



Proceedings of the XXVII Iberian Latin American Congress on
Computational Methods in Engineering
September 3 to 6, 2006 - Belém, Pará - BRAZIL.

**ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DE REFORÇOS
ESTRUTURAIS DE UMA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO SUBMETIDA
A VARIAÇÕES TÉRMICAS**

Marcelo Rassy Teixeira
Remo Magalhães de Souza
mmarrate@gmail.com
remo@ufpa.br

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.
Avenida Augusto Corrêa, 01 – CEP66075-110 – Campus Universitário do Guamá –
Laboratório de Engenharia Civil – Belém – Pa – Brasil – Caixa Postal 8611.

Resumo: Neste trabalho foi desenvolvido um estudo sobre o comportamento de 6 (seis) sistemas de reforço de uma estrutura em concreto armado submetida a elevadas variações térmicas. A estrutura analisada consiste na parede externa de um forno de cozimento de anodo utilizado na produção de Alumínio, e está submetida a variações térmicas de cerca de 1250°C devido à própria operação do forno. As motivações principais para o estudo foram a ocorrência de grandes deformações e o surgimento de fissuras na estrutura, o que poderia provocar a inutilização do forno. Foram desenvolvidos também modelos computacionais em Elementos Finitos com auxílio do programa computacional Algor, para determinação da distribuição de temperatura e as correspondentes tensões e deformações de origem térmica na estrutura. Nestes estudos, foram realizadas análises de tensões de origem térmica. Como conclusão do estudo, determinou-se a proposta de reforço que apresentou o desempenho mais satisfatório, restringindo a evolução da deformação e ao mesmo tempo, permitindo que a estrutura apresente um comportamento cíclico, que é inerente ao processo de operação do forno.

Palavras chave: ações térmicas, concreto armado, análise de tensões, MEF.

1. Introdução

A importância do Alumínio no cenário mundial atual tem se crescido consideravelmente, com sua aplicação em ampla expansão, e avanço em novos mercados, tais como no mercado automobilístico.

A produção de alumínio primário a partir da matéria prima extraída da natureza (bauxita) é complexa. Existem duas etapas de transformação para se produzir alumínio. A primeira etapa é a transformação da bauxita em alumina (óxido de alumínio) e a segunda etapa consiste na transformação da alumina em alumínio (GRJOTHEIM & KVANDE, 1993).

Para realização da segunda etapa é necessário, entre outros insumos, a utilização de blocos anódicos, os quais também são comumente denominados de anodos. Durante o processo de produção do bloco anódico ou anodo é necessário manter o material a elevadas temperaturas para adquirir propriedades mecânicas e químicas exigidas no produto final. Os fornos de cozimento dos blocos anódicos geralmente apresentam problemas estruturais de origem térmica.

A estrutura de concreto armado analisada neste trabalho é integrante de um equipamento industrial que serve para cozer anodos utilizados na produção de alumínio primário.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Concreto submetido a Elevadas Temperaturas

O concreto é um material heterogêneo, geralmente composto por agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e possíveis adições ou aditivos, além de água. O concreto armado é formado pelos materiais concreto e armadura, a qual pode ser ativa ou passiva. Devido os materiais apresentarem características distintas, o comportamento do concreto armado é bastante complexo quando submetido a elevadas temperaturas.

Segundo COSTA *et al* (2002), as propriedades das estruturas de concreto armado quando submetidas a elevadas temperaturas não são prejudicadas até 100°C. A partir disto, começam a surgir fissuras na microestrutura inicialmente pela contração da pasta, provocada pela perda de água contida no sistema de poros.

Os materiais concretos de classes de resistência à compressão entre 20 e 60MPa, quando submetidos a elevadas temperaturas (até 600°C) apresentam um módulo de elasticidade decrescente com o aumento da temperatura, ocorrendo a propagação de trincas de origem térmica (SILVA *et al* 2002).

HARADA (*apud* SHIN *et al*, 2002) analisou o comportamento de concretos e argamassas de diferentes misturas. O acréscimo de calor provoca uma mudança no desempenho do material, e suas propriedades térmicas (densidade, condutividade e difusividade) decrescem com o aumento de temperatura.

HITECO (*apud* GAWIN *et al.*, 2003) apresentou o efeito térmico na degradação do concreto, demonstrando que o módulo de elasticidade teve um decréscimo de 50% quando submetidos a temperaturas de 300°C e a resistência à compressão apresentou aproximadamente 30% de redução à 200°C.

2.2. Modelos Computacionais para Simulação de Efeito Térmico

O Método dos Elementos Finitos (MEF) pode ser utilizado de forma eficiente na determinação do campo de temperaturas em estruturas com geometria e condições de contorno complexas. Como o MEF é um método genérico em relação à geometria, características do material e condições de contorno, ele permite a representação de estruturas de geometria complexa e arbitrária (KRUGER, 2001).

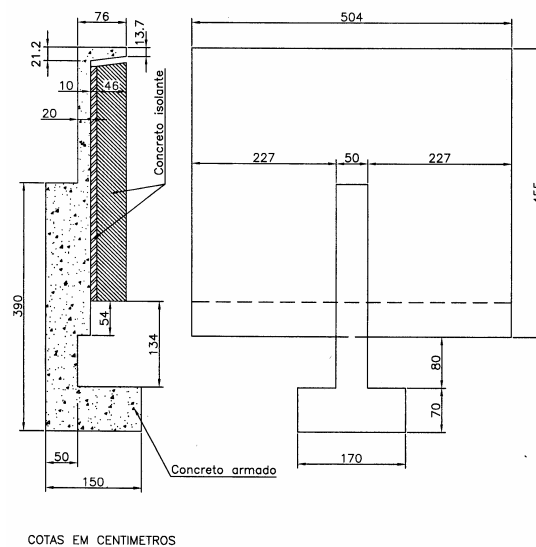
HUANG *et al* (2001) desenvolveram um modelo tridimensional na plataforma computacional VULCAN. O modelo simulou o comportamento de uma laje de concreto

armado com vigamento de aço submetidas a elevadas temperaturas (em situação de incêndio). HUANG concluiu que a variação térmica pode corresponder a um importante efeito no comportamento da estrutura. O mesmo modelo, porém submetidos a diferentes temperaturas apresentam uma diferença significativa na distribuição de tensões.

3. Descrição da Estrutura

O forno de cozimento de anodo é um equipamento que funciona a elevadas temperaturas. As paredes das extremidades do forno têm a função de conter o fluxo de calor produzido no processo de operação do forno, estando, ao mesmo tempo, em equilíbrio com o meio externo, o qual se situa à temperatura ambiente.

Para isto, a parede externa do forno possui três camadas adjacentes, com materiais de propriedades térmicas e mecânicas distintas, conforme apresentado na FIGURA 1.



COTAS EM CENTIMETROS

FIGURA 1 – Parede Externa do Forno.

4. Descrição do Problema

As paredes de concreto armado do forno de cozimento de anodo em estudo têm apresentado deformações acumulativas com o passar dos seus vinte anos de existência (conforme forno analisado de uma indústria local). As Figuras 2 e 3 ilustram esquematicamente o sentido principal da deformação da parede (TEIXEIRA, 2004). Na Figura 3, pode-se observar a deformação da parede, utilizando-se a coluna metálica mostrada como referência de verticalidade.

Embora a deformação observada não esteja ainda prejudicando a operação do forno, questiona-se se a sua integridade estrutural pode estar sendo afetada.

5. Análise Computacional

Nesta pesquisa foram desenvolvidos modelos computacionais pelo MEF com auxílio do programa computacional Algor, para determinação da distribuição de temperatura e as correspondentes tensões e deformações de origem térmica na estrutura. O modelo estudado refere-se à estrutura original, utilizando-se a geometria atual da parede. Este estudo teve por objetivo o estudo comparativo do comportamento da estrutura original com 6 (seis) tipos de reforços estruturais.

