

PAVIMENTO de CONCRETO

Controle Tecnológico da Qualidade da Camada de Concreto Simples

Concreto simples para pavimento é o concreto com capacidade portante para combater, por si só, as tensões solicitantes, posto que não contém qualquer tipo de armadura com função estrutural (daí o nome **concreto simples**), não se considerando como tal armaduras especiais que compõem os sistemas de ligação ou de transferência de carga entre as placas delimitadas pelas juntas longitudinais e transversais, e as eventuais armaduras de malha quadrada (armaduras de retração) para combater fissuração em placas de formato irregular ou de comprimento fora dos padrões usuais.

O controle tecnológico do concreto simples 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.



Figura 1 – Verificação do concreto como material



Figura 2 – Verificação da compatibilidade do transporte com as características do concreto



Figura 3 – Verificação da resistência mecânica do concreto

1 – CONTROLE PREVENTIVO

1.1 Recebimento e estocagem dos materiais

No laboratório central, verificar se as amostras recebidas estão de acordo com as normas de amostragem pertinentes (NBR 5741 – cimento, NBR 7216 – agregado e NBR 11768 - aditivos). A amostragem da água disponível deverá estar conforme a NBR NM 137. As eventuais armaduras obedecerão à NBR 7480.

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 simples

Ensaia o cimento e os agregados em laboratório idôneo (laboratório central), 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, definir a consistência em função da trabalhabilidade compatível com o equipamento pavimentador e determinar o teor ótimo de argamassa.

Elaborar a curva de Abrams para três valores diferentes da relação água/cimento (de 0,40 a 0,50), definindo-se o traço que atende à resistência mecânica especificada, da maneira mais econômica.

O consumo mínimo de cimento é de 320 kg/m³, de acordo com a NBR 7583.

Verificar a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67/98), para abatimento ≥ 20 mm, e pelo Vebe (DNER ME 94) ou caixa de Walz (DNER 24), para abatimento < 20 mm. Medir o teor de ar incorporado segundo a NBR NM 47, que deverá ficar na faixa de 2 % a 5 %.

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, será feita em uma única camada, preferencialmente com vibrador de imersão, conforme a NBR 5738.

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm, para os ensaios de resistência à compressão simples, com o objetivo de se definir uma correlação confiável com a resistência à tração na flexão, também obedecerá à NBR 5738.

Após a moldagem, levar os corpos-de-prova para a câmara úmida ou tanque de cura, onde permanecerão até a data do ensaio de resistência mecânica (NBR 5739 – resistência à compressão – e NBR 12142 – resistência à tração na flexão).

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. Essa 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 dos agregados e a procedência dos materiais são as mesmas daqueles levados ao laboratório central e de campo para ensaios e dosagem. Somente depois dessas verificações a produção poderá ser liberada para a execução da camada.



Figura 4 – Análise da dosagem e materiais

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.



Figura 5 – Central gravimétrica misturadora, para transporte do concreto por caminhão-basculante



Figura 6 – Comando computadorizado de central gravimétrica

1.4 Equipamento de execução

Inspeccionar todo o equipamento especificado para transporte e execução da camada de concreto simples.

No caso de transporte por caminhão-basculante, exigir sua cobertura com lona para evitar perda excessiva de umidade por evaporação, devendo ser retirada somente no momento da descarga. 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. O transporte por caminhão-betoneira fica condicionado ainda à consistência do concreto, já que abatimentos inferiores a 40 mm causam problemas na descarga. A redosagem do aditivo plastificante resolve esses tipos de empecilho.

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. É necessário, portanto, o perfeito entrosamento entre o laboratório de controle (de campo) 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 Exedito (*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 deverá ser produzido, preferencialmente, em central gravimétrica, cuja produtividade deverá estar regulada para ser compatível com a capacidade produtiva do equipamento pavimentador.

Permite-se a dosagem volumétrica para obras de baixo volume de concreto, em central com produção satisfatória, desde que haja medidor de água, sendo 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 o aspecto do concreto, certificando se são mantidos o mesmo fornecedor, a mesma procedência e as boas condições dos materiais constituintes.

