

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SEID

Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e do Desenvolvimento
Econômico

MINEROPAR

Minerais do Paraná S.A

PARANÁ MINERAL

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MINERAL
PARANAENSE

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS
ROCHAS CALCÁRIAS**

Agregados para pavimentos rígidos

CURITIBA

2000

GOVERNADOR DO ESTADO DO PARANÁ
Jaime Lerner

Secretário de Estado da Indústria, Comércio e do
Desenvolvimento Econômico
Eduardo Sciarra

Minerais do Paraná S.A - MINEROPAR

Diretor Presidente

OMAR AKEL

Diretor Técnico

MARCOS VITOR FABRO DIAS

Diretora Administrativo-Financeira

HELOISA MONTE SERRAT DE ALMEIDA BINDO

PARANÁ MINERAL
PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MINERAL
PARANAENSE

FOMENTO INDUSTRIAL
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS
ROCHAS CALCÁRIAS

Agregados para pavimentos rígidos

COORDENAÇÃO
Luís Marcelo de Oliveira

EXECUÇÃO
Geólogo Luís Marcelo de Oliveira
Geólogo Diclécio Falcade

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS CALCÁRIAS COMO AGREGADOS EM PAVIMENTAÇÃO

Pavimentos rígidos

1. Generalidades

Os pavimentos rígidos ou pavimentos de concreto alinham-se entre os tipos denominados “nobres”, por sua extraordinária durabilidade e desempenho estrutural. Constituem a tecnologia reconhecidamente mais adequada às vias rodoviárias e urbanas de tráfego intenso e pesado e a certas situações críticas de carregamento e de ambiência, como aeroportos, áreas portuárias, postos de pesagem de veículos, praças de pedágio, frigoríficos e determinados pisos industriais sujeitos à solicitação de veículos especiais, cuja configuração de eixos de rodas foge aos padrões usuais.

Feitos de concreto, os pavimentos rígidos tem uma vida útil superior a 20 anos e requerem pouca manutenção. Possuem excelente desempenho estrutural, resistem melhor à abrasão, são menos permeáveis que os pavimentos comuns, não sofrem com os efeitos dos óleos e combustíveis e não se deformam com o calor.

Apresentando um superfície de rolamento uniforme, cuja rugosidade pode ser determinada no momento da execução da pista, os pavimentos rígidos garantem uma maior aderência aos pneus em qualquer condição, diminuindo o risco de derrapagens e da hidroplanagem.

Por ter uma coloração mais clara, refletem melhor a luz, aumentando a visibilidade e reduzindo os custos de iluminação. Além disso, apresentam-se como uma solução de menor impacto ambiental, pois constituem-se de camadas delgadas e utilizam o cimento portland como aglomerante, o que significa menor consumo energético total.

2. Tipos de pavimentos rígidos

Os pavimentos de concreto podem ser dos seguintes tipos:

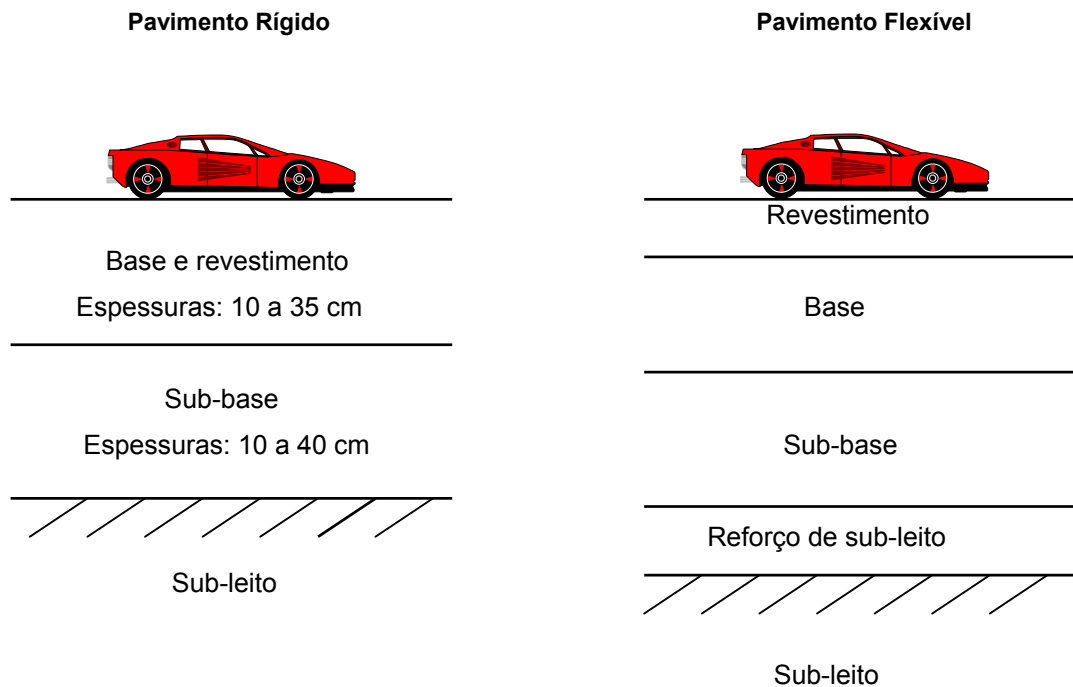
- Concreto simples
- Concreto simples com barras de transferência
- Concreto com armadura distribuída descontínua sem função estrutural
- Concreto com armadura contínua sem função estrutural
- Concreto estruturalmente armado
- Concreto protendido