Para representação dos materiais da estrutura foram admitidas as hipóteses de linearidade e isotropia. Foram realizadas três análises: análise térmica estacionária, análise térmica transiente e análise de tensões utilizando o resultado das análises térmicas. Nas análises térmicas transientes foram admitidas a evolução das temperaturas nas fases de pré-

aquecimento e fogo forçado do processo de operação do forno. Os modelos empregam elementos finitos tridimensionais, do tipo *brick* com 8 (oito) nós.

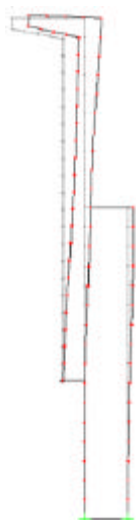


FIGURA 2 – Modelo Esquemático da Deformação



FIGURA 3 – Vista externa da parede do forno, indicando a sua deformação

Nas análises de tensões foi considerada a interação solo-estrutura e foi desconsiderado o efeito da gravidade, devido ao fato da estrutura já se encontrar em equilíbrio, no momento da análise. Como ação para a análise de tensões foi considerada apenas a distribuição de temperatura.

5.1. Resumo das Propriedades dos Materiais Consideradas

Em resumo, na TABELA 1 são apresentadas os valores das propriedades dos materiais utilizadas neste estudo. Os valores com a sigla (exp.) correspondem a resultados obtidos experimentalmente e os demais valores foram obtidos na literatura.

TABELA 1 – Propriedades dos materiais

	Concreto Convencional	Concreto Isolante B	Bloco de Concreto Isolante A	Solo (Areia Compactada)
Peso Específico(kgf/m ³)	2351,20	500,00	1420,39 (exp.)	1936,80
Módulo de Elasticidade (MPa)	21383,00	5000,00	6000,00	79,29
Condutividade Térmica (W/mK)	1,18 (exp.)	0,14	0,42	
Calor Específico (J/kg K)	880	1000	1000	
Coefficiente de Dilatação Térmica (10 ⁻⁶ /°C)	9,8999	7	3,28 (exp.)	
Coefficiente de Poisson	0,15	0,20	0,20	0,30

5.2. Cálculo das temperaturas a partir dos resultados obtidos experimentalmente.

O presente estudo considera de forma global as contribuições de geração de calor no processo de operação do forno, pois as temperaturas na parede de concreto armado foram obtidas experimentalmente durante a monitoração da estrutura. O desenvolvimento da monitoração da estrutura será apresentado em outro momento.

Através das temperaturas obtidas na monitoração das faces internas e externas da camada em concreto armado da parede, são obtidas as temperaturas nas camadas referentes aos concretos isolantes (tipo A e B). A FIGURA 13 ilustra o sistema em estudo.

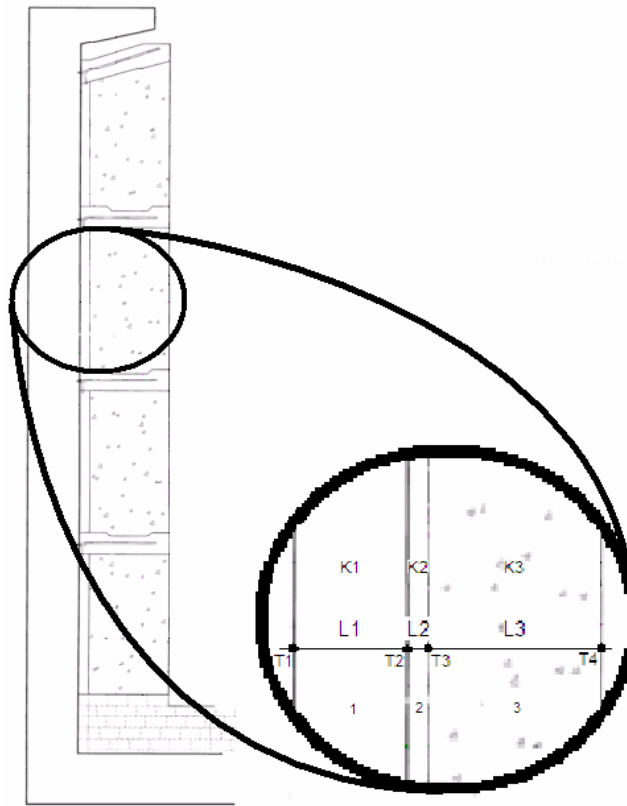


FIGURA 13 – Parâmetros utilizados no estudo de distribuição de temperatura da parede

Experimentalmente, foram obtidas as temperaturas T_1 e T_2 (FIGURA 13) ao longo do ciclo de operação do forno. Na análise seguinte, foi considerado apenas o caso de maior gradiente térmico na parede, o qual corresponde aos seguintes valores para as temperaturas indicadas na figura: $T_1 = 45^\circ\text{C}$ (318,15K) e $T_2 = 130^\circ\text{C}$ (403,15K).

A condutividade térmica do concreto convencional foi obtida experimentalmente correspondendo ao valor de $k_1 = 1,18 \text{ W/mK}$. Os dados dos dois concretos isolantes foram fornecidos pelo fabricante: $k_2 = 0,14 \text{ W/mK}$ e $k_3 = 0,42 \text{ W/mK}$.

Para obter as temperaturas T_3 e T_4 , foi considerado que a condução de calor se encontra em regime estacionário e unidimensional. Com base nestas hipóteses, pode-se então afirmar que o fluxo de calor é o mesmo nas três camadas.

As camadas possuem as seguintes espessuras: $L_1 = 0,20 \text{ m}$, $L_2 = 0,10 \text{ m}$ e $L_3 = 0,46 \text{ m}$.

Em função das argumentações expostas acima, pode-se determinar as temperaturas T_3 e T_4 , e o fluxo de calor na parede, de acordo com o desenvolvimento abaixo:

$$q_1 = q_2 = q_3$$

$$\frac{k_1 \Delta T_1}{L_1} = \frac{k_2 \Delta T_2}{L_2} = \frac{k_3 \Delta T_3}{L_3}$$

$$\therefore q_1 = 501,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} ; \therefore T_3 = 761,37 \text{ K} ; \therefore T_4 = 1310,63 \text{ K}$$

5.3. Modelos Computacionais

O modelo desenvolvido foi baseado nas dimensões reais da parede. Os resultados deste modelo foram comparados com os resultados obtidos na monitoração da estrutura, objetivando a validação da modelagem numérica. Para isso foi utilizado o programa Algor. As FIGURAS 14 e 15 ilustram o modelo computacional da parede do forno de cozimento de anodo com as dimensões reais. Na cor azul está representado o solo (areia compacta), nas cores rosa, verde e marrom o concreto armado e nas cores vermelha e laranja os dois tipos de concreto isolante. Embora não esteja representado na figura, os deslocamentos dos nós situados nas superfícies verticais do contorno da região em areia foram restringidos.

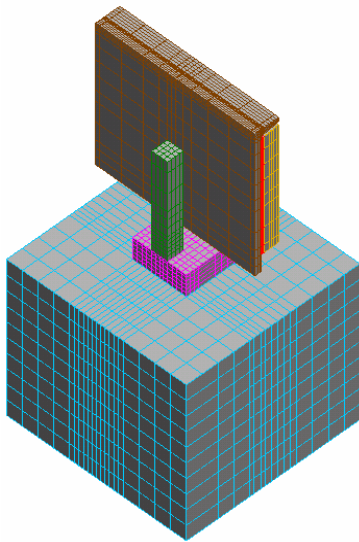


FIGURA 14 – Modelo da Estrutura em Estudo.

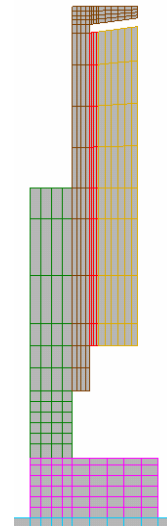


FIGURA 15 – Seção transversal do modelo

O resultado da análise térmica estacionária, com a representação gráfica das isothermas está ilustrado na FIGURA 16.

