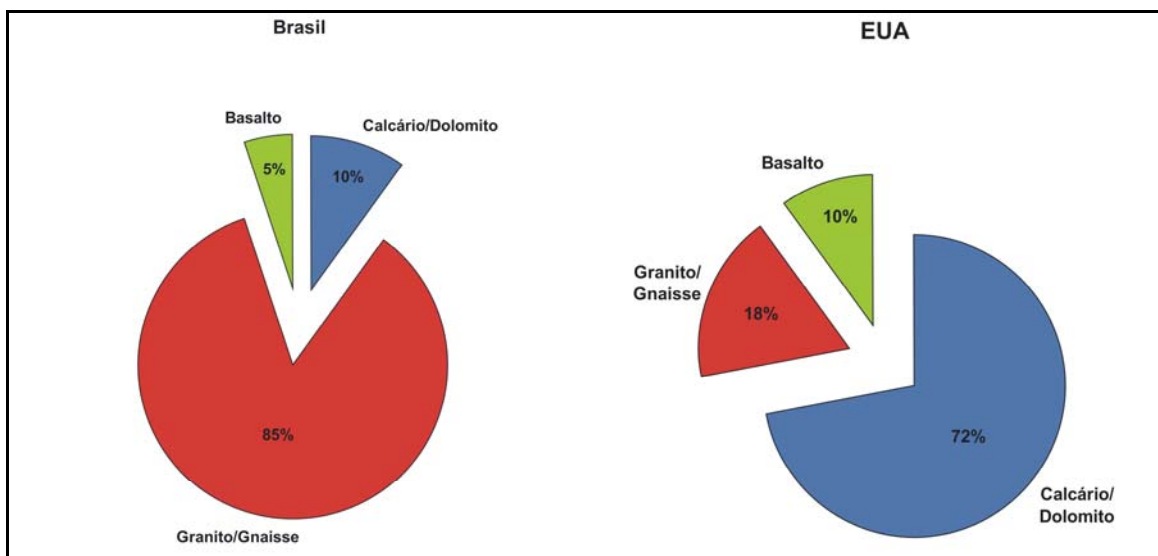
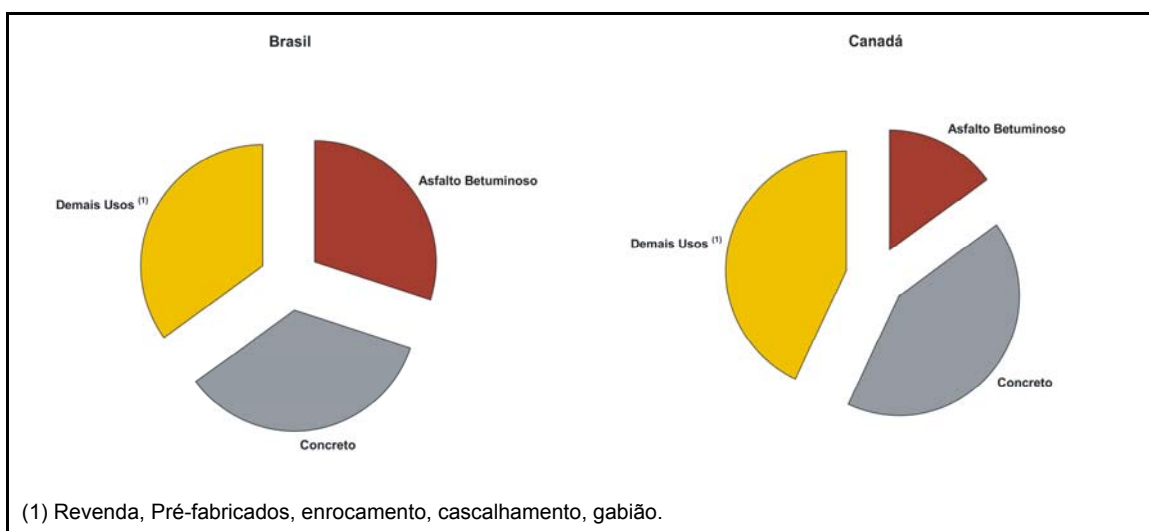


FIGURA 2.4: Comparação entre os tipos de rochas usadas como pedra britada no Brasil e nos EUA.

Fonte: (DNPM, 2006); (TEPORDEI, 2006).



(1) Revenda, Pré-fabricados, enrocamento, cascalhamento, gabião.

FIGURA 2.5: Comparação entre os usos de pedra britada no Brasil e no Canadá.

Fonte: (DNPM, 2006) e (PANGAPKO, 2005).

Segundo DNPM (2005a), as reservas nacionais medidas em 2004 de pedra britada estão em torno de 8,15 milhões de metros cúbicos, e lavráveis em torno de 7,8 milhões de metros cúbicos, sendo que o Estado de São Paulo detém 29% da reserva medida nacional, Minas Gerais 23%, Rio de Janeiro 6%, Paraná 6%, e Rio Grande do Sul apenas 1% (FIGURA 2.6).

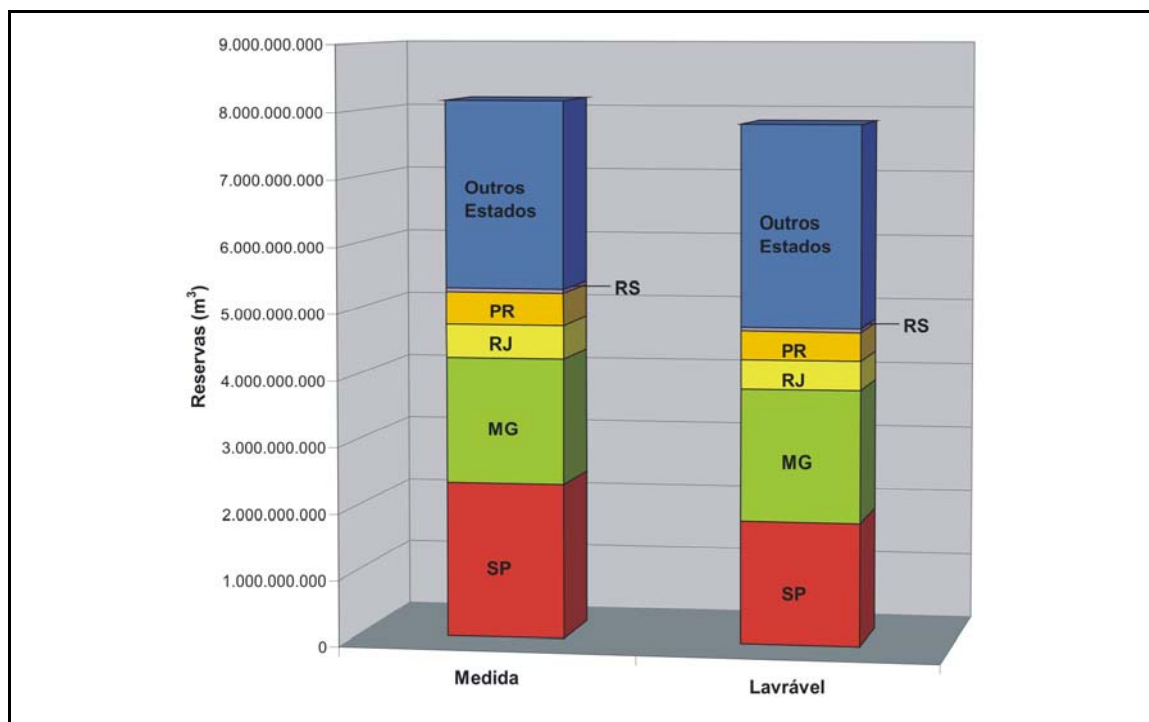


FIGURA 2.6: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada no Brasil, discriminado os cinco principais estados produtores, em 2004.
Fonte: DNPM (2005a).

