

# PAVIMENTO de CONCRETO

## Controle Tecnológico da Qualidade da Camada de Concreto Rolado

**Concreto rolado** é um concreto de consistência seca, tipo “farofa”, e trabalhabilidade que lhe permita ser espalhado com vibroacabadora de asfalto, distribuidora de agregados ou motoniveladora e adensado por rolos compressores.

O controle tecnológico constará de duas etapas:

- **1ª - controle preventivo:**  
concreto como material
- **2ª - controle de verificação:**  
concreto no pavimento

Existe uma relação de interdependência entre as duas etapas, ou seja, o sucesso ou insucesso de uma delas implicará o sucesso ou insucesso da outra. Daí a importância de ambas serem bem cumpridas para garantir a qualidade da obra.

### 1 – CONTROLE PREVENTIVO

#### 1.1 Recebimento e estocagem dos materiais

No laboratório, verificar se as amostras recebidas estão de acordo com as normas de amostragem pertinentes (NBR 5741 - cimento e NBR 7216 - agregado). A amostragem da água disponível deverá estar conforme a NBR NM 137.

Verificar se a quantidade de cada material é suficiente para a realização dos ensaios programados.

Observar se nas amostras estão indicados a procedência, o fornecedor e as características de cada material, além da data da coleta.

Verificar se o cimento está em local apropriado, livre de umidade, e os agregados estocados em baias separadas, de modo a não se contaminarem, o que acarretaria alteração em suas características físicas individuais.

#### 1.2 Análise dos materiais e dosagem do concreto rolado

Ensaia o cimento e os agregados em laboratório idôneo, onde serão emitidos certificados comprobatórios da qualidade de cada um, no que toca ao atendimento dos limites normativos. O cimento, dependendo do tipo, deverá atender à NBR 5732 (cimento comum), NBR 11578 (cimento composto), NBR 5735 (cimento de alto-forno), NBR 5736 (cimento pozolânico), ou NBR 5733 (cimento de alta resistência inicial). Os agregados miúdo e graúdo deverão obedecer aos limites físicos da NBR 7211, com a dimensão máxima característica do graúdo igual a 38 mm.

Em caso de suspeita, fazer ensaios químicos para verificação da reatividade do agregado graúdo com os álcalis do cimento e dos limites de substâncias químicas nocivas no agregado miúdo e na água.

Verificar se os equipamentos de medição do laboratório estão devidamente aferidos, ressaltando-se a prensa de ensaio, que deverá ter certificado de aferição dentro do prazo-limite de validade de 6 meses.

Para a dosagem do concreto rolado, fazer sua curva de compactação, com faixas de umidade entre 4 % e 7,5 %, para determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, parâmetros mais importantes da dosagem.

Estabelecer a composição granulométrica do agregado total, obtida por ajuste em função de faixas de referência determinadas para outras obras ou de uma particular definida, que deverá ser mantida ao longo da obra.

Elaborar a curva de Abrams para três consumos diferentes, definindo-se aquele que atende à resistência mecânica especificada, da maneira mais econômica.

Os consumos de cimento para uma mesma umidade deverão variar de 85 a 120 kg/m<sup>3</sup> (CR como sub-base), estendendo-se até 180 kg/m<sup>3</sup> (CR como base revestida) e de 140 a 380 kg/m<sup>3</sup> (CR como base e revestimento).

A energia de compactação a ser adotada na moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos é a normal, com soquete de 4,5 kg e altura de queda de 45 cm. Os corpos-de-prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm, para os ensaios de resistência à compressão, serão moldados em 5 camadas com 30 golpes cada.

A moldagem dos corpos-de-prova prismáticos de 15 cm x 15 cm x 50 cm, para os ensaios de resistência à tração na flexão, quando necessários, será feita em duas camadas, cada uma delas recebendo 160 golpes do mesmo soquete.

Proceder ao acabamento superficial do CR peneirando-se o concreto sobre a superfície da última camada com a peneira de 4,8 mm e rasando-se essa camada com uma régua metálica biselada.