Dar ciência imediata dos resultados ao controle de pista.

1.7 Qualidade do concreto fresco

Controlar a consistência do concreto na usina a cada caminhão, por um dos métodos anteriormente referidos, 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. Conferir também o teor de ar incorporado, conforme NBR NM 47. Inspeccionar visualmente todo caminhão, observando ainda a aparência do concreto quanto ao teor de argamassa, e executar o ensaio de consistência quando necessário.

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

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 no máximo 1.000 m³ de concreto ou 5.000 m² de área pavimentada.

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

Amostrar o concreto no caminhão-basculante para o ensaio de consistência, 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.

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

Com a mesma freqüência adotada para o controle na usina, e utilizando as mesmas metodologias de ensaio prescritas, verificar a **consistência** e o **teor de ar incorporado** do concreto recém-chegado na pista, que deverão estar dentro da faixa especificada. Inspeccionar visualmente todo caminhão, antes de sua liberação para descarga.



Figura 7 – Análise visual do concreto recém-chegado na pista



Figura 8 – Preenchimento e acabamento do recipiente para verificação do teor de ar incorporado pelo método pressiométrico



Figura 9 Colocação de água para retirada de ar, antes da leitura do teor de ar incorporado (método pressiométrico)

Interromper a concretagem sempre que houver dificuldade de manutenção da consistência e do teor de ar incorporado dentro da faixa especificada, até a resolução do problema.

No que diz respeito à **cura do concreto**, verificar se a cura inicial está sendo procedida imediatamente após a terminação superficial da camada, antes que se completem as duas primeiras horas posteriores a essa operação.

Certificar se o produto químico gerador de película plástica é de cor clara e se foi aprovado em teste de laboratório, devendo atender à ASTM C 309, com taxa de evaporação máxima de 0,55 kg/m² em 72 horas.

Verificar o equipamento aspersor do produto, se está regulado e dotado de abas de proteção para evitar espalhamento do agente de cura pela ação do vento, o que será prejudicial à intensidade e

homogeneidade de aplicação e, conseqüentemente, acarretando fissuração por retração plástica logo após a aplicação do concreto, momento em que é alta a taxa de evaporação.

É importante verificar se o produto está sendo aplicado também nas laterais da pista.



Figura 10 – Cura química por meio de máquina aplicadora



Figura 11 – Máquina aplicadora de cura química, sem aba de proteção, notando-se perda de produto pela ação do vento

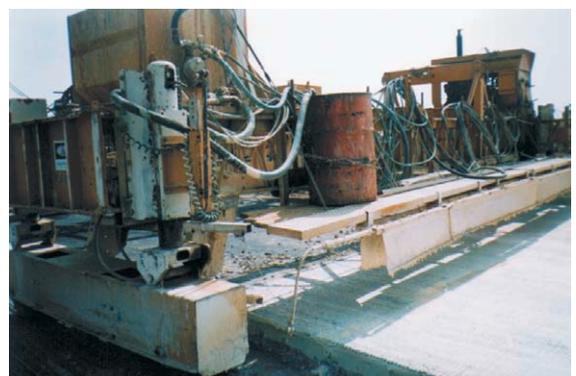


Figura 12 – Máquina aplicadora de cura química, com aba de proteção



Figura 13 – Aplicação manual de cura química, aspersor costal. Notar que o bico deveria estar mais próximo da superfície, para não ocorrer perda de produto

Na inspeção da homogeneidade e taxa de aplicação, fazer no mínimo duas verificações diárias, sendo que a homogeneidade é observada visualmente. Dependendo das condições climáticas (calor, baixa umidade relativa do ar e vento constante), providenciar o aumento da taxa de aplicação devido ao aumento da taxa de evaporação.

Para verificação da taxa de aplicação do produto, utilizar bandejas colocadas na pista no momento da aplicação.

