



AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTIVA DE PLACAS DE CONCRETO COM DIFERENTES GEOMETRIAS SUBMETIDAS A VARIAÇÕES TÉRMICAS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Nailde de Amorim Coelho

nailde.coelho@univasf.edu.br

Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF

Dyorgge Alves Silva

dyorggeasilva@utfpr.edu.br

Universidade de Brasília - UnB e Universidade Tecnológica Federal do Paraná –UTFPR

Maria Erenita de Amorim Coelho

maria.coelho@ifbaiano.edu.br

Instituto Federal Baiano - IFBaiano

Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus de Juazeiro-BA - Colegiado de Engenharia Civil - Avenida Antonio Carlos Magalhães, nº. 510 Country Club CEP: 48.902-300 - Juazeiro/BA, Brasil.

Resumo. *As estruturas de concreto dependem do seu dimensionamento e ações impostas para a verificação dos esforços a que podem resistir. Placas de concreto são comumente encontradas na sua forma retangular, no entanto, outras formas geométricas podem ser construídas modificando as tensões existentes. As variações térmicas estimulam modificações nos comprimentos das peças, que estando restritas geram tensões que podem levar a fissuração do material. Esse trabalho investigou placas com geometrias distintas, submetidas as mesmas ações, condições iniciais e de contorno analisando as deformações decorrentes desses esforços, observando qual a influência da geometria nas tensões obtidas em placas com interferência térmica. As variações ocorridas foram obtidas com o programa do Método dos Elementos Finitos - MEF, comparadas com soluções analíticas e também com os resultados obtidos pela modificação geométrica. Dessa forma, é possível observar que os resultados analíticos e numéricos foram compatíveis, podendo o modelo de solução ser aplicado a estruturas mais complexas via MEF, assim como pode-se afirmar que com a mudança da geometria os esforços solicitantes podem ser reduzidos ou ampliados, e, conseqüentemente, verifica-se qual o exemplo, dentre os estudados, que suporta a maior quantidade de cargas aplicadas.*

Palavras-chave: *Tensões, Temperatura, Método dos Elementos Finitos, Soluções Analíticas, Placas.*

1 INTRODUÇÃO

As modificações da temperatura nas estruturas provocam tensões que podem induzir a fissuração do concreto e a forma geométrica pode contribuir para uma maior capacidade de carga. Deve-se observar também a presença de aberturas nessas estruturas, identificando os pontos críticos, possíveis locais de fissuração. Problemas térmicos podem ocorrer em chaminés, fachadas, peças mecânicas, ou qualquer estrutura com incidência forte de calor.

A fissuração do concreto é frequentemente consequência de uma ruptura por tração. Para estruturas de concreto geralmente se utiliza o aço para absorver as cargas de tração (Mehta e Monteiro, 2008). O concreto possui boa resistência à compressão e baixa resistência à tração. Quando se diz que o concreto tem resistência de 40 MPa, por exemplo, indica que este é o valor da sua resistência a compressão, a resistência à tração é em torno de 10% desse valor. Para combater a baixa capacidade resistiva à tração, são colocadas as armaduras, que possui alta Resistência à tração, comparado ao concreto. Dessa forma, o material fica consegue resistir a todos os esforços solicitantes.

Abordagens numéricas parecem ser a melhor maneira de caracterizar as propriedades de falha do concreto em tensão a temperaturas elevadas. Em uma análise verificou-se que no caso da carga de tração, com a temperatura, danos começam antes de 100°C; a diferença dos resultados para diferentes geometrias não é significativo; a permeabilidade aumenta mais rapidamente, no caso de tração; a deformação total parece ser devido, principalmente, à expansão térmica, que contribui para a separação das camadas de C-S-H. E, a carga de tração leva à falha total do material (Grondin, et al, 2011)

Quando uma estrutura sobre efeitos térmicos não está livre para se movimentar surgem as tensões oriundas das suas restrições (Coelho, 2014). Fissuras nessas estruturas são indesejáveis, pois afetam a permeabilidade, a durabilidade, aparência e suas tensões internas. O controle dessa temperatura é importante para que fissuras sejam evitadas (USBR, 1981).

Para reduzir a possibilidade de fissuração de origem térmica, recomenda-se a realização de estudos térmicos para determinar os procedimentos necessários para a minimização deste problema potencial (Vicente et al 2014).

Os métodos numéricos são muito utilizados para simulação preliminar desses problemas. Dentre os métodos numéricos mais utilizados tem-se o Método das Diferenças Finitas (MDF), o Método dos Elementos Finitos (MEF) e o Método dos Elementos de Contorno (BEM). Neste trabalho será utilizado o MEF com auxílio do programa ANSYS.

O objetivo de uma análise pelo MEF é simular matematicamente o comportamento de um problema real. Isto é possível a partir da criação de um modelo que represente a situação a ser estudada. Este modelo dispõe de todos os nós, elementos, propriedades dos materiais, constantes reais, condições de limite e outras características que são utilizados para representar o sistema físico.

Assim, esse trabalho mostra as tensões termomecânicas em estruturas de concreto com diferentes geometrias e com a presença de aberturas pelo MEF, na tentativa de contribuir para os avanços da área e mostrar a importância do tema.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Os fenômenos térmicos são influenciados por suas propriedades térmicas, bem como a direção de análise. Os problemas termomecânicos trabalham de forma acoplada, primeiramente são resolvidos os problemas térmicos e a partir dessas soluções, encontram-se as tensões para os elementos, pois as temperaturas entram como Condições de Contorno – CC na solução da parte mecânica. A equação que rege o problema térmico e os modelos mecânicos são mostradas a seguir, maiores detalhes podem ser encontrados em Hetnaski e Eslami (2009), Timoshenko e Woinowsky-Krieger (1989), Szilard (2004), Boley e Weiner (1976), Coelho (2016), Coelho *et al* (2016).

A equação da condução de calor com geração de calor interna é apresentada conforme Eq.1.

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Em que:

- k = condutividade térmica do material;
- $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T$ = gradiente térmico;
- $\dot{q}$ = geração de calor em função do tempo;
- ρ = massa específica;
- c = calor específico;
- $\frac{\partial T}{\partial t}$ = variação da temperatura com o tempo.

Dada a placa da Fig. 1, que apresenta temperaturas T_t e T_b nas suas extremidades de espessura h . Esta irá apresentar uma deflexão w , em torno do seu eixo Z .

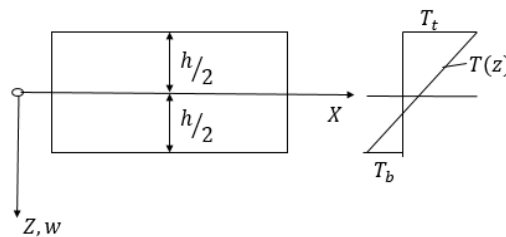


Figura 1 - Distribuição de temperatura através da espessura linear de chapa.

A equação geral da placa é dada pela Eq. 2:

$$D \nabla^4 w = P \quad (2)$$

Em que:

- $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ = rigidez à flexão da placa;

- E = módulo de elasticidade;
- ν = coeficiente de Poisson;
- $\nabla^4 w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}$ = deslocamento na direção Z;
- P = carga térmica transversal equivalente

Sendo:

$$P = -\nabla^2 m \quad (3)$$

Em que m é o momento, dado pelas equações 4 ou 5, onde α é o coeficiente de expansão térmica.

$$m = \frac{\alpha E}{1-\nu} \int_{-h/2}^{h/2} (\Delta T) z \, dz \quad (4)$$

$$m = D \alpha \frac{T_t - T_b}{h} (1 + \nu) \quad (5)$$

2.1 Condições iniciais e de contorno

As Condições de Contorno - CC influenciam diretamente nos resultados obtidos. Nos problemas termomecânicos, que trabalham de forma acoplada, tem-se as CC para as análises térmicas e as CC para as análises mecânicas.

Para os problemas térmicos utilizados neste trabalho, as CC são impostas como:

- Temperatura prescrita: $T(x, y, z, t) = T$
- Perfeito isolamento: $k \frac{\partial T}{\partial n} = 0$

Para a placa retangular, foram aplicadas as seguintes CC no cálculo de tensões:

- Extremidade simplesmente apoiada: $w = 0$ e $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -\frac{m}{D}$
- Extremidade fixa: $w = 0$ e $\frac{\partial w}{\partial x} = 0$

3 RESULTADOS

Após validação de resultados analíticos numéricos, foram estudadas placas em formato retangular, triangular, circular e pentagonal maciças e com a presença de dois furos, situados à distância de 1/3 do comprimento das bordas. Ambas as placas foram analisadas considerando-se dois casos: a placa engastada em todas as extremidades; e apenas a rotação impedida na direção z ($\Delta z = 0$), que representa a espessura da placa, de 0,10 m. As outras dimensões, para as estruturas com furos são apresentadas na Fig. 2, eixo x e y. Para as placas maciças foram utilizadas as mesmas dimensões sem a presença dos furos.

