



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GGH - 29
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO I
GRUPO DE ESTUDOS DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**EFEITO DAS TENSÕES DE ORIGEM TÉRMICA NO COMPORTAMENTO TRIDIMENSIONAL DE
BARRAGENS EXECUTADAS EM CAMADAS**

**Denise Krüger * Roberto Machado Mildred Hecke Emílio Kavamura Neil Carvalho Luiz A. Lacerda
COPEL GERAÇÃO PPGMNE/UFPR PPGMNE/UFPR PPGMNE/UFPR PPGMNE/UFPR LACTEC**

RESUMO

Efeitos térmicos no concreto são pronunciados em barragens de concreto compactado com rolo. Resistências iniciais baixas e expansões térmicas podem gerar tensões que ocasionam danos à estrutura. Modelagens simplificadas bidimensionais podem não ser adequadas e modelos tridimensionais, mesmo mais onerosos, devem ser empregados. O presente trabalho compara as duas soluções e verifica a influência das condições de contorno na distribuição dos campos de temperaturas e de tensões. Analisa-se o caso em que as tensões são majoradas devido à interrupção da construção da barragem. Busca-se alertar quanto às limitações dos modelos adotados e os cuidados a serem tomados em análises reais.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Termo-Mecânica, Barragem, Concreto Compactado com Rolo, Método dos Elementos Finitos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Modelagem computacional é um recurso que tem sido empregado de forma usual em projetos de estruturas de concreto, para avaliação do comportamento tenso-térmico, em especial estruturas construídas em camadas como o caso de barragens de concreto compactado com rolo (CCR). Conhecer a evolução do campo de temperaturas sobre o corpo da barragem e as implicações que as variações térmicas acarretam na distribuição de tensões é essencial para que se projetem estruturas mais seguras e econômicas, buscando minimizar quaisquer danos.

As análises elaboradas neste trabalho foram desenvolvidas no âmbito do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento envolvendo profissionais da Copel Geração S.A., LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento em conjunto com pesquisadores e alunos de mestrado e doutorado do Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia junto ao CESEC – Centro de Estudos de Engenharia Civil Prof. Inaldo Ayres Vieira, da Universidade Federal do Paraná.

São examinadas as barragens em concreto compactado com rolo, estruturas construídas em camadas cujo processo construtivo pode variar de acordo com as condições locais efetivas (temperatura ambiente e de lançamento do concreto), e que podem não condizer com as previstas em projeto ou com a evolução do cronograma de construção. A motivação está no fato de que diversos empreendimentos em andamento e em fase de planejamento envolvem barragens de CCR dentro de contratos de Fornecimento Integral e Preço Global. Busca-se fornecer ferramentas para minimizar quaisquer danos às estruturas, os quais nestes casos, podem influenciar além da segurança, a viabilidade econômica do empreendimento.

Neste estudo, procura-se mostrar como as condições de contorno e de exposição podem afetar a distribuição de tensões a ponto de inviabilizar o uso de uma análise bidimensional em uma barragem. Mostra-se, também, que é possível identificar regiões críticas em termos de distribuição de tensões de origem térmica, em situações que

* COPEL Geração S.A. - Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Bloco A - CEP. 81.200-240 - Curitiba - PR - BRASIL
Fones: [55-41] 310-5500 - E-mail: denise.kruger@copel.com. site: <http://www.copel.com>

habitualmente não se detectariam, fornecendo-se subsídios para possíveis alterações durante a obra, de modo a garantirem-se os níveis de qualidade da estrutura.

2.0 - ANÁLISE TENSO-TÉRMICA DE BARRAGENS DE CONCRETO

A resposta térmica de obras que envolvem grandes volumes de concreto massa depende de diversos fatores, dentre os quais destacam-se as condições de exposição ao meio ambiente, a radiação solar, o contato com as fundações ou com a lâmina d'água, além da própria composição do concreto empregado. A geração adiabática de calor, proveniente do processo de hidratação do concreto, é responsável pelas principais oscilações no campo de temperaturas nos períodos iniciais após o lançamento do concreto. Durante a hidratação, há uma reação química exotérmica que tende a produzir inevitáveis expansões volumétricas. As restrições que as estruturas apresentam, necessárias para garantir a estabilidade aos deslocamentos, fazem com que as deformações térmicas não sejam uniformes. Deformações diferenciadas ocorrem entre pontos vizinhos do maciço que geram as conhecidas tensões de origem térmica em todo corpo da barragem.

