

**VI CONGRESO DE PATOLOGÍA DE LA  
CONSTRUCCIÓN Y VIII DE CONTROL DE CALIDAD  
SANTO DOMINGO, REPUBLICA DOMINICANA  
DEL 9 AL 12 DE OCTUBRE DEL 2001**

*POR UNA MEJOR CONSTRUCCIÓN*

**PATOLOGIA E AVALIAÇÃO DAS OBRAS  
DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO DE  
CONCRETO DA PISTA DE JUSANTE DA  
USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU**

**Carlos Williams U. Carrión**  
**Eng. Consultor, Professor Assistente Univ. Anhembi Morumbi.**

**VI CONGRESO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y  
VIII DE CONTROL DE CALIDAD**

**PATOLOGIA E AVALIAÇÃO DAS OBRAS DE RESTAURAÇÃO DO  
PAVIMENTO DE CONCRETO DA PISTA DE JUSANTE DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE ITAIPU**

**Carlos Williams U. Carrión**

**Eng. Consultor, Professor Assistente Univ. Anhembi Morumbi**

**RESUMO**

Apresentamos neste trabalho o Projeto de Restauração do Pavimento de Concreto da pista de jusante da UHE ITAIPU localizada na elevação 144,00 Inicialmente constatamos deslocamentos longitudinais das placas de concreto que ocorreram gradativamente 05(cinco ) anos após o termino da construção, tornando-se mais acentuados no Bloco U-7 e atingindo em torno de 0,40m no Bloco AMD-3. A seguir , no sentido da margem direita observamos a iminente possibilidade dos dispositivos de drenagem superficial ficarem parcial ou totalmente obstruídos com a conseqüente danificação da impermeabilização da cobertura da Casa de Força da Usina.

Assim, foi realizado um acompanhamento periódico dos deslocamentos, levantamento das condições atuais da impermeabilização da laje de cobertura da Casa de Força tentando identificar focos de infiltração, levantamento das condições das juntas de dilatação e das juntas longitudinais e transversais das placas de concreto da estrutura principal das unidades U1 a U15. Os principais defeitos diagnosticados no pavimento de concreto foram: fissuras devido à inadequação da cura do concreto, esborcinamento de juntas transversais que entraram em colapso prematuro, fissuras longitudinais e transversais e o empenamento de algumas placas devido à variação brusca de temperatura. De outro lado, foram diagnosticadas as principais causas dos deslocamentos tais como: o excessivo tráfego de equipamentos pesados com cargas por eixo acima do previsto no Projeto acelerando o colapso das juntas transversais, o efeito da dilatação térmica das placas de concreto que praticamente trabalhavam isoladas da estrutura devido à presença da camada de impermeabilização. Como conseqüência, ocorreu o comportamento inadequado do selante que não evitou à penetração de materiais incompressíveis nas juntas o que ocasionou o continuo e permanente esborcinamento das juntas; e as severas variações de temperaturas a que foram submetidas as placas de concreto trouxeram como resultado, inesperados danos decorrentes do deslocamento das placas. Finalmente, apresentamos Projeto de Restauração do pavimento seguido de recomendações técnicas principalmente no concernente a projeto geométrico das juntas transversais e adoção de juntas longitudinais de construção com barras de ligação visando dar maior rigidez ao sistema .

# ÍNDICE

**1 – Introdução**

**2 – Projeto do Pavimento de Concreto**

**3 – Características das Juntas do Pavimento de Concreto**

**3.1. – Tipos de Juntas**

**3.1.1 – Juntas Transversais de Retração/Dilatação**

**3.1.2 – Juntas Transversais de Controle**

**3.1.3 – Juntas Longitudinais de Articulação**

**3.2 – Selagem das Juntas**

**4 – Armaduras**

**4.1 - Barras de transferência**

**4.2 – Barras de ligação**

**4.3 - Armaduras de distribuição**

**5 – Seção Tipo do Pavimento de Concreto**

**6 – Construção do Pavimento de Concreto**

**7 – Análise do Problema**

**7.1 – Análise dos Defeitos do pavimento**

**7.2 - Classificação dos defeitos do pavimento**

**7.2.1 – Fissuras devido a inadequação da Cura do Concreto**

**7.2.2 – Fissuras Longitudinais**

**7.2.3 – Esborcinamento de Juntas Transversais**

**7.2.4 – Fissuras Transversais**

**8 – Prováveis Causas do Fenômeno**

**9 – Obras de Restauração do Pavimento de Concreto**

**10 – Conclusões**

**11 – Recomendações técnicas**

**12 – Referências Bibliográficas**

## **1 – INTRODUÇÃO**

Os pavimentos de concreto são estruturas que devem suportar, na maior parte das vezes, solicitações tão diferenciadas em magnitude quanto em tipo e forma de atuação, o que lhes torna sua concepção e projeto em atividades que exigem precauções extremadas, posto que o partido adotado deve ser a solução que resolva e controle todas as situações de carga, além de oferecer resultados economicamente viáveis.

