

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO E DO TAMANHO DE UM TUMOR DE MAMA EM PERFIS DE TEMPERATURA

Santos, L. C. dos¹, Bezerra, L. A.¹, Rolim T. L.¹, Araújo. M. C.¹, Silva, E. D. C.¹, Conci, A.², Lyra P. R. M.¹, Lima, R. de C. F de¹

¹Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco

ladcoelho@hotmail.com

lucietebezerra@yahoo.com.br

prmlyra@ufpe.br

ritalima@ufpe.br

²Instituto de Computação, Universidade Federal Fluminense

conci.aura@gmail.com

Área Temática: Biomecânica

RESUMO

Dentro de um objetivo maior que é verificar a aplicabilidade do uso da termografia na detecção precoce do câncer de mama, o trabalho em questão apresenta um programa computacional desenvolvido na plataforma Matlab para automatizar várias análises de forma rápida e organizada. O mesmo é capaz de gerenciar a utilização de um programa gerador de malhas e um outro comercial CFD (Computational Fluid Dynamics), o FLUENT, de forma seqüenciada, e otimizando a memória de armazenamento de arquivos. Para uma análise mais realista da geometria de uma mama, foi utilizado um fantoma, o qual foi preso a uma Máquina de Medição de Coordenadas (MMC) para obtenção das coordenadas dos pontos. Sob o gerenciamento do programa implementado no presente trabalho, a geometria foi construída com os pontos citados e as simulações foram realizadas pelo FLUENT, que usa o Método dos Volumes Finitos para resolver a Equação da Biotransferência de Calor.

PALAVRAS CHAVES: Termografia, câncer de mama, simulação computacional, análise paramétrica, máquina de medição de coordenadas.

INTRODUÇÃO

A segunda causa de mortes de mulheres no Brasil é o câncer de mama, apesar de ser uma doença de diagnóstico relativamente fácil. Mesmo sendo antagônicas, essas informações são coerentes, pois as mulheres ainda têm receio de procurar ajuda médica e só o fazem quando a doença já está num estágio avançado, dificultando com isso o diagnóstico precoce. Devido a isso, o Ministério da Saúde tem investido na divulgação do auto-exame, do exame clínico e da mamografia que são vistas como as formas mais eficazes para detecção precoce do câncer de mama [1]. A termografia, técnica que capta a emissão de radiação infravermelha emitida por um objeto, aliada a estes exames tradicionais aumenta em 14% a chance de se detectar um câncer [2]. A luta contra o câncer de mama abrange campanhas de prevenção, desenvolvimento de drogas e o aprimoramento de equipamentos. O alvo principal das campanhas são as mulheres que ainda não tem informação ou aquelas que por tabu temem em procurar ajuda médica. Cada vez mais os profissionais da área médica têm defendido as novidades em termos de tecnologia capazes de detectar tumores menores, pois estudos comprovam que tumores menores que 1cm são curáveis. É neste contexto que a técnica da termografia vai ganhando força, pois é uma técnica não-invasiva e sem contato físico com a paciente.

O princípio da termografia está baseado na medição da distribuição de temperatura superficial do objeto ensaiado, medição esta que é realizada pela detecção da radiação térmica ou infravermelha emitida por qualquer corpo, equipamento ou objeto. Atualmente, a termografia tem aplicações em inúmeros setores. Na indústria automobilística é utilizada no desenvolvimento e estudo do comportamento de pneumáticos; na siderurgia tem aplicação no levantamento no perfil térmico dos fundidos. Na determinação de alguns problemas circulatórios, na avaliação da resposta do organismo à medicação, em tratamentos de fisioterapia e na detecção de diversos cânceres, incluindo tumores mamários [2].