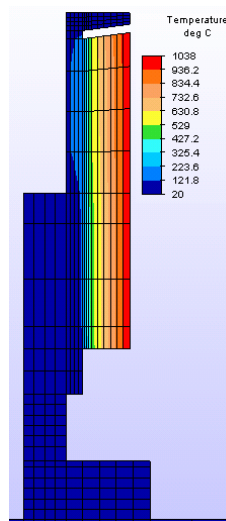


FIGURA 16 – Perfil térmico do modelo – análise estacionária

A análise térmica transiente leva em consideração o tempo e a curva de carregamento que a estrutura é submetida devido ao efeito térmico. O tempo obtido experimentalmente para a temperatura atingir o seu valor máximo são de 6 (seis) dias. A curva de evolução da variação de temperatura está ilustrada na FIGURA 17.

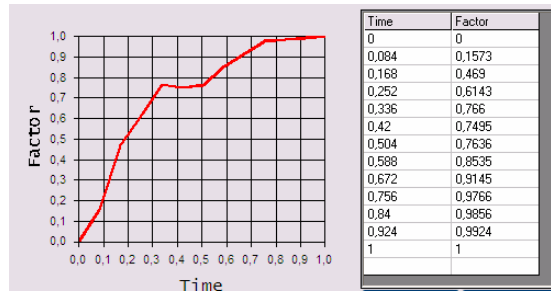


FIGURA 17 – Curva da variação de temperatura utilizada na análise transiente

A curva de evolução da temperatura foi obtida com o auxílio de termopares durante o ciclo de operação do cozimento de anodo. A geração de calor ocorre nas fases de preaquecimento e fogo forçado, as quais correspondem aos 6 (seis) dias necessários para que se atinja a temperatura máxima.

As FIGURAS 18 e 19 representam as distribuições do campo de temperatura na estrutura, resultado da análise térmica transiente. Esta análise leva em consideração o efeito do tempo, na propagação do fluxo de calor e distribuição de temperatura na estrutura, em função do calor específico de cada material.

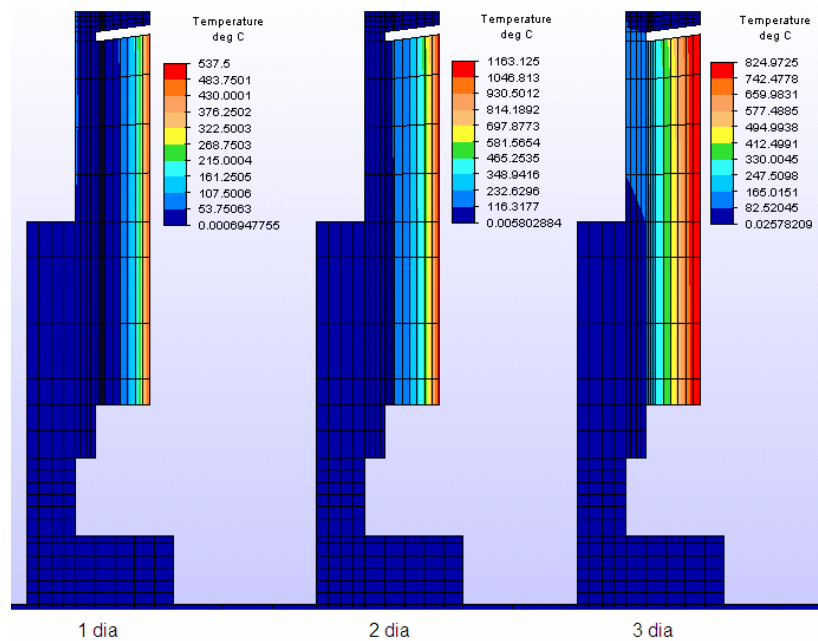


FIGURA 18 – Perfil térmico do modelo na análise transiente

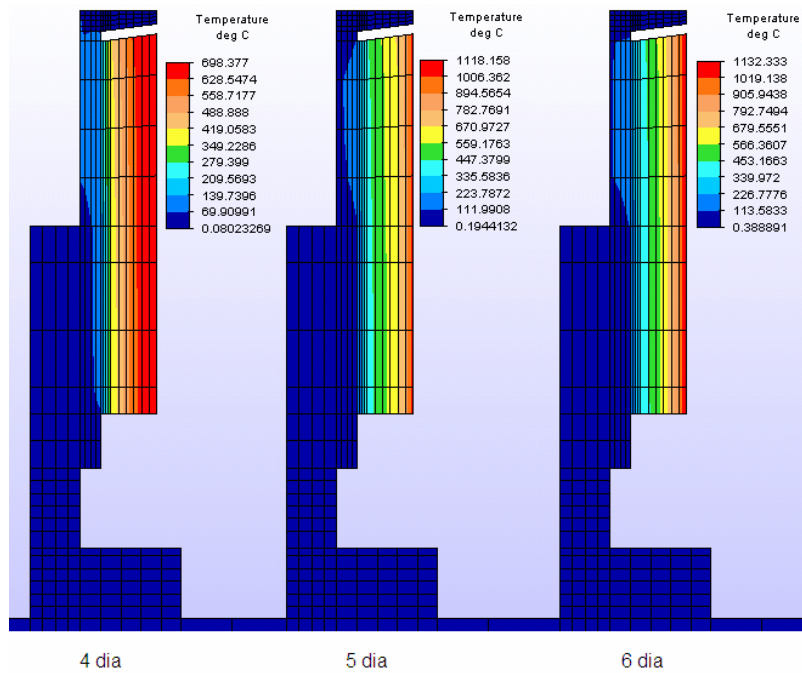


FIGURA 19 – Perfil térmico do modelo na análise transiente

A partir das temperaturas nodais obtidas nas análises térmicas, pode-se realizar a análise de tensões com este efeito. A configuração do modelo deformado da estrutura, devido ao efeito térmico, é representada na FIGURA 20.