A cura será aceita se o material tiver sido aprovado em ensaio de laboratório e se a taxa aplicada for igual ou maior do que a taxa de projeto.

A taxa de aplicação usual varia de 200 ml a 500 ml por metro quadrado de pavimento, tendendo para o limite superior quando a ambiência é desfavorável ou quando se deseja que o produto químico cumpra também a cura final. Essa taxa deve ser definida em projeto, pela consultoria da obra ou por recomendação do controle tecnológico.

No caso de taxa de evaporação muito elevada, pode-se exigir a cura úmida final, 24 horas a 72 horas após a aspersão do produto químico, tempo suficiente para que a superfície do concreto não seja marcada pela manta de cura, lençol plástico, ou qualquer outro material que deverá ser mantido constantemente umedecido durante, no mínimo, 7 dias.



Figura 14 – Cura úmida com mantas constantemente umedecidas

Para **controle da resistência à tração na flexão**, retirar uma amostra representativa de cada lote inspecionado e de um número inteiro de placas do pavimento, constando de 32 exemplares de 2 corpos-de-prova prismáticos cada, com dimensões de 15 cm x 15 cm x 50 cm, moldados de uma mesma amassada e no mesmo ato (adensados preferencialmente com vibrador de imersão), conforme a NBR 5738, curados sob os ditames dessa mesma norma, e ensaiados em concordância com a NBR 12142 (ensaio dos 2 cutelos). Amostrar todo caminhão para a moldagem dos corpos-de-prova.



Figura 15 – Moldagem de corpos-de-prova prismáticos e cilíndricos de uma mesma amassada que, após curados, serão destinados aos ensaios de resistência mecânica



Figura 19 – Corpos-de-prova prismáticos, devidamente adensados e curados



Figura 20 – Ensaio de resistência mecânica em prensa computadorizada

Toma-se como valor da resistência do exemplar o maior dos valores de resistência dos 2 corpos-de-prova que o compõem.

Para a **aceitação** do concreto, sendo $f_{ctM, k}$ a resistência característica à tração na flexão de projeto, o valor estimado de sua resistência característica é assim calculado:

$$f_{ctM, est} = \bar{f}_{ctM, j} - 0,84 \times s$$

em que:

- $f_{ctM, est}$ = resistência característica estimada do concreto à tração na flexão;
- $\bar{f}_{ctM, j}$ = resistência média do concreto da amostra, à tração na flexão, na idade j dias;
- s = desvio padrão da resistência média da amostra, à tração na flexão.

Calculam-se:

$$\bar{f}_{ctM, j} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{n-1} + f_n}{n}$$

$$S = \left[\frac{\sum (\bar{f} - f_i)^2}{n - 1} \right]^{0,5}$$

sendo:

- \bar{f} = resistência média dos exemplares da amostra
- f_i = resistências individuais = $f_1, f_2, \dots, f_{n-1}, f_n$
- n = número de exemplares, igual a 32

A aceitação automática se dará quando:

$$f_{ctM, est} \geq f_{ctM, k}$$

No caso de **rejeição** do concreto ($f_{ctM, est} < f_{ctM, k}$), extrair no mínimo 6 corpos-de-prova para cada 1.000 m² de pista, de acordo com a ASTM C 42, e submetê-los ao ensaio de tração na flexão preconizado pela NBR 12142.

Calcula-se a nova resistência característica da seguinte forma:

$$f_{ctM, est} = \bar{f}_{ctM, j} - ts$$

em que:

- $\bar{f}_{ctM, est}$, $f_{ctM, j}$ e s já foram definidos anteriormente
- t = parâmetro estatístico da distribuição de Student, função da confiabilidade de 80 % e do grau de liberdade (v) = $n-1$ (sendo n o número de corpos-de-prova extraídos, considerando 1 corpo-de-prova = 1 exemplar)

OBSERVAÇÃO

a) se $n \leq 17 \Rightarrow$ acrescentar 10 % no valor de $f_{ctM, est}$

b) se $n \geq 18 \Rightarrow$ acrescentar 15 % no valor de $f_{ctM, est}$

No caso de nova rejeição quanto à resistência característica estimada ($f_{ctM, est} < f_{ctM, k}$), toma-se uma das seguintes decisões:

- Revisão do projeto;
- Demolição e reconstrução da camada;
- Reforço da camada;
- Aceitação da camada com restrição ao uso e ao carregamento.