Com o desenvolvimento do processo, há o resfriamento da estrutura, de modo lento e gradual, no sentido das regiões mais externas para as mais internas. Durante o resfriamento, novas deformações térmicas diferenciadas são geradas e, conseqüentemente, novos incrementos de tensões irão se sobrepor aos produzidos anteriormente alterando, a cada instante, o campo de tensões. Assim, para que se tenha controle da evolução das temperaturas e das tensões sobre o corpo da barragem, deve-se fazer uma análise transiente que procure em todos os pontos do domínio os valores máximos de tensões gerados durante um ciclo de aquecimento e de resfriamento ao longo de um período de tempo significativo. Pelo processo construtivo das barragens em CCR, o comportamento térmico descrito ocorre em cada uma das camadas lançadas de concreto o que implica em se considerar também a interação entre as camadas mais novas com as lançadas a mais tempo.

Aspectos técnicos e da modelagem tenso-térmica de estruturas de concreto são discutidos detalhadamente em diversos trabalhos. Os primeiros artigos relacionados ao assunto, que surgem na década de 80, não consideram particularizações para estruturas executadas em camadas (1) e (2), embora analisem os efeitos das variações sazonais de temperaturas sobre a distribuição de tensões em barragens de gravidade (3). Muitos códigos comerciais vêm sendo empregados para a determinação dos campos de tensões e de temperaturas em barragens, tais como o software SAP (4) e o ADINA (5). Com a utilização do SAP (4) foram efetuadas análises bi e tridimensionais, porém sem levar em conta o processo construtivo. Com o ADINA (5) já foi considerado o processo construtivo em modelagem bi-dimensional, bem como a variação do módulo de elasticidade ao longo do tempo.

As tensões provenientes do processo de geração e dissipação de calor são mais relevantes na medida em que atingem picos de valores máximos em poucos dias após o lançamento do concreto. Nessa fase, a resistência do material é ainda muito baixa, e as tensões podem se tornar críticas se atingirem a capacidade resistente em algum momento. Caso isso aconteça, poderão surgir fissuras que, mais tarde, venham a afetar não só a estética, como a estanqueidade, a durabilidade ou mesmo a própria estabilidade da barragem.

A questão da fissuração nas estruturas de concreto massa, que é um ponto vital para a verificação da integridade estrutural, destaca a importância de serem consideradas todas as variáveis térmicas envolvidas no processo, bem como as mudanças das propriedades do concreto ao longo do tempo, incluindo as deformações lentas (6).

Para minimizar os efeitos térmicos, projetam-se juntas de contração e/ou dilatação, cujos espaçamentos e localização são definidos, muitas vezes, com base na experiência do projetista ou na observação de outras obras semelhantes. Neste caso, a questão que se coloca é se os blocos entre as juntas estão com dimensões adequadas para determinada obra. Em certas barragens, como as localizadas em vales com gargantas pronunciadas, podem ser necessárias juntas longitudinais para se evitar efeitos deletérios sobre a estrutura (7).

Modelos computacionais complexos são usualmente onerosos e de difícil implementação, razão pela qual são necessárias diversas simplificações para as análises. Entretanto, deve ser avaliada a validade de análises térmicas estruturais simplificadas em projeto de barragens, uma vez que nem sempre o modelo bidimensional se mostra adequado (8). Neste contexto deve ser destacada também a importância de se considerar o aumento de resistência do concreto ao longo do tempo bem como os efeitos da deformação lenta (*creep*) no comportamento final da estrutura.

Em geral, os modelos computacionais empregados são bidimensionais e a análise é processada pelo Método dos Elementos Finitos. Para que sejam viáveis tais análises, pressupõem-se como válidas as condições relativas ao EPD – Estado Plano de Deformações, para o qual as deformações no sentido longitudinal da barragem são nulas. Caso isso aconteça, o modelo bidimensional representará bem o comportamento da obra que, na realidade, é de natureza tridimensional. Nem sempre essas condições são verificadas. Para que as hipóteses do EPD sejam verdadeiras, devem ser observadas características de simetria tanto em termos geométricos e de vinculação estrutural, quanto em termos de deformações e de transferência de calor. A Figura 1-a ilustra uma situação em que se pode adotar um modelo bidimensional simplificado, enquanto o mesmo não pode ser adotado para as condições ilustradas na Figura 1-b.