Com exceção do tipo com armadura contínua sem função estrutural, todos os demais já foram implantados no país, seja em obras rodoviárias, aeroportos, postos de pesagem, pisos industriais, áreas sujeitas ao derramamento de óleo, e outros.

3. Seção em pavimentos rígidos

Os pavimentos rígidos apresentam um número mais reduzido de camadas em relação aos pavimentos flexíveis (asfálticos), uma vez que a camada superior tem dupla função: base e revestimento. Esta sobrepõe-se às camadas de sub-base e subleito, conforme figura a seguir:

Figura 1 - Diferenças básicas entre pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis



Base e revestimento: camada única constituída de concreto (cimento + agregados + água + aditivos). Atualmente, os aditivos são considerados como o 4º componente dos concretos e argamassas, visto os inúmeros benefícios que trazem à mistura.

Sub-base: as sub-bases para pavimentos rígidos podem ser classificadas em dois tipos:

- Sub-bases granulares
- Sub-bases tratadas com aditivos

As sub-bases granulares são aquelas compostas por materiais naturais ou artificiais estabilizados apenas por meio mecânico, e devem atender a determinadas faixas granulométricas. Podem ser de granulometria aberta ou fechada. As sub-bases tratadas são compostas de misturas de certos materiais com aditivos, podendo este ser o cimento portland, a cal ou o asfalto, por

exemplo. Neste segundo grupo incluem-se sub-bases de concreto rolado, utilizadas também como material de revestimento em pavimentação.

Sub-leito: superfície do solo após terraplanagem.

4. Classificação dos agregados

Uma vez que cerca de três quartos do volume do concreto dos pavimentos rígidos são ocupados pelos agregados, não é de se surpreender que o tipo e a qualidade destes seja de grande importância na obtenção de um concreto também de qualidade, exercendo nítida influência não apenas na resistência mecânica do produto acabado como em sua durabilidade e no desempenho estrutural. Assim as propriedades dos agregados tem grande importância também na geração das características essenciais dos concretos empregados em pavimentação, tais como resistência à tração na flexão, impermeabilidade, durabilidade, trabalhabilidade e retratibilidade.

De uma maneira geral, os agregados podem ser classificados quanto:

- à origem
- à dimensões
- à massa unitária

Quanto à origem, eles podem ser:

- naturais: já encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio, seixo rolado, pedregulho, etc);
- artificiais: são os que necessitam de modificação textural para chegar à condição necessária e apropriada ao seu uso, como é o caso da areia artificial e da pedra britada, por exemplo. Entre os tipos petrológicos mais utilizados estão os basaltos, granitos, calcários, sílex, pórfiros, arenitos, quartzitos e gnaisses.

Quanto a dimensão, os agregados classificam-se em:

- miúdo: o agregado miúdo é a areia natural quartzosa, ou, se artificial, a resultante do britamento de rochas estáveis, de dimensão máxima característica igual ou inferior a 4,8 mm (NBR 7211 – ABNT).
- graúdos: o agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, de dimensão máxima característica superior a 4,8 mm (NBR 7211 – ABNT).

Existem ainda algumas denominações especiais que caracterizam certos grupos, como: filler, areia, pedrisco, seixo rolado e brita.

- *filler*: é o material que passa na peneira de 0,075 mm;
- *areia*: é o material encontrado em estado natural, com dimensão máxima menor do que 4,8 mm;

- *pedrisco*: também chamado de areia artificial, é o material obtido por fragmentação de rocha, e que tem dimensão máxima menor do que 4,8 mm;
- *seixo rolado*: é o agregado de forma arredondada encontrado na natureza, quer nos leito dos rios, quer em jazidas, e que fica retido na peneira de 4,8 mm;
- *brita*: é o material obtido por trituração de rocha e que tem dimensão mínima superior a 4,8 mm.