Para as análises foram utilizados os elementos *SOLID186* e *COMBIN14* do *ANSYS WORKBENCH*, com 69902 nós e 15030 elementos para a placa rectangular, 79387 nós e 16794 elementos para a placa triangular, 30959 nós e 6054 elementos na placa circular e, para a pentagonal, 11144 nós e 1938 elementos.

As análises foram efetuadas em dois pontos, um situado no ponto médio do comprimento ou da altura, denominado P1, e outro situado a uma distância de 0,05 m da borda de uma das aberturas, P2, como pode ser observado na Fig. 2. Em todos os casos foram utilizados como CC da parte térmica temperatura de 0°C na face inferior, para $z = 0,00$ m, e 100°C para a face superior, com $z = 0,10$ m.

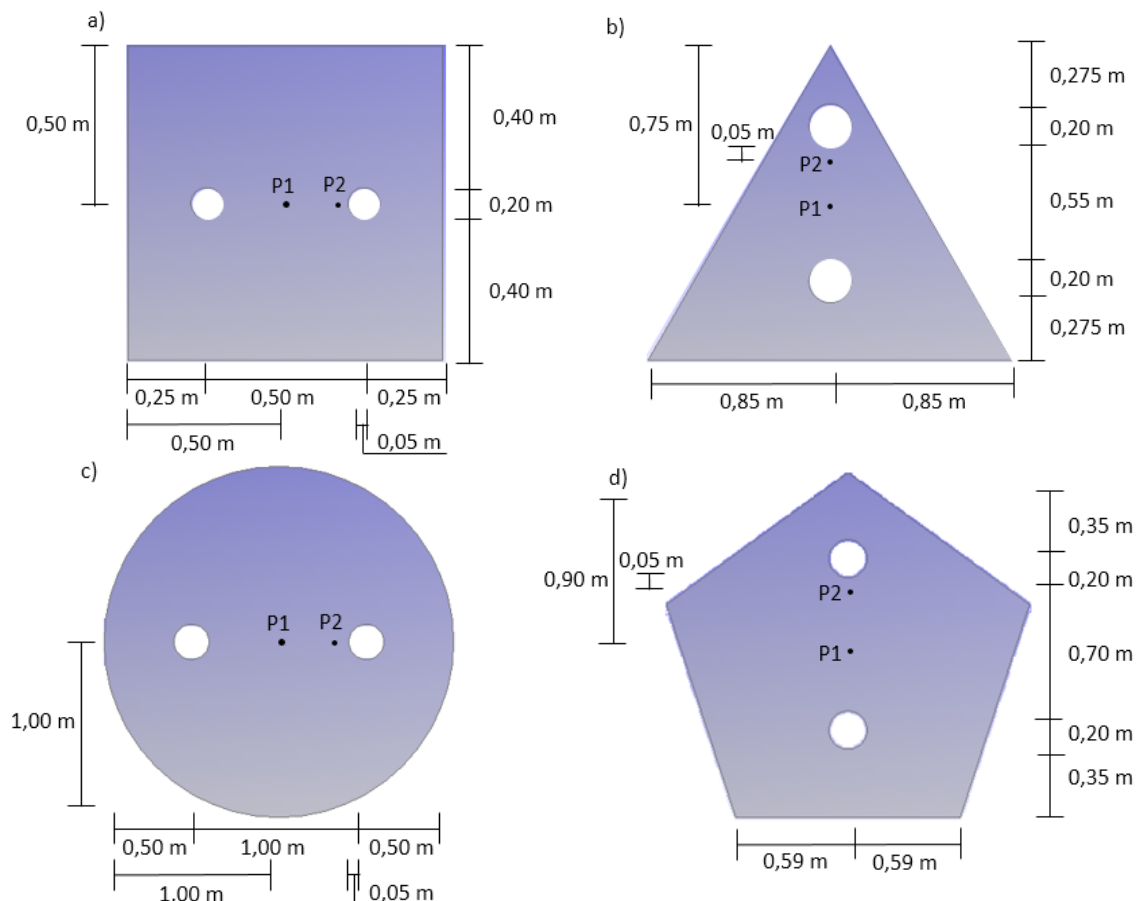


Figura 2 – Geometrias analisadas.

Como propriedades térmicas e mecânicas dos elementos estudados foram utilizados massa específica do concreto 2300 kg/m³, condutividade térmica de 0,72 W/m°C, calor específico 1000 J/kg°C, coeficiente de Poisson 0,18, módulo de elasticidade 30 GPa e coeficiente de dilatação térmica $1,04 \times 10^{-5}$, simulando o concreto endurecido.

3.1 Caso A– Placa Retangular

O primeiro caso estudado é uma placa retangular. A Fig. 3a mostra as isotermas de temperatura com a presença de furos e com ausência destes. Também são indicadas as tensões na direção de x para a placa engastada, Fig. 3 b; e com a rotação impedida na direção z , Fig. 3 c.

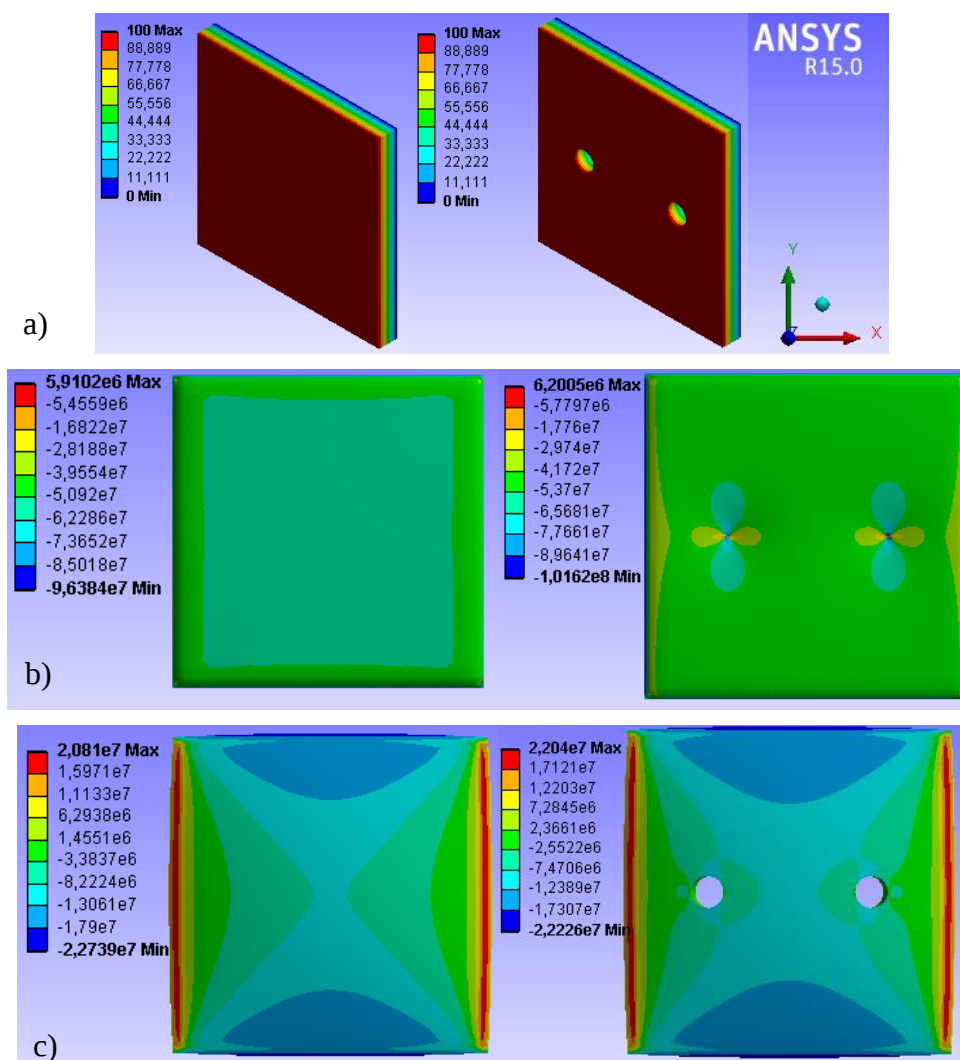


Figura 3 – a) Isotermas de temperatura; b) Tensões para placa retangular engastada na direção de x; c) Tensões para placa retangular na direção de x com translação impedida na direção de z.

A Fig. 4 mostra as temperaturas para a placa retangular engastada (E), nos pontos P1 e P2, sem abertura e com o furo (E+F), no eixo das ordenadas, em função da espessura z . Analisando esta e também pela Fig. 3 a se observa que não há influência dos furos na temperatura, fato que é claro, visto que, não há outra CC térmica em decorrência das aberturas.