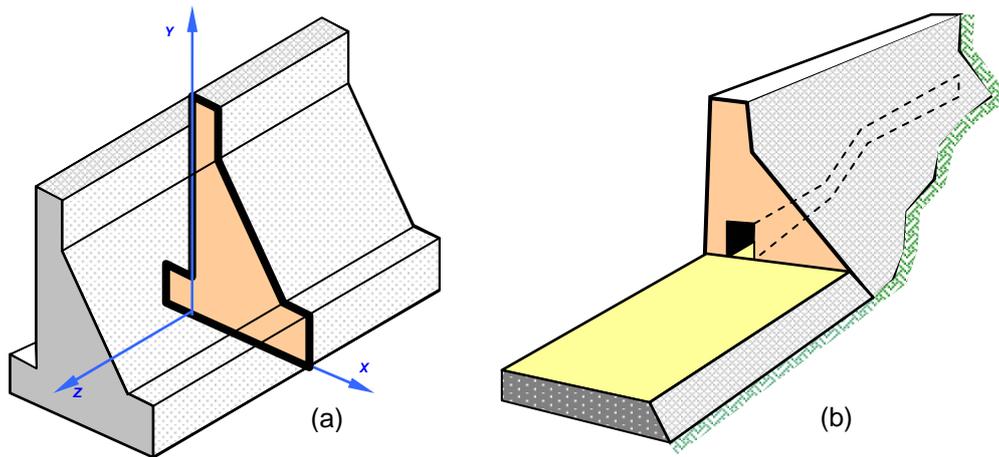


FIGURA 1 – (a) A estrutura apresenta condições de simetria e de contorno térmico estrutural, o que permite análise bidimensional considerando Estado Plano de Deformações; (b) Falta de simetria, condições de contorno ou fases diferenciadas de construção impedem uma análise bidimensional realista.

Os modelos tridimensionais são muito mais onerosos e de difícil análise comparados com os bidimensionais. Entretanto, com a melhoria dos softwares e especialmente da capacidade dos computadores, há uma tendência dos modelos 3D se tornarem mais viáveis. Isso possibilitará análises computacionais minuciosas que, por exemplo, no caso de utilização de resfriamento no lançamento do concreto, pode permitir que seja restrito apenas às regiões ou camadas mais afetadas termicamente, reduzindo-se os custos com tais operações em até 90% (7). A modelagem computacional tridimensional desenvolvida neste trabalho é realizada pelo software ANSYS-5.5.1 e segue metodologia semelhante à apresentada por Kavamura et alli (9). Para a discretização dos modelos geométricos, são empregados dois tipos de elementos finitos, o SOLID90 para a análise térmica, e o SOLID95 para a análise estrutural. Ambos são quadráticos e aceitam as características necessárias para aplicação da técnica *Birth & Death*. Por meio desta técnica, os elementos podem ser ativados ou desativados conforme a necessidade, o que permite a simulação do processo evolutivo da construção em camadas. A modelagem 3D de uma barragem é dividida em etapas de acordo com as fases de construção, incluindo as características geométricas e dos materiais.

3.0 - APLICAÇÕES

Para permitir melhor entendimento do processo de solução, apresentam-se análises visando à comparação entre os modelos bi e tridimensionais. Mostra-se, inicialmente, que quando as condições do EPD são atendidas, os resultados são idênticos. As aplicações foram estendidas ao caso de blocos com comprimentos e condições de contorno diferentes e os resultados permitiram conclusões qualitativas a respeito dessa definição.

Para as análises apresentadas foram utilizadas informações disponíveis da Usina Hidrelétrica Salto Caxias, de propriedade da Companhia Paranaense de Energia – COPEL, localizada no rio Iguaçu, Estado do Paraná, a cerca de 600 km da capital Curitiba. Com potência instalada de 1240 MW, possui uma barragem a gravidade de concreto compactado com rolo, com 1100 m de extensão e altura máxima de 67 m. A estrutura está dividida em blocos com juntas de contração a cada 40 m e juntas intermediárias a cada 20 m, parcialmente induzidas.

Devido às condições hidrológicas da região e visando otimizar o esquema de desvio do rio para a execução das estruturas, foi prevista a construção dos blocos situados no leito do rio, Blocos 05 a 11, até uma elevação intermediária, após a conclusão das Fases I e II, na qual a passagem de água sobre a barragem já executada não produzisse danos significativos à obra. Durante a fase de construção, um período de vazões excepcionalmente altas no rio Iguaçu, provocou diversos galgamentos da barragem, sendo que o maior deles ocorreu em outubro de 1997, com uma vazão de 5.500 m³/s passando sobre os blocos centrais da barragem.

Adotou-se o modelamento do bloco B-08, que possui uma das seções com instrumentos de monitoramento (plano central considerado), que permitiram aferir alguns dos parâmetros adotados. Os resultados referem-se, portanto, à fase anterior ao galgamento. A Figura 2 mostra as características geométricas da seção, indicando os pontos de análise A, B e C, as respectivas coordenadas e uma foto ilustrativa durante o galgamento.