Após a moldagem, levar os corpos-de-prova para a câmara úmida ou tanque de cura, onde permanecerão até a data do ensaio.

Definido o traço, será emitido um certificado de dosagem do qual constará uma nota importante, dizendo que o traço definido em laboratório deverá ser testado com o equipamento da central do canteiro de obras, ou da central fornecedora, para verificação da manutenção de suas características ou para um possível ajuste. Esta verificação é precedida pela observação da adequada estocagem dos materiais constituintes no campo: o cimento em silos ou em depósitos com ambiência apropriada, em pilhas de no máximo 10 sacos e sobre estrados a pelo menos 30 cm do chão, e os agregados em baias ou em silos separados conforme sua graduação.

Constatar também se o fornecedor é o mesmo e se a graduação e a procedência são as mesmas daqueles levados ao laboratório para ensaios e dosagem. Somente depois dessas verificações a produção poderá ser liberada para a execução da camada.

Figura 1 – Ensaios  
Dosagem do  
concreto e  
verificação de suas  
características



### 1.3 Equipamento de medição

Verificar se a balança da central do canteiro está aferida, comprovada por certificado do responsável pela aferição.

Observar se o laboratório de campo tem de igual modo equipamentos em boas condições, com os de medição também devidamente aferidos como os do laboratório central responsável pela análise dos materiais e pela dosagem original.

### 1.4 Equipamento de execução

Inspeccionar o equipamento mínimo especificado para transporte, espalhamento e adensamento do concreto rolado.

No caso de transporte por caminhão-basculante, exigir sua cobertura com lona para evitar perda excessiva de umidade por evaporação, o que prejudicará a compactação. Caso a distância de transporte seja considerável, com tempo acima de 30 minutos, e dependendo das condições climáticas (calor, baixa umidade relativa do ar e vento constante), utilizar caminhão-betoneira, por ter capacidade misturadora e de reposição da água evaporada, caso necessária.

Verificar as condições do equipamento espalhador do CR (vibroacabadora de asfalto, distribuidora de agregado ou motoniveladora) e do rolo compactador liso vibratório autopropelido (de 10 t a 15 t).

## 1.5 Umidade dos agregados

Verificar a umidade dos agregados em todo início de produção, sendo que a do agregado miúdo deverá ser verificada pelo menos 3 vezes ao dia: no início, no meio e no fim da produção, ou quando houver variações sensíveis das condições climáticas durante o período de produção.

No concreto rolado é de suma importância para a compactação a manutenção da umidade ótima, ou que pelo menos esteja dentro dos limites prescritos de variação em torno dela. É extremamente necessário, portanto, o perfeito entrosamento entre o laboratório de controle e a central produtora.

Medir a umidade dos agregados de acordo com a NBR 6467 – Método da Frigideira. Admite-se também o uso do Método Expedito (*Speedy*) para a determinação da umidade do agregado miúdo, desde que se façam ensaios paralelos de modo a aferi-lo com os resultados da frigideira.

## 1.6 Produção do concreto (condições)

O concreto rolado deverá ser produzido, preferencialmente, em central gravimétrica, cuja produtividade deverá estar regulada para ser compatível com a capacidade produtiva da equipe de execução da camada.

Permite-se a dosagem volumétrica, em central com produção satisfatória, desde que haja medidor de água, com os agregados medidos em volume, por meio de padiolas ou outro recipiente devidamente cubado, em relação ao saco de cimento. Nesse caso, medir a umidade da areia no mínimo 2 vezes por dia, pela manhã e à tarde, e determinar sua curva de inchamento em laboratório, para definição do coeficiente de inchamento e da umidade crítica. Confeccionar 2 padiolas a mais de areia, para 1 ponto porcentual acima e abaixo da umidade crítica, visando o esmero no controle. Além disso, proíbe-se o *coroamento* das padiolas, devendo ser totalmente preenchidas e rasadas com régua ou sarrafo resistente, a fim de manter a uniformidade do traço.