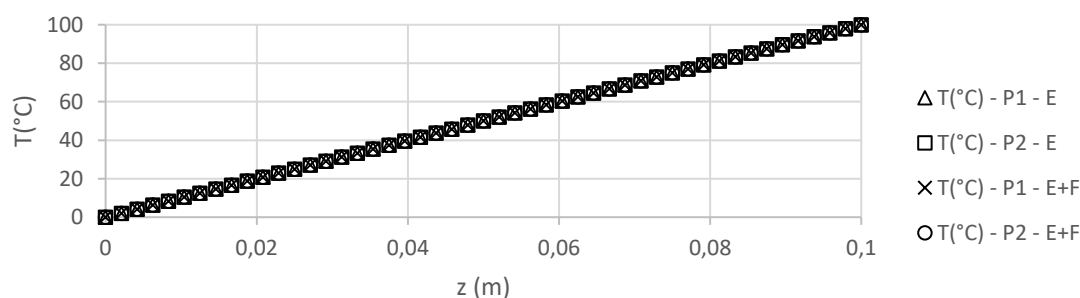


Figura 4 – Gráfico da temperatura na direção de z para a placa retangular engastada.

É notório também, que como trata-se de uma análise estática, as temperaturas nas extremidades da placa não são alteradas. Pela teoria térmica e pelas figuras que representam as isotermas de temperaturas para as distintas placas, Fig. 3 a, 9 a, 14 a, 19 a, o comportamento térmico será o mesmo, em todas as direções, para ambas as placas.

Em todos os casos mostrados neste trabalho, tem-se as análises de tensões X, Y, Z, que representam as tensões nas placas sem furos nas direções x, y, z; e também as análises XF, YF, ZF, que são verificadas nas placas com presença de furos nas direções x, y, z, respectivamente.

3.1.1 Caso A1 – Placa Retangular Engastada

A Fig. 5 mostra a variação de tensões para a placa retangular no ponto P1, definida na Fig. 3 b, com a presença e ausências dos furos e suas laterais engastadas. A tensão na direção x com os furos chama atenção por haver um alívio nas tensões nesta direção.

Para essa placa em P1, foi verificada também as tensões analíticas, TC. Neste exemplo tem-se uma condição similar à de flexão pura da placa por momentos distribuídos uniformemente em que o momento na placa é dado pela Eq. 6:

$$M = -\frac{D\alpha(\Delta T)}{h}(1 + \nu) \quad (6)$$

Sendo:

- M = Momento devido ao gradiente de temperatura (ΔT);
- $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ = Rigidez à flexão da placa;
- E = Módulo de elasticidade;
- α = Coeficiente de expansão térmica;
- h = Espessura da placa;
- ν = Coeficiente de Poisson.

A máxima tensão correspondente ($\sigma_{max,b}$) é dada pela Eq. 7:

$$\sigma_{max,b} = \pm \frac{6M}{h^2} \quad (7)$$

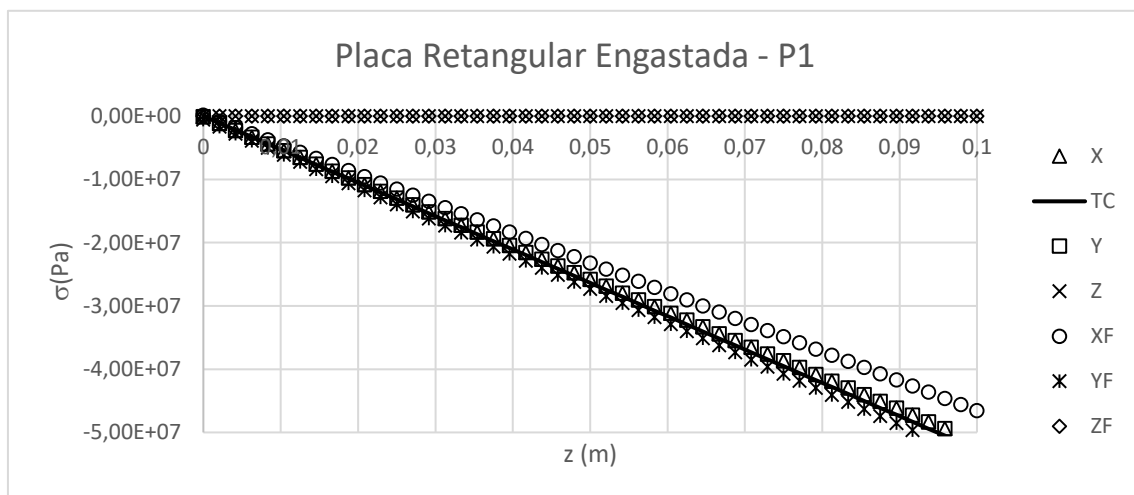


Figura 5 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa retangular engastada.

Nota-se pelo gráfico da Fig. 5 que as tensões analíticas são condizentes com as tensões dadas pelo Método dos Elementos Finitos – MEF. Desta forma, afirma-se que o método de solução numérico é válido e está adequado para verificação das demais tensões obtidas.

Em P2, Fig. 6, com ponto nas proximidades do furo, há uma concentração maior de tensões, principalmente na direção y que apresenta um acréscimo de $-1,25 \times 10^7$ Pa, aproximadamente 24% nas tensões de tração. Entretanto na direção x houve um alívio nas tensões de tração de -1×10^7 Pa, aproximadamente 20% em relação as medidas realizadas no centro, em P1.

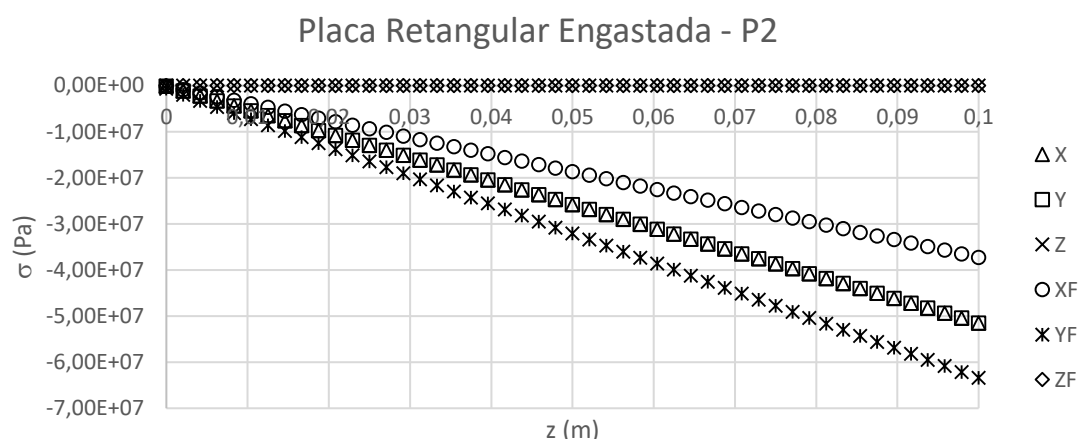


Figura 6 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa retangular engastada.

Devido à restrição lateral total, observa-se que as tensões provocaram uma redução física no tamanho das aberturas. E as máximas tensões de compressão e tração na placa com o furo foram maiores que para a placa retangular sem o furo.

3.1.2 Caso A2 – Placa Retangular $\Delta Z = 0$

Modificando a CC na placa retangular, restringindo apenas a translação na direção z, que representa a espessura da placa, em P1, Fig. 7, há pouca alteração nas tensões. Na direção y, a máxima tração ocorreu no ponto $z = 0,00$ m com $\sigma = 8,46 \times 10^6$ Pa, na placa sem o furo, e com $\sigma = 9,45 \times 10^6$ Pa com a abertura, acréscimo de 11,7% no valor da tensão.

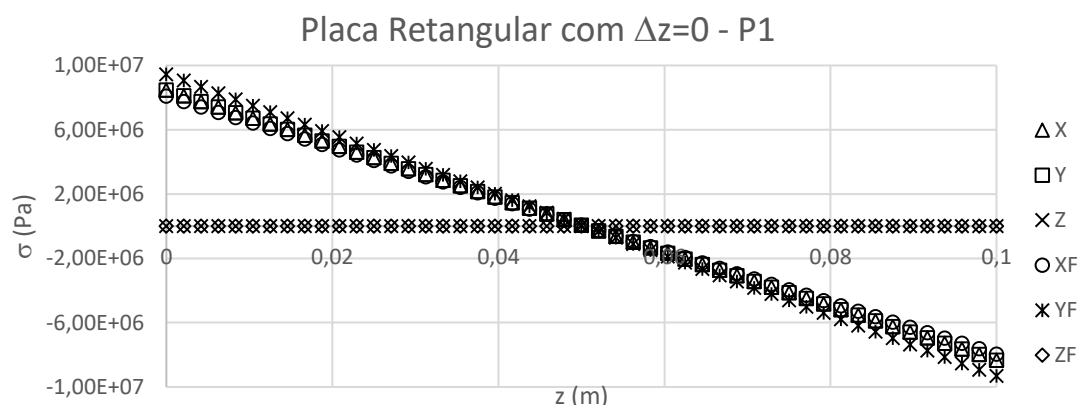


Figura 7 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa retangular com translação na direção z impedida.