Dentre os fatores que determinam a qualidade, a serventia e a durabilidade de um pavimento rígido, um dos principais é o adequado controle das tensões advindas dos fenômenos de contração e expansão do concreto.

Tais tensões podem originar fissuras no pavimento, as quais, sob a ação de agentes externos como o tráfego e as condições ambientais, apresentam a tendência natural de aumentar de tamanho, tanto em abertura quanto em profundidade.

O método da PCA – **Portland Cement Association** preconizado pela ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland no dimensionamento de pavimentos de concreto, prevê para o controle das fissuras do concreto a adoção de seções artificialmente enfraquecidas, isto é, juntas orientadas e espaçadas de tal forma que provoquem a ocorrência de fissuras exatamente nas seções pré-determinadas.

A fissuração produzida pela superposição dos efeitos de retração e expansão do concreto é em geral orientada transversalmente ao eixo longitudinal do pavimento, podendo aparecer sob a forma de fissuras inclinadas em relação ao mesmo eixo quando as condições ambientais e o método de cura adotado não forem adequados.

Trata-se de fissuras que na maioria das vezes são evitadas através da implantação de juntas transversais de retração e expansão.

## **2 – PROJETO DO PAVIMENTO DE CONCRETO**

As placas de concreto de cimento Portland foram projetadas, tendo como sub-base a estrutura de concreto armado da cobertura da Casa de Força- cota 144,00m.

Conforme especificação técnica, sobre essa estrutura de concreto estava prevista a aplicação de uma camada de regularização seguida de uma camada impermeabilizante à base de neoprene em solução e hypalon. Sobre a impermeabilização seria executada uma camada de amortecimento constituída de feltros asfálticos 500/20, entremeados com um mastique anticompressão. A seguir sobre a camada de amortecimento foram aplicadas placas de concreto com armadura sem função estrutural, com juntas de retração de 1,00 cm a cada 8,50 m no sentido longitudinal e cada 4,38 m no sentido transversal, com profundidade aproximada de 5cm (Vide Desenho 01).

## **3 – CARACTERÍSTICAS DAS JUNTAS DO PAVIMENTO DE CONCRETO**

Conforme Especificações Técnicas e visando eliminar a possibilidade de aparecimento de fissuras foram projetados 03 (três) tipos de juntas, isto é; juntas transversais de retração, juntas transversais de controle e juntas longitudinais de articulação.

### **3.1. – TIPOS DE JUNTAS**

#### **3.1.1 - Juntas transversais de retração/dilatação**

Foram projetadas a cada 34,00 m coincidindo com as juntas da estrutura de concreto armado da cobertura. Estas juntas tem a função de controlar fissuras decorrentes da variação volumétrica

do concreto possibilitando a expansão ou contração do trecho de pavimento compreendido entre duas juntas de dilatação, além de propiciar transferência de carga de uma placa para outra através de barras de transferência

### **3.1.2 - Juntas transversais de controle**

Foram projetadas a cada 8,50m, sendo juntas serradas na superfície com posterior preenchimento do reservatório através de selante a base de mastique elástico aplicado a frio, tendo como função principal direcionar as trincas decorrentes principalmente da variação térmica e controlar todas as situações de carga.

### **3.1.3 - Juntas longitudinais de articulação**

Foram planejadas para controle de fissuras longitudinais decorrentes do empenamento das placas. Funcionam como juntas de construção, tendo sido adotado espaçamento de 4,38m decorrente da grandeza das tensões devidas ao empenamento.

Trata-se de juntas articuladas tipo macho e fêmea, providas de dispositivos de ligação, com o objetivo de dar maior rigidez ao sistema.

## **3.2 – SELAGEM DAS JUNTAS**

Foram projetadas juntas longitudinais e transversais tendo-se dimensionado o reservatório do selante com 1,0 cm de largura e 5,0 cm de profundidade. Foi especificado como material selante de juntas o mastique elástico aplicado a frio a base de poliuretano.

## **4 - ARMADURAS**

### **4.1 – BARRAS DE TRANSFERÊNCIA**

O projeto de placas de pavimento de concreto idealizado para as **unidades U1 até U15** da pista de jusante, inclui barras de transferência Aço CA-24 nas juntas transversais de retração.

O dimensionamento destas barras baseou-se principalmente na magnitude e tipo de cargas atuantes e na espessura da placa projetada, tendo-se adotado diâmetro 20 mm ,com 35cm de comprimento, devendo as barras ter uma das metades pintadas e engraxadas, de forma a serem imunes à oxidação e permitirem o livre movimento da junta quando da contração ou expansão da placa.

### **4.2 – BARRAS DE LIGAÇÃO**

Nas juntas longitudinais de articulação foram projetadas barras de ligação ou ligadores em Aço CA-50, tendo-se adotado diâmetro 10 mm a cada 50 cm ,com 84 cm de comprimento visando manter as faixas de tráfego livres de possíveis movimentos laterais, e assegurar que, unidas, possibilitem a transferência de carga pela entrosagem dos agregados ou pelo encaixe macho-fêmea.