Quanto à massa unitária, pode-se classificar os agregados em:

- leves (menor que $1t/m^3$): pedras-pomes, vermiculitas e argilas expansivas, por exemplo;
- normais ($1 t/m^3$ a $2t/m^3$): areias quartzosas, seixos, britas gnaíssicas, granitos e outros.
- Pesados (acima de $2t/m^3$): barita, magnetita, limonita, etc.

5. Propriedades dos agregados

5.1 Propriedades físicas

Forma das partículas e textura superficial

Além das características petrográficas, as formas externas do agregado merecem especial atenção, principalmente no que diz respeito ao formato da partícula e à sua textura superficial.

A forma externa da partícula é determinada por duas propriedades: grau de arredondamento e esfericidade da partícula.

O grau de arredondamento é definido como a relação entre o raio médio de curvatura dos cantos e bordas da partícula e o raio do círculo máximo nela inscrito.

Sendo função direta da resistência mecânica e da resistência à abrasão da rocha matriz, bem como do grau de solitação a que a partícula já foi submetida, o arredondamento normalmente não é definido por números, mas por termos analíticos, a saber:

- angulosos;
- subangulosos;
- subarredondados;
- arredondados.

Quanto à esfericidade, de maneira simples, é descrita como sendo o grau de aproximação de uma partícula à forma perfeitamente esférica. De acordo com o grau de esfericidade os agregados podem ser agrupados em:

- esferoidais ou equidimensionais;
- achatados ou em forma de disco;
- prismáticos ou em forma de bastão;
- lamelares.

No que se refere à textura superficial do agregado, sua avaliação é feita pelo grau de polimento ou rugosidade da superfície da partícula, sendo função principalmente da dureza, do tamanho do grão e das características dos poros da rocha matriz; as ações mecânicas externas colaboram ativamente para o aumento ou diminuição da rugosidade.

Classificação expedita da textura superficial

Textura superficial	Características	Exemplos
Vítrea	fratura conchoidal	escória vitrificada
Lisa	ação da água ou fratura de rochas laminadas	pedregulhos e areias de rio, alguns riólitos
Granulada	fratura mostrando grânulos + ou - uniformemente arredondados	areia artificiais, eólitos
Rugosa	fratura de rochas contendo grânulos finos ou médios, com constituintes cristalinos não observados facilmente	basalto, calcário, pórfiros
Cristalina	contendo constituintes cristalinos facilmente visíveis	granito, gnaiss, gabro
Esponjosa ou porosa	contendo poros e cavidades visíveis	argila expandida, clínquer, pedra-pome

5.2 Propriedades mecânicas

São as seguintes as principais propriedades mecânicas dos agregados:

- Rigidez: é a rigidez do material à quebra por impacto.
- Dureza: refere-se à resistência à abrasão superficial do material. É uma propriedade importante nos agregados utilizados nos concretos de rodovias ou pisos industriais sujeitos a tráfego pesado ou abrasivo. O método mais utilizado de medida é o ensaio de abrasão Los Angeles (NBR 6465).
- Resistência mecânica: no que se refere à resistência mecânica dos agregados, exige-se que a resistência à compressão da massa de agregado contida no concreto não seja inferior à deste. Entretanto, é difícil determinar no próprio agregado a sua resistência ao esmagamento ou à compressão, e esse dado tem de ser obtido através de ensaios indiretos, como:
 - resistência ao esmagamento de corpo-de-prova indeformado extraído da rocha;
 - resistência ao esmagamento da massa de agregado (BS 812);
 - utilização de agregados cujo bom comportamento já tenha sido comprovado na prática.

5.3 Propriedades elásticas

Define-se o módulo de elasticidade de um agregado como a razão entre um incremento de tensão e o correspondente incremento de deformação.

Sendo um ensaio de compressão, determina-se a razão entre a carga aplicada e a deformação do corpo-de-prova, paralela à direção da carga.

Sabe-se que os agregados de alto módulo de elasticidade conduzem a concretos de alta resistência à tração na flexão e baixa retração na flexão e baixa retração por secagem; entretanto,

a baixa retração induzida pelo uso de agregados rígidos pode ser comprometedor, pelo fato de que a rigidez do agregado causa restrição ao movimento da pasta, aumentando a tendência à fissuração, mas, desde que usados com critério, os agregados mais rígidos propiciam melhores resultados globais do produto acabado.

5.4 Porosidade e absorção dos agregados

O tamanho, a quantidade e a continuidade dos poros num agregado são importantes características, uma vez que afetam diretamente outras características, como a absorção, massa específica, resistência mecânica, resistência à abrasão, aderência pasta-agregado e susceptibilidade ao ataque de agentes químicos.