Quando o ponto se aproxima do orifício, Fig. 8, as tensões aumentam e a diferença passa a ser mais significativa, com acréscimo de 26,67% nas tensões nas extremidades de z . Isso mostra que a região próxima a abertura requer mais atenção no dimensionamento.

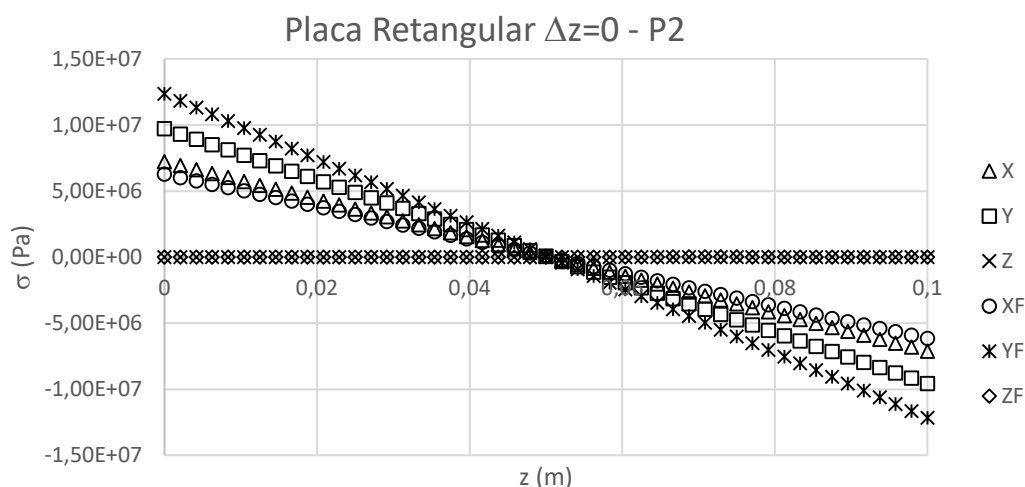


Figura 8 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa retangular com translação na direção z impedida.

Diferente do Caso A1, no Caso A2, devido a permissão de translação nas direções de x e y , as aberturas não são encolhidas. Verifica-se também maiores tensões de tração neste último caso. Sabendo-se que o concreto possui baixa resistência a tração, pode ser um ponto a ser analisado.

3.2 Caso B – Placa Triangular

A Fig. 9 exibe as isotermais de temperatura e as tensões, na direção x , para a placa triangular (Fig. 9 b) totalmente engastada nas laterais, Fig. 9 b, e com translação impedida na direção z , Fig. 9 c.

As tensões referentes as placas triangulares engastadas, B1, e com translação na direção z impedida, B2, são apresentadas na sequência

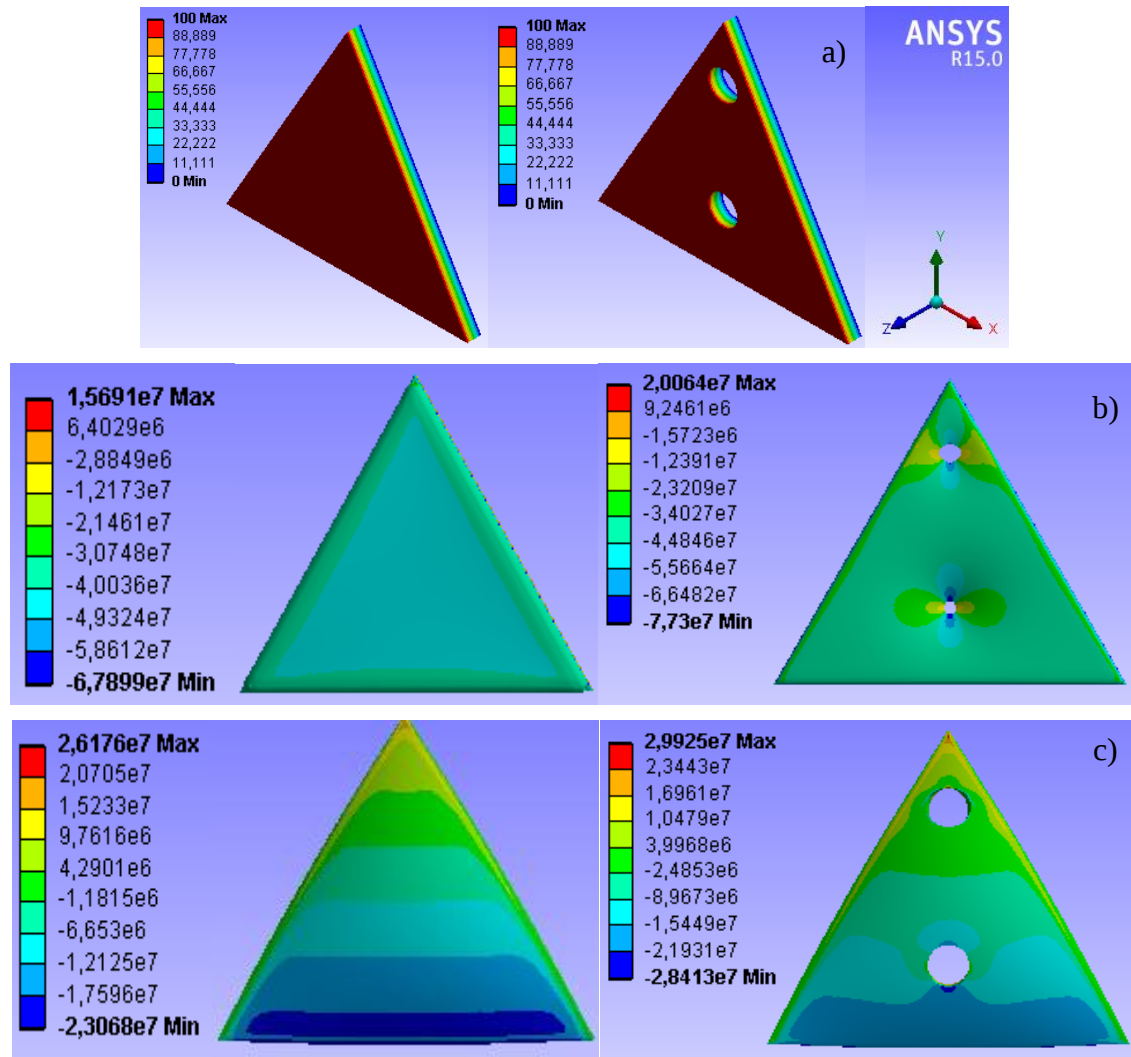


Figura 9 – a) Isotermas de temperatura; b) Tensões para placa triangular engastada na direção de x; c) Tensões para placa triangular na direção de x com translação impedida na direção de z.

3.2.1 Caso B1 – Placa Triangular Engastada

Analisando o ponto médio da altura do triângulo, P1, na Fig.10, não há variação nas tensões de tração quando as laterais estão engastadas. No entanto, há um alívio de tensões na direção de z de 23,28% no ponto $z = 0,10$ m.

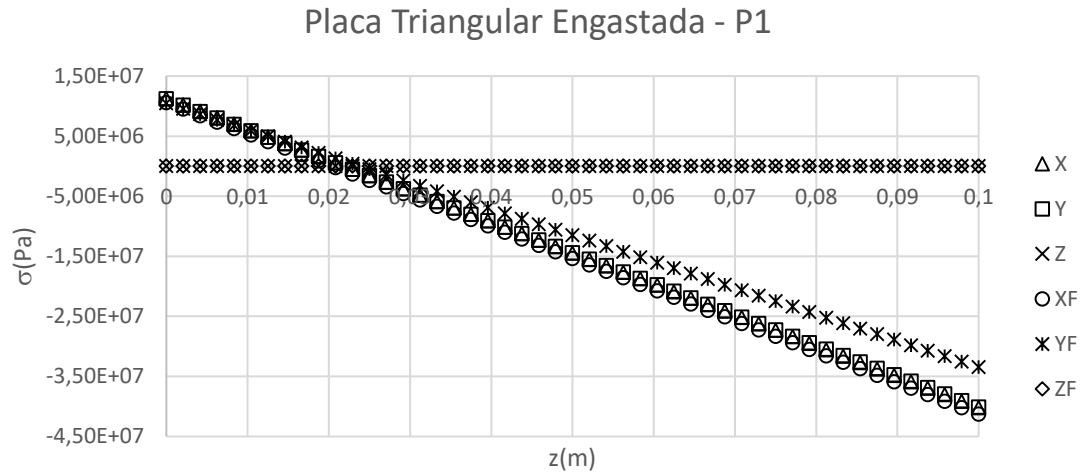


Figura 10 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa triangular engastada.