2.1.2. Panorama das Regiões Metropolitanas

As regiões metropolitanas abordadas neste trabalho foram estipuladas a respeito dos municípios que as compõem, de acordo com Leis Complementares federais e estaduais. Em alguns casos, foram adicionados neste trabalho municípios adjacentes, de acordo com a representatividade no contexto de produção e consumo de pedra britada, e a essas regiões em particular chamou-se Regiões Metropolitanas Expandidas (RME).

2.1.2.1. REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP)

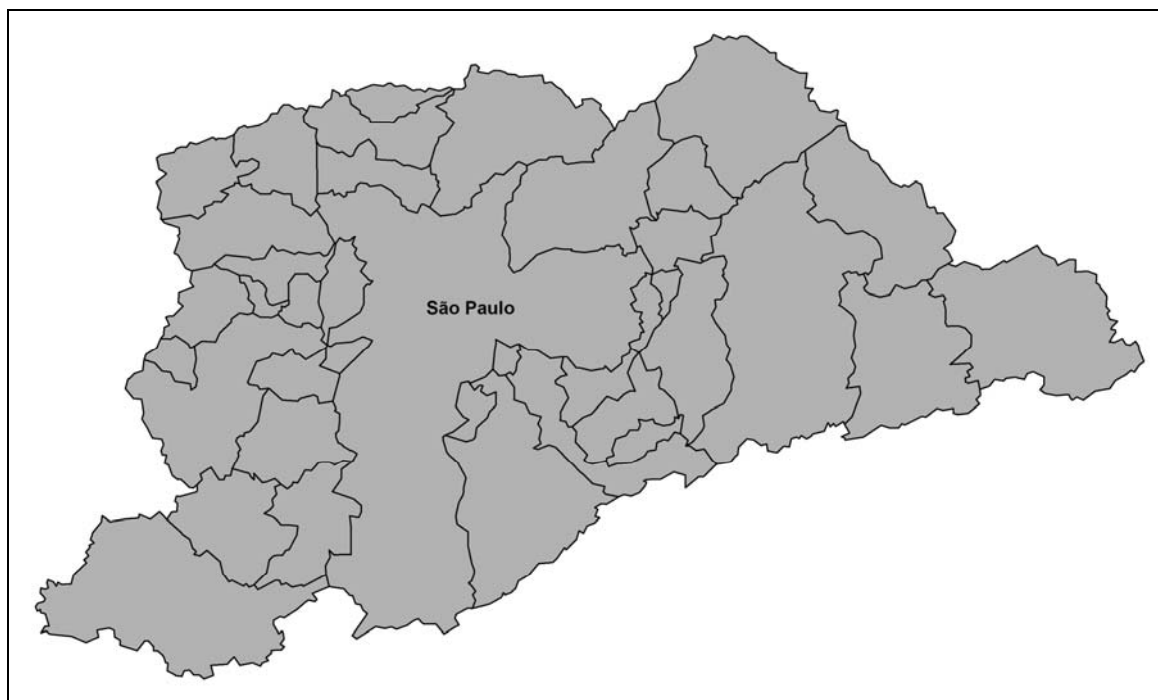


FIGURA 2.7: A forma da RMSP de acordo com os municípios que a compõem.

A RMSP (**FIGURA 2.7**), estipulada pela Lei Complementar Federal 14 de 8 de junho de 1973 e pela Lei Complementar Estadual 24 de 29 de maio de 1974, é composta por 39 municípios, com uma área de 8.051 km² possui uma população em 2005 de 20,5 milhões de habitantes, tornando-se a primeira aglomeração urbana do país (WIKIPEDIA, 2007). Possui 39 pedreiras localizadas em torno da cidade de São Paulo, que de acordo com ANEPAC (2000), teve uma produção de pedra britada em 1999 de 18 milhões de metros cúbicos (20% do total nacional), perfazendo uma média de 1,4 a 1,6 milhões de m³/mês, e um consumo de 1,1 m³/hab/ano; estima-se que em 2006 a produção foi de 12 milhões de metros cúbicos.

A venda de pedra britada sofreu grandes oscilações no decorrer dos últimos dez anos, primeiramente cresceu, até atingir um patamar em torno de 27 milhões de toneladas em 1998, mas depois oscilou e está em queda com uma estimativa de 2006 em torno de 27 milhões e meio de toneladas (**FIGURA 2.8**).

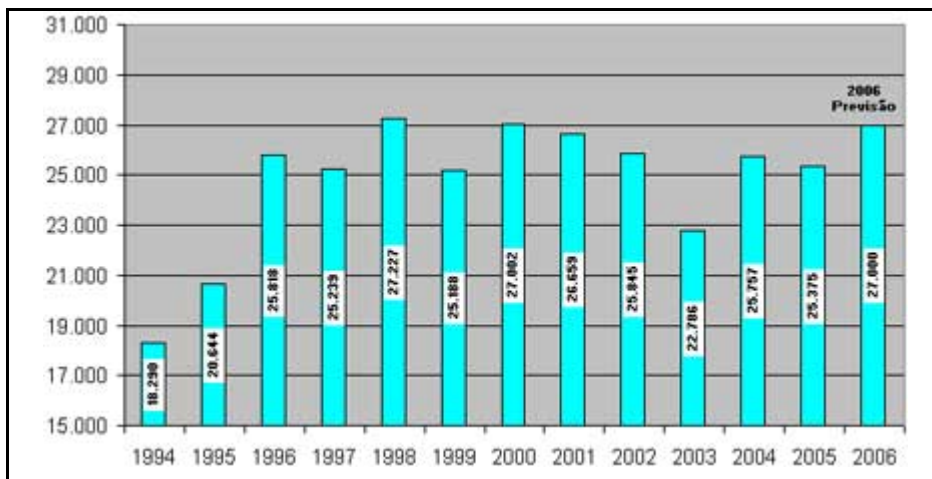


FIGURA 2.8: Vendas anuais de pedra britada na RMSP, entre 1994 e 2006; valores expressos em 1.000 toneladas.
 Fonte: (SINDIPEDRAS, 2007).

A reserva medida de pedra britada da RMSP é de 1,2 bilhões de metros cúbicos, representa quase 50% da reserva estadual (**FIGURA 2.9**), chega até a 14% de toda a reserva nacional, (DNPM, 2005a).

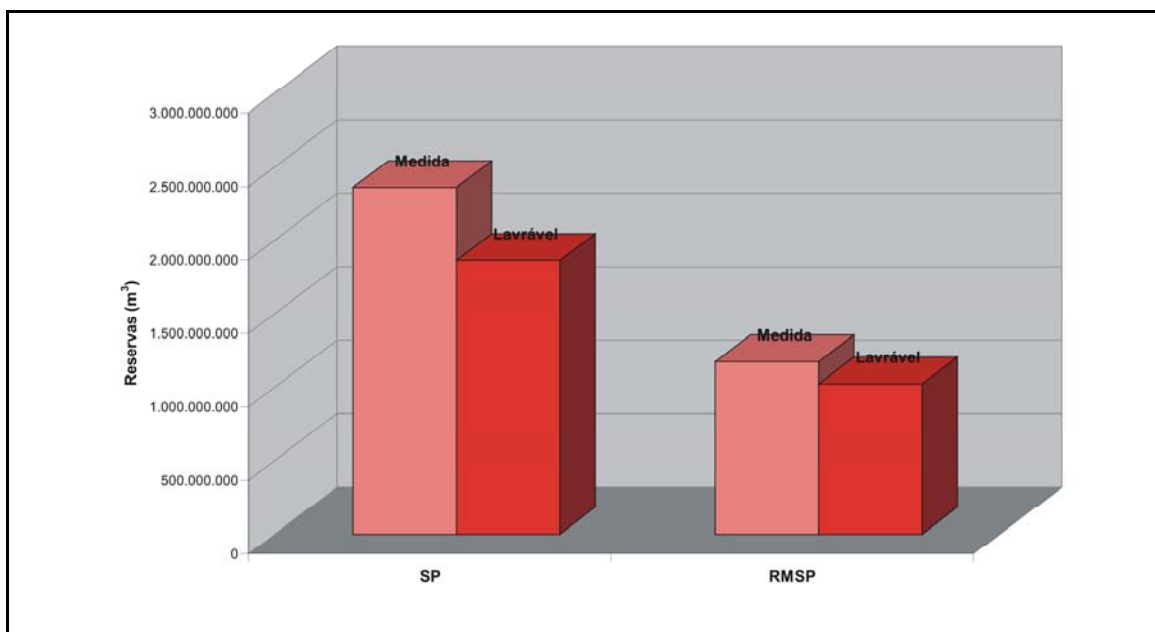


FIGURA 2.9: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada do Estado de São Paulo e da RMSP.
 Fonte: (DNPM, 2005a)