Definindo-se poro como sendo o espaço não ocupado por material sólido no agregado, tem-se que a porosidade total é expressa pela relação entre o volume de vazios dos poros e o volume total da massa de agregado. Para sua determinação, utilizam-se métodos baseados na medida das massa específicas dos agregado ou o emprego do porosímetro de WASHBURN & BUNTING.

São apresentados a seguir alguns valores típicos de porosidade de diversos grupos de rocha:

Grupo de rochas	Porosidade (%)
Arenito	0,0 a 48,0
Quartzito	1,9 a 15,1
Calcário	0,0 a 37,6
Granito	0,4 a 3,8

Quanto à absorção d'água dos agregados, é obtida a partir da diminuição da massa de uma amostra de agregado no estado saturado – superfície seca até o estado seco, em estufa à 105°C a 110°C; a relação entre a perda de massa determinada no estado de superfície saturada seca e a massa de amostra seca, em porcentagem, é chamada de absorção.

5.5 Aderência pasta-agregado

A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante parâmetro na formação da resistência do concreto, especialmente à flexão. É função da interação entre o agregado e a pasta do cimento, devida principalmente à rugosidade superficial e o formato do grão. Superfícies mais rugosas, como as das pedras britadas, proporcionam melhor aderência; as texturas que não permitem penetração na superfície do agregado não conduzem a bons resultados de aderência. Além disso, a aderência é afetada por outras propriedades físicas e químicas relacionadas aos constituintes químicos e mineralógicos dos agregados, como, por exemplo, nos agregados calcários em que pode ocorrer aderência química.

A determinação da qualidade química da ligação é muito difícil e ainda não existem ensaios indiscutivelmente aceitáveis. Geralmente, quando a ligação é boa, o corpo-de-prova

depois de levado à ruptura apresenta alguns agregados também fraturados, sendo que o excesso dessa ocorrência indica que o agregado é demasiadamente friável.

5.6 Propriedades térmicas

Dentre as propriedades térmicas, as que merecem destaque são a dilatação térmica, o calor específico e a condutibilidade térmica. As duas últimas se revestem da maior importância quando se trata de concreto massa ou estruturas que exigem isolamento térmico.

O coeficiente de dilatação dos agregados, principalmente os de maior dimensão, pode influir no concreto quando o seu valor é muito diferente do da pasta de cimento, uma vez que grandes diferenças de temperatura podem produzir variações apreciáveis nas dimensões do agregado e da pasta, rompendo a ligação entre eles e prejudicando a qualidade do concreto endurecido.

5.7 Substâncias deletérias nos agregados

Podem ser divididas em três grandes grupos, a saber:

- impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento;
- substâncias envolventes do agregado, formando películas que impedem a aderência à pasta de cimento;
- partículas frágeis e defeituosas.

No primeiro grupo destacam-se as impurezas de origem orgânica, constituídas essencialmente por ácidos húmicos. Para determinar a presença de matéria orgânica é universalmente usado ensaio colorimétrico que permite avaliar a quantidade prejudicial.

Há também as impurezas constituídas por sais minerais que podem estar misturados ao agregado e alterar a pega e o endurecimento do cimento, ou causar deterioração no concreto. Como exemplo, citem-se certos compostos de chumbo e zinco, óxidos de ferro, sulfatos (especialmente gesso), sulfetos e cloretos.

No segundo grupo de materiais deletérios, encontram-se os responsáveis pela interferência na interação pasta-agregado, tais como argilas e outros materiais finos como o silte e o pó-de-pedra (dimensões entre $2\mu\text{m}$ e $75\mu\text{m}$), proveniente da britagem.

No terceiro grupo encontram-se as partículas de resistência baixa e com expansão e contração excessiva, que, pelas suas características físicas, modificam a integridade ou a resistência do concreto. Nessa categoria enquadram-se as partículas xistosas de baixa densidade, os torrões de argila, a madeira, o linhito e o carvão, que podem produzir orifícios ou buracos ou desagregação local, fissuração e escamação.

Quando o agregado não é capaz de suportar as variações de volume resultantes das flutuações das condições ambientais o seu emprego na fabricação do concreto deve ser evitado.

Podem instalar-se, ainda, certas reações químicas entre o agregado e o cimento, que, gerando expansão, anulam a coesão existente entre os materiais. As reações expansivas enquadram-se em três tipos diferentes:

- a) reação em meio úmido, entre álcalis do cimento e a sílica não cristalizada do agregado;
- b) reação dos álcalis do cimento com o carbonato de magnésio de certos calcários dolomíticos;
- c) reação de determinadas formas da alumina do agregado (por exemplo, feldspatos sódicos alterados ou caulinizados), com sulfatos (provenientes do meio exterior ou do concreto), em presença de elevada alcalinidade proveniente da hidratação do cimento.