Havendo uma correlação confiável entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão, o controle poderá ser feito pela resistência à compressão, mantendo-se o mesmo tamanho dos lotes e a amostragem, só que se tratando de corpos-de-prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm, moldados e curados conforme a NBR 5738 e ensaiados de acordo com a NBR 5739.

Os critérios de aceitação e rejeição são análogos aos da resistência à tração na flexão, trocando-se $f_{ctM, k}$ por f_{ck} , $f_{ctM, est}$ por $f_{ck, est}$ e $\bar{f}_{ctM, j}$ por \bar{f}_{cj} , sendo:

- f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão simples de projeto;
- $f_{ck, est}$ = resistência característica estimada do concreto à compressão simples;
- f_{cj} = resistência média do concreto da amostra, à compressão simples, na idade de j dias.

Em pequenas obras, com produção diária máxima de 60 m³ de concreto, a amostra poderá ser composta por um mínimo de 6 exemplares de 2 corpos-de-prova prismáticos cada, seguindo-se os mesmos critérios para aceitação ou rejeição da camada. Neste caso, o parâmetro estatístico t é também definido pela distribuição de Student, em função da confiabilidade de 80 % e do grau de liberdade (v), igual a $n-1$.

Quanto ao **controle geométrico**, verificar a espessura por meio de medidas topográficas altimétricas.

Para garantir o atendimento da espessura de projeto, é necessário que se faça, previamente ao lançamento do concreto, a verificação da adequada fixação das linhas-guias nas duas laterais da pista, seu alinhamento e nivelamento antes do início de cada jornada de trabalho. Se por acaso sofrerem deslocamentos, elas terão de ser reposicionadas e verificadas novamente.

No caso de existirem fôrmas; colocação, fixação, alinhamento e verificação de fundo de caixa obedecerão ao prescrito na NBR 7583.

O tamanho do lote onde se fará a verificação da espessura será igual ao definido para o controle da resistência mecânica, ou seja, corresponderá a um máximo de 1.000 m³ de concreto ou 5.000 m² de área pavimentada.

Executar no mínimo 6 medidas topográficas altimétricas por lote, em pontos representativos preestabelecidos.

Calcular a espessura média das placas de concreto do lote assim:

$$h_m = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}{n}$$

em que:

- h_m = espessura média das medições do lote inspecionado;
- h_1, h_2, \dots, h_n = espessuras individuais medidas;
- n = número de medições feitas, mínimo de 6.

Para aceitação automática:

$$h_m \geq h \text{ e } \Delta h \leq 10 \text{ mm}$$

sendo:

- h = espessura de projeto;
- Δh = variação entre as espessuras individuais medidas.

Decisão para não-aceitação automática:

$$(h_m < h)$$

- Extrair pelo menos 6 corpos-de-prova cilíndricos do mesmo lote onde ocorreram as medições altimétricas, em pontos preestabelecidos e bem representativos do lote.
- Medir diretamente a altura dos corpos-de-prova extraídos, descartar o menor valor, e calcular a nova média aritmética.

O lote será aceito se:

$$(h_m \geq h)$$

Caso haja nova rejeição, toma-se uma das seguintes decisões:

- Revisão do projeto;
- Demolição e reconstrução da camada;
- Reforço da camada;
- Aceitação da camada com restrição ao uso e ao carregamento.

Quanto ao **conforto de rolamento**, verificar a irregularidade superficial pela passagem diária de um perfilógrafo, cujo índice não deverá ultrapassar 240 mm/km.