O crescimento desordenado de células, que invadem os tecidos e órgãos podendo espalhar-se por outras regiões do corpo, é o que determina o crescimento de tumores malignos. Para crescer e desenvolver estes tumores necessitam de nutrientes ocasionando criação de novos vasos sanguíneos ao seu redor. Este fenômeno é conhecido como angiogênese[3]. Assim esta região possui uma temperatura mais elevada que as outras, devido ao intenso fluxo sanguíneo[2]. Este fato possibilita o uso da termografia no auxílio à detecção de tumores malignos.

Com a finalidade de se obter análises numéricas mais reais, optou-se pela construção da geometria de uma mama. Para tal foi utilizado um manequim de dorso feminino como fantoma. Para gerar essa geometria foi utilizada a Máquina de Medição de Coordenadas (MMC), fato que possibilitou a obtenção das coordenadas dos pontos da mama direita do fantoma. Através de ferramentas computacionais que serão descritas a seguir os pontos foram importados e usados na geração da geometria e de uma malha tridimensional. A tecnologia de medição de coordenadas (TMC) ou medição tridimensional é uma ferramenta que ocupa um espaço no setor de garantia da qualidade dimensional [4]. As altas flexibilidades, precisão e informatização vêm garantindo o sucesso do emprego da TMC. Uma das vantagens do método de medição de coordenadas tem apresentado em relação a outros processos é a precisão dos pontos adquiridos e a facilidade de exportação desses pontos para sistemas de CAD (“*Computational Aided Design*”). A automatização e informatização deram grande impulso a estas máquinas que atualmente estão sendo utilizadas como instrumento de medição precisa para controle geométrico e dimensional. Suas características são flexibilidade, alta velocidade de medição, baixo nível de incertezas, além da grande aplicabilidade, onde são poucas as dimensões inviáveis de serem medidas. Tais máquinas têm várias utilidades como: medições de peças com geometria complexa, uso em chão de fábrica integrada à produção, laboratórios de calibração e aplicações na engenharia reversa [5].

Além de trazer a reconstrução da geometria real da mama, o presente trabalho efetua um estudo paramétrico da influência da posição e tamanho do tumor no perfil de temperaturas medidas. Com a finalidade de agilizar e automatizar as citadas análises foi desenvolvido um programa na plataforma MATLAB, permitindo uma integração entre os softwares GAMBIT e FLUENT. Uma das características do FLUENT é sua flexibilidade com relação às malhas empregadas, pois possui um pré-processador, o GAMBIT, que permite modelar a geometria e gerar a malha, disponibilizando obter malha de vários tipos: bidimensionais, formadas por triângulos ou quadriláteros, e tridimensionais, formadas por tetraedros, hexaedros e prismas [6].

Pretende-se com tais análises identificar a sensibilidade da termografia, ou seja, se é possível precisar em qual profundidade e com qual dimensão a imagem por infravermelho deixa de perceber um tumor. Por simplicidade, as análises serão efetuadas supondo-se tumores esféricos.

METODOLOGIA

Um fantoma, um dorso feminino em PVC, foi usado para reconstrução da mama. Para obtenção das coordenadas dos pontos geométricos, a serem usados na reconstrução tridimensional da geometria, foi usada uma máquina de medição de coordenadas do tipo ponte móvel, modelo CRYSTA547, fabricado pela MITUTOYO, pertencente ao Laboratório Medição por Coordenadas do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE. Através de um processamento computacional denominado de “*scanpak*” as coordenadas são obtidas de forma precisa e rápida. A máquina possui certificado de calibração emitido por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração. A Fig.1 mostra o momento em que o fantoma foi fixado na mesa através de suportes metálicos e de massa plástica para que nenhum movimento interferisse na origem do Sistema de Coordenadas definida no mamilo da mama direita. Na sala de medição, mantida a temperatura 20 °C, o fantoma foi deixado por cerca de uma hora antes de começar o experimento para uniformizar sua temperatura. Os pontos foram adquiridos através de várias linhas longitudinais que varreram toda a mama, sempre passando pelo mamilo. Os pontos da base da mama foram adquiridos através de uma curva de nível. Para obter uma reconstrução “real” foram adquiridas várias linhas, sempre tomando o cuidado que todas se cruzassem no mamilo.