Verificar diariamente a mescla granulométrica do agregado (mistura do agregado total), conforme ditames da NBR 7217, para confirmar seu

enquadramento na faixa de referência estabelecida na dosagem. Entretanto, caso seja impraticável fazê-lo diariamente, em razão de um grande volume diário de produção, e se são mantidos o mesmo fornecedor, a mesma procedência e as boas condições dos agregados, esse ensaio granulométrico de verificação poderá ser realizado uma vez por semana.

Fazer a verificação da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima da mescla dos agregados sempre que houver alteração na distribuição granulométrica dos agregados.

Executar pelo menos uma vez por semana o ensaio de compactação, posto que o monitoramento do valor da massa específica aparente máxima seca em concordância com os parâmetros de dosagem é primordial para a obtenção do grau de compactação e, por extensão, da resistência mecânica do concreto. A norma a ser seguida é a NBR 7182 (ou DNER 40).

Dar ciência imediata dos resultados ao controle de pista.

Em usinas volumétricas, controlar o consumo de cimento por vazão, em que pese poder provocar variações no fornecimento do cimento, pois a vazão é alterada devido à variação da pressão interna do silo.

Ajustar a vazão por abertura ou fechamento da saída do silo e exigir que a proporção cimento : agregado seja monitorada pelo menos 2 vezes por dia.

Esse controle pode ser facilitado estabelecendo-se previamente o grau de abertura da saída do silo de acordo com a massa de cimento dentro dele. A verificação do consumo de cimento no início e no meio da jornada é procedida da seguinte forma:

- Na usina, liberar apenas o cimento em toda a extensão da esteira, desde a saída do silo até a entrada do misturador;
- Selecionar uma faixa de 2 m, recolher e pesar o cimento, cuidando para não perder material;
- Limpar a esteira e liberar a composição dos agregados, tomando uma porção na mesma região tomada para o cimento;

- Secar o agregado e fazer a proporção em massa entre cimento e agregado;
- Comparar com o valor de dosagem e ajustar a usina, caso necessário.

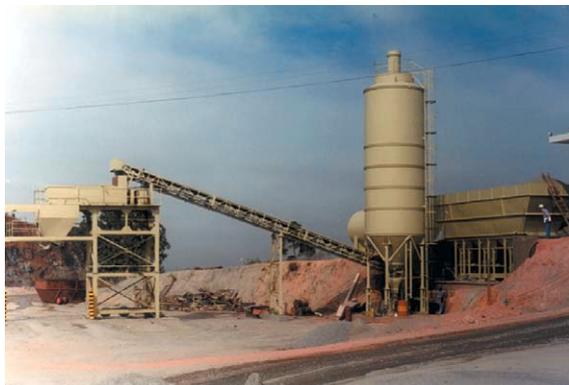


Figura 2 – Central gravimétrica dosadora

### 1.7 Qualidade do concreto fresco

Controlar a umidade do CR na usina a cada caminhão, até três resultados consecutivos constantes, passando a cada quatro caminhões após a obtenção da constância de resultados. Verificar a perda de umidade até a chegada do caminhão na pista, no início e no meio da jornada de trabalho.

No transporte por caminhão-basculante, exigir sua cobertura com lona para reduzir essa perda, conforme já dito anteriormente.

Para determinação da umidade lança-se mão do Método da Frigideira (NBR 6467).

O critério de aceitação baseia-se na umidade ótima, com tolerância de 1 ponto porcentual quanto ao desvio em torno dela, e na avaliação da perda de umidade até a pista.



Figura 3 – Transporte por caminhão-basculante

## 2 - CONTROLE DE VERIFICAÇÃO (NA PISTA)

Registrar todo concreto recebido na obra, identificando-se cada caminhão, o volume de concreto, a hora de adição de água, a hora de lançamento e compactação.

Formar lotes representativos de áreas que poderão variar de 1.000 m<sup>2</sup> (mínima) a 5.000 m<sup>2</sup> (máxima), dependendo da produção diária.

Verificar previamente a área demarcada pela topografia e fazer um croqui da área executada.