2.1.2.2. REGIÃO METROPOLITANA EXPANDIDA DE BELO HORIZONTE (RMEBH)

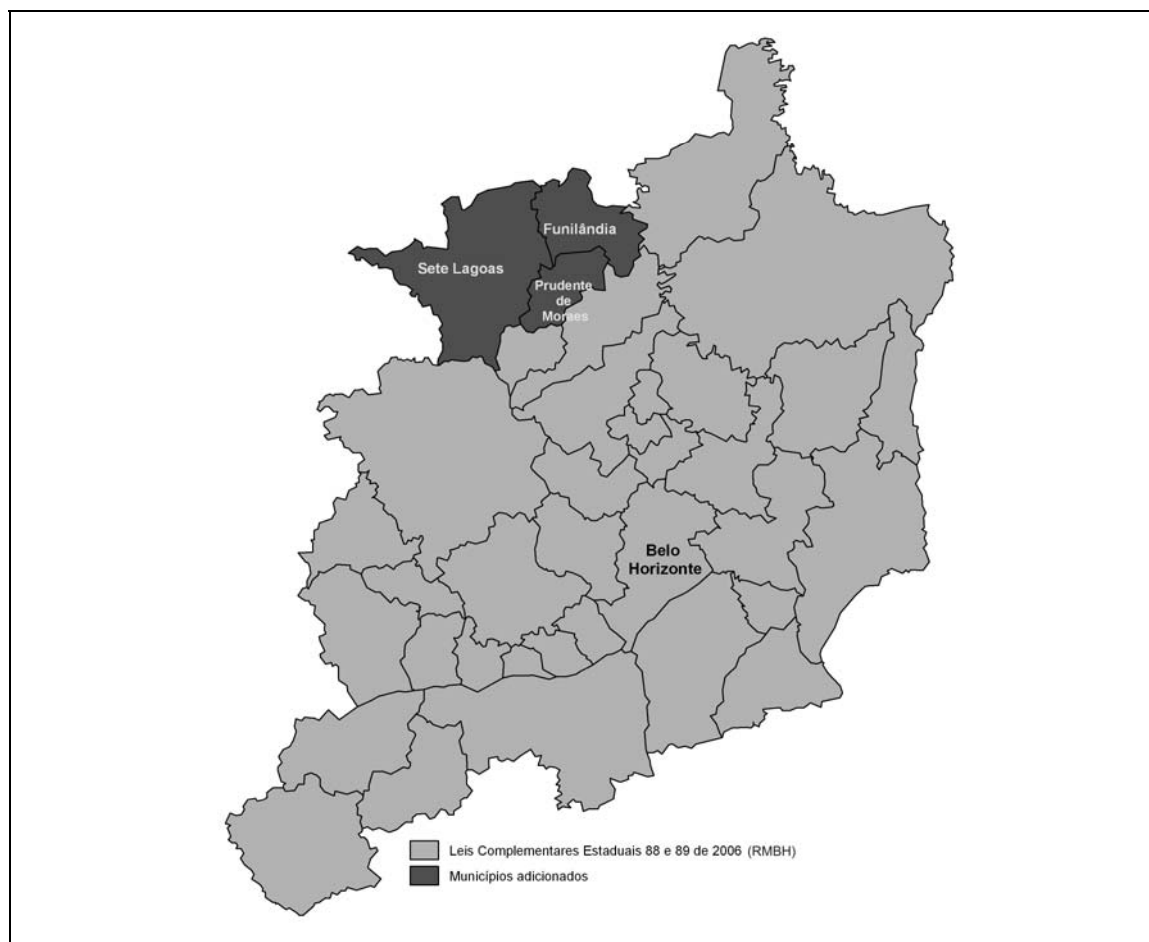


FIGURA 2.10: A forma da RMEBH de acordo com os municípios que compõem a RMBH, e os municípios adicionados.

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), estipulada pela Lei Complementar Federal 14 de 8 de junho de 1973 e pelas Leis Complementares Estaduais 88 e 89 de 2006, é composta por 34 municípios, com uma área de 9.459,10 km² e uma população de quase 5 milhões de habitantes (WIKIPÉDIA, 2007). Mas, para efeito deste trabalho foram adicionados à RMBH mais três municípios adjacentes de grande importância na produção e consumo de pedra britada (somando um total de 37), constituindo a RMEBH (**FIGURA 2.10**). Assim, a RMEBH possui um total de 26 pedreiras, produzindo em torno de 3,2 milhões de toneladas, e perfazendo uma média de 75.000 t/mês por pedreira, gera um

consumo mensal entre 400 a 500 mil toneladas e anual por volta de 4,8 milhões de toneladas, (ANEPAC, 1998).

Outra situação que ocorre na RMEBH é a disponibilidade de rocha do tipo calcário, na região de Sete Lagoas, que no caso representa 70% das rochas utilizadas como pedra britada, sendo os outros 30% representado por gnaisse/granito. Com a exploração do calcário, a brita torna-se de baixo custo (devido sua baixa dureza e consequentemente maior durabilidade dos equipamentos), não só abastecendo toda a RMBH, e competindo com as rochas gnáissicas, como avança num raio de até 100 km.

Em termos de reserva, a RMEBH possui 374 milhões de metros cúbicos, representa quase 20% da reserva estadual e 4,5% de toda a reserva nacional (**FIGURA 2.11**).

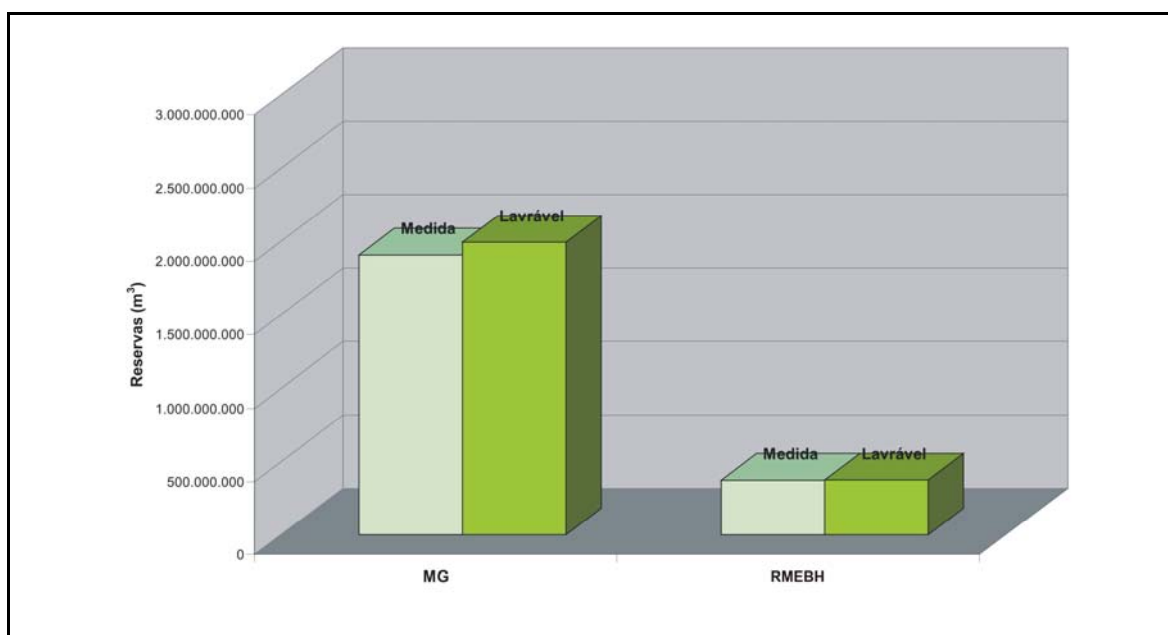


FIGURA 2.12: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada de Minas Gerais e da RMEBH.