Fig. 1. Fantoma na máquina de medição de coordenadas.

Os pontos foram, então, importados para um pré-processador, o GAMBIT, no qual uma geometria tridimensional foi construída e uma malha não-estruturada foi gerada. A simulação computacional foi realizada pelo FLUENT e como resultado se obteve um perfil de temperatura da superfície da mama. A ferramenta computacional PARAMETRICA, implementada na plataforma MATLAB, foi desenvolvida com a finalidade de executar uma análise paramétrica automatizada da influência do tamanho e da posição de um tumor fictício de mama, nas simulações computacionais da biotransferência de calor.

Primeiramente foram realizadas de forma interativa a construção, a geração e a simulação do modelo real da mama. A Fig.2. mostra esta seqüência da importação dos pontos (a) para o GAMBIT onde foi feita a construção da geometria (b), e geração da malha (c). Em seguida, foram realizadas modificações no tamanho e na posição do tumor dentro do arquivo que registra todos os comandos da construção e geração da mama (*journal*) que é um arquivo de saída do pré-processador GAMBIT. Raio e tamanho da esfera foram testados, para que a mesma não extrapolasse o domínio da mama, pois o interesse do presente trabalho estava em tumores interiores ao mesmo.

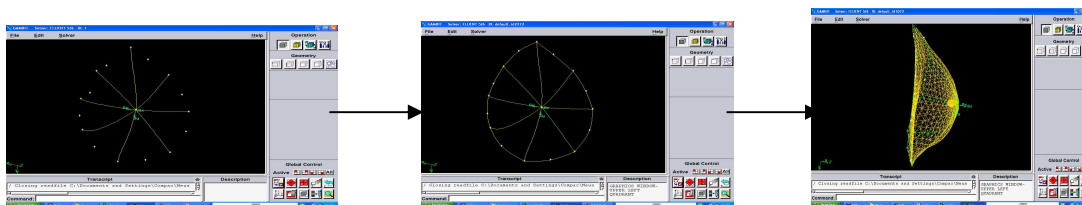


Fig. 2. Seqüência da importação dos pontos (a), construção da geometria (b) e geração da malha(c).

Para cada tamanho e cada posição uma simulação foi realizada, através do arquivo *journal* do FLUENT. A cada execução do programa são criados diretórios com nome da paciente, a posição (x,y e z) e tamanho do tumor (raio da esfera) como mostra a Fig.3.

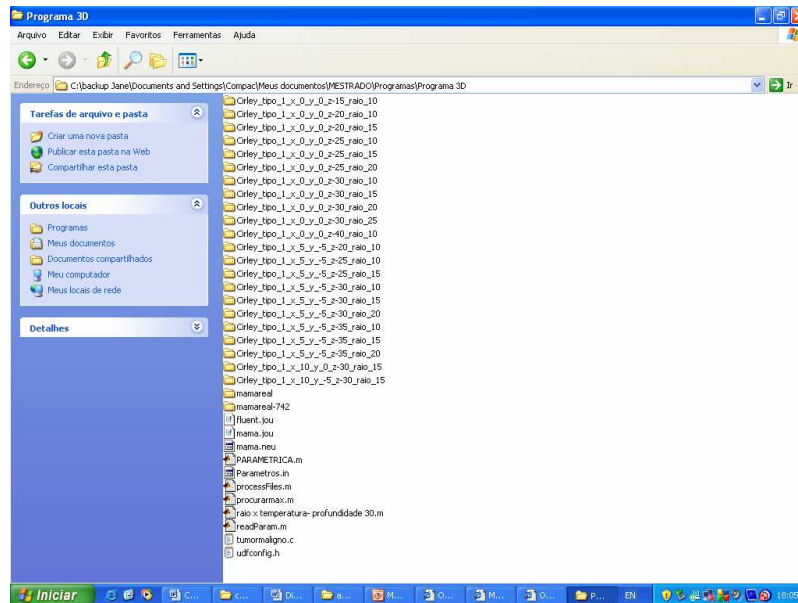


Fig. 3. Diretórios com o nome da paciente, posição e tamanho do tumor.