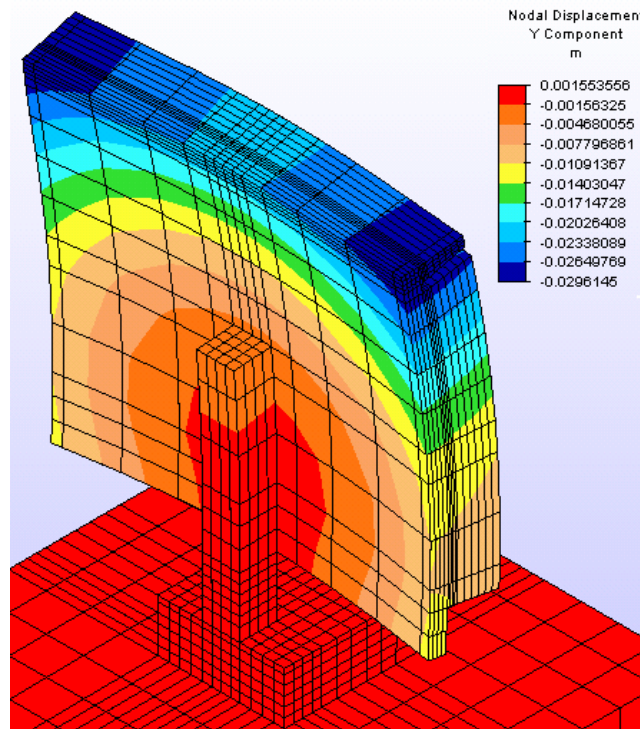


FIGURA 20 – Modelo deformado devido o efeito térmico

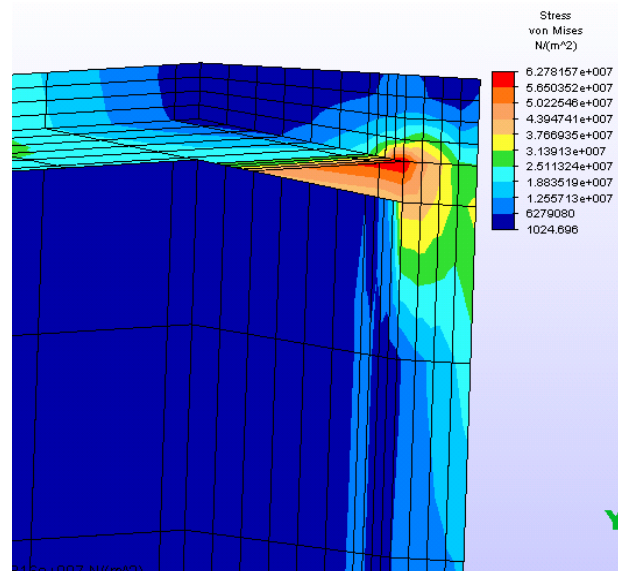
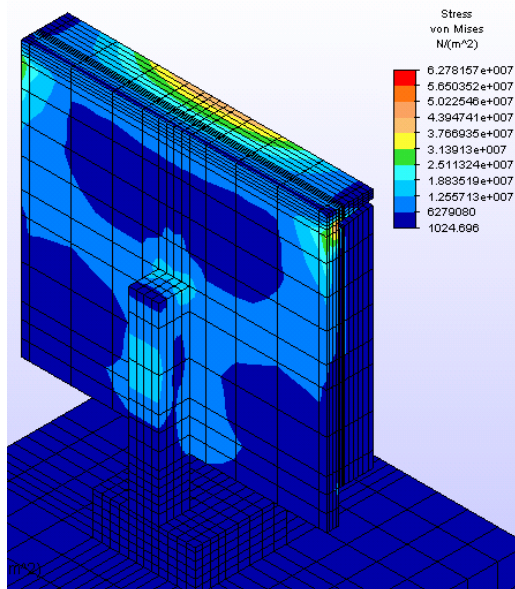
Nesta análise é possível observar que os maiores deslocamentos ocorrem nas extremidades da placa em concreto armado, sendo que o pilar apresentou uma menor deformação.

As FIGURAS 21 e 22 ilustram as representações das tensões na estrutura devido o efeito térmico. Embora a parede em estudo seja uma estrutura em concreto armado, optou-se por representar as tensões de Von Mises, tradicionalmente utilizadas para estudo de escoamento em materiais dúcteis. A justificativa para a utilização desta representação foi o fato destas tensões representarem a contribuição geral das várias componentes de tensão para o escoamento do material em um estado complexo de tensões.

Entretanto, embora o concreto tenha um comportamento frágil, a estrutura em concreto armado pode ter um comportamento dúctil, dependendo do taxa e do detalhamento da armadura utilizada, o que de certa forma também válida, pelo menos parcialmente, a apresentação das tensões de Von Mises neste trabalho.

Naturalmente, a representação de um critério mais apropriado para materiais frágeis seria mais adequado neste trabalho, porém como isto não estava disponível no programa utilizado (Algor), esta representação não foi obtida.

Além disso, uma análise que considerasse a não linearidade física (do material) da estrutura seria mais apropriada, mas isto implicaria em complexidades adicionais ao estudo, estando fora do escopo deste trabalho.



Na análise da representação das tensões de Von Mises observou-se uma concentração de tensões na extremidade da parede, próximo a borda de concreto armado, conforme está representado no detalhe da FIGURA 22.

5.4. Modelo com a Primeira Proposta de Reforço.

A primeira proposta de modificação da estrutura real consiste na eliminação da junta de dilatação entre dois segmentos de parede. A FIGURA 23 representa esta modificação.

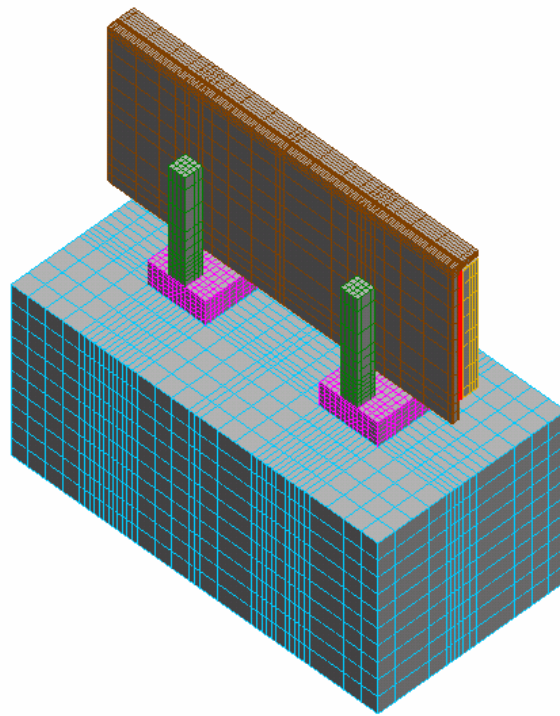


FIGURA 23 – Modelo em elementos finitos com a proposta de reforço tipo 1

A configuração do modelo deformado da estrutura devido ao efeito térmico é representada na FIGURA 24.

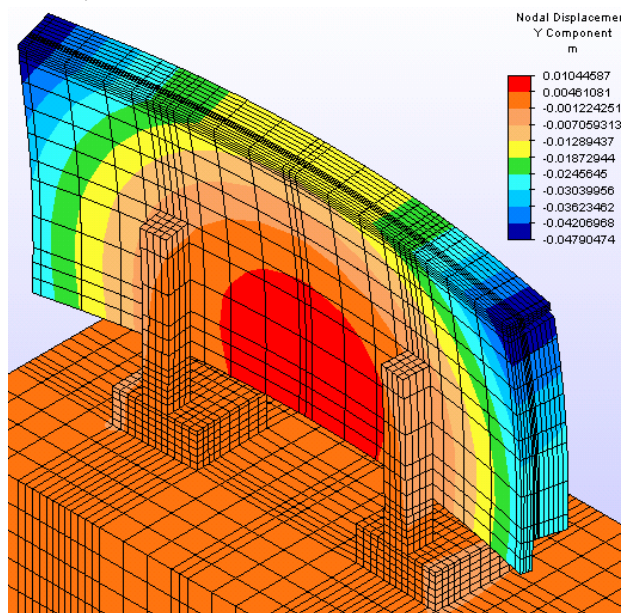


FIGURA 24 – Modelo deformado devido o efeito térmico do reforço tipo 1

Na análise de tensões com dois segmentos de paredes unidos, ou seja, sem junta de dilatação, observou-se um acréscimo das deformações na região central do modelo. Este resultado não é satisfatório para a parede de concreto armado, pois pode agravar as deformações já existentes, assim como agravar a evolução das trincas.