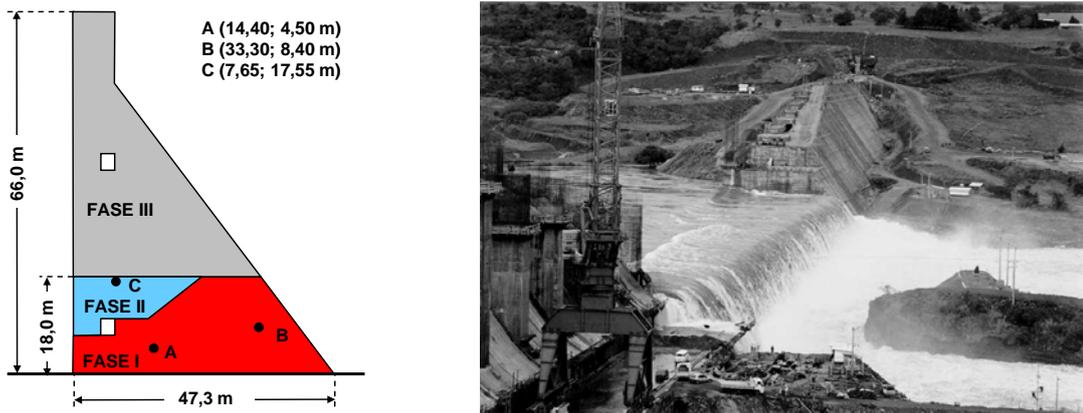


FIGURA 2 – Características geométricas do bloco analisado e foto ilustrando o período de galgamento.

As propriedades termo-mecânicas empregadas foram as seguintes:

Massa específica = 2388 kg/m^3 ;
 Calor específico = $1105 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$;
 Condutividade térmica = $6445,93 \text{ J/mh}^\circ\text{C}$;
 Coeficiente de dilatação térmica = $7,07\text{e-}6/^\circ\text{C}$;
 Coeficiente de convecção concreto/ar = $50232 \text{ J/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$;
 Resistência característica do concreto = $10,2 \text{ MPa}$;
 Coeficiente de Poisson = $0,2$;
 Módulo de Elasticidade = $T_e / (2,12\text{E-}3 + T_e * 0,162\text{E-}3) * 1\text{e}6 \text{ Pa}$ (onde T_e é fornecido em dias).

O calor adiabático gerado está indicado na Tabela 1:

TABELA 1 - ELEVÇÃO ADIABÁTICA DA TEMPERATURA E GERAÇÃO DE CALOR.

Tempo		T	Q
(dias)	(horas)	($^\circ\text{C}$)	$\text{J}/(\text{m}^3\text{h})$
0	0	0,00	1.125.084
1	24	8,06	647.776
2	48	11,78	170.467
3	72	13,57	150.260
5	120	15,30	64.089
7	168	16,15	34.614
10	240	16,82	17.410
14	336	17,30	8.893
20	480	17,67	4.287
28	672	17,92	2.128

3.1 Modelo geométrico do bloco B-08 da UHE Salto Caxias

Considerou-se um modelo tridimensional da barragem com a geometria definida pelas fases I e II da construção do bloco B-08, correspondentes até a etapa relativa ao galgamento, omitindo-se a galeria de drenagem. As camadas foram lançadas continuamente, independentemente da irregularidade da geometria das duas fases. Considerou-se um total de 60 camadas, sendo uma camada lançada a cada 12 horas, totalizando um período de construção de 720 horas. Consideraram-se dois casos de análise, tal como indicado na Tabela 2. O Caso 1 corresponde a temperaturas da fundação, do meio ambiente e de lançamento do concreto supostamente constantes e iguais respectivamente a 25°C , 20°C e 25°C . Desse modo, fica mais evidente o efeito térmico proveniente da geração de calor. No Caso 2, considerou-se como variáveis a temperatura média diária do ambiente e a de lançamento do concreto, conforme os registros efetuados durante a obra.

TABELA 2 – CONDIÇÕES TÉRMICAS INICIAIS.

CASO	Temperaturas ($^\circ\text{C}$)		
	Fundações	Meio Ambiente	Lançamento do Concreto
1	25	20	25
2	25	Variável (*)	Variável (*)

(*) Conforme os registros efetuados na obra

A malha de elementos finitos desenvolvida está ilustrada na Figura 3. Para representar o corpo da barragem e se ter controle do processo construtivo, adotou-se malha mapeada. A fim de se reduzir o esforço computacional, considerou-se uma das faces do modelo 3D como se fosse um plano transversal de simetria através do qual não há fluxo de calor e os graus de liberdade estrutural são restritos para representar a condição de simetria. Na face transversal oposta, as condições foram consideradas variáveis conforme a análise.