Fonte: (DNPM, 2005a).

2.1.2.3. REGIÃO METROPOLITANA EXPANDIDA DO RIO DE JANEIRO (RMERJ)

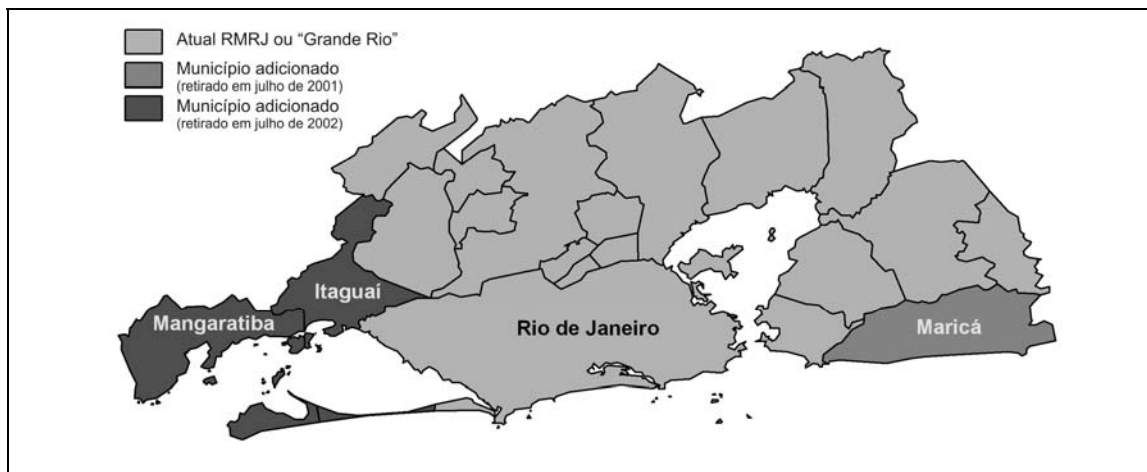


FIGURA 2.13: A forma da RMERJ de acordo com os municípios que compõem a RMRJ, e os municípios adicionados.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) ou “Grande Rio” foi estipulada pela Lei Complementar Federal 20, de 1 de julho de 1974, após a fusão dos antigos Estados da Guanabara e Rio de Janeiro; sofreu alterações com a retirada dos municípios de Petrópolis em 1993, Maricá em outubro de 2001, e Itaguaí e Mangaratiba em outubro de 2001, perfazendo a atual RMRJ com 19 municípios, com uma área de 4.659 km² e uma população de 11.351.937 habitantes, (WIKIPEDIA, 2007). Entretanto, para efeito deste trabalho foram adicionados à RMRJ três municípios adjacentes, anteriormente excluídos, somando um total de 22 municípios (**FIGURA 2.13**). Com isso, a RMERJ possui um total de 19 pedreiras, produzindo 400 mil t/mês (39% da produção estadual), perfazendo 150 mil metros cúbicos por empresa em 2000 (ANEPAC, 2003). Segundo mesmo autor, o consumo na RMRJ de pedra britada chegou a um patamar de 0,67 m³/hab/ano, ou seja, 39% inferior ao da RMSP.

A reserva medida da RMERJ é de quase 460 milhões de toneladas, e representa 91,5% da reserva estadual, e 5,6% da reserva nacional (**FIGURA 2.14**).

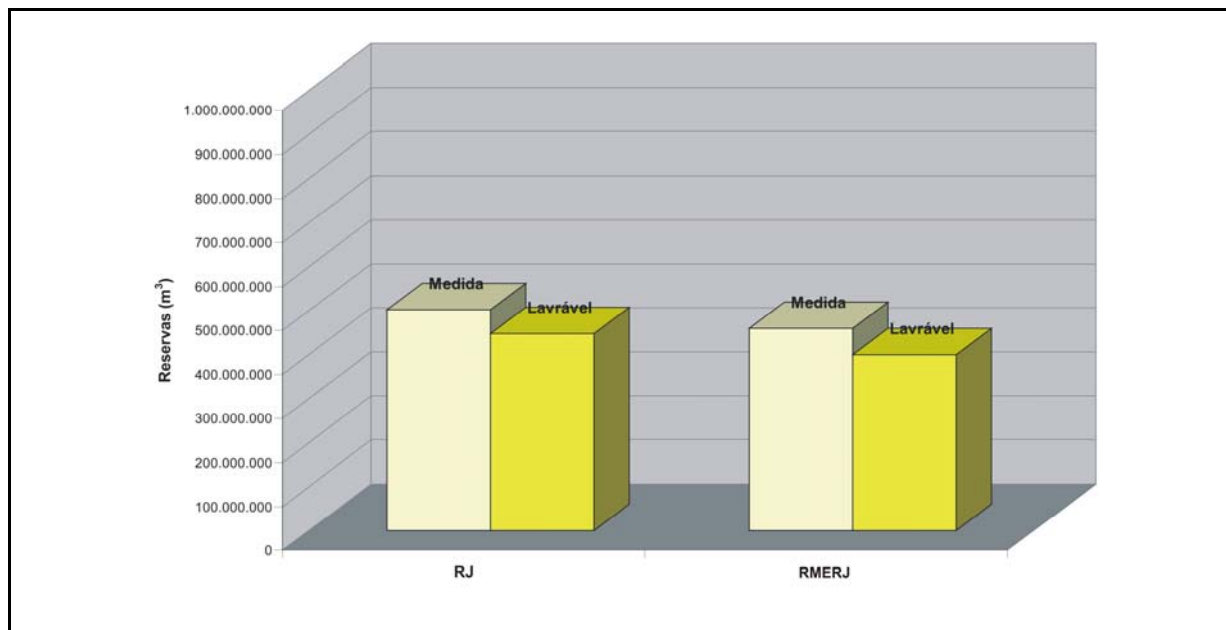


FIGURA 2.14: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada do Estado do Rio de Janeiro e da RMERJ.
Fonte: (DNPM, 2005a).