Amostrar o concreto no caminhão-basculante para o ensaio de umidade, antes do lançamento, evitando-se, assim, recebimento de material em desacordo com esse pré-requisito. Antes, avaliar visualmente a homogeneidade do concreto. Fazer a coleta em pontos diversos, evitando-se a parte superficial, e acondicionar o concreto em saco plástico para preservação da umidade.

No caso de transporte em caminhão-betoneira, coletar a amostra num carrinho-de-mão, após pequena descarga do concreto para esse fim.



Figura 4 – Transporte por caminhão-betoneira – descarga na pista

Para o **controle da umidade na pista**, faz-se a amostragem como na usina, ou seja, a cada caminhão até a constância de três resultados consecutivos, passando-se, então, à amostragem a cada quatro caminhões. Adotar o Método da Frigideira (NBR 6467).

O desvio máximo permitido em relação à umidade ótima para aceitação é de 1 ponto porcentual.

Concreto rolado com umidade fora do limite no ramo úmido pode ser aproveitado sem riscos, com a espera para a perda de umidade, desde

que esteja dentro do tempo hábil de utilização (cerca de 3 horas, dependendo do tipo de cimento e da ação de aditivo retardador porventura utilizado).

Rejeita-se o concreto rolado com umidade abaixo do limite no ramo seco, quando transportado por caminhão-basculante, posto que a água será insuficiente para hidratar o cimento e dificilmente será atingido o grau de compactação. No caso de caminhão-betoneira, por ser misturador e ser dotado de reservatório de água com medidor, pode-se aceitar o concreto após adição controlada de água (sem exceder ao prescrito na dosagem), até que se enquadre dentro dos limites de umidade especificados.

Proteger do vento a balança utilizada no campo para a pesagem da amostra de concreto para o ensaio de umidade.



Figura 5 – Amostragem do concreto no caminhão-basculante e acondicionamento em saco plástico



Figura 6 – Seqüência da amostragem no caminhão-basculante, antes do lançamento



Figura 7 – Coleta de amostra na pista, durante o espalhamento com vibroacabadora de asfalto



Figura 8 – Espalhamento do concreto com motoniveladora



Figura 10 – Espalhamento do concreto com vibroacabadora de asfalto



Figura 10 – Após a coleta na pista, corpos-de-prova já moldados e devidamente protegidos



Figura 11 – Controle da umidade do concreto – barraca de apoio



Figura 12 – Balança protegida do vento, durante a determinação da umidade do concreto



Figura 13 – Moldagem de corpo-de-prova cilíndrico, com soquete de 4,5 kg, na energia normal (após liberação da umidade)



Figura 14 – Acabamento da última camada do corpo-de-prova com régua metálica biselada



Figura 15 – Peneiramento do concreto sobre a última camada, utilizando-se a peneira de 4,8 mm, para o acabamento visto na figura anterior



Figura 16 – Abertura do furo para o ensaio do grau de compactação



Figura 17 – Coleta do concreto retirado do furo, com os devidos cuidados para não perder material, e acondicionamento em saco plástico



Figura 18 – Ensaio do grau de compactação com frasco de areia



Figura 19 – Quantidade de areia no furo durante o ensaio



Figura 20 – O grau de compactação irá depender da umidade do concreto, do tipo de rolo compactador, do número de passagens e do procedimento de operação do rolo



Figura 21 – Ensaio de resistência mecânica (compressão simples e tração na flexão), em prensa computadorizada



Figura 22 – Molhagem da camada de concreto rolado, antes da aplicação da cura



Figura 23 – Cura do concreto com pintura betuminosa

Para a moldagem dos corpos-de-prova destinados aos ensaios para **controle da resistência mecânica**, pode-se fazer a coleta após o lançamento e espalhamento, antes da compactação. Durante a moldagem a amostra coletada permanece em saco plástico fechado ou, quando no carrinho-de-mão, cobri-lo com plástico.

Para os ensaios de resistência mecânica faz-se a amostragem de todo caminhão, após liberados pelo ensaio de umidade.

Dependendo da produção da obra, cada lote será correspondente a 1.000 m<sup>2</sup> (mínimo) ou 5.000 m<sup>2</sup> (máximo) de pista.