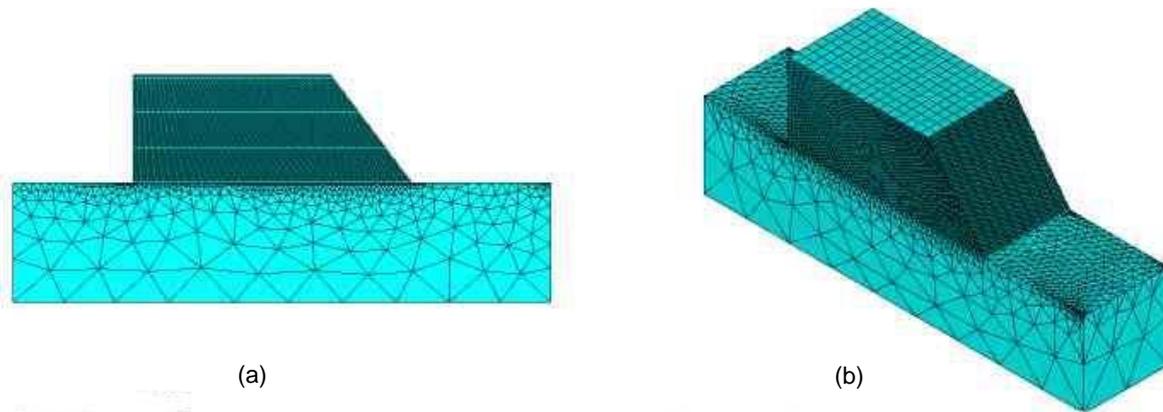


FIGURA 3 - Malhas geradas para as análises bi (a) e tri (b) dimensionais respectivamente

3.2 Comparação entre modelos tridimensionais e bidimensionais equivalentes

A primeira análise realizada foi no sentido de se verificar o comportamento do modelo 3D quando são impostas condições de contorno compatíveis com as do EPD e as temperaturas iniciais correspondentes ao Caso 1. Como era de se esperar, os resultados dos modelos bi e tridimensionais foram equivalentes, tanto em termos de distribuição das temperaturas como quanto em termos de tensões. Nessas circunstâncias, o modelo 2D leva vantagem por permitir, com o mesmo número de graus de liberdade que o modelo 3D, discretizar melhor o maciço e representar com maior precisão a distribuição de tensões.

A Figura 4 mostra a variação das temperaturas nos pontos A, B e C ao longo do tempo. O ponto B, mais alto e mais próximo da superfície, sofre um resfriamento mais rápido do que o ponto A, mais interno. O que se deve ressaltar é que o pico de temperatura para os dois pontos ocorre entre 1000 e 1400 horas, devendo a análise ser conduzida para além desse intervalo. Note-se que a construção do bloco foi paralisada após 720 horas.

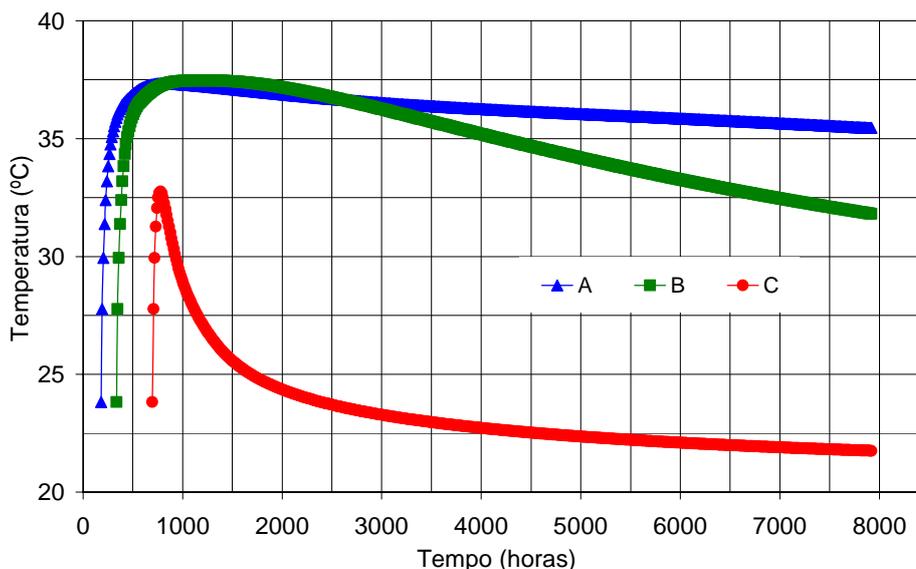


FIGURA 4 – Variação das temperaturas nos pontos A, B e C ao longo do tempo.