As FIGURAS 25 e 26 ilustram a distribuição de tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

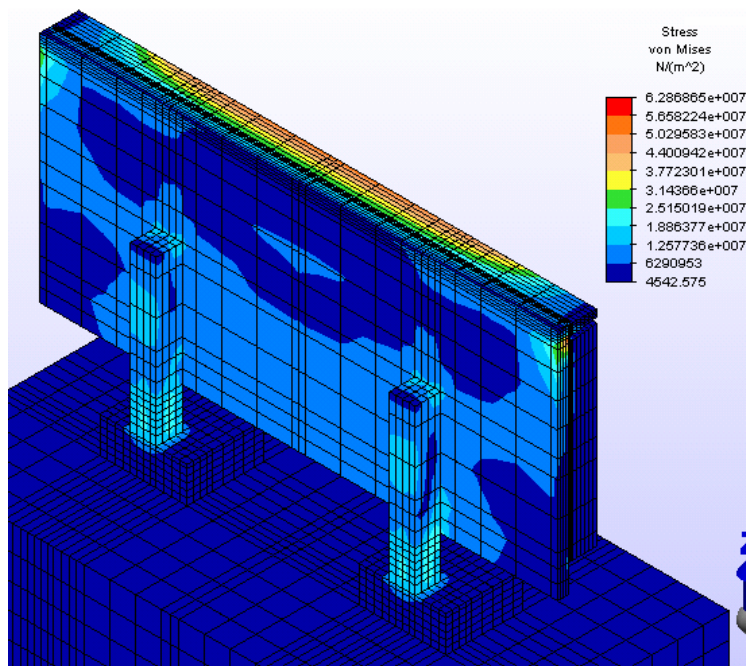


FIGURA 25 – Representação de tensões por von mises – Reforço 1

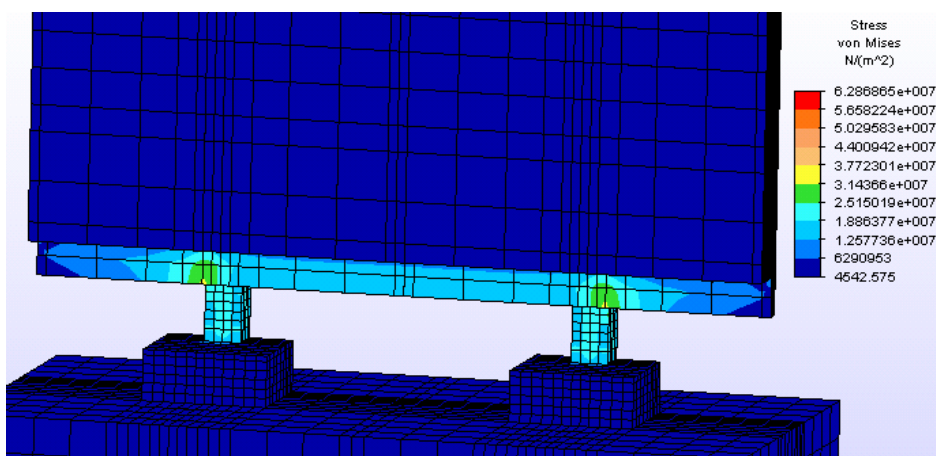


FIGURA 26 – Detalhe da .representação de tensões por von mises – Reforço 1

5.5. Modelo com a Segunda Proposta de Reforço.

A segunda proposta de modificação da estrutura real refere-se a alterações no bloco de fundação da estrutura e no pilar. As FIGURAS 27 e 28 ilustram o modelo computacional com a proposta de reforço tipo 2.

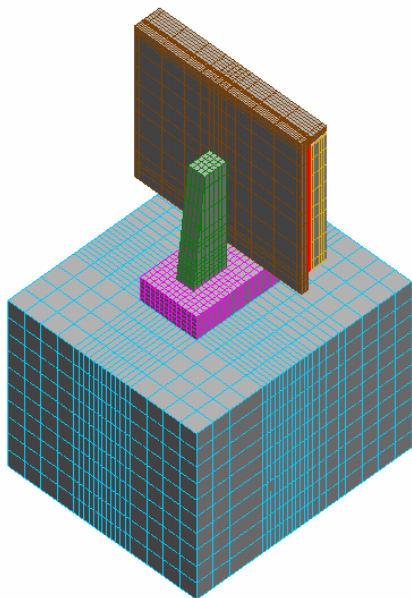


FIGURA 27 – Modelo em elementos finitos da proposta de reforço tipo 2

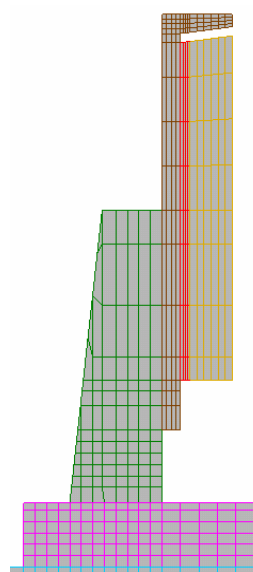


FIGURA 28 – Corte transversal da proposta de reforço tipo 2

A configuração do modelo deformado da estrutura referente às ações térmicas é representada na FIGURA 29.

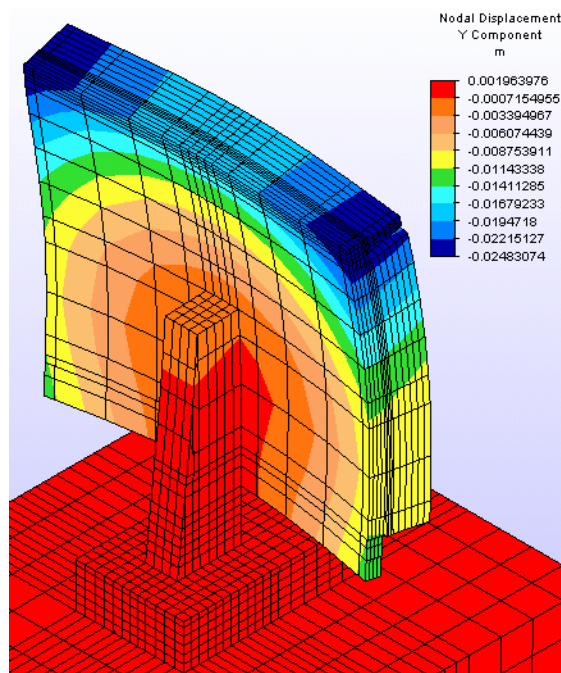


FIGURA 29– Modelo Deformado devido o efeito térmico do reforço tipo 2

A análise do modelo com a proposta de reforço do bloco de fundação e do pilar demonstra uma redução muito pequena nos deslocamentos da parede, não vindo, portanto, a solucionar o problema de deformação excessiva da estrutura.

A FIGURA 30 ilustra a distribuição das tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

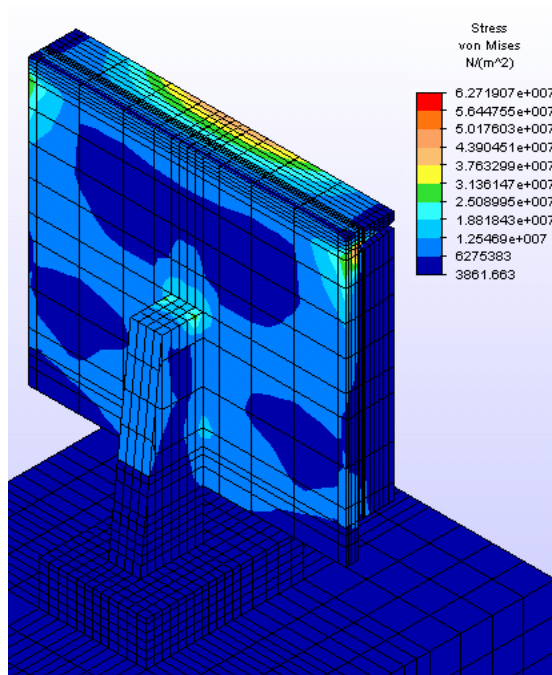


FIGURA 30 – Representação de tensões por von mises – reforço tipo 2

Esta proposta de reforço provoca um aumento das tensões na placa da parede de concreto armado, devido ao aumento da rigidez do pilar. Com essa análise, pode-se prever que caso essa solução venha a ser implantada, ela poderá agravar as fissurações devido a grande diferença de rigidez entre a placa e o pilar.

5.6. Modelo com a Terceira Proposta de Reforço.

A terceira proposta de modificação da estrutura real consiste em alterações no bloco de fundação da estrutura, no pilar e na placa. O elemento correspondente à alteração na placa tem o aspecto de um capitel comumente utilizado em lajes cogumelo. As FIGURAS 31 e 32 ilustram o modelo computacional com a modificação referente ao reforço tipo 3.