No ponto P2, Fig. 11, há um alívio de 46,30% nas tensões de tração e de 50,79% nas extremidades de z na direção y. Na direção x, há uma ampliação na máxima compressão de 25,19%.

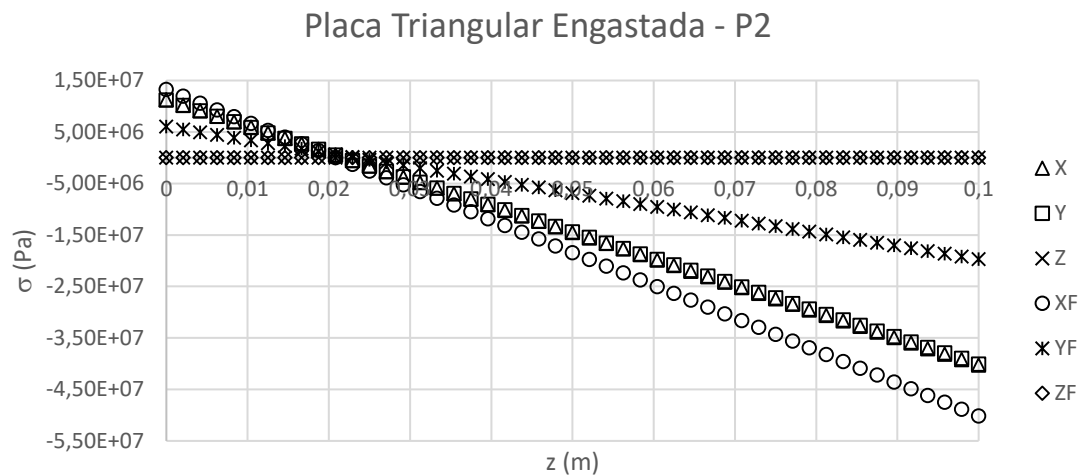


Figura 11 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa triangular engastada.

Nota-se, assim, que para pontos distintos, tem-se tensões diferentes. Os pontos centrais têm menor influência das aberturas efetuadas, seja no alívio de tensões ou aumento destas devido a nova configuração apresentada. Ressalta-se ainda que abertura em estruturas de concreto são comuns devido a interferência de outros materiais inseridos nestes, como é o caso de tubulações.

3.2.2 Caso B2 – Placa Triangular $\Delta Z = 0$

Estando a estrutura impedida apenas de transladar na direção z, há um alívio de 13,40% nas tensões de tração e compressão nas extremidades de z na direção y, Fig. 12.

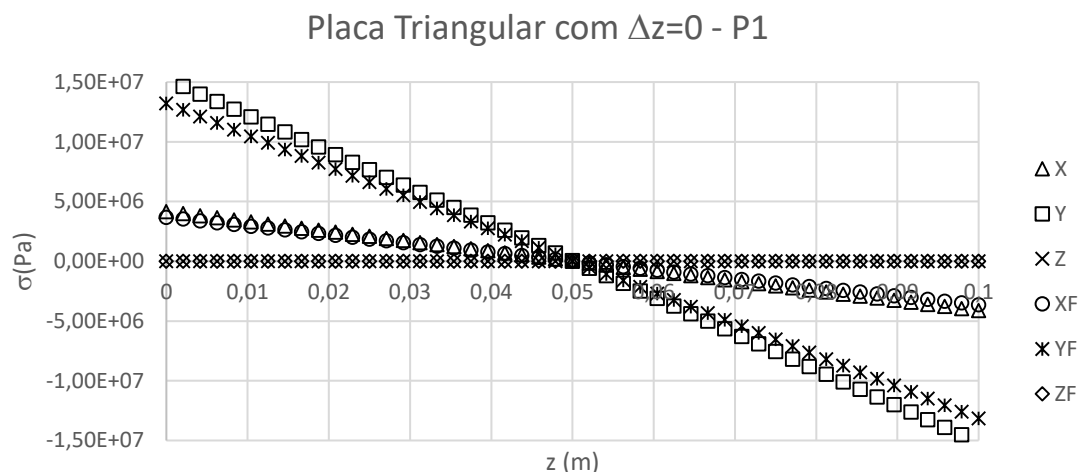


Figura 12 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa triangular com translação na direção z impedida.

Para a mesma CC, em P2, Fig. 13, as tensões de tração e compressão foram reduzidas em torno de 62,67% na direção y. Na direção x, as tensões permaneceram estáveis, próximas de zero. E na direção z, as tensões foram 100,00% aliviadas com a abertura.

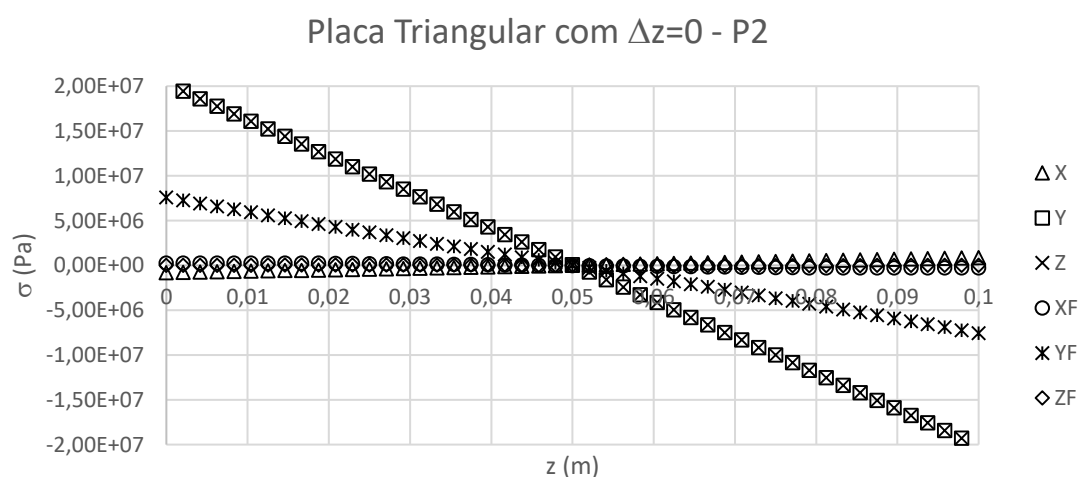


Figura 13 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa triangular com translação na direção z impedida.

Para as mesmas temperaturas aplicadas nas extremidades de z na placa, há modificação das tensões tanto pela presença de aberturas, quanto pela alteração das CC, nos mesmos pontos considerados.

3.3 Caso C – Placa Circular

As isothermas de temperatura e tensões na direção z para uma placa circular engastada na lateral e com translação em z impedida são vistas nas Fig. 14a, b, c, respectivamente.