3.3 Análise termo-estrutural – Blocos de 20 e 40 metros e condições de contorno variáveis entre as faces laterais

Neste caso, consideraram-se as condições iniciais do Caso 1. O bloco tridimensional da barragem é analisado com dois comprimentos diferentes, de 20 e de 40 m, considerando-se condições de deslocamento livre e de convecção concreto-ar numa das faces laterais. Na outra face, condições condizentes com um plano de simetria foram definidas. Nestas circunstâncias, cabe salientar que o modelo 2D não seria apropriado em decorrência das condições de contorno diferentes entre as faces laterais, o que inviabiliza a consideração de Estado Plano de Deformação. As figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, as variações das tensões σ_1 (tensões principais) e de σ_z (na direção do eixo da barragem), para os pontos A, B e C. Os resultados da modelagem 2D são também apresentados para salientar as diferenças que existem entre as duas abordagens. Observe-se que o modelo 2D não chegou a indicar tensões de tração para os pontos A e B, como foi detectado no modelo 3D.

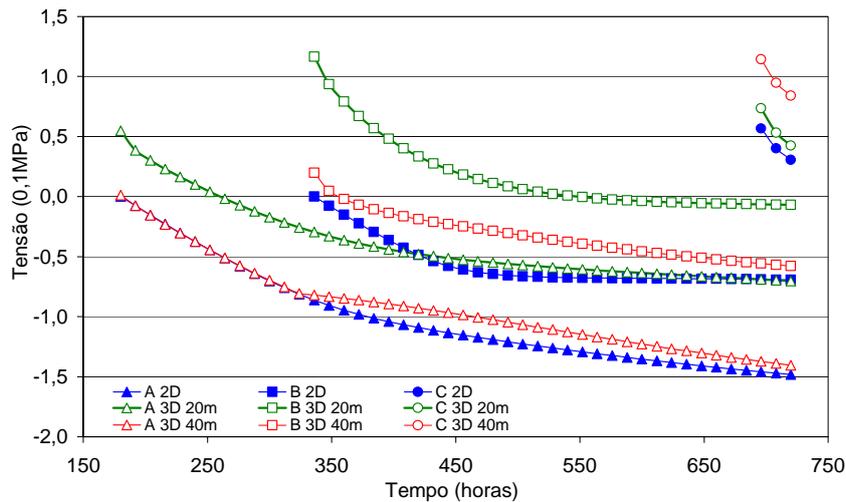


FIGURA 5 – Variação das tensões principais σ_1

O que se pode observar nas Figuras 5 e 6 é que, para as condições impostas, a modelagem bidimensional superestima as tensões de compressão em comparação com as soluções tridimensionais. Outro detalhe que se depreende é que a solução 2D ficou mais próxima daquela correspondente ao modelo de 40 m, o que se explica pelo fato das condições de extremidade ocasionarem menores perturbações na seção do meio do vão para blocos mais extensos do que para blocos menores. Deve-se observar ainda que, para os pontos analisados nos modelos tridimensionais, as tensões de tração ocorrem com maior magnitude para a solução correspondente ao bloco de 20 m do que para o de 40 m.