### **4.3 – ARMADURAS DE DISTRIBUIÇÃO**

As placas de concreto projetadas apresentam armadura distribuída descontínua sem função estrutural com no máximo 0,3% da seção transversal, tendo sido dimensionadas com diâmetro

5,6 mm c/ 30,0 cm como armadura transversal e diâmetro 7,1mm c/ 10,0 cm como armadura longitudinal.

Esta armadura não colabora na resistência da estrutura aos esforços de flexo-tração e é colocada acima da meia seção da placa, a pelo menos 5,0 cm da superfície de rolamento, e tem a função de impedir que as fissuras devidas a retração inicial do concreto sejam capazes de permitir as infiltrações prejudiciais à sanidade e à durabilidade do pavimento. A descontinuidade da armadura distribuída se deve a interrupção na região das juntas transversais.

## 5 – SEÇÃO TIPO DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Face ao exposto nos itens 3.1/3.2, os dados técnicos do pavimento de concreto projetado na pista de jusante C/D – elevação 144,00 são:

- Pista simples com duas faixas de tráfego com 8,75m de largura e aproximadamente 750,00m de comprimento e 1,4 % de inclinação transversal simétrica em relação ao eixo (Vide Desenho 01).
- Placas de concreto com 15 cm de espessura média, largura de 4,375m e 34,00 m de comprimento
- Módulo de ruptura a tração na flexão, aos 28 dias, igual a 45 kgf/cm<sup>2</sup> (ASTM- C78)
- Barras de transferência: ø 20mm c/ 30 cm (CA-24 liso) com 35,00 cm de comprimento
- Barra de ligação: ø 10 mm c/ 55 cm (CA-50) com 84,00 cm de comprimento, sendo 61 barras em cada placa
- Juntas transversais de retração pré- moldadas, com 5,00 cm de profundidade e 1,00 cm de abertura dotadas de barras de transferência de 34,00 em 34,00 m (vide Desenho 02).
- Juntas transversais de controle pré-moldadas, com 5,00 cm de profundidade e 1,00 cm de abertura sem barras de transferência (Vide Desenho 03).
- Juntas longitudinais de articulação, não serradas, tipo macho-fêmea, dotadas de barras de ligação (Vide Desenho 04)
- As juntas foram seladas com mastique elástico aplicado a frio a base de poliuretano.
- Sub-base em concreto armado com espessura variável (laje de cobertura da Casa de Força)

## 6 – CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Baseado nas informações técnicas fornecidas pela Obra elaboramos o Cronograma Físico de Concretagem das placas do pavimento de jusante – Cota 144,00, observando-se que a programação de construção do pavimento foi realizada em função do projeto geométrico de juntas (Vide Desenho 05) longitudinais e transversais, criando-se deste modo 8 (oito) sub-placas para cada unidade.

As placas e/ou sub-placas foram executadas alternadamente com concreto refrigerado D-350 que foi transportado por caminhões betoneira, sendo o espalhamento efetuado por carriolas e o adensamento com vibradores de imersão tipo NF-90. Foram obedecidos rigorosamente os projetos de forma a armação do pavimento de concreto.

Quanto ao tipo de cimento, foi empregado Cimento Portland Comum com adição de 15% de cinza volante em relação ao volume de aglomerante, não tendo sido detectada reatividade entre o agregado e o cimento empregado.

Quanto aos coeficientes de Expansão Térmica dos materiais componentes do concreto, temos:

Agregado:  $5,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Pasta:  $18,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Argamassa:  $10,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Concreto:  $8,4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

A cura do concreto foi executada por via úmida, por período aproximado de 14 dias.

A resistência a compressão axial média, aos 28 dias de idade, do concreto aplicado na pavimentação foi da ordem de 52,0 MPa, podendo-se considerar que a resistência a tração na flexão média obtida naquela idade, seja de 6,5 MPa.

Convém salientar que durante todo o tempo decorrido para a construção das placas de pavimento de concreto, o tráfego de equipamentos e veículos de transporte na pista C/D desde o AMD-2 até AMC-2 nunca foi interrompido, face a ter-se adotado programação de concretagem em sub-placas alternadas montante/jusante.

Os trens-tipo que normalmente trafegavam durante a construção do pavimento foram principalmente:

- Terex R-22
- Guindaste PH – 20t
- Caminhões betoneiras com 3 eixos
- Caminhões Mercedes 1115
- Carretas Scania 8 eixos

Com relação ao Cronograma Físico Executivo da concretagem das placas do pavimento de jusante, ocorreu interrupção de aproximadamente um ano e meio nos serviços de construção das placas do pavimento de concreto, fato que posteriormente influiria no comportamento do pavimento em questão.

## 7 – ANÁLISE DO PROBLEMA

Foram vistoriadas as placas de concreto do pavimento de jusante da elevação 144,00 constatando-se que os deslocamentos tornam-se mais crescentes e acentuados a partir do bloco U-7 atingindo em torno de 0,40 m na outra extremidade AMD-3 .