6. Ensaio e especificações

A norma técnica que fixa as características exigidas na recepção e produção dos agregados graúdos e miúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes de britamento de rochas e destinados à produção de concretos, é a ABNT NBR-7211. Esta norma determina os ensaios e especificações para materiais convencionais com histórico de desempenho comprovado, recomendando para novos materiais ou materiais não convencionais estudos e pareceres que comprovem qualificação.

Segundo a referida norma, os agregados devem ser compostos por de minerais duros, compactos, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidades que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da amadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual do concreto.

Com relação à limpeza exige-se que não haja excesso de lama, lodo, grãos fracos ou estratificados, mica, álcalis nocivos e matéria orgânica. A dureza é determinada por um ensaio de abrasão (Los Angeles), e a tenacidade por um ensaio de impacto. A resistência pode ser determinada por ensaios de compressão de corpos de prova de rocha, ou pode ser avaliada por ensaios comparativos de argamassas e concretos feitos com agregado em questão e com agregados de qualidade conhecida ou normalizada. A durabilidade ou estabilidade pode ser determinada por um ensaio de congelamento e degelo ou um ensaio envolvendo a alternada imersão em uma solução de sulfato de sódio e secagem.

No caso específico de rochas calcárias existem registros de fissurações e danos a concretos em decorrência de reações entre álcalis do cimento e agregados carbonáticos, em processo conhecido como reação álcali-carbonato, e que ocorre principalmente em concretos expostos a temperaturas elevadas e variações de umidade, como por exemplo, em barragens. Os dados até agora disponíveis mostram que, entre as rochas calcárias, as mais favoráveis ao desencadeamento deste processo são aquelas sedimentares, ricas em argilominerais e com razão calcita (CaCO_3) : dolomita (MgCO_3) próxima a 1, ou aquelas com teores elevados de magnésio. A

realização de ensaio para determinação da reação álcali-carbonato em agregados está igualmente previsto na NBR 7211.

Os principais ensaios para definição da viabilidade de uso de agregados em concretos, com as respectivas normas técnicas são os seguintes:

- Absorção (ASTMC-128);
- Massa específica absoluta (NBR-9776);
- Abrasão los Angeles (NBR-6465);
- Forma do grão (Índice de forma NBR-7809);
- Durabilidade (MB-1065);
- Resistência à compressão simples (MB-892);
- Durabilidade (ASTMC-88);
- Esmagamento (DNER ME 42);
- Material pulverulento (NBR-7219);
- Torrões de argila (NBR-7218);
- Reatividade álcalis carbonato (método acelerado NBRI);
- Análise química;
- Análise petrográfica;
- Análise granulométrica (NBR-7217);
- Estudo de desempenho do agregado em dosagens de concreto e argamassa.

Estudos específicos do desempenho do concreto propriamente dito são realizados posteriormente, conforme o tipo de obra ao qual o material se destina (construção civil, pavimentação, barragens, etc), incluindo testes de resistência à compressão, tração na flexão, capacidade de deformação, retração hidráulica, permeabilidade, durabilidade, calor específico do concreto e outros.

7. A escolha dos agregados para emprego em concreto de pavimentos

Os principais itens a serem considerados na escolha e especificação de um agregado utilizável em concretos de pavimentos, são os seguintes:

Agregado miúdo

O agregado miúdo deve ser, de preferência, a areia natural quartzosa, podendo-se também empregar a areia artificial resultante do britamento de rochas estáveis, com dimensão máxima característica de 4,8 mm. Em ambos os casos, o agregado miúdo deve satisfazer à norma brasileira ABNT NBR-7211, recomendando-se, ainda, a granulometria grossa. Segundo esta especificação, é ótima para areias a granulometria apresentada a seguir:

Peneiras (ABNT) mm	Porcentagem acumulada em massa (%)
9,5	0
4,8	3 a 5
2,4	29 a 43
1,2	49 a 64
0,6	68 a 83
0,3	83 a 94
0,15	93 a 98

Agregado graúdo

Além de satisfazer a norma brasileira mencionada (NBR-7211), o agregado graúdo deve apresentar certas características, descritas a seguir:

- a) Origem do agregado: a experiência tem demonstrado que os agregados graúdos mais convenientes para o emprego em concreto de pavimentos são aqueles provenientes de rochas graníticas, gnaisses e rochas basálticas. No entanto, pode-se explorar pedreiras de qualquer tipo de rocha, desde que se faça preliminarmente uma análise petrográfica, na qual seja definida a formação da rocha e a presença nela de materiais deletérios ou quimicamente instáveis.
- b) Dimensão máxima característica: a dimensão máxima característica do agregado deve estar entre 1/4 e 1/5 da espessura do pavimento, evitando-se o uso de agregados com mais de 50 mm de tamanho.
- c) Forma do grão e textura superficial: os agregados graúdos devem ser de tal forma que as suas dimensões sejam iguais tanto quanto possível e as arestas de angularidade bem definida (forma de cubos), sendo o agregado graúdo britado o que melhor atende a esses requisitos. No que se refere textura superficial, é recomendável que os grãos apresentem superfície rugosa, com ligeira porosidade microscópica superficial; assim garante-se em grande parte, a aderência pasta-agregado, a qual cumpre papel importante na resistência à tração na flexão do concreto.
- d) Reações expansivas entre o agregado e o cimento: reações químicas entre álcalis do cimento provenientes de óxidos de sódio e de potássio, e determinados minerais deletérios presentes nos agregados, dão origem a um gel expansivo, capaz de causar tensões internas de tração e provável desagregação do concreto. Especial atenção deve ser dada a reações do tipo alcali-silica e alcali-carbonato.

Para verificação da possibilidade dessas reações é necessário um exame petrográfico do material, bem como ensaios específicos de verificação daquelas reações, tais como os prescritos nos métodos ASTM C227⁵² C289⁵³, para a reação álcali-agregado; no método C586⁵⁴, para a reação álcali-carbonato, e no método C294², também da ASTM, para avaliar os efeitos da piritá.

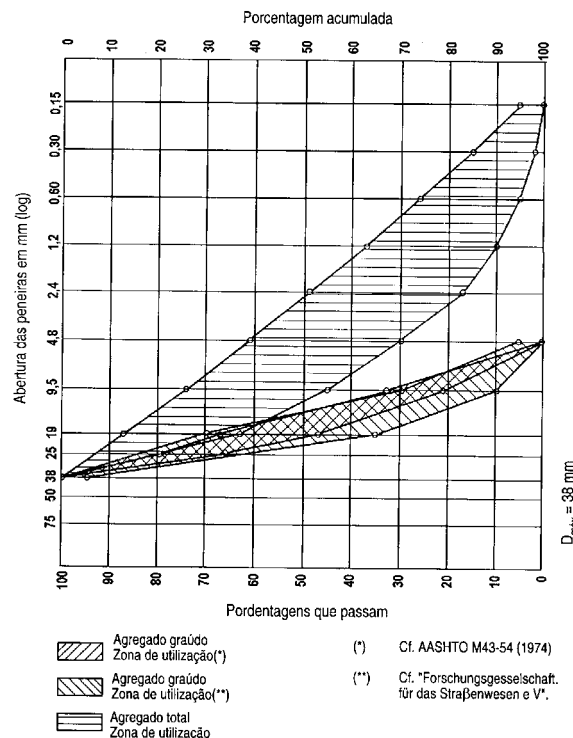
- e) Aderência pasta-agregado: é um fator que influi decisivamente nas resistências mecânicas do concreto endurecido, principalmente na resistência à tração na flexão. É ainda responsável pela maior ou menor susceptibilidade do concreto à fissuração, bem

como pela permeabilidade, posto que a percolação da água se dá através da interface pasta-agregado, que será um caminho fácil no caso da aderência estar prejudicada.

No que diz respeito à qualidade dos agregados para concretos de pavimentos devem ser ressaltados os seguintes pontos:

- A areia deve ser de preferência quartzosa e obtida de depósitos ou no leito dos rios, sendo possível o uso de areia artificial proveniente de rochas estáveis. A percentagem de areia natural na mistura deve ser determinada em ensaios, adotando-se normalmente valores em torno de 30%. A recomendação, em pavimentação, de uma granulometria grossa para a areia é de ordem geral e não se aplica no caso de serem feitos estudos mais aprofundados da dosagem.
- Quanto à granulometria do agregado total e do agregado graúdo, o Deutscher Institut für Normung (DIN) e a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) adotam faixas granulométricas especiais, compreendendo uma zona ótima e uma zona de utilização destinadas ao emprego particular em concretos para pavimentação (figura 2).
- O agregado deve apresentar, no ensaio Los Angeles, realizado com a norma ABNT NBR 6465, uma perda de massa no máximo igual a 50%, como especifica a NBR 7583.

Figura 2 – Faixas granulométricas para o agregado total e para o agregado graúdo em pavimento rígido.



8. Qualificação de agregados carbonáticos em concreto

Calcários e mármore são rochas normalmente isotrópicas e a ausência de foliação lhes confere elevada resistência à quebra e a tendência de produção de fragmentos equidimensionais após a britagem, características estas desejáveis para agregados em concretos.

No entanto, a baixa dureza dos carbonatos, seus principais constituintes, pode implicar em baixa resistência à abrasão, verificando-se por outro lado, uma melhor resistência à pasta de cimento, com conseqüente incremento nos parâmetros de qualidade dos concretos.