Figura 18 – Perfilógrafo Califórnia para verificação do conforto de rolamento



Figura 19 – Roda sensora livre do perfilógrafo para captar movimentos verticais, os quais são enviados para um computador



Figura 20 – Computador que grava os desvios verticais, traçando o perfil do pavimento

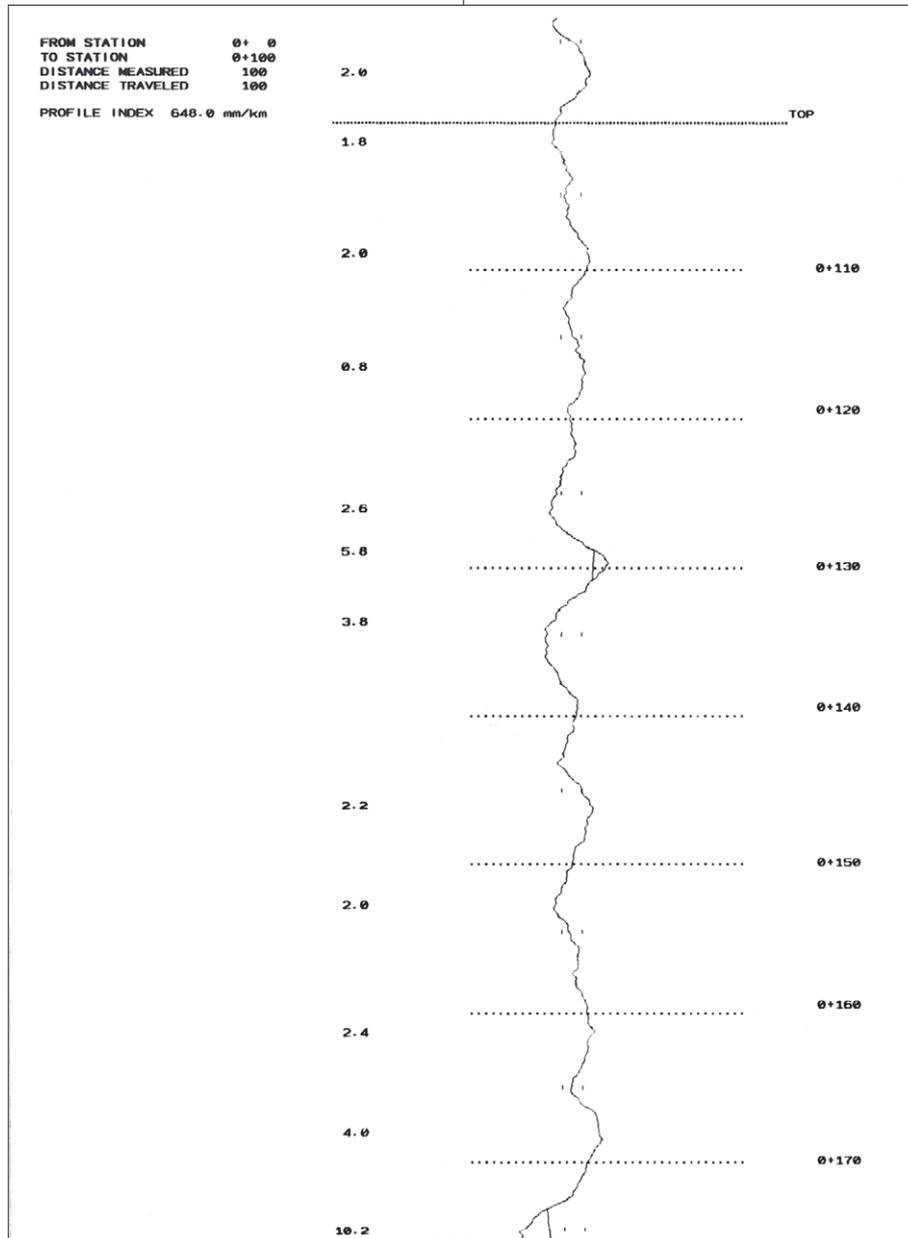


Figura 25 – Perfil da pista registrado pelo perfilógrafo

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 • www.abcp.org.br