Verificou-se ainda que caso continuarem evoluindo os deslocamentos longitudinais das placas no sentido da margem direita, tornar-se-á iminente a possibilidade de os dispositivos de drenagem ficarem parcial ou totalmente obstruídos (**Vide Desenho 06**)

Visando estabelecer imediatas medidas corretivas e otimizar o estudo da solução mais adequada para o problema do deslocamento das placas de concreto do pavimento de jusante da cota 144,00, recomendamos o levantamento dos seguintes dados técnicos e informações para o trecho indicado:

- Período de construção do pavimento de concreto a reparar
- Método executivo empregado e tipos de equipamentos utilizados nas obras de pavimentação
- Resultados de ensaios realizados visando o controle tecnológico da execução das Obras de Pavimentação especialmente no concernente a composição mineralógica dos agregados, retração volumétrica inicial do concreto, tipo de cimento empregado, coeficiente de

expansão térmica dos materiais constituintes do concreto e ensaios de verificação de reatividade potencial do agregado, com os alcalis do cimento, etc.

- Condições em que procedeu-se ao período de cura, e medidas especiais eventualmente adotadas
- Informações e medições periódicas referentes aos deslocamentos ocorridos
- Acompanhamento periódico e levantamento das condições gerais e específicas da impermeabilização da laje de cobertura da Casa de Força, no trecho em estudo, visando identificar focos de infiltração eventualmente existentes
- Levantamento das condições das juntas de dilatação da estrutura de concreto principal na cota 144,00 m, das unidades U1 a U15
- Composição de tráfego médio diário inicial, incidente no período decorrido entre a abertura ao tráfego e a data da vistoria, e principalmente magnitudes das cargas por eixo atuantes neste período de vida útil do pavimento.

Após 04 (quatro) meses recebemos da Obra a maioria dos dados de construção e de observação solicitados, que de imediato passaram a ser analisados visando diagnosticar as prováveis causas de deterioração e de deslocamento das placas de concreto.

A seguir, nova vistoria técnica foi realizada constatando-se o estado precário das juntas longitudinais e transversais das placas do pavimento de concreto da pista de jusante além de verificar prováveis focos de infiltração na impermeabilização da laje de cobertura da Casa de Força.

Verificamos que devido a presença de um bloqueio das placas na **AMC – Área de Montagem Central**, os deslocamentos ocorreram longitudinalmente somente para o lado contrário.

Por outro lado, devido aos sucessivos movimentos de expansão e contração das placas vinha ocorrendo a penetração de partículas sólidas para o interior das juntas transversais no período de contração das placas. Face a freqüentes temperaturas elevadas, as placas de concreto originaram trincas de retração que tendem a fechar dando origem a tensões de compressão que, inevitavelmente provocavam o aparecimento de trincas na região das juntas e o seu progressivo esborcinamento.

Observou-se ainda que as bordas das calçadas estavam na sua maioria estouradas, além do mais as placas de concreto das calçadas apresentavam movimento rotacional, o que sem sombra de dúvida comprova que parte do problema deve ser atribuída a camada de amortecimento , camada que faz parte da superestrutura do pavimento executado.

Constatamos ainda ,que o deslocamento longitudinal ocorrido no pavimento de concreto, não aconteceu com a mesma intensidade nas calçadas laterais . Outrossim, ocorreram sérias danificações nas placas de concreto das calçadas, que apresentavam-se mais acentuadas nas imediações das juntas transversais.

Com relação aos reservatórios dos selantes das juntas transversais estavam seriamente danificados tendo-se realizado medições das aberturas das juntas verificando-se que o problema agravou-se.

## 7.1 – ANÁLISE DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO

O levantamento dos deslocamentos e defeitos visíveis prejudiciais, existentes no pavimento de concreto de jusante da cota 144,00 m, foi o resultado de uma inspeção visual criteriosa, acompanhada de medições da abertura das juntas transversais de retração. Este trecho teve suas placas numeradas e as ocorrências indicadas na **Tabela 01 e Desenhos 06 a 09**.

Com mais ênfase e detalhamento foram analisados os deslocamentos e estado das juntas transversais e longitudinais conforme observamos nos **Desenhos 07/09** tendo em vista a quase

inexistência de buracos, assentamentos, desnivelamentos, fissuras de canto, fissuras generalizadas, bombeamento e escamação.

Para melhor compreensão e análise do problema, fizemos uma classificação dos principais defeitos no pavimento em questão, a seguir descritos:

## **7.2- CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO**

### **7.2.1 Fissuras devidas a inadequação da cura do concreto**

Como ocorrem durante o período inicial de cura do concreto, tais fissuras, ao longo do tempo, atingem um estágio estacionário. No entanto, em alguns casos, sob ações diversas, podem-se transformar em fissuras profundas e generalizadas.

Neste pavimento apresentavam-se esparsas superficialmente, de pequena profundidade e sem orientação definida.