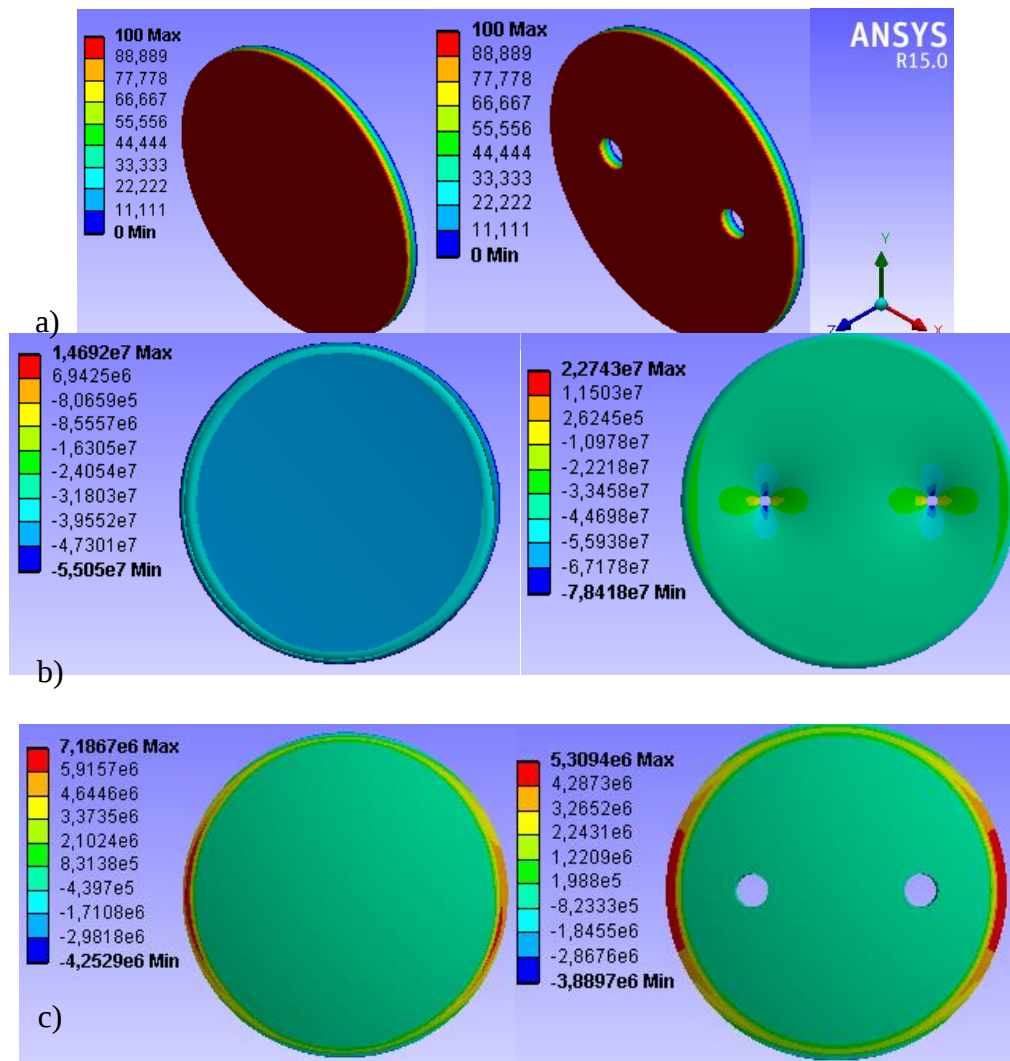


Figura 14 – a) Isotermas de temperatura; b) Tensões para placa circular engastada na direção de x; c) Tensões para placa circular na direção de x com translação impedida na direção de z.

Nas Fig. 14 b, c, nota-se que o comportamento da placa é diferente para as CC aplicadas. Para a placa engastada lateralmente há uma redução das aberturas, onde ocorre maiores tensões por a placa não conseguir se mover. Na placa com restrição apenas de movimentação no sentido da sua espessura, as maiores tensões ocorrem na região dos apoios, e os furos não apresentam grandes esforços.

3.3.1 Caso C1 – Placa Circular Engastada

No ponto P1, para a placa engastada, observa-se na Fig. 15 que as tensões de tração com o furo são semelhantes ao caso sem o furo. Porém, a compressão em x, eixo das aberturas, há alívio das tensões sendo a máxima reduzida em 13,40%. Nesta situação, há redução do diâmetro do furo, devido a movimentação ocasionada pelas restrições e cargas térmicas impostas.

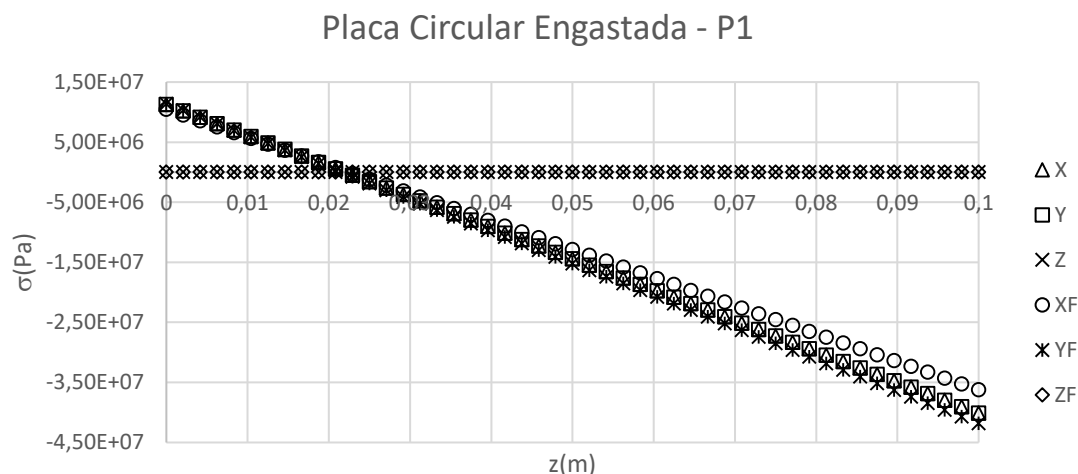


Figura 15 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa circular engastada.

Analisando P2, Fig. 16, na direção de x há redução das tensões de tração e compressão enquanto na direção de y, as máximas tração e compressão são aumentadas em 30,09% e 35,41%, respectivamente.

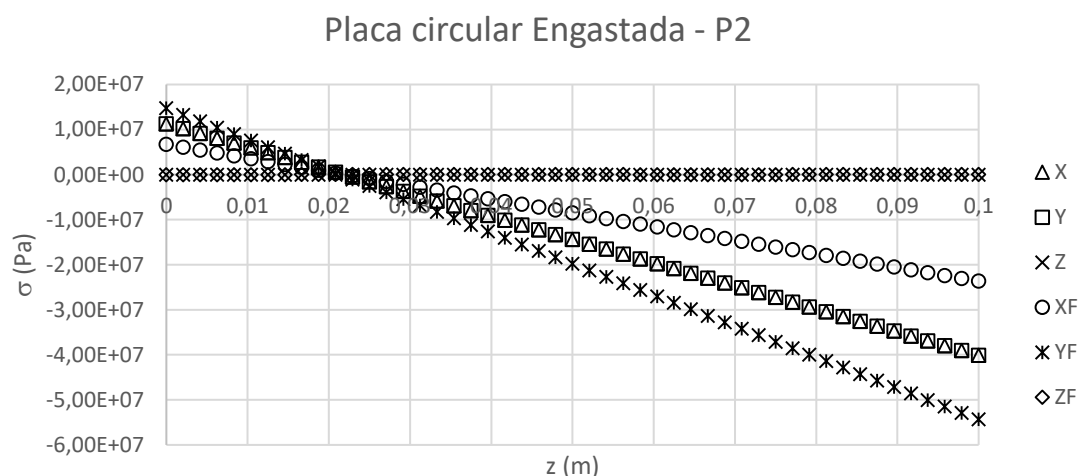


Figura 16 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa circular engastada.

3.3.2 Caso C2 – Placa Circular Engastada

Estando a placa circular impedida apenas se movimentar na direção de z, comparando com o caso anterior, Fig. 17, as tensões são reduzidas significativamente, na ordem de 1000,00 Pa.

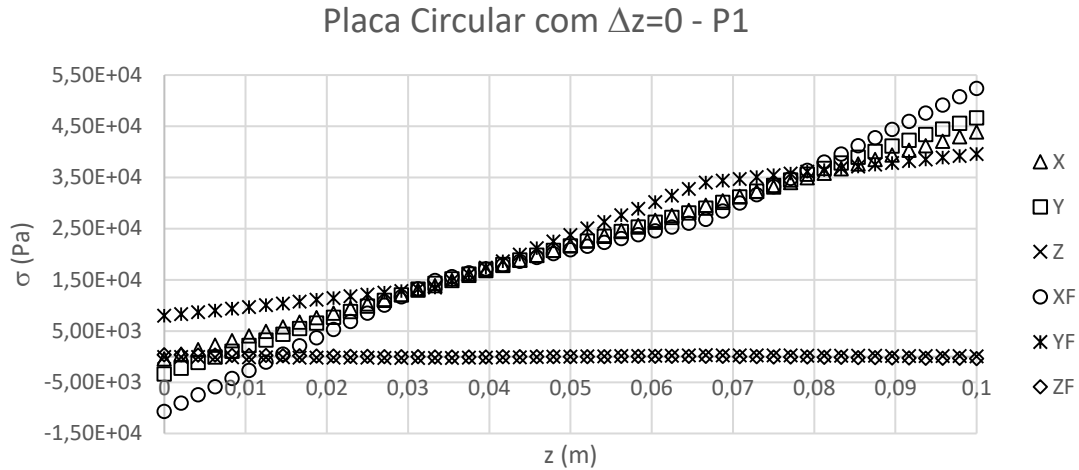


Figura 17 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa circular com translação na direção z impedida.

No ponto P2, Fig. 18, para translação em z impedida, há acréscimo nas máximas tensões de tração na direção y de 53,11% e redução de 44,86% na direção x, devido as aberturas estarem situadas no eixo x. Mesmo assim, as tensões apresentadas em todos os casos de translação em z impedida são muito menores que para a placa engastada.