As amostras serão constituídas por um mínimo de 6 exemplares de 2 corpos-de-prova cada, por lote.

Fazer a moldagem para o ensaio de resistência à compressão axial utilizando-se moldes cilíndricos de 15 cm x 30 cm, em 5 camadas, cada uma delas recebendo 30 golpes de um soquete com massa de 4,5 kg, de uma altura de queda de 45 cm, o que corresponde à energia normal de compactação (DNER 40 e NBR 7182).

Se exigido o controle da resistência à tração na flexão, caso do concreto rolado como base e revestimento ou base revestida, a moldagem será feita em moldes prismáticos de 15 cm x 15 cm x 50 cm, em 2 camadas, cada uma delas recebendo 160 golpes do mesmo soquete precitado (energia normal).

Faz-se o acabamento dos corpos-de-prova peneirando-se concreto no topo da última camada e rasando-a com uma régua metálica biselada.

Após a moldagem, colocar os corpos-de-prova em local seguro, livre de vibrações e cobertos com plástico ou película de cura, até serem enviados para o ensaio de resistência mecânica.

Os ensaios de resistência mecânica obedecerão ao preconizado nas normas NBR 5739 (compressão) e NBR 12142 (tração na flexão).

Quanto à resistência mecânica, a aceitação automática da camada de concreto rolado se dará quando:

$$f_{ck, est} \geq f_{ck}$$

ou

$$f_{ctMk, est} \geq f_{ctMk}$$

em que:

- $f_{ck, est}$  = resistência característica à compressão simples estimada, obtida por tratamento estatístico dos resultados da amostra;
- $f_{ck}$  = resistência característica à compressão simples especificada (ou de projeto);
- $f_{ctMk, est}$  = resistência característica à tração na flexão estimada, obtida por tratamento estatístico dos resultados da amostra;
- $f_{ctMk}$  = resistência característica à tração na flexão especificada (ou de projeto).

Se a camada de CR for rejeitada devido à resistência característica estimada ser inferior à especificada, extraem-se pelo menos 6 exemplares de corpos-de-prova da pista, com idade mínima de 14 dias, realizam-se novos ensaios de resistência mecânica e calcula-se a nova resistência característica. Havendo nova rejeição, toma-se uma das seguintes atitudes:

- **demolição e reconstrução;**
- **reforço da camada.**

Antes do **espalhamento**, verificar o nivelamento topográfico do subleito, com o objetivo de garantir a espessura mínima da camada de concreto rolado.

Observar a colocação das linhas sensoras nas bordas longitudinais do pavimento, para controle da espessura do colchão fofo e da camada compactada. Essas linhas (cabos de aço) devem obedecer a alinhamentos e cotas definidos em

projeto, esticadas e apoiadas em hastes metálicas fixadas na camada inferior, espaçadas de 5 m, de modo a evitar catenária.

As espessuras do colchão fofo e da camada compactada podem também ser controladas por altimetria ou, quando o espalhamento for manual e regularizado por sarrafo, em obras de pouco volume, por meio de colocação de mestras de madeira.

Para atingir a espessura de projeto, o colchão fofo deverá ter espessura cerca de 20 % a 25 % maior do que a de projeto.

Para o **controle de compactação** da camada de concreto rolado, cada lote corresponderá a 1.000 m<sup>2</sup> (mínimo) ou 5.000 m<sup>2</sup> (máximo) de pista, executando-se no mínimo 6 ensaios de compactação por lote, imediatamente após a compactação, conforme o Método do Frasco de Areia (NBR 7185), ou por meio de densímetro nuclear. Os ensaios obedecerão à seguinte ordem: borda direita, eixo, borda esquerda, eixo, borda direita (nas bordas, a 1 m delas).

Poderá ser aceita a liberação por ponto (1 ensaio para cada 10 m de pista, em local determinado pela fiscalização).