RESULTADOS

Foram realizadas simulações, tanto bidimensionais quanto tridimensionais que utilizaram propriedades térmicas e parâmetros físicos mais aproximados daqueles de uma mama real. Algumas hipóteses foram adotadas para que estas simulações fossem permitidas :

- a superfície da mama troca calor por convecção com o ambiente externo a 23,8 °C;
- a transferência de calor dentro da mama ocorre por condução;
- a temperatura do sangue é considerada igual a 37 °C;
- como na literatura não foram encontradas as propriedades para o tecido adiposo, o tecido da mama foi considerado glandular.

As condições de contorno e condições iniciais foram:

- transferência de calor por convecção entre a superfície da mama e o ambiente externo;
- temperatura prescrita na parede torácica igual a 37° C;
- temperatura inicial da mama considerada igual a 37° C.

Em relação às propriedades termofísicas foram assumidos os seguintes valores, mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades termofísicas

Tecido	k (W/m°C) (a)	ρ (kg/m ³) (a)	c (J/kg°C) (b)	ω (s-1)	Q_m (W/m ³) (a)
Normal - (Glandular)	0,480	1080	3000	0,00018 (d)	450
Tumor Maligno	0,480	1080	3500	0,009 (c)	5790
Fibroadenoma	0,480	1080	3500	0,00183 (c)	65400
Sangue	---	1060	4200 (a)	---	

(a) Ng EY. et al., 2001; (b) Ekstrand et al., 2005; (c) Furman-Haran et al., 2005;(d) Gupta, 2002.

Na sala de exame, o coeficiente convectivo de transferência de calor [7] é dado por :

$$h = 13,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A Fig. 4. mostra a análise de alguns resultados na geometria tridimensional feita em forma de gráfico para melhor observar os perfis de temperaturas variando com a posição e o raio do nódulo. A posição analisada foi (0mm,

0mm, z). É possível verificar que à medida que o raio vai diminuindo numa posição a sua temperatura diminui, por exemplo, na posição (0mm, 0mm, -30mm) a queda é de 6,99% no valor da temperatura quando se compara o raio 17 mm com o raio 5mm. Uma variação de temperatura também é observada na comparação de várias posições para o mesmo raio. No caso do raio de 14 mm, há um aumento de 9,24% no valor da temperatura quando se compara a posição (0mm, 0mm, -40mm) e (0mm, 0mm, -20mm).

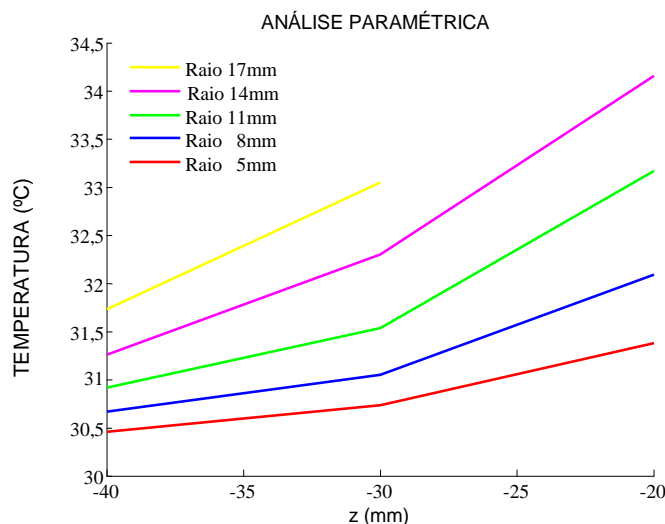


Fig. 4. Perfil da temperatura versus profundidade, para tumores de diversos raios.