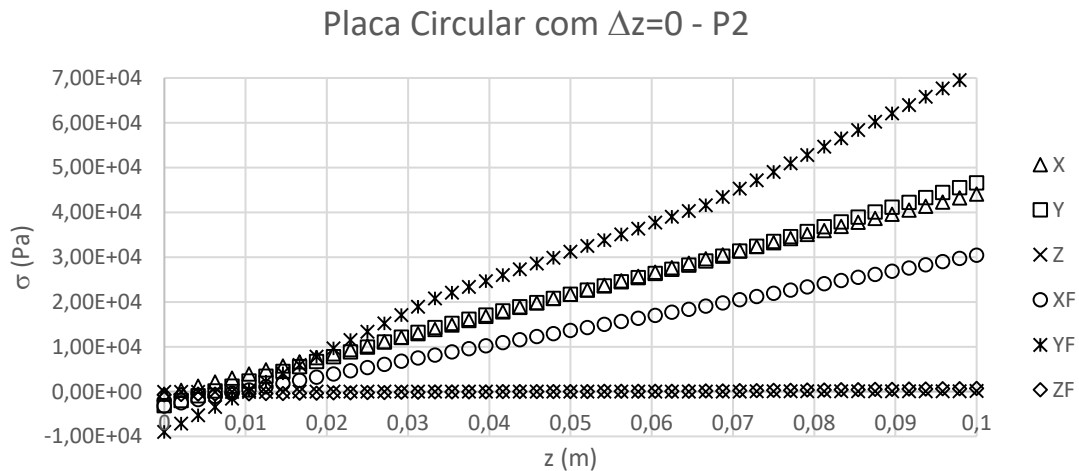


Figura 18 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa circular com translação na direção z impedida.

As placas circulares tem comportamento diferente das demais. Verifica-se que as tensões são menores em relação aos outros casos estudados. Para os casos do deslocamento impedido na direção z, as tensões são bem reduzidas com relação as demais.

3.4 Caso D – Placa Pentagonal

A última placa estudada tem o formato pentagonal, Fig. 19d, e as isotermas de temperatura, bem como as tensões para CC engastada e deslocamento em z nulo, podem ser verificadas nas Fig. 19 a, b, c.

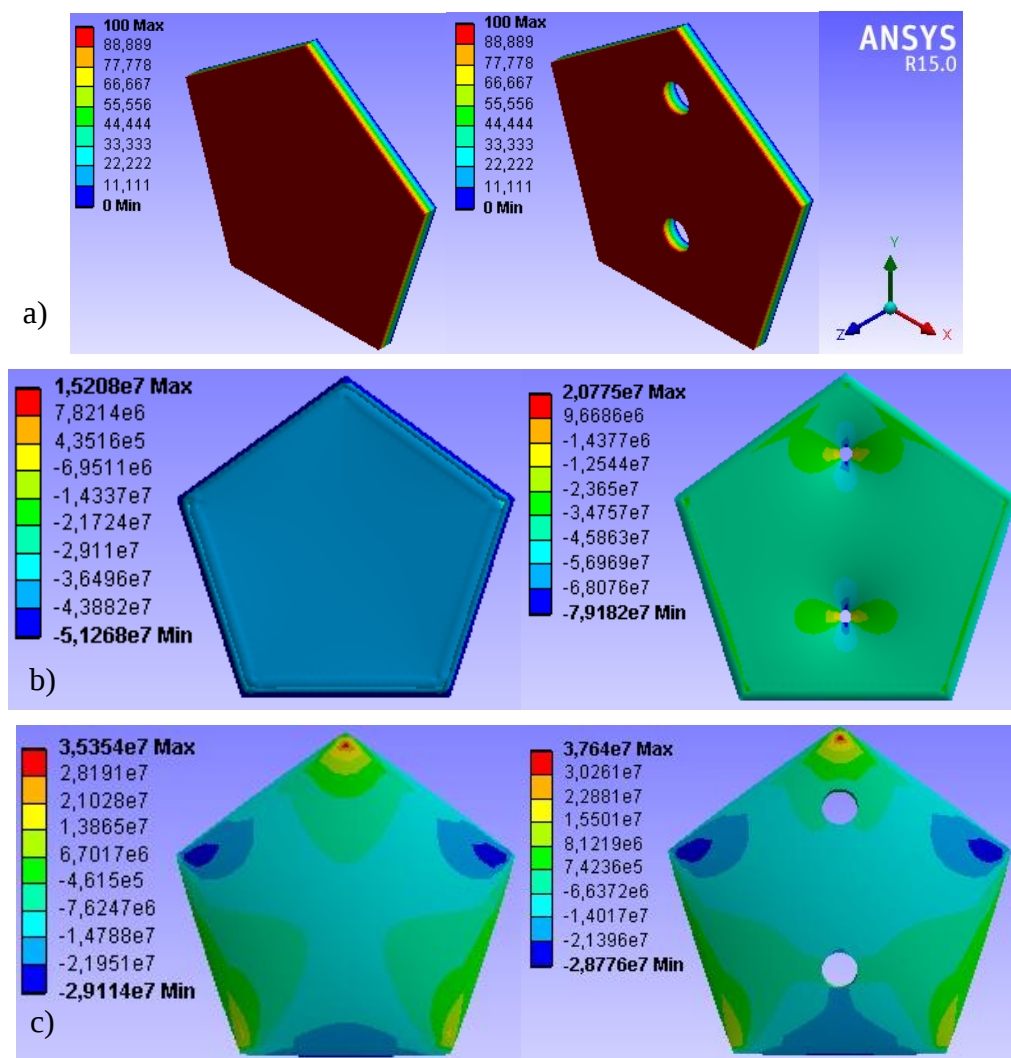


Figura 19 – a) Isotermas de temperatura; b) Tensões para placa triangular engastada na direção de x; c) Tensões para placa triangular na direção de x com translação impedida na direção de z.

Na placa engastada há uma concentração maior de tensões nas proximidades do furo, enquanto na placa livre pra se mover em x e y, as maiores tensões aparecem nos cantos, como pode ser visto na Fig. 19.

3.4.1 Caso D1 – Placa Pentagonal Engastada

Na placa engastada, a maior diferença para a estrutura com e sem o furo é observada na direção y para a compressão, com um alívio de tensões em torno de 22,16%, Fig. 20.

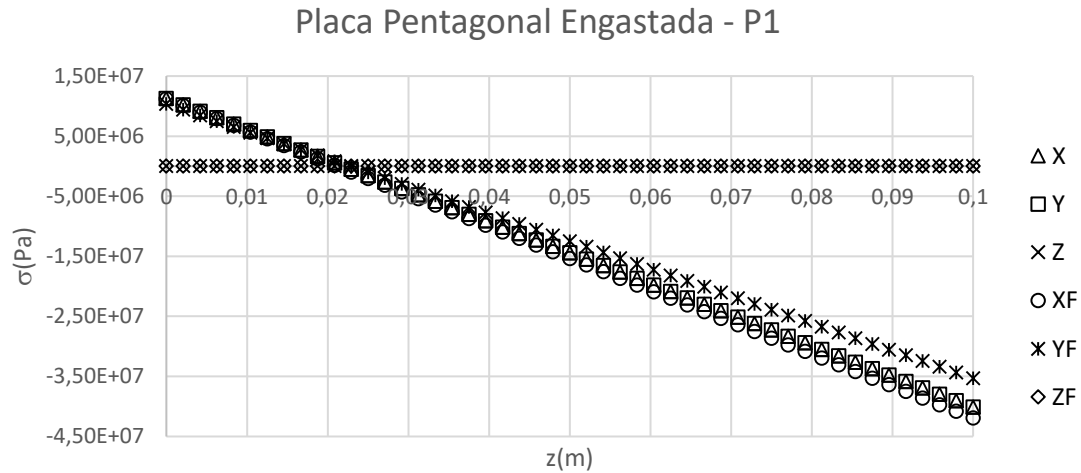


Figura 20 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa triangular engastada.

Ainda na placa engastada verificando P2, Fig. 21, nota-se alívio das tensões na direção y de 42,08%, eixo em que as aberturas estão dispostas, e aumento das tensões na direção x de 26,13%. Na compressão a redução em y e aumento em x foram, respectivamente, 42,48% e 33,17%.

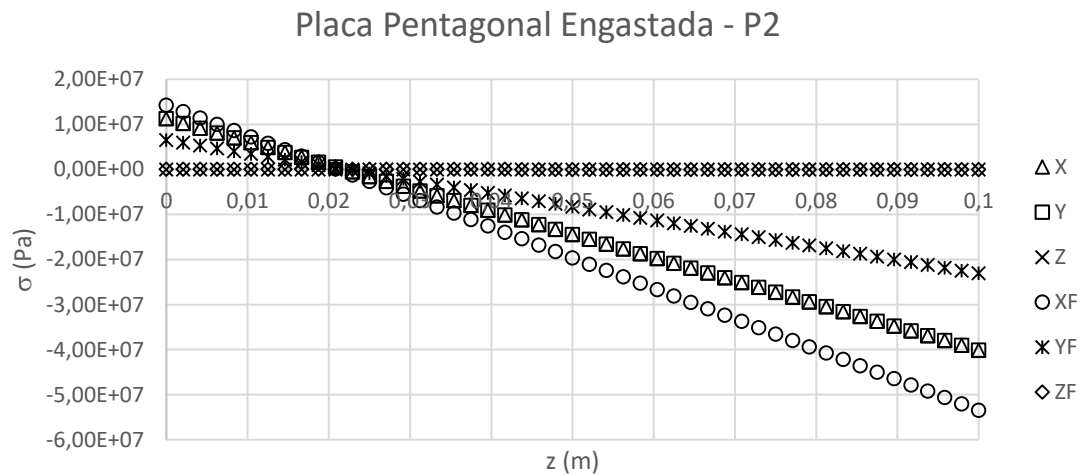


Figura 21 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa triangular engastada.

