

# *Development of a computational tool for parametric analysis about the influences of tumor position and tumor size in a breast temperature profile.*

Santos, L. C. dos, Bezerra, L. A., Rolim T. L., Araújo. M. C., Silva, E. D. C., Lyra P. R. M.,

Lima, R. de C. F de

Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade Federal de Pernambuco, UFPE  
Recife, Brasil

[ladcoelho@hotmail.com](mailto:ladcoelho@hotmail.com)

[lucietebezerra@yahoo.com](mailto:lucietebezerra@yahoo.com)

[prmlyra@ufpe.br](mailto:prmlyra@ufpe.br)

[ritalima@ufpe.br](mailto:ritalima@ufpe.br)

Conci, A.

Instituto de Computação

Universidade Federal Fluminense, UFF

Niterói, Brasil

[conci.aura@gmail.com](mailto:conci.aura@gmail.com)

**Abstract**— The main aim of this work is to develop a software written in the MATLAB programming language to automate some parametric analysis. It can manage a mesh generator software together with a commercial Computational Fluid Dynamics software (FLUENT), following a correct sequence and optimizing the memory file storage.

To obtain the breast geometry it was used a female manikin as a human phantom. The breast geometry was taken by a coordinate measuring machine (CMM) to obtain all the points over the breast.

By the geometry acquired some simulations were performed with the FLUENT software by the use of the finite volume method to solve the bioheat equation.

**KEY WORDS:** *Thermography, breast cancer, computer simulation, parametric analysis, measuring machine coordinates.*

## I. INTRODUCTION

Despite to be a disease which has an easy diagnosis, breast cancer is the second cause of women death in Brazil. This fact occurs because the women still have fear to look for a medical help and do it only when the cancer becomes advanced. So, it becomes a hard way to obtain the premature diagnosis. Because of this, the health department of Brazil has made some efforts to alert the people about the importance of the breast self examination, clinical examination and mammography, that is seen like the most efficient way to achieve the premature diagnose of breast diseases [1]. Thermography works capturing the infrared radiation emitted by a subject. When it is applied together with other traditional examination tools, can increase the detection of tumor in 14% [2]. The works against breast diseases include prevention campaigns, drug development and specialization of equipment. The big objective of these campaigns are the women that has no information about or those who fear to look for medical assistance. The professionals involved, by your way, has defended the new technologies

that are capable to identify breast tumors more prematurely. Some studies shown that premature tumors that are minors than 1cm of diameter can be easily cured. In this way, the advantage of the thermography is that it has no ionizing radiation and has no physical contact with the subject.

The present work makes a parametric study about the influences of the tumor position and tumor size in a breast temperature profile. For this, it was necessary to obtain a realistic breast geometry. Using a mesh generator software (GAMBIT) and a coordinate measuring machine (CMM), the breast geometry was taken of a female manikin like a human phantom. To ease the parametric analysis it was developed a software written in a Matlab platform to bind the functions of a Fluid Dynamics software (FLUENT) and the mesh generated on the GAMBIT. What is wanted with these analyses is to identify how the depth and the size of a tumor are significant in a breast thermography. For this study, all the tumors simulated here were of spherical format.

## II. METODOLOGY

To obtain a more realistic breast geometry it was used a female manikin like a human phantom. The manikin was attached to a CMM, made by MITUTOYO, CRYSTA547 model, in the Mechanical Engineering Department of Federal University of Pernambuco. By a computational processing, named "scanpak", the points coordinates of the breast were taken. The CMM has a calibration certified, emitted by a lab of the Brazilian Calibration Network. The Fig. 1 shows the manikin attached to a workstation by some metal brackets and plastic glue. By this way, the manikin becomes static without any movement to interfere in the acquisition of the points. The origin of the coordinate system was determined over the nipple of one breast. Just one breast has been reconstructed. At the acquisition room, that was at constant temperature of 20°C, the phantom had to acclimate for about one hour to the room temperature to avoid some errors in acquisition process due to your natural dilatation. The breast geometry was obtained by points distributed in longitudinal lines that swept all the breast, ever passing through the nipple (origin of the

coordinate system). those points in the base of the breast were taken with a contour line.



Figure 1. Phantom at the CMM workstation.

All the points obtained were read by the GAMBIT to build a tridimensional non-structured mesh of the breast. The computational simulation was processed by the FLUENT, giving a temperature profile of the breast surface. The computational tool, named "PARAMETRICA", written in the MATLAB programming language was developed to execute the automatic study of the influences of the tumor position and of the tumor size in the simulations executed.

Fig. 2 shows the process of interaction with GAMBIT to generate the mesh. a) Sequence of the points acquisition, b) building of a contour line, c) mesh generation. The next step is to insert a tumor information inside the mesh. The tumor was a single sphere with size and position known. This work is interested in tumors that is situated inside of the breast, but outside of the torax wall.

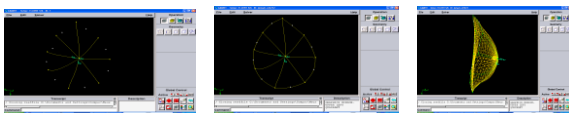


Figure 2. a) Sequence of the points acquisition, b) building of a contour line, c) mesh generation.