2.1.2.4. REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (RMC)

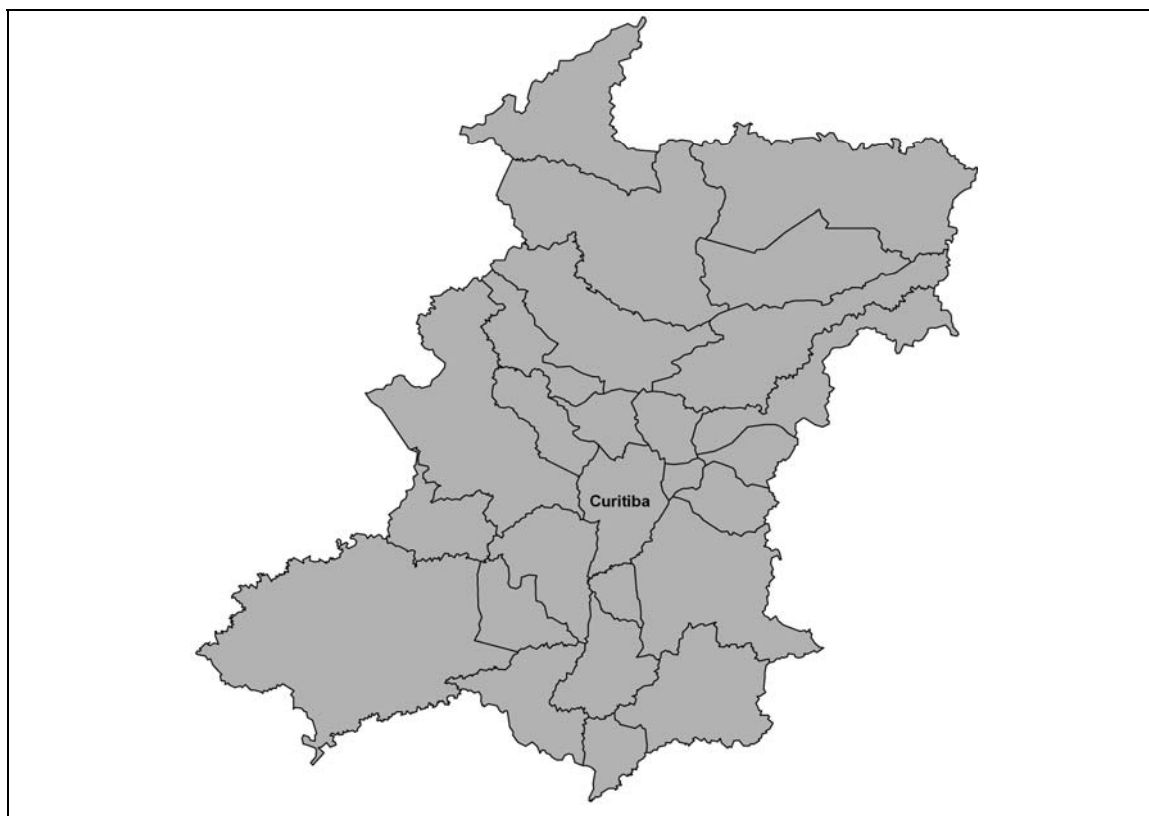


FIGURA 2.15: A forma da RMC de acordo com os municípios que a compõem.

A RMC (**FIGURA 2.15**), estipulada pela Lei Complementar Federal 14 de 8 de junho de 1973, é composta por 26 municípios, com uma área de 15.416,9 km², e uma população de 3,3 milhões de habitantes (WIKIPÉDIA, 2007). Possui 21 pedreiras, produzindo 350.000 t/mês e representando 35% da produção estadual (PEDRAPAR, informação verbal).

Na RMC também há uma grande disponibilidade de rocha do tipo calcário, que compete muito com as rochas do tipo gnaiss/granito, devido ao seu custo baixo.

A reserva medida da RMC é na ordem de 209,5 milhões de metros cúbicos, representando 42,4% da reserva estadual e 2,6% da reserva nacional (**FIGURA 2.16**).

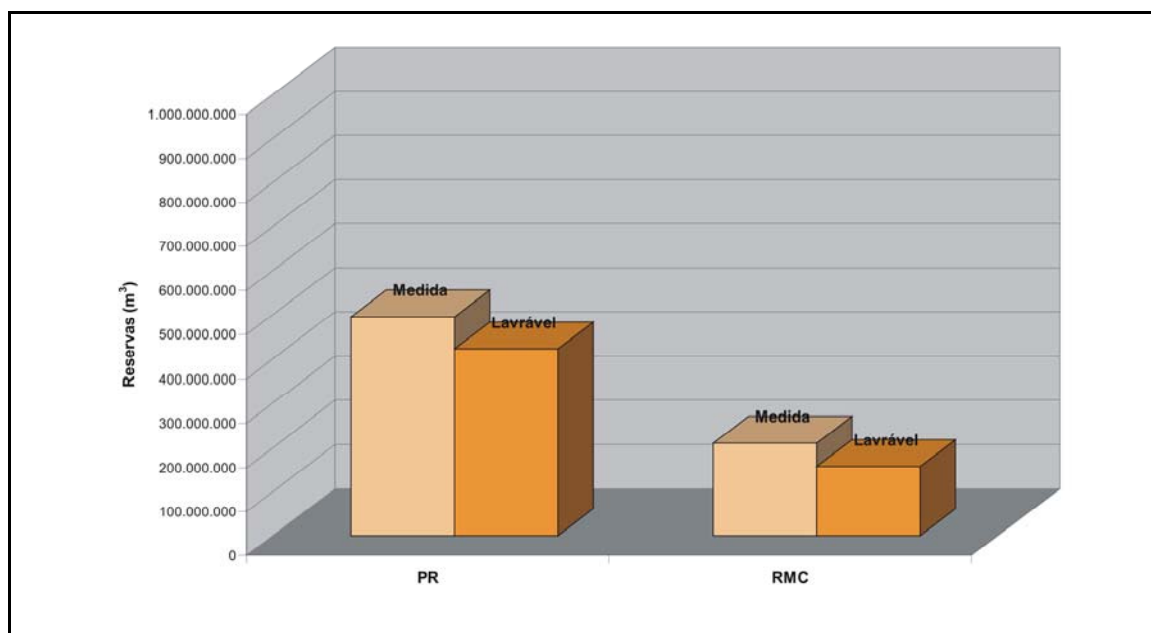


FIGURA 2.16: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada do Paraná e da RMC.
Fonte: (DNPM, 2005a).

2.1.2.5. REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE (RMPA)

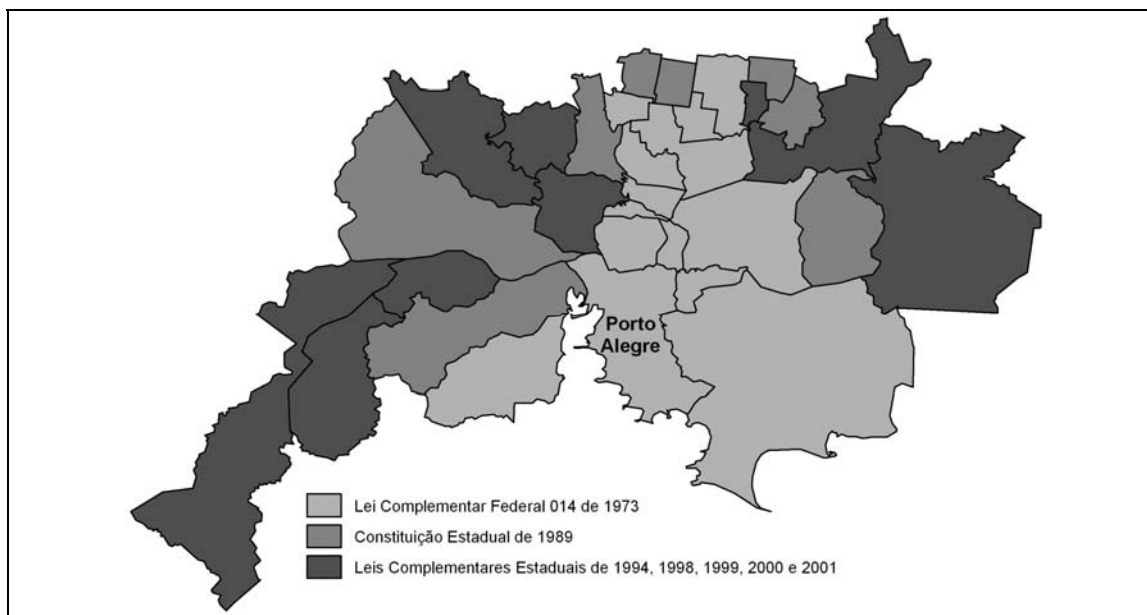


FIGURA 2.17: A atual RMPA de acordo com os municípios que a compõem, com destaque para os municípios que foram incorporados, desde sua criação.