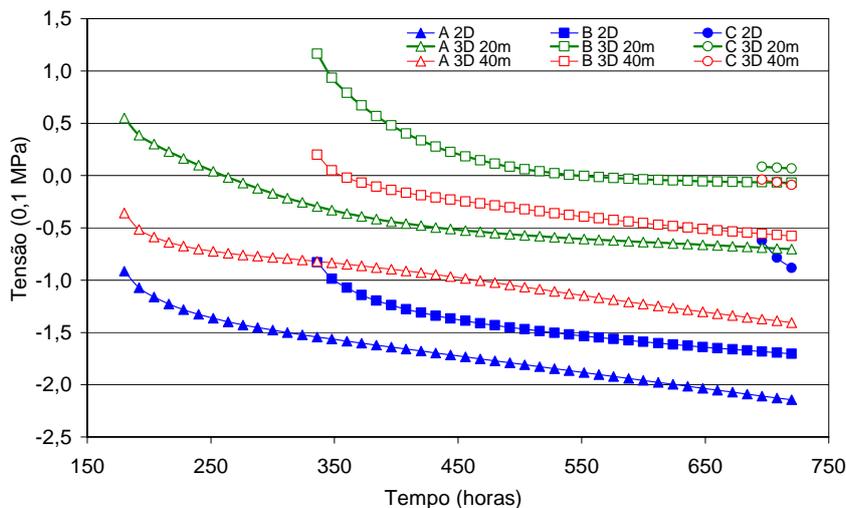


FIGURA 6 – Variação das tensões longitudinais σ_z

3.4 Análise termo-estrutural – Blocos de 20 m com temperaturas externas e de lançamento variáveis

Para avaliar melhor a influência das variações climáticas e da temperatura de lançamento do concreto sobre o comportamento térmico do maciço, considerou-se, além do modelo bidimensional, o bloco com 20 m de comprimento numa modelagem tridimensional. Foram adotados os registros de temperaturas até a conclusão das fases I e II da obra (Caso 2 – Tabela 2). A resposta térmica dos pontos A, B e C está representada na Figura 7. As tensões principais dos mesmos pontos estão ilustradas na Figura 8, onde se observa o aumento das tensões de tração ao longo do processo, decorrente do “inchamento” térmico do maciço. Estas tensões só se manifestam por que o processo de construção foi interrompido e permitiu a expansão térmica do bloco. Os valores quantificados devem ser considerados como indicativos, pois o modelo implementado não leva em consideração relações constitutivas mais complexas nem os efeitos das deformações lentas. Deve-se entretanto, avaliar o nível de tensões com a resistência do material neste período, de modo a se prevenir fissuras indesejáveis e maiores danos à estrutura.

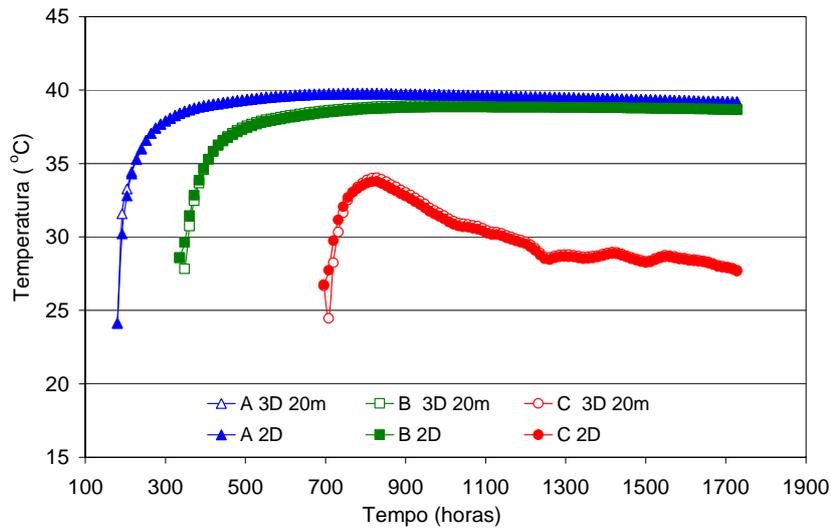


FIGURA 7 – Variação das temperaturas nos pontos A, B e C considerando-se as temperaturas ambientais diárias e de lançamento do concreto, registradas durante a obra

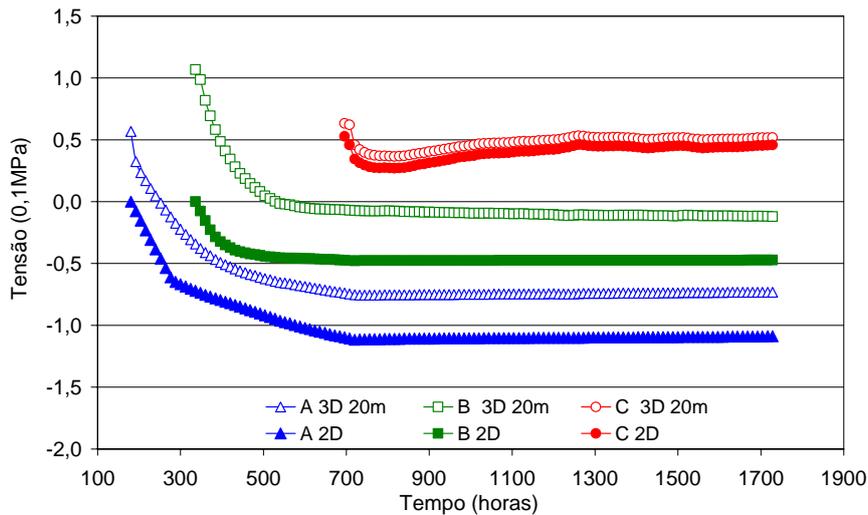


FIGURA 8 – Variação das tensões principais nos pontos A, B e C considerando-se as temperaturas ambientais diárias e de lançamento do concreto, registradas durante a obra

4.0 - CONCLUSÕES

Os modelos apresentados neste trabalho consideraram os efeitos das variações térmicas diárias, tanto do meio ambiente quanto do lançamento do concreto, a variação do módulo de elasticidade do concreto ao longo do tempo e o processo construtivo em si, ilustrando a viabilidade da metodologia.