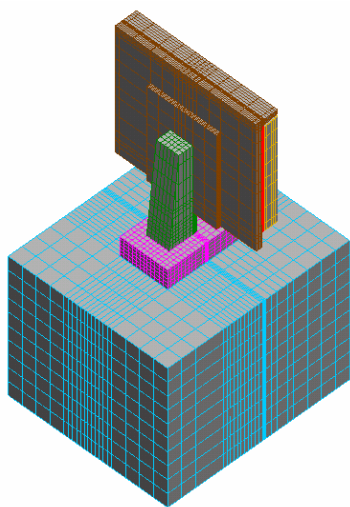


FIGURA 31 – Modelo em elementos finitos da proposta de reforço tipo 3

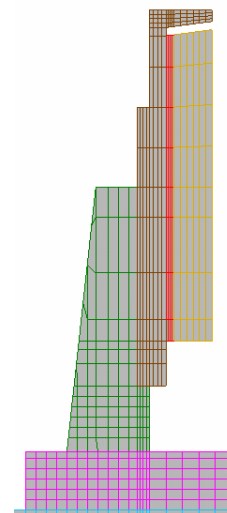


FIGURA 32 – Corte transversal do reforço tipo 3

O modelo deformado da estrutura devido ao efeito térmico está representado pela FIGURA 33.

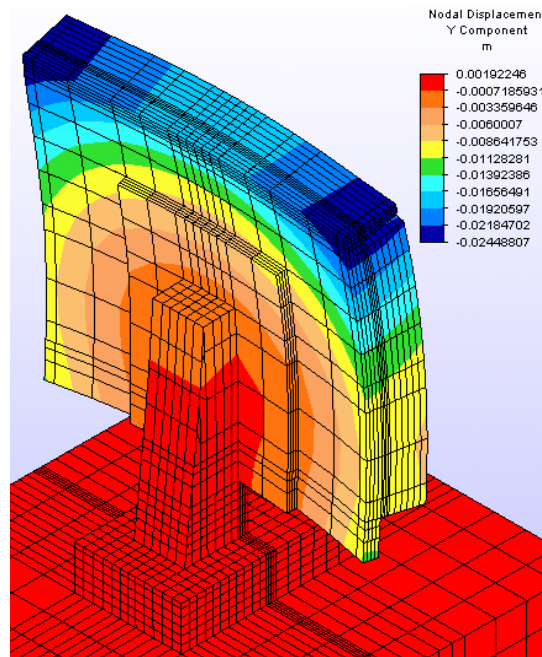


FIGURA 33 – Modelo deformado do reforço tipo 3

Os deslocamentos referentes a esta proposta de reforço não foram reduzidos de forma significativa, demonstrando que este reforço não irá solucionar o problema de deslocamento excessivo da estrutura.

A FIGURA 34 ilustra a distribuição das tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

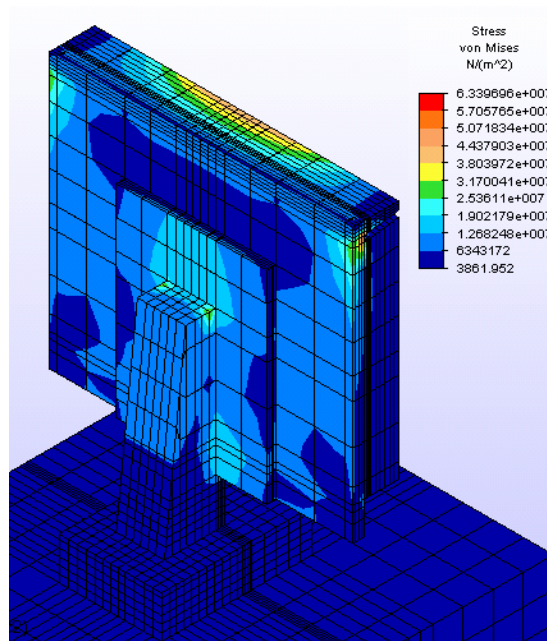


FIGURA 34 – Representação de tensão por von mises – reforço tipo 3

5.7. Modelo com a Quarta Proposta de Reforço.

A quarta proposta de modificação da estrutura real corresponde a alterações na seção do pilar. A FIGURA 35 ilustra o modelo computacional com a proposta de reforço tipo 4.

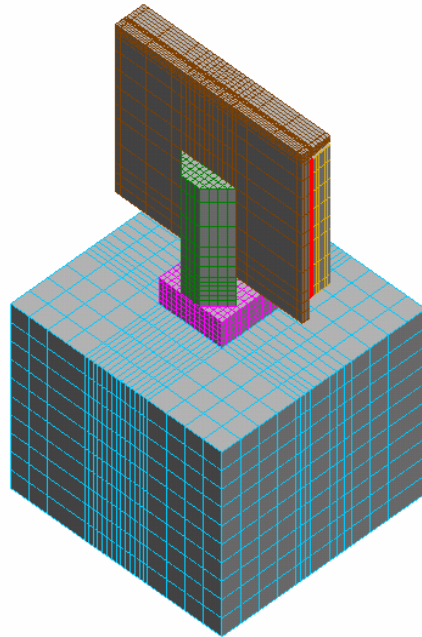


FIGURA 35 – Modelo em elementos finitos da proposta de reforço tipo 4

A configuração do modelo deformado da estrutura ocasionada pela variação térmica é representada na FIGURA 36.

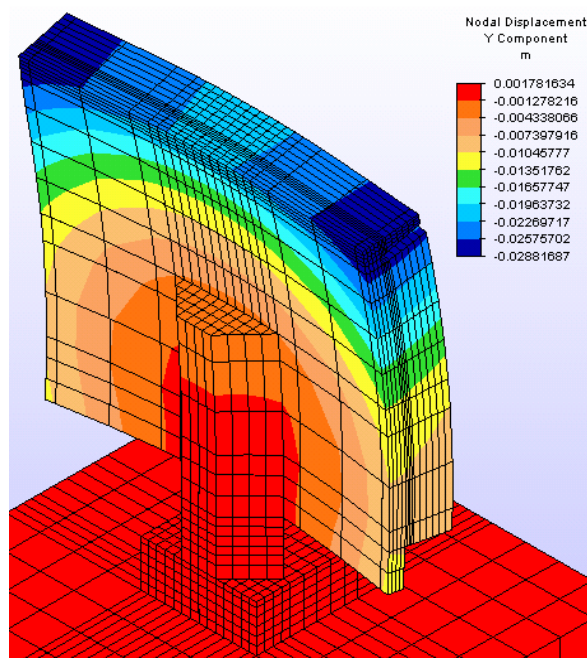


FIGURA 36 – Configuração do modelo deformado referente a proposta de reforço tipo 4

Este reforço foi o que menos contribuiu para a redução dos deslocamentos da estrutura. Entretanto, com este reforço, pode-se amenizar o efeito da evolução das trincas no contorno do pilar, em função da transição suave de rigidez entre o pilar e a placa.

A FIGURA 37 ilustra a distribuição de tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

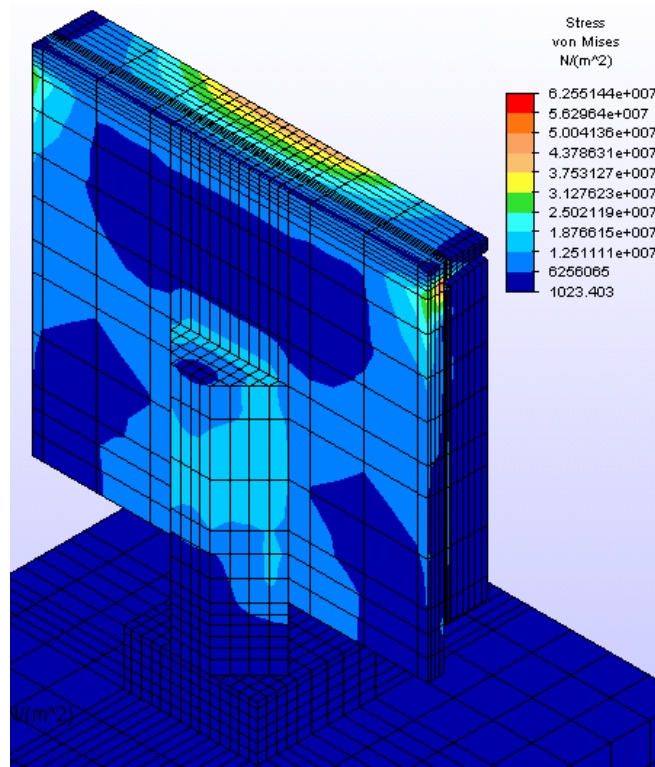


FIGURA 37 – Representação de tensão por von mises – reforço tipo 4

Conforme mencionado anteriormente, esta proposta de reforço ameniza o problema de concentração de tensões na vizinhança do pilar.