A RMPA (**FIGURA 2.17**), estipulada pela Lei Complementar Federal 14 de 8 de junho de 1973, era menor do que a RMPA atual (14 municípios) que ao longo dos anos teve mais 17 municípios incorporados, e atualmente é composta por 31 municípios, com uma área de 9.889,6 km² e uma população de 4,1 milhões de habitantes (WIKIPÉDIA, 2007). A RMPA possui em torno de 18 pedreiras, produzindo um total de 3,9 milhões de metros cúbicos de pedra britada, com uma produção mensal na ordem de 350 a 400 mil metros cúbicos (ANEPAC, 1998).

A reserva medida da RMPA é da ordem de 38 milhões de metros cúbicos, representando 65,5% da reserva estadual e 0,5% da reserva nacional (**FIGURA 2.18**).

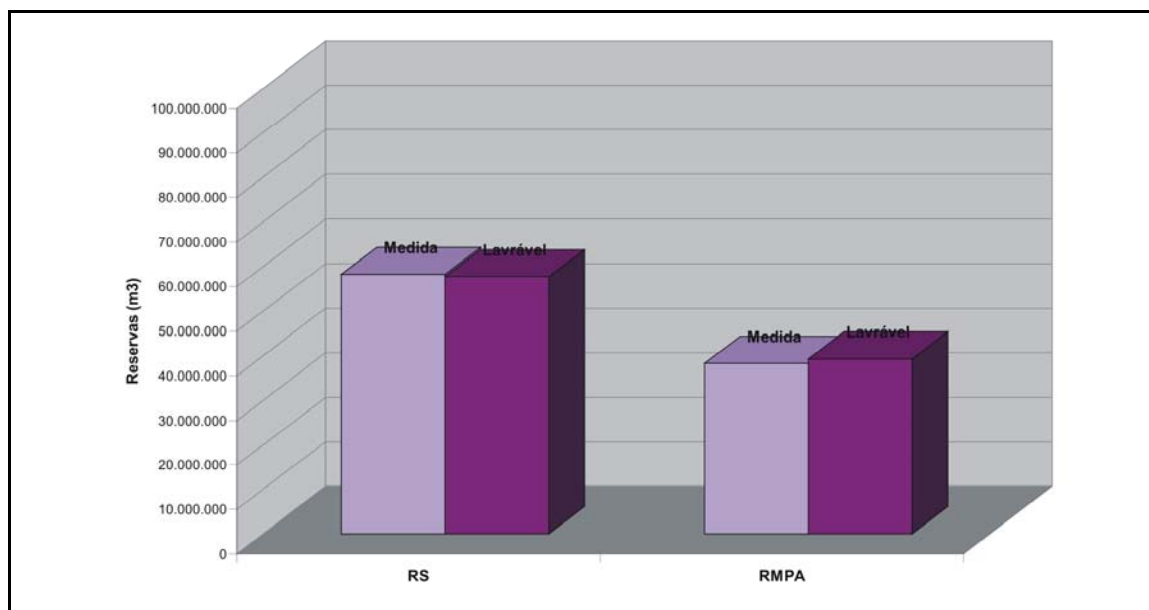


FIGURA 2.18: Reservas medidas e lavráveis de pedra britada do Rio Grande do Sul e RMPA.

Fonte: (DNPM, 2005a).

2.2. A PETROGRAFIA DE PEDRA BRITADA

As análises petrográficas voltada para pedra britada visam conhecer, como qualquer outro estudo petrográfico, as diversas propriedades mineralógicas, texturais, estruturais das rochas, com o acréscimo de descobrir qual seria a influência dessas propriedades intrínsecas da rocha nos produtos que dela se originam. Dentre essas características, merecem destaque a forma e arranjo dos minerais, o estado de alteração da rocha e a possível presença de minerais deletérios, que segundo Frazão (2002) essas principais características são:

- ☞ O estado de alteração: influencia na durabilidade e propriedades físicas e mecânicas;
- ☞ A presença de minerais deletérios - provocam reações com substâncias presentes no cimento portland (quando a rocha é usada como agregado para concreto); ou podem apresentar reações com substâncias presentes na atmosfera de uso doméstico (quando a rocha é usada para revestimento);

- ☞ As propriedades físico-mecânicas dependentes da composição mineralógica: interagem com as propriedades de ligantes betuminosos (quando a rocha é usada como agregado para pavimentação).

A correta utilização das rochas pelas indústrias da construção civil depende intrinsecamente do conhecimento prévio das suas propriedades. A adequação de um material rochoso para uma aplicação em particular não pode ser alcançada de maneira correta sem o conhecimento das suas características tecnológicas e das características do ambiente em que o material será empregado. Com isso a petrografia de pedra britada entra como uma ferramenta eficaz na viabilização do uso dos agregados, dentre eles os finos de pedreira.

2.2.1. Os Minerais Deletérios e suas implicações

Os minerais deletérios são aqueles que quando presentes no agregado não ficam inertes no ambiente em que foi empregado, seja no concreto, na argamassa, nos pavimentos betuminosos, etc., mas reagem com determinadas substâncias presentes no material ao seu derredor produzindo outras fases minerais que podem causar fissuras, expandir, enfim alterar as propriedades físicas e mecânicas do material como um todo. Dentre os minerais deletérios merecem destaque os *sulfetos*, como *pirita* ou *marcassita* que quando presentes no concreto podem reagir e gerar expansões e manchas por oxidação, ou mesmo atacar as armaduras do concreto pela produção de ácido sulfídrico e provocar fissuras; *zeólitas* que podem gerar fenômenos hidrolíticos acelerando a alteração do agregado; *substâncias vítreas* que são muito sensíveis às variações térmicas e têm baixa resistência à sua dissolução, quando baixo o teor em sílica; *argilo-minerais expansíveis*, como os do grupo das *esmectitas*, ou mesmo serpentinas magnesianas como a *antigorita* que também possui propriedade expansível.

As reações deletérias resultantes do uso de agregados no concreto com determinados minerais nocivos já são consagradas no meio da engenharia e estão sempre

em constante estudo, são denominadas genericamente como Reações Álcali-Agregados (RAA) sendo os tipos mais freqüentes descritos na literatura:

- 1) *Reação Álcali-Sílica* - Ocorre quando o agregado possui sílica mal cristalizada (opala, calcedônia, cristobalita) e está em contato com cimento com teor de álcalis maior que 0,6% de Na₂O (ASTM, 1990). Atualmente tem se atribuído a existência dessa reação também a quartzo com extinção ondulante (mudança na sua cristalinidade devido a processos metamórficos);
- 2) *Reação Álcali-Silicato* - Ocorre quando os álcalis disponíveis no cimento e alguns tipos de silicatos presentes nas diversas rochas empregadas como agregados;
- 3) *Reação Álcali-Carbonato* - Ocorre quando cimento com alto teor de álcalis entra em contato com uma rocha carbonática contendo dolomita;
- 4) *Reação de Sulfatos com Alumínio*: Ocorre quando um agregado com alto grau de alteração, constituídos de feldspatos já caulinizados, reage com o sulfato presente no cimento ou meio externo.

Como já dito a petrografia voltada para os agregados pode ser uma ferramenta determinante na viabilidade do agregado, como exemplo, Fernandes (1998) recomenda determinados critérios de viabilidade dos agregados em pavimento betuminoso:

- ☞ Menos que 5% de minerais deletérios o agregado pode ser aceito dispensando outros ensaios;
- ☞ Entre 5 a 10% de minerais deletérios do tipo não expansivo o agregado também pode ser aceito;
- ☞ Entre 5 a 10% de minerais deletérios do tipo expansivo, alguns ensaios adicionais devem ser realizados;
- ☞ Mais que 10% de minerais deletérios do tipo expansivo devem ser feitos todos os ensaios complementares pertinentes.

As RAAs são reações que dependem estritamente de determinados minerais que quando presentes mesmo na fração fina, se em grande quantidade, podem comprometer ou inviabilizar o seu uso no material cimentício. São reações que ocorrem com freqüência nas

diversas obras de engenharia, muitas vezes por negligência, ou desconhecimento das propriedades petrográficas e mineralógicas das rochas-fonte dos agregados empregados.