A Fig.5, resultante da simulação do PARAMETRICA, mostra o desaparecimento da imagem do tumor à medida que o tamanho do nódulo foi diminuindo. Na Fig.5 (a) o nódulo possui um raio de 20 mm com a temperatura máxima de 34,6 °C. No Caso 2, mostrado na Fig.5 (b), observa-se a imagem do nódulo de 15 mm de raio que não é mais tão nítida, e sua temperatura máxima é de 32,7 °C. Já com um raio de 10 mm, o nódulo praticamente já não é mais visualizado e sua temperatura máxima é de 31,7 °C.

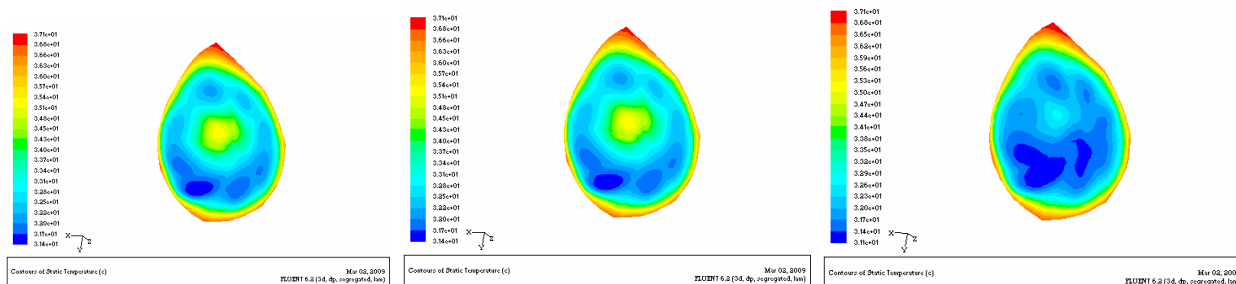


Fig. 5. Perfis frontais da mama (a) Caso1 (b) Caso2 (c) Caso3

Numa tentativa de se efetuar uma primeira comparação entre as temperaturas obtidas pelo PARAMETRICA e as temperaturas do termograma do fantoma, foi desenvolvido pelo grupo de professores e alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco um experimento, no qual uma lâmpada incandescente de 7 W foi inserida no interior da mama direita do fantoma preenchida com borracha de silicone. Tal lâmpada simula a geração de calor de um tumor, para considerações de simulação computacional.

As condições de contorno envolvidas foram as de troca de calor por convecção na superfície da mama, estando o ar ambiente a 26,4 °C. (A região torácica foi considerada a uma temperatura de 37,2 °C). O coeficiente de transferência de calor utilizado engloba os efeitos de convecção, radiação e evaporação, e seu valor é 13,5 W/m² °C [7].

Para a simulação, a taxa volumétrica de geração de calor da lâmpada foi de 1,65 x 10⁷ W/m³. A mama foi preenchida com borracha de silicone e a parte interna da lâmpada foi considerada como preenchida por ar. O

tungstênio foi o material utilizado no filamento. As seguintes propriedades termofísicas foram consideradas e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades Termofísicas dos Materiais.

<i>MATERIAL</i>	<i>k (W/m°C)</i>	<i>ρ (kg/m³)</i>	<i>c(J/kg°C)</i>
Borracha de Silicone	0,21	970	65,68
Ar	0,0242	1006,43	1,225
Tungstênio	174	19250	132

A lâmpada foi inserida no silicone durante o processo de cura, possibilitando o controle aproximado das coordenadas x,y e z. Para a correta medição da temperatura pela câmera, foi necessário se obter um valor aproximado da emissividade do fantoma. Por não se saber exatamente a emissividade do material usado, foi adotado inicialmente o valor de 0,92, que é o valor usado para a porcelana (Özisik, 1990, in: [8]). Através de um termopar calibrado (OMEGA HH84), a temperatura da superfície do manequim foi medida juntamente com a regulação da emissividade na câmera, obtendo-se assim o valor de 0,93, que foi muito próximo ao usado inicialmente.