### **7.2.2 Fissuras longitudinais**

São fissuras aproximadamente paralelas ao eixo central do pavimento.

Sua característica principal é o empenamento restringido da placa de concreto.

Para o pavimento em questão, o fenômeno não era de gravidade e tinha pequena importância, visualmente observamos pequena evolução.

### **7.2.3 Esborcinamento de juntas transversais**

Significa a quebra ou fragmentação dos bordos das juntas transversais.

Pode ocorrer por serragem de junta em tempo inábil associada a avaria dos bordos das juntas pela ação do tráfego e deterioração progressiva da superfície adjacente a esse defeito, ou pela escolha do material do selante.

No pavimento em questão observamos sensível aumento das juntas esborcinadas, fenômeno que neste caso específico é associado as juntas moldadas no concreto fresco, face a inadequação do processo de moldagem e do tipo de material selante utilizado provocando a contínua penetração de materiais incompressíveis nas juntas.

### **7.2.4 Fissuras transversais**

São fissuras que fazem ângulo de aproximadamente 90° com o eixo central do pavimento.

A causa de tais fissuras é a retração do concreto nas primeiras horas após a execução.

Verificamos o surgimento de algumas novas fissuras, causadas provavelmente pela ação do tráfego que, ao solicitar as placas já fissuradas microscopicamente, provocou a sua abertura e extensão.

Consideramos que o pequeno aumento verificado nas fissuras transversais seja fruto do estágio de progressão de outras fissuras que sob a ação do tráfego e das intempéries, tendem a aumentar em abertura e profundidade.

Comparando-se os dados levantados nas vistorias técnicas realizadas, verificou-se que a incidência de defeitos não aumentou, a não ser em percentagem insignificante, notando-se apenas alguma progressão das imperfeições já existentes, a não ser quanto as juntas transversais esborcinadas que entraram em processo de deterioração, e que representavam o problema mais crítico a ser solucionado.

Não se verificou uma variação significativa nos defeitos que influem diretamente, a curto prazo, na vida útil do pavimento, tais como por exemplo: surgimento de buracos provenientes de deterioração do concreto.

As novas ocorrências notadas são provenientes dos fenômenos derivados da simples evolução de defeitos já existentes.

## **8 – PROVÁVEIS CAUSAS DO FENÔMENO**

Da análise do problema e das vistorias realizadas, consideramos como principais causas dos deslocamentos as seguintes:

- O efeito da dilatação térmica das placas do pavimento de concreto que praticamente trabalham isoladas da estrutura, devido a presença da camada de impermeabilização
- O excessivo tráfego de equipamentos pesados, com cargas por eixo além do previsto no projeto, o que acelerou o colapso das juntas transversais trazendo como consequência a redução da vida útil das placas de concreto. Destacou-se a probabilidade de ocorrência de fadiga nas placas de concreto executadas, face a não ter ocorrido ruptura do pavimento devido a ação continuada de repetições de carga, ou seja, não ocorreu diminuição da resistência das placas de concreto mercê do fato de estar submetida a carregamentos intermitentes.
- As placas do pavimento de concreto encontravam-se em bom estado superficial, no que diz respeito a inexistência de escamas, desgastes, desnivelamento entre as placas contínuas e falhas estruturais. De outro lado observou-se a presença de trincas e fissuras no sentido da largura das placas atingidas, fato esse, que no presente caso, foi atribuído ao excessivo comprimento da placa, relacionado a sua reduzida espessura de 15,00 cm em média e ao coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base. A paulatina deterioração das juntas transversais decorrentes do excessivo comprimento das placas de concreto do pavimento de jusante teve como consequência a penetração nas juntas transversais de partículas sólidas incompressíveis o que provocou danosas concentrações de tensões de compressão ao longo das faces verticais das juntas, promovendo o esborcinamento das juntas de retração.
- O comportamento inadequado do selante, para o caso em análise, trouxe como consequência a penetração de materiais incompressíveis nas juntas, que tendem a impedir a expansão da placa, provocando um estado de tensões prejudiciais das juntas, trazendo como consequência o contínuo e permanente esborcinamento das juntas.
- Dada as condições de isolamento das placas de concreto em relação a laje de cobertura da Casa de Força devido a camada de impermeabilização e aos diferentes níveis de temperatura a que ambos estão submetidos eles apresentavam deformações distintas.
- O travamento de uma das extremidades na AMC-1 e a ausência de juntas de expansão no pavimento, para absorver o alongamento das placas devido ao aumento da temperatura ambiente, fizeram com que as mesmas sofressem um deslocamento inicial. Este foi aumentado com o tempo, em razão da penetração de material sólido nas juntas de contração,

quando da retração das placas nos períodos de declínio da temperatura ambiente (**Vide Desenho 06**).

## 9– OBRAS DE RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Os defeitos exteriorizados pela superfície do pavimento de concreto em estudo, em razão de sua natureza e intensidade, refletem um quadro sintomático apreciavelmente nítido de seu comportamento frente as cargas de tráfego e aos agentes intempéricos.