A aceitação automática quanto ao grau de compactação se dará quando:

$$GC_{est} \geq 100 \%$$

em que:

- $GC_{est}$  = grau de compactação estimado, obtido pelo tratamento estatístico dos resultados do ensaio.
- Se  $GC_{est} < 100 \%$  e qualquer  $GC_i$  (valor individual)  $< 100 \%$  ⇒ rebater o trecho.
- Se  $GC_{est} < 100 \%$  e todos  $GC_i \geq 100 \%$  ⇒ reensaia o trecho. Se do reensaio resultar  $GC_{est} \geq 100 \%$  ou todos os  $GC_i \geq 100 \%$ , mesmo com  $GC_{est} < 100 \%$  ⇒ trecho aceito.
- Se do reensaio continuar ocorrendo  $GC_{est} < 100 \%$  e qualquer  $GC_i < 100 \%$  ⇒ rebater o trecho até que se consigam as condições de aceitação.

**NOTA IMPORTANTE:** a recompactação do trecho será permitida somente se o concreto não tiver atingido o final de pega (em torno de 6 horas).

Assim, se essas operações de execução e de controle não forem ágeis, a fiscalização pode optar pela liberação do trecho por ponto, devendo cada ponto ensaiado apresentar  $GC \geq 100 \%$ .

Na coleta do material, tomar cuidado para o recolhimento de todo o concreto do furo, limpando as ferramentas e as bandejas e colocando todo o material dentro de saco plástico, para não perder umidade.

Manter o frasco calibrado (massa específica da areia), cheio com areia seca e na granulometria correta.

Calibrar periodicamente o valor da quantidade de areia do funil.

Para a compactação da camada de concreto rolado utilizam-se rolos lisos vibratórios autopropelidos de 10 t a 15 t.

Verificar o número necessário de passagens por faixa do rolo para atingir o grau de compactação (normalmente de 3 a 6), que deverá ser estabelecido no início da compactação. A primeira passagem é sempre sem vibração, apenas para acamar o material solto.

Para o **controle geométrico**, respeitar os mesmos lotes do controle de compactação e a mesma amostragem, ou seja, medindo-se a profundidade dos furos de compactação ou realizando medidas topográficas altimétricas, com nivelamento dos eixos e das bordas a cada 20 m, após as operações de espalhamento e compactação (ver norma de ensaio DNER 40 - Manual de Pavimentos Rígidos, vol. 1).

Para aceitação automática do lote:

$$h_m \geq h \quad e \quad |\Delta h| \leq 0,10 h$$

em que:

- $h_m$  = espessura média dos valores medidos;
- $h$  = espessura de projeto;
- $\Delta h$  = variação da espessura em relação à de projeto.

Quanto à **cura do concreto rolado**, verificar se o material atende às especificações de projeto, se o equipamento espargidor está regulado e se há utilização de abas protetoras, as quais evitarão a perda excessiva do produto pela ação do vento.

Na inspeção para observação da manutenção da taxa de aplicação e da homogeneidade da cura, fazer duas verificações diárias, no mínimo, sendo visual a da homogeneidade.

Para o ensaio da taxa de aplicação, utilizar bandejas colocadas na pista no momento da aplicação, exigindo-se para a aceitação: material em conformidade com o projeto e taxa de aplicação <sup>3</sup> taxa especificada (ou de projeto).

Imediatamente antes da cura, molhar a camada a fim de que o material de cura não penetre na camada e prejudique a hidratação do cimento.

Na cura podem ser utilizados produtos químicos geradores de película plástica, à base de acetato de polivinila, ou pintura betuminosa (normalmente CM-30).

Procede-se à cura da camada de concreto rolado por ser de suma importância, pois além de evitar a perda de umidade do concreto, auxiliando a hidratação do cimento, também impermeabiliza a camada, evitando a infiltração de água nas camadas subjacentes, o que criaria regiões deformáveis.

**Autoria:** Grupo de Especialistas em Pavimentação da ABCP



Associação  
Brasileira de  
Cimento Portland

Av. Torres de Oliveira, 76 • 05347-902 • São Paulo - SP  
Informações: 0800-555776 • [dcc@abcp.org.br](mailto:dcc@abcp.org.br) • [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br)