Para aquisição dos termogramas do fantoma, esperou-se que o regime permanente fosse atingido.

A lâmpada foi modelada como uma esfera de 13,1 mm de raio, obtido a partir do volume real da lâmpada. O filamento da lâmpada foi modelado como uma esfera de 4,7 mm. O “tumor” foi considerado esférico, pois essa é a forma admitida pelo PARAMETRICA.

As coordenadas x e y da localização da lâmpada durante o seu preenchimento com silicone foram obtidas de forma empírica, utilizando-se de barbantes para medir as distâncias entre as paredes internas da mama. Posteriormente os tamanhos dos barbantes e a coordenada z foram obtidos através de uma régua. A Fig. 4. mostra o termograma da face lateral da mama direita do fantoma, onde a máxima temperatura medida foi de 53,3 °C. Já a Fig.5. mostra a imagem frontal da mesma mama, onde a temperatura máxima foi de 55,8 °C.

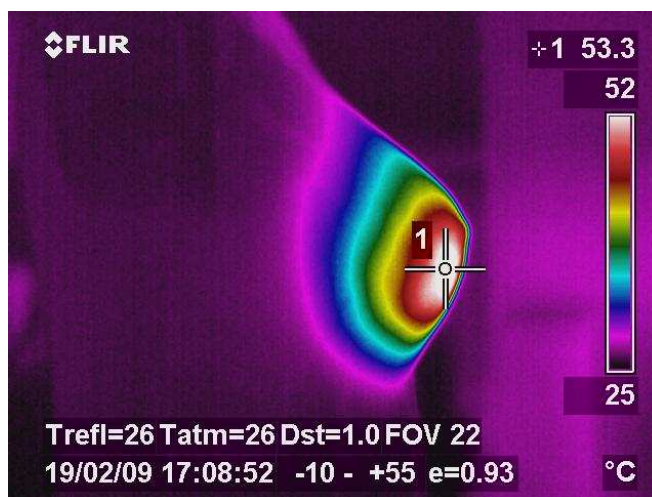


Fig. 6. Termograma da mama do manequim (vista lateral).

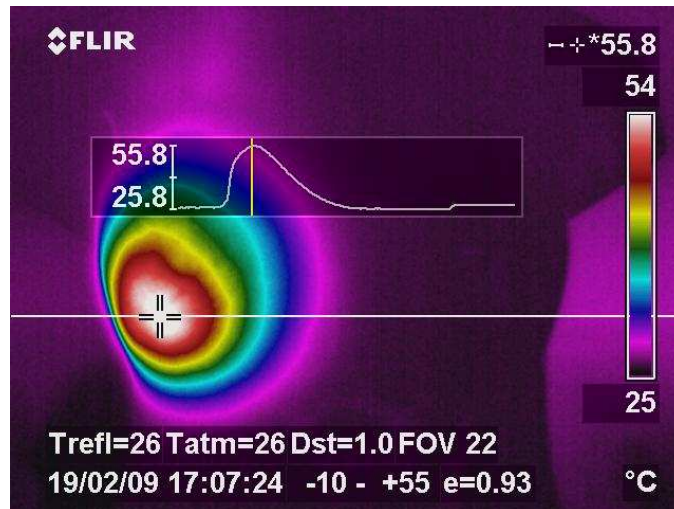


Fig. 7. Termograma da mama do manequim (vista frontal).

A Fig.8 mostra a máxima temperatura obtida na simulação, para o fantoma.