As medidas de conservação e restauração requeridas estavam vinculadas ao grau de deterioração assumido pelas juntas do pavimento.

Na inspeção da superfície das placas de concreto, avaliou-se visualmente e através de medições, o grau de degradação alcançado pelas juntas transversais de retração e controle, do pavimento em questão.

A análise dos dados técnicos levantados nos permitiu estabelecer diretrizes racionais no que concerne as medidas de reabilitação necessárias e que foram imediatamente implementadas.

É evidente, por outro lado, que a natureza e a intensidade dos defeitos em apreço influíram decisivamente sobre a serventia que o pavimento proporcionou aos usuários tanto no que respeita as condições de conforto, como as de segurança.

Os pavimentos de concreto devem proporcionar ao usuário uma serventia adequada, a qual se reduz na medida em que a estrutura do pavimento se degrada, segue-se que as necessidades de manutenção serão uma função do estado por ele assumido, variando a magnitude das medidas de conservação requeridas, na razão direta do grau de severidade alcançado pelo processo de deterioração.

Face ao acima exposto, foram estabelecidas as seguintes **Obras de Restauração do pavimento de concreto** em questão, medidas corretivas que foram executadas a contento e em tempo hábil.

A seguir:

- Remover o material estranho que penetrou nas juntas transversais, abrindo-a onde for necessário, e tornar monolítico o pavimento nestas áreas através do lançamento de concreto de alta resistência inicial, prévia aplicação de pintura de ligação
- Restauração das juntas de retração esborcinadas na largura total das placas através de processo simplificado que englobe a substituição das juntas transversais de retração por juntas transversais de expansão e a substituição do selante de mastique elástico por junta Jeene ou similar conforme **Desenhos 10/11** recompondo obrigatoriamente a coincidência de locação das juntas transversais de expansão do pavimento com as juntas de dilatação de estrutura de concreto armado. Assim, as juntas transversais de retração serão substituídas por juntas de expansão previamente dimensionadas e projetadas.
- Recuperação e reconstituição das juntas transversais de controle, o que inclui a substituição do material selante anteriormente empregado por junta Jeene ou similar e o conseqüente redimensionamento do reservatório da junta.
- Recuperação das juntas longitudinais de articulação nos sub-trechos onde se fizer necessário, com ocasião do início das obras de restauração do mastique elástico por selante tipo Jeene ou similar.
- Restauração das áreas das placas afetadas onde ocorreram fissuras generalizadas devidas ao colapso das juntas transversais, e demais locais danificados. Nas regiões trincadas das placas prever a colocação de malhas de aço com diâmetro de 1/4" e espaçamento de 20,0 cm

- Recolocar as caixas de captação de águas pluviais, visando recompor o sistema de drenagem do pavimento, prévio corte e recomposição do concreto
- Restaurar onde necessário, a vedação das juntas de dilatação da estrutura, serviço este que deverá ser realizado concomitantemente com a construção coincidente de juntas de expansão e especialmente durante o período de inverno (**Vide Desenho 11**).
- Construir de imediato, junta de expansão no encontro das unidades AMD3 / AMD4, visando eliminar e prevenir o provável empenamento de ambas placas.

## 10 – CONCLUSÕES

- ❖ Verificou-se que neste caso especial e atípico de projeto de pavimento de concreto da pista de jusante da cota 144,00m superposto a laje de cobertura de concreto armado da Casa de Força, a boa técnica preconizada pela PCA – Portland Cement Association recomenda a utilização de placas de concreto não aderido como camada de rolamento, visando a completa e integral independência do projeto de juntas do pavimento com relação as juntas da estrutura, trazendo como consequência a total separação entre as camadas de concreto.
- ❖ O padrão dimensional da placa superposta a estrutura pode obedecer, assim, a diretrizes geométricas diferentes das que nortearam o projeto da estrutura de concreto armado, sem a obrigação de repeti-las.
- ❖ De outro lado, considerando-se as circunstâncias específicas dessa obra, o comprimento adotado para as placas de concreto foi o fator que mais influenciou para o colapso prematuro das juntas transversais de retração, já que o projeto previa a coincidência rigorosa das juntas transversais de retração da placa com as juntas transversais de dilatação da estrutura. Observamos que em pavimento de concreto superpostos, as dimensões das placas em relação a sua espessura, incidem em ponto capital, pois em condições normais o esforço de retração a que a placa é submetida, é atenuado pela redução do atrito entre a face inferior da placa e a sub-base.
- ❖ No projeto deste pavimento de concreto superposto à laje de concreto armado, utilizou-se armaduras distribuídas visando controlar fissuras, isto é, limitar sua abertura, impedindo deste modo, que se transformem em trincas abertas. Esta ferramenta, em parte surtiu o efeito desejado. A função da armadura distribuída descontínua, é de manter unidas, tanto quanto possível, as placas que apresentam fissuramentos. Tentando manter-se estas fissuras fechadas, pretendia-se minimizar a infiltração de corpos estranhos compressíveis e da água entre as faces da placa. Normalmente para seu dimensionamento utiliza-se o método pela PCA – Portland Cement Association, onde se admite principalmente, que a tensão atuante no aço seja igual a tensão necessária para vencer a resistência do atrito entre a placa e a sub-base com um coeficiente de segurança de aproximadamente 1,30.
- ❖ Entre os diversos fatores analisados identificamos que dever-se-ia ter considerado o efeito de empenamento da placa devido a variação brusca de temperatura, onde para longos comprimentos de placas, a direção principal de empenamento passa a ser a transversal, causando um aumento na tensão de trabalho do aço, fato que inevitavelmente ocorreu neste pavimento de concreto.