No ponto P1, as tensões ficam muito próximas, nas direções x e y com a placa engastada. Já no ponto P2, nota-se uma maior variação nas tensões obtidas.

3.4.2 Caso D2 – Placa Pentagonal $\Delta Z = 0$

Estando a placa livre para se movimentar nas direções de x e y, Fig. 22, no ponto P1, as tensões sofreram pequenas alterações de tração e compressão, em torno de 10,30% em y, com redução das tensões, e aproximadamente 7,20% de aumento das tensões na direção x.

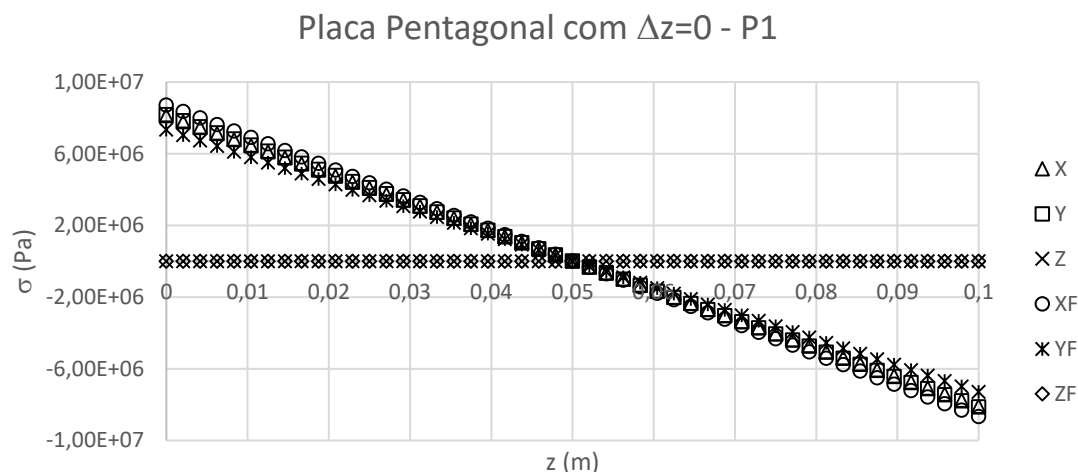


Figura 22 – Gráfico das tensões em P1 na direção de z para a placa triangular com translação na direção z impedida.

No ponto P2, Fig. 23, com a mesma CC, as tensões de y também foram reduzidas e em x, ampliadas, porém, com variações bem maiores, em torno de 50,60% e 46,30%, respectivamente, para as extremidades de z.

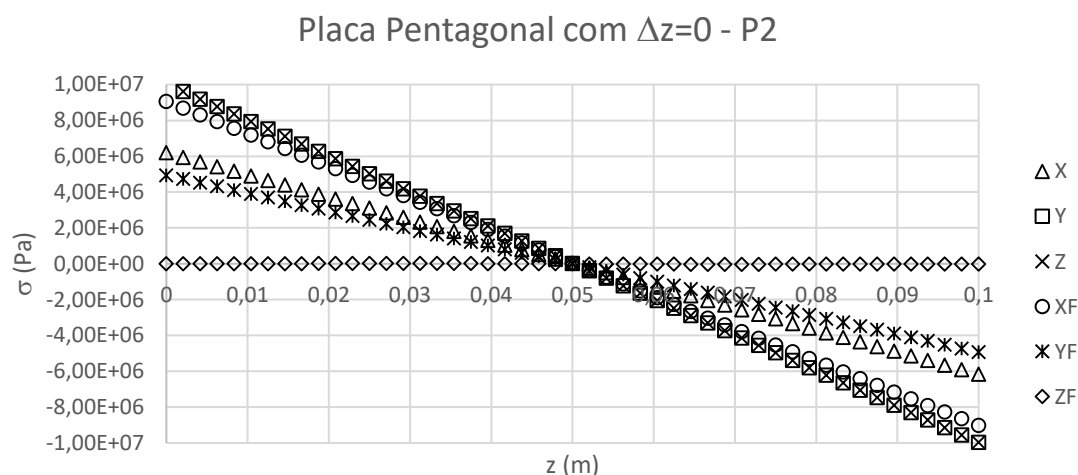


Figura 23 – Gráfico das tensões em P2 na direção de z para a placa triangular com translação na direção z impedida.

Em todos os casos, observa-se que as CC são extremamente influentes nas tensões, pois, estando o corpo livre para se mover não haveriam tensões. Desta forma, as CC devem estar muito bem definidas e analisadas para cada situação de construção imposta.

A forma geométrica tem forte influência nos resultados das tensões térmicas para os casos elásticos, de modo que, com a mudança da geometria pode-se obter maior ou menor capacidade de carga.

Sabendo-se que o concreto tem baixa capacidade de resistência a tração, aproximadamente 10% do valor da resistência a compressão, pode-se verificar a máxima tensão de compressão do concreto para que este não fissure quando submetido à carga térmica determinada e geometrias impostas.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível verificar a influência das cargas térmicas e condições de contorno impostas às estruturas. Observa-se que a temperatura não sofre influência da geometria das peças nas análises estáticas, apenas são modificadas pelas temperaturas impostas. Estas só seriam alteradas se tratasse de espessuras diferentes.

Quanto as tensões, elas são modificadas tanto pela mudança geométrica, quanto pelas condições de contorno aplicadas e também pela presença de abertura internas. Para os pontos verificados, percebe-se que quanto mais próximo das aberturas maior a influência destas. Quando é permitido a locomoção nas direções x e y há até alívio de tensões em alguns casos.

De forma geral, compreende-se que é possível obter uma maior capacidade de carga para uma estrutura de concreto de mesma espessura apenas modificando a sua forma geométrica. Atentando-se ao fato que esse material tem baixa resistência à tração, pode-se verificar quais os pontos em que há necessidade de aplicação de armaduras para vencer esse problema. No entanto, é preciso analisar outros pontos, bem como outras linhas de tensões termomecânicas para se chegar à resultados mais precisos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio e incentivo da UNIVASF, da UNB, da UTFPR e do IFBaiano.

REFERÊNCIAS

Boley, B. A; Weiner, J. H. *Theory of thermal stress*. New york: John Wiley & Sons, 1976.

Coelho, N. A.; *Métodos Analíticos e Numéricos para o Estudo dos Efeitos Termomecânicos no Concreto Massa Orientados às Barragens de Gravidade*. Tese de doutorado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília: 2016.

Coelho, N. A.; Pedroso, L. J.; Rego, J. H. S.; Nepomuceno, A. A.. *Use of ANSYS for Thermal Analysis in Mass Concrete*. Journal of Civil Engineering and Architecture. V. 8. N. 7. David Publishing Company: 2014.

Coelho, N. A.; Silva, D. A.; Pedroso, L. J.; *Efeito térmico provocado pelo calor de hidratação em barragem de gravidade construída em camadas*. In: XXXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Brasília: 2016.

Grondin, F.; Dumontet, H.; Hamida, A. B.; Boussa, H.. *Micromechanical contributions to the behaviour of cement-based materials: Two-scale modelling of cement paste and concrete in tension*. Cement & Concrete Composites. Elsevier: 2011.

- Hetnarski, R. B.; Eslami, M. R.; *Thermal Stresses – Advanced Theory and Applications*. New York: Springer, 2009.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M.. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- Szilard, R.. *Theory and Analysis of Plates: Classical and Numerical Methods*. John Wiley & Sons. New Jersey: 2004.
- Timoshenko, S.; Woinowsky-Krieger, S. *Theory of plates and shells*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1989.
- United States Department of The Interior Bureau of Reclamation. *Control of Cracking in Mass Concrete Structures*. Engineering Monograph N. 34. U.S. Government Printing Office: Denver, 1981.
- Vicente, G. R.; Kuperman, S. C.; Funahashi JÚNIOR, E. I.. *Fissuração de Origem Térmica em Blocos de Fundação: Quando Refrigerar o Concreto?* In: 56º Congresso Brasileiro do Concreto. Natal: Ibracon: 2014.