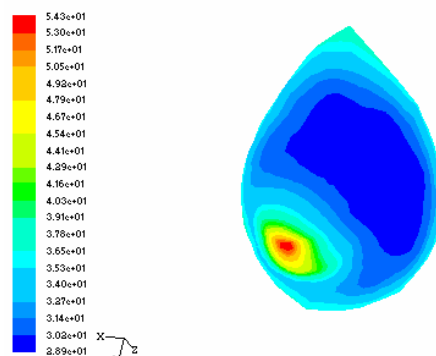


Fig. 8. Distribuição de temperatura na mama (vista frontal)

É possível observar que o erro foi de 1,84% quando se compara o termograma da Fig.4. com a simulação da Fig.6, e que este erro aumenta para 9,85% quando a simulação é confrontada com a Fig.5.

DISCUSSÃO

A ferramenta computacional desenvolvida, o PARAMETRICA, ainda apresenta algumas limitações tais como o modelo esférico do tumor; e ainda não efetua simulações de tumores aderidos a parede da mama. Apesar disso conseguiu gerenciar de forma satisfatória a execução dos programas comerciais GAMBIT e FLUENT. As análises comprovaram que há influência da posição e tamanho do tumor na temperatura da mama. À medida que o tumor se afasta da superfície da mama ou vai diminuindo de tamanho, sua imagem termográfica vai desaparecendo na superfície da mama. Efeito contrário se observa à medida que o tumor vai aumentando ou se aproximando da superfície da mama. Comparações com o experimento ainda são preliminares, e mostram alguma coincidência, notadamente na visão lateral. Melhorias devem ser feitas no preenchimento da mama do fantoma com silicone, para posicionamento mas exato da fonte de calor, a lâmpada incandescente. O formato da lâmpada mais se aproxima de um cilindro, forma ainda não implementada no PARAMETRICA.

CONCLUSÕES

Apesar de o modelo utilizado para representar o tumor no PARAMETRICA ser diferente do modelo utilizado no fantoma, foi possível realizar uma comparação preliminar entre a temperatura máxima obtida pelo PARAMETRICA e as temperaturas máximas dos termogramas, já que as temperaturas ficaram próximas na visão lateral.

AGRADECIMENTOS

CAPES (Programa Pró-Engenharias PE021-2008).

REFERÊNCIAS

- 1- INCA-Instituto Nacional de Câncer – (www.inca.gov.br)
- 2- Bezerra, L.A., “Uso de Imagens termográficas em tumores mamários para validação de simulação computacional”, Recife, (Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica/ Universidade Federal de Pernambuco), 70p, 2007.
- 3- Andrade, L.M, “Estudos in vitro de câncer de mama humano da linhagem MDAMB-231 irradiado por Co-60 & Estudos Correlato”, Belo Horizonte, (Mestrado – Escola de Engenharia/ Universidade Federal de Minas Gerais), 130p, 2002.
- 4- Porath, M.de C., SOUSA, A.R de “A Tecnologia de medição por coordenadas no ciclo de desenvolvimento de produtos plásticos”, artigo da Fundação CERTI,20001.
- 5- Rolim, T. L., Sistemática indicadora de método para Calibração de máquinas de medição por coordenadas, (Doutorado - Universidade Federal da Paraíba), 141p, 2003.
- 6- Fluent Inc. (<http://www.fluent.com>).
- 7- Ng, E.Y.K., Sudharsan, N.M., “Computer simulation in conjunction with medical thermography as an adjunct tool for early detection of breast cancer”, BMC Cancer, vol. 4, 2004.
- 8- Araujo, M. C. ; Bezerra. L. A. ; Santos, L.C. ; Rolim, T.L. ; Santos, T. B. ; Lyra, P. R. M. ; Lima, R. C. F. Instrumentação e aquisição da geometria tridimensional da mama de um fantoma: comparação entre temperaturas calculadas numericamente e medidas através de imagem termográfica. In: CILAMCE2008- CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA, 2008, Maceió- Alagoas. Anais do Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, 2008. v. 1. p. 1-17.

NOMENCLATURA

<i>CFD</i>	Computational Fluid Dynamics
<i>TMC</i>	Tecnologia de medição de coordenadas
<i>CAD</i>	Computational Aided Design
<i>MMC</i>	Máquina de Medição de Coordenadas