2.2.2. A Forma e Arranjo dos Minerais

A espécie e a forma dos minerais constituintes de uma rocha, como também a sua disposição na rocha são de grande influência no produto final da britagem, ou seja, a forma e o tamanho dos agregados são condicionados pela rocha-fonte que os originou. Sendo assim, a análise petrográfica da rocha-fonte pode ser uma ferramenta auxiliar também na avaliação da distribuição granulométrica, ou mesmo na forma dos fragmentos.

A granulometria ou granulação dos fragmentos possui papel importante na compacidade dos agregados, ou seja, na maior ou menor presença de vazios como também na sua forma e disposição, que por sua vez, influenciará na quantidade do ligante, seja ele betume ou cimento, implicando assim na economia desse ligante, pois quanto maior o número de espaços vazios maior a quantidade de ligante. Outro fator, seria a permeabilidade que está relacionada com o grau de embricamento dos fragmentos, segundo D'Agostino (2004) o perfeito embricamento dos finos é influenciado pela composição mineralógica esta, por sua vez, interfere na preparação da argamassa podendo melhorar a trabalhabilidade e assim economizar no cimento e podendo aumentar a resistência.

A forma dos fragmentos é uma propriedade importante nos agregados, que é influenciada principalmente pela estrutura da rocha, e em menor grau pela textura, segundo Frazão (2002). As formas dos fragmentos são determinadas de acordo com o comprimento, largura, e espessura podendo ser classificados, de acordo com NBR 6954 (ABNT, 1989), em formas: cúbica, lamelar, alongada e lamelar-longada, vide **FIGURA 2.19**.

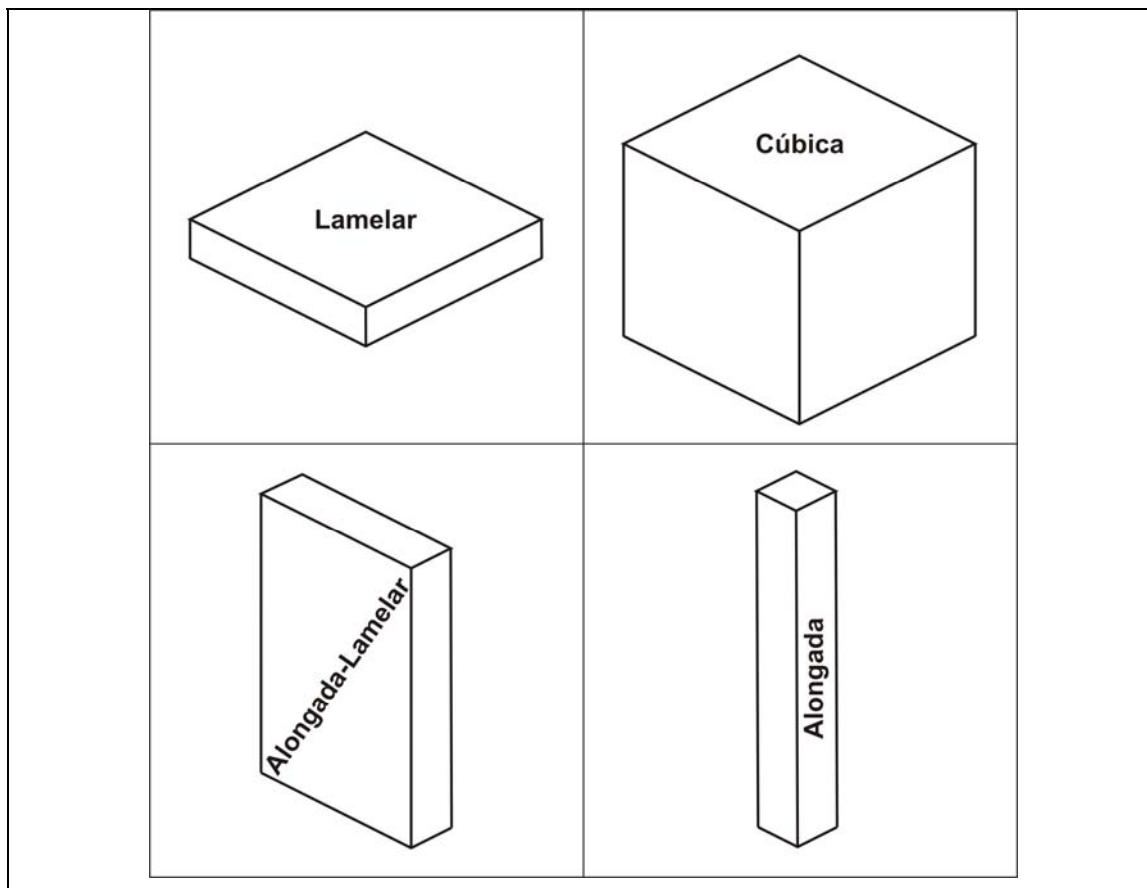


FIGURA 2.19: Ilustração dos tipos de formas de fragmentos de acordo com a espessura, largura e comprimento.

Fonte: NBR 6954 (ABNT, 1989)

As rochas com estruturas estratificadas ou bandadas tendem a produzir formas lamelares e alongadas, como as que possuem xistosidade ou foliação gnáissica, enquanto que as rochas sem estrutura orientada, ou maciças, tendem a produzir fragmentos com forma cúbica. Outro fator que influencia a forma está relacionado com a composição mineralógica, sendo que, rochas constituídas por minerais com granulações muito grossas, como as que contêm quartzo e feldspato, irão tender a produzir fragmentos de forma cúbica, enquanto que rochas constituídas por minerais micáceos tenderão a produzir formas lamelares. Entretanto, segundo Yoshida et al. (1972) a frequência de fragmentos com a forma cúbica diminui nas frações mais finas, mesmo em rochas de estrutura maciça.

2.2.3. Trabalhos Anteriores e Aplicações da Petrografia de Pedra Britada

A petrografia de pedra britada tem sido utilizada já há muito tempo no exterior, existem trabalhos da década de 40 que utilizaram a petrografia como ferramenta na identificação de possíveis minerais deletérios que induziam ou auxiliavam na RAA, e assim na deterioração e expansão do concreto utilizado.

Yoshida (1972) desenvolveu uma investigação experimental para aumentar o conhecimento sobre a parte de caracterização de materiais rochosos para construção civil, com ênfase na alterabilidade. Amostrou diversas rochas dentre elas basaltos, diabásios, calcários, charnockitos, migmatitos, granitos de diversas localidades (GO, SP, RS, P, MG). Utilizou a petrografia de pedra britada como ferramenta auxiliar na detecção da assembléia mineral essencial que contribuiu para os resultados dos ensaios de alterabilidade.

Outro trabalho que aborda o tema foi o Duncan et al. (1973) que analisou petrograficamente diferentes litotipos da Província Marítima de Nova Escócia no leste do Canadá, como grauvacas, argilitos, filitos, xistos, quartzitos, e rochas vulcânicas, todas comumente utilizadas como agregados para concreto na região, a fim de analisar quais seriam as mais reativas (RAA) com o cimento, concluindo que as rochas mais potencialmente reativas seriam as grauvacas, argilitos, filitos e alguns quartzitos e xistos. Na mesma linha Tang et al. (1983) obteve que rochas vulcânicas da China com muito ou pouco quartzo microcristalino, vidro vulcânico e quartzo com extinção ondulante também podem causar deterioração do concreto; Korkanç e Tuğrul (2005) chegaram também aos mesmos resultados, acrescentando a importância da não alteração do vidro vulcânico como mineral deletério, analisando basaltos da Turquia. Tagnit-Hamou (2005) a partir dos resultados que obtiveram, sugerem precaução ao utilizar agregados para concreto que contenham sulfetos de ferro como pirrotita ou piritita juntamente com micas.