Impondo-se inicialmente condições de contorno compatíveis com o Estado Plano de Deformações – EPD, obtiveram-se resultados equivalentes para os modelos bi e tridimensionais, tanto em termos de distribuição das temperaturas quanto de tensões. Nessas circunstâncias, o modelo 2D mostrou-se mais vantajoso por permitir, com o mesmo número de graus de liberdade que o modelo 3D, discretizar melhor a estrutura e representar com maior precisão a distribuição de tensões. Ressalta-se que as análises devem ser conduzidas por um período além do período de construção, uma vez que o maciço ainda poderá estar gerando calor e os picos de temperatura serem posteriores.

Na seqüência, foram efetuadas análises tridimensionais considerando condições de contorno variáveis entre as faces transversais laterais, simulando possíveis restrições durante a fase de construção. Observou-se que, neste caso, a simulação bidimensional pode não ser adequada, uma vez que superestima tensões de compressão, podendo “mascarar” níveis de tração que devem ser avaliados com relação à resistência efetiva do material no período.

Considerando-se variações climáticas e na temperatura de lançamento do concreto, as simulações na modelagem tridimensional sugerem que sejam cuidadosamente analisadas as interrupções do processo construtivo. Como se mostrou, durante uma paralisação da construção, não havendo o aumento das tensões de compressão por conta do acréscimo de carga das novas camadas lançadas, haverá a expansão térmica do maciço que poderá gerar tensões de tração incompatíveis com a resistência do material em idades tão recentes. Neste caso, deverá ser avaliado o processo de formação de fissuras, de modo que os requisitos fundamentais de segurança da estrutura sejam garantidos.

Os modelos apresentados neste trabalho não incluem os efeitos da deformação lenta (*creep*), relações constitutivas muito sofisticadas, bem como não incorporam critérios de resistência para detecção de início de trinca, uma vez que a modelagem 3D de barragens ainda é uma tarefa complexa e onerosa. Com o avanço dos equipamentos e recursos computacionais, esses modelos tendem a prevalecer sobre os bidimensionais, cuja aplicabilidade é limitada e os resultados são menos precisos sob certas circunstâncias. Modelos mais sofisticados exigirão metodologia de análise mais elaborada para que o custo computacional possa ser reduzido. Algum processo adaptativo é conveniente para a solução tridimensional. O uso de computação paralela é recomendável para tornar as análises mais eficientes.

Os resultados apresentados devem ser tratados como indicativos, o que já garante um melhor entendimento do comportamento térmico-estrutural de barragens executadas em camadas.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Owen, D.R.J.; Figueiras, J.A., Damjanic, F. (1983) – Finite element analysis of reinforced and prestressed concrete structures including thermal loading. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, No. 41, pp. 323-366.
2. Borst, R.; Peeters, P.P.J.M. (1989) – Analysis of concrete structures under thermal loading. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, No. 77, pp. 292-310.
3. Léger, P.; Venturelli, J.; Bhattacharjee, S.S. (1993) – Seasonal temperature and stress distributions in concrete gravity dams. Part 1: modeling. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20, pp-999-1017.
4. Saetta, A.; Scotta, R.; Vitaliani, R. (1995) – Stress analysis of concrete structures subjected to variable thermal loads. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 3.
5. Ishikawa, M. (1991) – Thermal stress analysis of a concrete dam. *Computers and Structures*, Vol. 40, No. 2, pp. 347-352.
6. Vitharana, N.; Wark, R. (2002) – Thermal cracking in large concrete placements: Theory and applications. *ANCOLD2002 Conference on Dams*.
7. Forbes, B.A. (2003) – Some recent innovative methods and techniques in the design and construction of rcc dams. *Roller Compacted Concrete Dams*, Berga et al. (eds). *Proceeding of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete (RCC) Dams*, Madrid, Spain.
8. Crichton, A.; Benzenati, I.; Qiu, T.J.; Williams, J.T. (1999) – Kinta RCC Dam – Are over-simplified thermal structural analyses valid? *Proceeding of the Australian National Committee on Large Dams Conference*, Jindabyne, Australia.
9. Kavamura, E.E.; Carvalho, N.F.; Hecke, M.B.; Machado, R.D.; Lacerda, L.A., Krüger, D.A.V. (2004) – Análise termo-mecânica bidimensional de estruturas executadas por camadas. *Métodos Computacionais em Engenharia*, Anais, Lisboa, Portugal.