5.8. Modelo com a Quinta Proposta de Reforço.

A quinta proposta de reforço da estrutura real consiste na eliminação da junta de dilatação entre duas paredes tipo e no acréscimo de dois elementos estruturais inclinados do tipo “mão francesa”, conforme ilustram as FIGURAS 38 e 39.

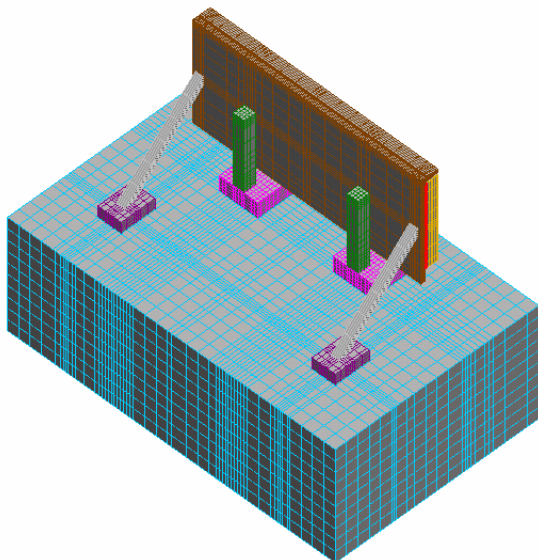


FIGURA 38 – Modelo em elementos finitos da proposta de reforço tipo 5

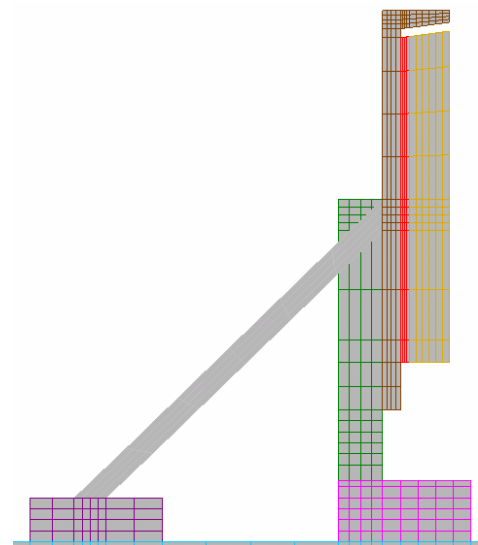


FIGURA 39 – Corte transversal do reforço tipo 5

A configuração do modelo deformado da estrutura devido ao efeito térmico está representado pela FIGURA 40.

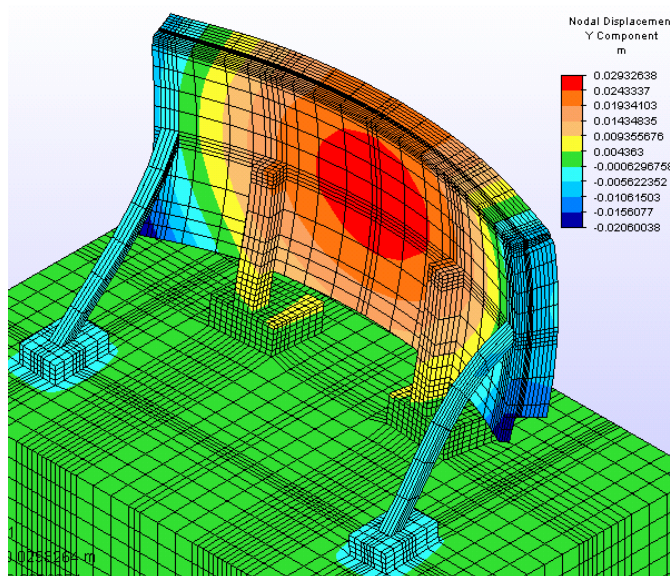


FIGURA 40 – Modelo deformado do reforço tipo 5

Esta proposta de reforço não é satisfatória em função do acréscimo dos deslocamentos na região central da estrutura, conforme mostra a FIGURA 40.

A FIGURA 41 ilustram a distribuição de tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

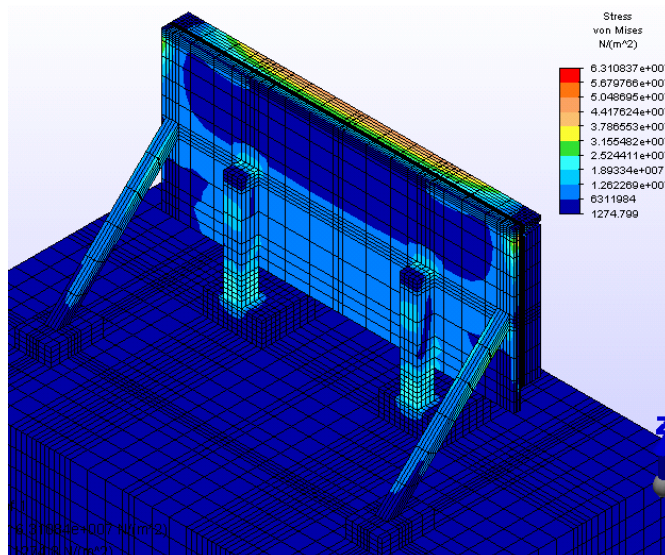


FIGURA 41 – Representação de tensão por von mises – reforço tipo 5

5.9. Modelo com a Sexta Proposta de Reforço.

A sexta proposta de reforço da estrutura real consiste no acréscimo de dois elementos estruturais inclinados do tipo “mão francesa”, de modo análogo à quinta proposta, sem, no entanto eliminar as juntas de dilatação, conforme indica a FIGURA 42.

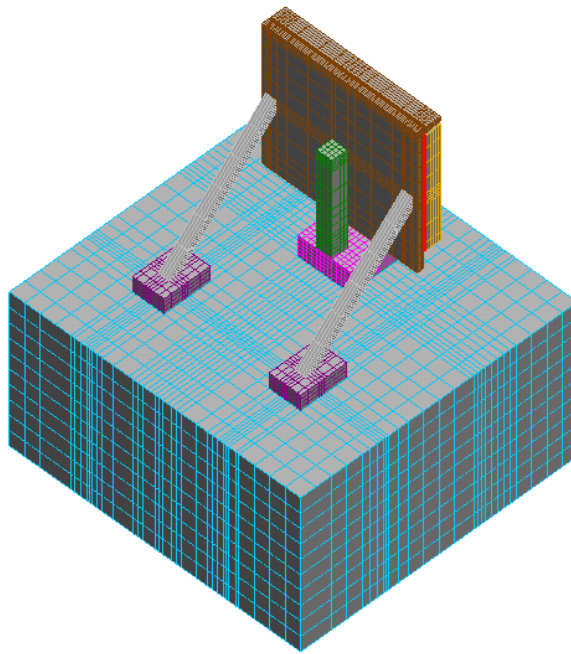


FIGURA 42 – Modelo em elementos finitos da proposta de reforço tipo 6

A configuração do modelo deformado da estrutura devido ao efeito térmico é representada na FIGURA 43.