Kerrick & Hooton (1992) compararam dois tipos de monzonitos de Massachusetts (EUA) em relação à influência de deformação tectônica e potencialidade na deterioração de concreto, obtendo que os monzonitos foliados são mais reativos que os maciços, devido aos

quartzos recristalizados e estirados. Também, Shayan (1993) que comparou dois tipos de granitos do oeste australiano e Monnin et al. (2006) que compararam dois calcários silicáticos, ambos em relação a deformação tectônica, chegaram aos mesmos resultados.

Um trabalho inovador foi o de Garcia Del Amo & Pérez (2001) que a partir de amostras de britas reativas, de represas na Espanha, fez uma quantificação dos minerais deletérios a partir de imagens digitais, obtendo que se associa a RAA quartzo microcristalino em particular à presença de uma subgranulação.

O trabalho de Hedge et al. (1996) utilizou a petrografia como ferramenta, não visando a rocha-fonte como brita, mas sim como uma forma de substituir materiais argilosos de “cru” de cimento por granada granulitos moídos, dos Campos de Giz de Salem na Índia, obtendo resultados favoráveis.

Fernandes (1998) estudou a influência dos principais tipos de agregados (basaltos/diabásios, granitos, gnaisses) na durabilidade do pavimento asfático, tendo chegado a resultados interessantes comparando o tipo petrográfico com a adesividade e com as condições climáticas de alteração em que o pavimento foi exposto.

Mendes (1999) utilizou a petrografia na detecção de minerais deletérios de basaltos da Pedreira Santa Rosa, no Município de Borborema-SP, com o objetivo de utilizar seus finos em Concreto Compactado a Rolo (CCR) com resultados favoráveis. Cuchierato (2000) utilizou de mesma ferramenta e comparou a mineralogia da rocha-fonte com a mineralogia dominante nas diversas frações finas de pedra britada usualmente utilizada. Pissato (2001) estudou petrograficamente os finos de pedreira de Guarulhos-SP no intuito da sua utilização em solo-cimento ensacado, com resultados viáveis, melhorando até a resistência e a compactação. Neves (2001) estudou a possibilidade de substituição de areia natural em concreto, a partir de finos de rocha granítica de Barueri-SP, também chegando a resultados favoráveis.

Adams (2004) analisou diferentes litotipos mais representativos em relação ao seu uso como agregados para concreto, de diferentes regiões produtoras do Estado de Nevada

(EUA) a fim de se saber sua potencialidade a RAA e deterioração do concreto analisou: granodioritos, riolitos, e basaltos porfíricos e traquíticos; todos

E por ultimo D'Agostino (2004) estudou petrograficamente as rochas-fonte graníticas da Embu S.A. (unidade de Perus, SP) e as rochas basálticas da Basalto 5 (Campinas, SP) com o objetivo de ver sua influência sobre os finos dessas rochas no preparo de argamassas de assentamento, chegando a resultados surpreendentes com relação às resistência e economia de cimento.

Em suma, a maioria dos trabalhos pesquisados que utilizaram como ferramenta a petrografia de pedra britada tiveram como finalidade pesquisar a potencialidade do agregado em relação à RAA. Cabe salientar que não há muitos trabalhos que relacionam a petrografia de pedra britada com a composição de finos de pedreira, com exceção de Mendes (1999), Cuchierato (2000) e D'Agostino (2004), e assim sua utilização como ferramenta na detecção de minerais deletérios, composição e forma dos finos de pedreira.

2.2.4. Normas Técnicas

As normas vigentes no país são da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ou ABNT. Dentre as normas existentes, as relacionadas com agregados são as Normas NBR 9935 (ABNT, 1987) e NBR 7225 (ABNT, 1993) que esclarecem a terminologia (*detalhadas no Capítulo I, Item 1.4*); a NBR NM 66 (ABNT, 1998), NBR 7389 (ABNT, 1992a), e NBR 12768 (ABNT, 1992b) que prescrevem os constituintes mineralógicos dos agregados, como também métodos de petrografia macro e microscópica.

A norma NBR NM 66 (ABNT, 1998) define todos os termos mais comumente utilizados nas descrições das rochas e seus constituintes mineralógicos, citando origem (ígneas, sedimentares, metamórficas); classificação segundo teor de sílica, granulação, tonalidade de cor; além da nomenclatura, mineralogia, texturas e estruturas.

A norma NBR 7389 (ABNT, 1992a) estabelece procedimentos recomendados na apreciação petrográfica macroscópica das rochas a serem utilizadas como agregados em

concreto. Dentre os procedimentos estão a descrição de: cor da rocha, textura, estrutura, composição mineralógica, estado de alteração (**TABELA 2.3**), forma dos fragmentos (se já forem produtos de britagem) e granularidade.

TABELA 2.3: Grau de alteração nas rochas e suas características distintivas, segundo a ABNT

Grau de Alteração	Características
Rocha Sã	Os minerais essenciais conservam suas características de cor e brilho, não apresentando evidências de alteração a olho nú.
Rocha Pouco Alterada	A rocha ainda apresenta sua integridade física praticamente preservada, porém observam-se aspectos incipientes de alteração nos seus constituintes mineralógicos.
Alterada	Os minerais essenciais não conservam mais suas características de cor e brilho. São expressivos os aspectos relativos à friabilidade, porosidade, fissuração e diminuição da massa específica. Alguns minerais podem servir como índice para avaliação da alteração: feldspatos amarelados, impregnados por óxido de ferros e parcialmente pulverulentos; minerais ferro-magnesianos apresentam-se parcial ou totalmente oxidados.

Fonte: NBR 7389 (ABNT, 1992a).

A norma NBR 12768 (ABNT, 1992b) estabelece um método de apreciação petrográfica de rochas a serem utilizadas para revestimento, mas que também é usualmente aplicada para agregados. A norma cita o uso de microscópio de luz polarizável e confecção de lâminas delgadas de rocha, além de recomendar ao examinar, observar: textura, composição mineralógica com porcentagem dos minerais essenciais e acessórios, classificação da rocha, grau e tipo de alteração da rocha, e o estado microfissural que pode ser intra, inter e transgranular, como exemplificado nas Fotos 2.1 e 2.2.

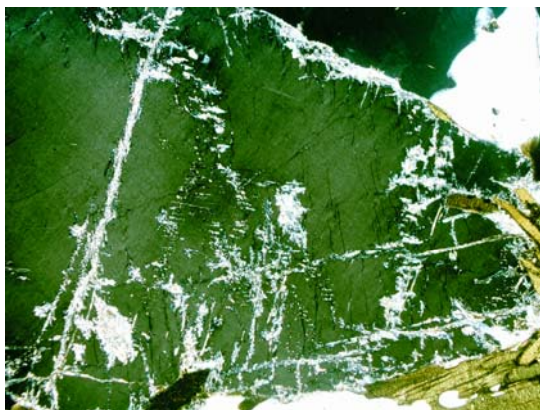


FOTO 2.1: Fotomicrografia exemplo de estado microfissural intragranular e intergranular; sericita em feldspato



FOTO 2.2: Fotomicrografia exemplo de estado microfissural transgranular; microveio de carbonato.

As três normas ABNT quando utilizadas em conjunto conseguem almejar quase todos os aspectos relacionados à descrição petrográfica de rocha-fonte para pedra britada. Entretanto, além dessas normas brasileiras, também são muito usuais as normas estrangeiras, como a americana *C 294-86 (ASTM, 1991)* e *C 295-90 (ASTM, 1991)* da *American Society for Testing and Materials – ASTM*, ou mesmo a norma alemã *DIN EN 12407*, da *Normenaussthuss Materialprüfung (Materials Testing Standards Committee)*. Normas estas que são mais detalhadas em alguns assuntos como porosidade da rocha, descontinuidades e tipos de alteração mineral.