- ❖ Observamos que as juntas transversais de retração apresentaram abertura insuficiente dada a elevada variação de temperatura na área de influência desta Usina Hidrelétrica e principalmente devido ao excessivo comprimento da placa trazendo como conseqüência, grande movimentação e a ruptura das mesmas. A variação de temperatura nesta região é da ordem de 35°C, tão acentuada, que passou a ser um dos principais fatores de relevante influência no projeto geométrico das placas e juntas e no dimensionamento da espessura do pavimento.
- ❖ Pelas informações técnicas levantadas na Obra, descartamos totalmente a possibilidade de ter trafegado durante a construção deste pavimento de concreto, equipamentos de transporte providos de esteiras ou pneumáticos rígidos, pois caso tivesse ocorrido, teria sido necessário um tratamento especial para as juntas, quanto as suas dimensões superficiais, sua abertura e seu acabamento, sem o que o esborcinamento tornar-se-ia fatalmente uma ocorrência generalizada.
- ❖ Descartou-se também a possibilidade de as placas puderem estar sujeitas a ação eventual ou constante de agentes agressivos, o que nos forçaria a considerar no projeto um concreto capaz de resisti-la e, ademais, empregar dimensões de juntas e tipos de material selante que sejam infensos a ela.
- ❖ Sem sombra de dúvida, outro agravante importante foi o fato inegável da superfície de contato entre o concreto estrutural (fundação) e a placa de pavimento de concreto não ser suficientemente rugosa ou irregular para oferecer dificuldades a movimentação das placas quer seja por retração/dilatação ou por empenamento. Uma das soluções, identificável, teria sido balancear as outras condicionantes de modo a minimizar a possibilidade de fissuração, o que significa essencialmente, reduzir ao máximo o comprimento das placas até a faixa mínima recomendada em função da espessura do concreto.
- ❖ Considera-se como hipótese remota, a possibilidade de não ter sido aplicada argamassa de regularização antes da concretagem das placas sobre rigoroso padrão de impermeabilização, tendo em vista que fazia parte do escopo da Especificação Técnica, visando evitar o esmagamento e aumentar o atrito reduzindo ao máximo a tendência ao escorregamento da placa de concreto.
- ❖ Podemos concluir resumidamente, que o funcionamento não satisfatório das juntas transversais de retração foi decorrente das dimensões que se mostraram posteriormente inadequadas, das placas de concreto projetadas, do inadequado comportamento do material selante empregado nas juntas, além das imperfeições das juntas transversais pré-moldadas frutos de defeitos de execução e de grandes intervalos na seqüência de execução das concretagens o que prejudicou notavelmente a durabilidade das juntas e conseqüentemente a vida útil do pavimento. Portanto, a presença de incompressíveis no reservatório das juntas transversais impediu o perfeito funcionamento delas, o que associado a abertura insuficiente das juntas e a expansão excessiva da placa decorrente da elevada variação da temperatura, trouxe como resultado a deterioração completa das juntas transversais de retração.
- ❖ Consideramos necessário fazer coincidir novamente a junta de dilatação da estrutura com a junta de expansão do pavimento projetada (**Vide Desenhos 10/11**) tendo em vista que a impermeabilização nas juntas de vedação da estrutura foram visivelmente afetadas, o que trouxe como conseqüência a necessidade de remover parte da placa do pavimento visando recompor as características técnicas inicialmente projetadas.

- ❖ Com relação a iminente obstrução do sistema de drenagem do pavimento, notou-se nitidamente que o problema continuou agravando-se, necessitando de reparos imediatos. Com relação as novas ocorrências e/ou defeitos anotados na última vistoria, eram provenientes dos fenômenos derivados da simples evolução de defeitos já existentes.