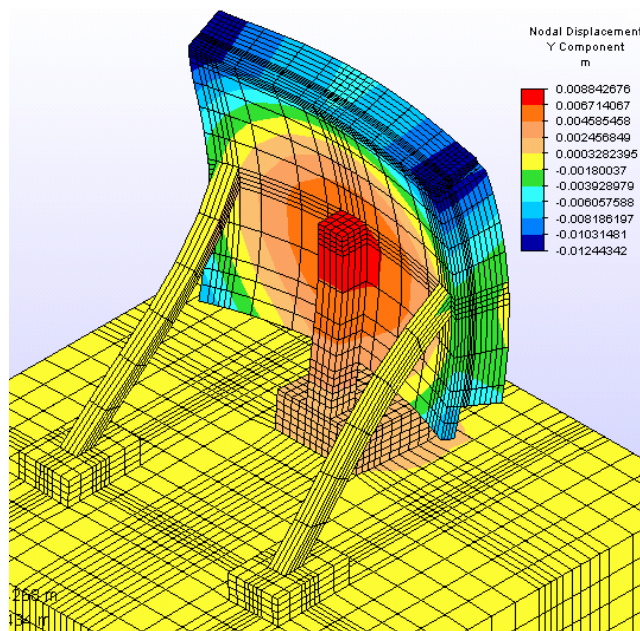


FIGURA 43 – Modelo deformado do reforço tipo 6

Esta proposta de reforço reduziu consideravelmente os deslocamentos da parede como um todo, limitando os deslocamentos máximos a valores ligeiramente inferiores a 1,00 cm.

A FIGURA 44 ilustra a distribuição de tensões na estrutura devido ao efeito térmico.

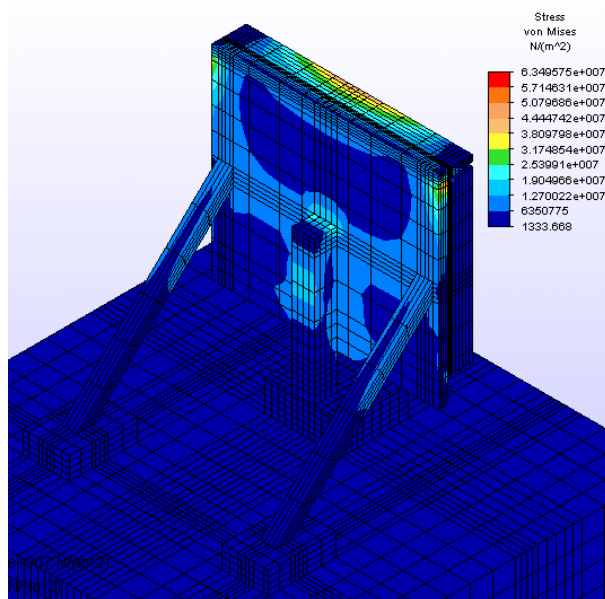


FIGURA 44 – Representação de tensão por von mises – reforço tipo 6

A análise dos resultados referentes a este reforço demonstra uma melhor distribuição de tensões ao longo da parede de concreto armado. Porém, verifica-se um acréscimo das tensões na ligação bloco de fundação com o pilar.

Embora no modelo analisado, por simplicidade, os novos elementos estruturais inclinados introduzidos tenham uma seção retangular maciça, na prática devem ser utilizados perfis metálicos do tipo I, para facilitar a execução do reforço.

6. Conclusão

a) A TABELA 2 apresenta uma comparação entre os valores dos deslocamentos devidos aos efeitos térmicos entre o modelo real e as propostas de reforço na estrutura. Conclui-se que as propostas de reforço tipo 1 e tipo 5, que propõem a eliminação da junta de dilatação entre dois segmentos, elevam a deformação em determinadas regiões, não sendo satisfatório para a estrutura.

TABELA 2 – Comparação do resultado experimental com os resultados dos diversos modelos computacionais

Resultados dos Modelos (unidade: mm)								
	Exp.	Modelo Real	Reforço 1	Reforço 2	Reforço 3	Reforço 4	Reforço 5	Reforço 6
Sensor 01	22,20	23,44	40,79	19,57	19,33	22,70	6,38	8,41
Sensor 02	13,00	12,99	30,22	11,04	10,80	12,35	5,15	2,21
Sensor 03	4,97	9,75	26,88	9,92	8,93	9,05	12,32	3,76
Sensor 04	23,30	23,44	6,60	19,57	19,33	22,70	-25,52	8,41
Sensor 05	14,00	12,99	-4,91	11,04	10,80	12,35	-27,58	2,21
Sensor 06	5,04	9,75	-8,87	9,92	8,93	9,05	-21,08	3,76
Sensor 07	17,30	15,21	14,61	11,22	11,30	14,67	-18,08	0,32
Sensor 08	13,50	7,01	6,30	4,27	4,66	6,59	-20,11	-5,00
Sensor 09	9,42	2,61	1,81	0,98	1,27	2,41	-19,12	-6,94
Sensor 10	2,84	0,24	-0,55	0,15	0,11	0,14	-11,67	-4,82

b) Os modelos referentes às propostas de reforço 2, 3 e 4 apresentam uma diminuição não satisfatória da deformação da parede. Com isso, não são apropriadas para solucionar o problema de deformação excessiva.

c) De acordo com as simulações computacionais realizadas, a proposta de reforço 6 proporcionou uma redução satisfatória dos deslocamentos da estrutura. Como vantagem ainda deste sistema, é previsto que os elementos estruturais inclinados sirvam para combater também o efeito torcional existente no comportamento da estrutura.

d) Conclui-se que a deformação observada na estrutura em estudo é devido na sua maior parte a efeitos de origem térmica na própria parede. Porém ainda não se sabe, com precisão, qual a influência de efeitos mecânicos adicionais no comportamento da estrutura. Como exemplo cita-se a possível influência da deformação da flue-wall adjacente à parede em estudo, o que pode causar uma provável deformação adicional provocada pelo contato entre as duas estruturas.

e) Conclui-se que as juntas de dilatação entre os segmentos tipos da parede em estudo têm uma significativa importância para diminuição da deformação, não sendo recomendável para a estrutura real a eliminação destas juntas.

7. Referências

Costa, C.N.; Figueiredo, A.D.; Silva, V.P.– Aspectos Tecnológicos dos Materiais de Concreto em Altas Temperaturas. Nutau – 2002.

Gawin, D.; Pesavento, F.; Schrefler B.A.– Modelling of Hydro-Thermal Behaviour of Concrete at High Temperature with thermo-Chemical and Mechanical Material Degradation – Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 192 páginas 1731 à 1771 – 2003.

Grjotheim, K.; Kvande, H. – Introduction to Aluminium Electrolysis. Understanding the Hall - Héroult Process. Aluminium-Verlag 2nd Edition – 1993.

Huang, Z. H.; Burgess, I.W.; Plank, R.J.– Non-linear Structural Modelling of a Fire Test Subject to High Restraint — Fire Safety Journal 36 páginas 795 à 814 – 2001.

Kruger, D.A.V. Análise Térmica Transiente de Estruturas de Concreto Executadas por Camadas. Dissertação. Universidade Federal do Paraná – 2001.

Shin K., Kim S., Kin J. H., Chung, M., Junhg, P. S. – Termo-Physical Properties and Transient Heat Transfer of Concrete at Elevated Temperatures – Nuclear Engineering and Design 212 páginas 233 à 241 – 2002.

Silva, C.A.R., Tolentino, E., Starling, C.M.D., Vasconcelos, W.L. e Lameira, F.S. Microestrutura de Concreto e Aços Estruturais antes e após a Exposição a Temperaturas Elevadas. 44 Congresso Brasileiro do Concreto – 2002.

Teixeira, M.R. – Análise Termoelástica Experimental e Computacional por Elementos Finitos da Parede Externa em Concreto Armado de um Forno de Cozimento de Anodo – Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFPA – 2004.