Finalmente, há na literatura, registros de fissurações e danos a concretos em decorrência de reações entre álcalis do cimento e agregados carbonáticos, em processo conhecido como reação álcali-carbonato, e que ocorre principalmente em concretos expostos a temperaturas elevadas e variações de umidade, como por exemplo, em barragens. Os dados até agora disponíveis mostram que, entre as rochas calcárias, as mais favoráveis ao desencadeamento deste processo são aquelas sedimentares, ricas em argilominerais e com razão calcita (CaCO_3) : dolomita (MgCO_3) próxima a 1, ou aquelas com teores elevados de magnésio.

Deste modo, embora do ponto de vista físico e mecânico as rochas carbonáticas possam ser consideradas como agregados de boa qualidade para o uso em concreto, seu emprego deve ser precedido de estudos específicos que possam comprovar propriedades adequadas.

A tabela a seguir mostra valores médios de resistência ao esmagamento, abrasão, impacto e atrito para diferentes grupos de rocha da BS 812, na Grã Bretanha.

Grupo de rocha	Resistência ao esmagamento	Valor de esmagamento	Valor de abrasão	Valor de impacto	Atrito Seco *	Atrito molhado *	Massa específica
Basalto	200	12	17,6	16	3,3	5,5	2,85
Silex	205	17	19,2	17	3,1	2,5	2,55
Gabro	195	-	18,7	19	2,5	3,2	2,95
Granito	185	20	18,7	13	2,9	3,2	2,69
Arenito	220	12	18,1	15	3,0	5,3	2,67
Hornfels	340	11	18,8	17	2,7	3,8	2,88
Cálcario	165	24	16,5	9	4,3	7,8	2,69
Quartzito	330	16	18,9	16	2,5	3,0	2,62
Xisto	245	-	18,7	13	3,7	4,3	2,76

*Valores menores indicam melhor qualidade

09. Pavimentos rígidos no Paraná

As experiências com pavimentos rígidos no Paraná são ainda incipientes, com destaque aos trechos que estão sendo executados pela Companhia de Cimento Itambé, fazendo o acesso da fábrica até a jazida Rio Bonito e de ligação com a BR-277, municípios de Campo Largo e Balsa Nova respectivamente.

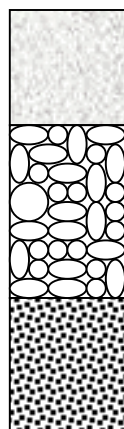
As técnicas empregadas foram o pavimento rígido de placas de concreto armado e de placas de concreto simples com barras de transferência, ambas executadas com camada de concreto compactado com rolo na sub-base, conforme representação esquemática abaixo:

Figura 3 – Seção em pavimentos rígidos empregados pela Cia de Cimento Itambé (PR)



Atualmente alguns trechos estão sendo implantados com a substituição da sub-base de concreto rolado por sub-base granular compactada, composta de agregados de rocha calcária com espessuras médias em torno de 50 cm, conforme representação abaixo:

Figura 4 – Seção em pavimento rígido com sub-base de rocha calcária – Cia de Cimento Itambé (PR)



Base e revestimento: placa de concreto simples com barras de transferência com espessuras de 25 cm.

Sub-base: camada de brita de rochas calcárias compactadas com espessuras de 40 a 50 cm, com imprimação no topo.

Sub-leito: antigo leito de estrada com macadame extremamente compactado.

Deve-se ressaltar que a utilização da brita de rochas calcárias se faz de maneira sistemática na camada de sub-base, substituindo os quartzitos anteriormente utilizados. No pavimento de concreto propriamente dito faz-se uso de agregados convencionais, igualmente disponíveis na região. A utilização de agregados de rochas calcárias na camada de concreto pode tornar-se viável futuramente, dado o caráter experimental da obra e eventual interesse por parte da Cia de Cimento Itambé.

Os dados a seguir se referem aos números da obra com destaque aos volumes de agregados consumidos num trecho de 2.700 metros (Trecho A= 500m e B=2.200m), mostrando a significativa participação destes materiais na pavimentação (dados fornecidos pela Cia de cimento Itambé):

- Extensão em CCR – 2.700m;
- Consumo de cimento: 2.568.624 Kg;
- Consumo de Brita 1 – 4.669.120 kg;
- Consumo de Brita 2 – 4.826.270 Kg;
- Consumo de areia – 8.005.130 Kg;
- Consumo de água – 802.679 litros;
- Consumo de plastificante (Mastermix) – 8.965,71 Kg;
- Consumo de incorporador de ar (Microair) – 3.473,69 Kg;
- Produção de concreto – 8.556 m³.