## 11 – RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Para o projeto de pavimento de concreto de outros trechos desta Obra, recomendamos levar em consideração o seguinte:

- O projeto geométrico das juntas transversais requer enfoque e decisões especiais tendo em vista que sofrerão a ação direta das intempéries, ocorrendo grandes variações de temperatura e de umidade do concreto, trazendo como consequência a necessidade de empregar placas de dimensões reduzidas, aumentando assim a transferência de carga naquelas juntas. Logo as diferenças ambientais, conforme o caso, tornam-se o principal fator influente não só no projeto como também no dimensionamento do pavimento.
- É condição obrigatória a introdução de barras de ligação nas juntas longitudinais de construção com o objetivo de dar maior rigidez ao sistema, impedindo a possível ocorrência de deslocamentos horizontais que possam afetar a estrutura.
- No caso de pavimento de concreto superposto semi-aderido é condição obrigatória a coincidência de locação das juntas.
- No concernente as dimensões superficiais das placas de concreto, convém ressaltar que seu dimensionamento deve ser coerente com os diversos fatores que influem diretamente para isso, tais como: espessura da placa, condições ambientais, características do concreto, tipo de cargas atuantes (móveis ou estáticas), tipo de superfície de contato entre o concreto e a fundação (coeficiente de atrito), tipo de agregado graúdo constituinte do concreto.

### **Recomendamos:**

- a) Somente empregar comprimentos de placas superiores a 4,50 m quando a placa tiver 15 cm de espessura ou mais,
- b) Espessuras entre 15,0 cm e 30,0 cm aceitam comprimentos de placas entre 4,5 e 6,0 m de comprimento
- c) Espessuras inferiores a 15,0 cm exigem a presença de armadura distribuída descontínua de combate a retração, cuja armadura é calculada conforme método ABCP – Cálculo de Sistemas de Transferência de carga de barras de ligação e de armadura distribuída descontínua
- d) A largura mínima deve ser aproximadamente 3,0 m, de modo a diminuir o mais possível o encontro de juntas no pavimento e conseqüentemente, a incidência de cargas de canto.
- e) A relação entre o comprimento e a largura da placa deve ficar entre 1,0 e 2,0, mostrando a experiência que o valor ótimo depende diretamente da espessura, sendo que para espessuras pequenas a faixa ótima vai de 1,4 a 1,7 aproximadamente.

Finalmente, recomendamos tentar aumentar ao máximo a capacidade de alongamento do concreto, pois desta maneira reduziremos a ocorrência de fissuras devidas às variações volumétricas. Quanto maior for a capacidade que o concreto apresente de se deformar sob tensão de tração, menos suscetível ele será á fissuração.

## 12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) **A.A.S.H.T.O** – American Association of State Highway and Transportation Officials – Guide for Design of Pavement Structures – Washington, USA, 1986
- 2) **Anais do XVIII World Road Congress** – Construction and Maintenance of Rigid Pavement, Bruxelas, 1987
- 3) **Andriolo, F.R** – Concreto e seus materiais, propriedades e Ensaio, Editora Pini, São Paulo, 1986
- 4) **Bucher, H.R** – Método de Dosagem de Concreto para Pavimentos, ABCP, ET-73, São Paulo, 1984
- 5) **Carvalho, M.D** – Metodologia para levantamento de defeitos e técnicas de recuperação de pavimentos de Concreto- ABCP, São Paulo, 1987
- 6) **Carvalho, M.D** – Recuperação e Manutenção de Pavimentos de Concreto, ABCP, São Paulo, 1984
- 7) **Correa, W.G** – Tecnologia do Concreto de Pavimentos IBRACON, São Paulo, 1978
- 8) **Darter, M.I ;Becker, J.M** – Portland Cement Concrete Pavement Evaluation System. Transportation Research Board. Washington, USA, 1985
- 9) **Masters L.W** – Service Life Prediction: a State of the art. Proceedings of the 4 th International Conference on Durability of Building materials and Components – Cingapura, 1987
- 10) **Mildenhall, H.S; Budge, C.J** – The maintenance and repair onf concrete roads. Cembureau – Paris , 1982
- 11) **Nussbaum, P.J; Lokken, E.C** – Design and Construction of Concrete Pavements, Internacional Conference on Concrete Pavement Design, Purdue University, USA, 1977
- 12) **Pitta, M.R** – Construção de pavimentos de Concreto Simples, ABCP- ET 81, São Paulo, 1985
- 13) **Pacheco, C.A; Carvalho M.D, Pitta M.R** – Estudo Comparativo entre método de controle estatístico de qualidade do concreto em pavimentos . IBRACON, São Paulo, 1982
- 14) **Portland Cement Association (PCA)** - Patching Concrete pavement, Skokie, USA, 1976
- 15) **Shahin, M.Y; Kohn, S.D** – Development of a pavement condition rating procedure for roads, Street and parking lots, condition rating procedure. Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, 1979
- 16) **Sobral, H.S** – Resistência mecânica e deformações do concreto, ABCP-ET 56, São Paulo, 1983
- 17) **Thomaz, C.A** – Execução de pavimento de Concreto, ABCP, ET-9, São Paulo, 1982
- 18) **Westergaard, H.M** – Analysis of stresses in concrete roads caused by variations of temperature. Public Roads, Washington, USA, 1975
- 19) **Westergaard, H.M** – Análise de placas sobre base elástica com referência especial à questão das tensões em estradas de Concreto – Associação Brasileira de Pavimentação, BT-15, Rio de Janeiro, 1995.