Além das obras anteriormente citadas existem pavimentos rígidos que foram implantados em vias urbanas em Curitiba, terminais de ônibus, estações-tubo e trechos de rodovia (contorno sul e outros), com utilização de agregados convencionais, não existindo referências ou relatos do uso de rochas calcárias.

Vale ressaltar que em outras regiões do Brasil, a exemplo de Belo Horizonte e Distrito Federal, onde os materiais disponíveis são quase que exclusivamente constituídos por rochas calcárias, o uso de agregados destas rochas em pavimentos rígidos se faz de forma sistemática e com resultados satisfatórios, desde que os tipos litológicos obedeçam às exigências e especificações necessárias.

10. Laboratórios e custos de ensaios

BIANCO TECNOLOGIA DO CONCRETO S/C

Curitiba, PR

1.	Preparação da amostra (britagem e classificação)	R\$ 60,00
2.	Determinação do potencial de resistência à compressão da rocha	R\$ 85,00
3.	Análise granulométrica (NBR-7217)	
	Agregado miúdo	R\$ 37,00
	Agregado graúdo	R\$ 42,00
4.	Determinação do teor de material pulverulento (NBR-7219)	R\$ 26,00
5.	Massa específica absoluta (NBR-9776)	R\$ 22,00
6.	Massa específica aparente no estado solto (NBR-7215)	R\$ 22,00
7.	Absorção (ASTMC-128)	R\$ 26,00
8.	Abrasão Los Angeles (NBR-6465)	R\$ 95,00
9.	Forma do grão (Índice de forma NBR-7809)	R\$ 57,00
10.	Sanidade ao ataque com solução de sulfato (ASTMC-88)	R\$ 150,00
11.	Estudo do desempenho do agregado em dosagens do concreto/amostra	R\$ 220,00
12.	Estudo do desempenho do agregado em dosagens de argamassa/amostra	R\$ 140,00
13.	Reatividade álcalis/carbonato em barras (método acelerado NBRI)	R\$ 550,00
14.	Análise petrográfica	R\$ 70,00
15.	Análise química	R\$ 140,00
	TOTAL	R\$ 1.742,00

Obs. Custo para ensaio completo **R\$ 1.100,00**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA

Centro de Tecnologia e Urbanismo - Laboratório de Materiais de Construção e Conforto

Item	Discriminação do ensaio	Preço Unitário
1	Agregados para concretos e argamassas	(R\$)
1.1	Massa específica	22,00
1.2	Massa unitária	16,50
1.3	Massa unitária compactada da brita	22,00
1.4	Teor de argila	22,00
1.5	Material pulverulento	33,00
1.6	Impurezas orgânicas	33,00
1.7	Análise granulométrica	33,33
1.8	Inchamento da areia	88,00
1.9	Coefficiente de forma	33,00
1.10	Qualidade da areia	165,00

LAME – LABORATÓRIOS DE MATERIAIS E ESTRUTURAS

Curitiba, PR

	ENSAIO	QUANT.	Preço Unit. R\$	Preço Total R\$
1.	Análise granulométrica – credenciado INMETRO (areia)	01	23,40	23,40
2.	Absorção (areia)	01	70,70	70,70
3.	Massa específica (areia)	01	14,40	14,40
4.	Material pulverulento – credenciado INMETRO (areia)	01	21,10	21,10
5.	Análise granulométrica – credenciado INMETRO (brita)	02	23,40	46,80
6.	Absorção (brita)	02	31,30	31,30
7.	Massa específica (brita)	02	31,30	31,30
8.	Análise química do cimento (Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, MgO, Anidrido Sulfúrico, Óxido de Sódio (total), Óxido de Potássio (total), Perda ao Fogo, Resíduo Insolúvel, Óxido de Cálcio livre, Óxido de Potássio (disponível), teor de Álcalis (disponíveis)). Os ensaios de perda ao fogo, resíduo insolúvel e Anidrido Sulfúrico são credenciados pelo INMETRO.	01	157,40	157,40
9.	Análise física do cimento (expansibilidade LE CHATELIER, tempos de pega, Finura Blaine, Finura #200, massa específica, determinação da água da pasta de consistência normal, moldagem e resistência à compressão (3,7 c 28 d). Os ensaios de tempo de pega, Finura Blaine, Finura #200, massa e específica, pasta de consistência normal e resistência à compressão são credenciados pelo INMETRO).	01	173,80	173,80
10.	Dosagem experimental – 1 traço – 3 idades – betonada de 100 l.	05	45,00	225,00
11.	Reatividade potencial álcalis - agregado	01	167,00	176,00
12.	Módulo de deformação (elasticidade) com gage (1 cp)	05	52,00	260,00
13.	Permeabilidade (cp)	05	42,50	212,50
14.	Massa específica (1 cp)	05	16,90	84,50
	TOTAL		1.581,80	