Simulations were taken for several tumor sizes and tumor positions. For any simulation, one new directory is created, named with the "pacient name", "tumor position (x,y,z)" and the "radius of the tumor (r)", as can be shown at the Figure 3.

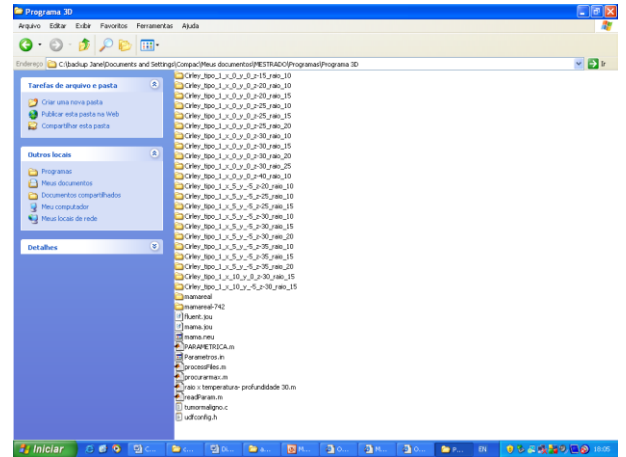


Figure 3. Directories created by several simulations. Any directory is named with patient name, tumor position (x,y,z) and tumor radius (r).

### III. RESULTADOS

Foram realizadas simulações, tanto bidimensionais quanto tridimensionais nas quais foram utilizadas as 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 valores mostrados na Tabela 1.

TABLE I. PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS

| IV. TECIDO | k (W/m°C) (a) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) (a) | c (J/kg°C) (b) | $\omega$ (s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>m</sub> (W/m <sup>3</sup> ) (a) |
|------------|---------------|---------------------------------|----------------|-----------------------------|--|
| Normal -   | 0,480         | 1080                            | 3000           | 0,00018 (d)                 | 450                                    |

| (Glandular)   |       |      |          |             |       |
|---------------|-------|------|----------|-------------|-------|
| Tumor Maligno | 0,480 | 1080 | 3500     | 0,009 (c)   | 5790  |
| Fibroadenoma  | 0,480 | 1080 | 3500     | 0,00183 (c) | 65400 |
| Sangue        | ---   | 1060 | 4200 (a) | ---         |       |

a. (a) Ng E.Y. 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).

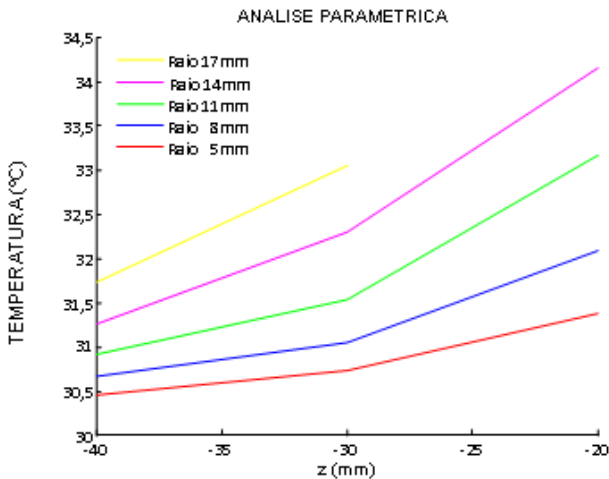


Figure 4. Perfil da temperatura versus profundidade, para tumores de diversos raios

A Fig.5, resultante da simulação do PARAMERICA, mostra o desaparecimento da imagem do tumor à medida que o tamanho do nódulo foi diminuindo. Na

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.

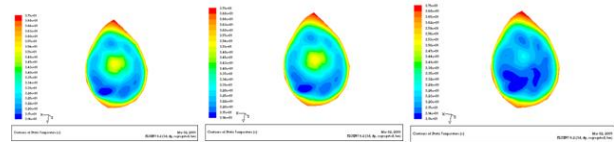


Figure 5. Perfis frontais da mama (a) Caso1 (b) Caso2 (c) Caso3.

Numa tentativa de se efetuar uma primeira comparação entre as temperaturas obtidas pelo PARAMETRICA e as temperaturas de um termograma real do fantoma, foi realizado, 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/m<sup>2</sup> °C [7].

Para a simulação, a taxa volumétrica de geração de calor da lâmpada foi de 1,65 x 10<sup>7</sup> W/m<sup>3</sup>. 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 propriedades termofísicas consideradas estão apresentadas na Tabela 2.

TABLE II. Propriedades Termofísicas dos Materiais.

| MATERIAL             | k (W/m°C) | ρ (kg/m <sup>3</sup> ) | c (J/kg°C) |
|----------------------|-----------|------------------------|------------|
| Borracha de Silicone | 0,21      | 970                    | 65,68      |
| Ar                   | 0,0242    | 1006,43                | 1,225      |
| Tungstênio           | 174       | 19250                  | 132        |

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

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 regulagem 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. 6, mostra o termograma da face lateral da mama direita do fantoma, onde a máxima temperatura medida foi de 53,3 °C. Já a Fig.7, mostra a imagem frontal da mesma mama, onde a temperatura máxima foi de 55,8 °C.

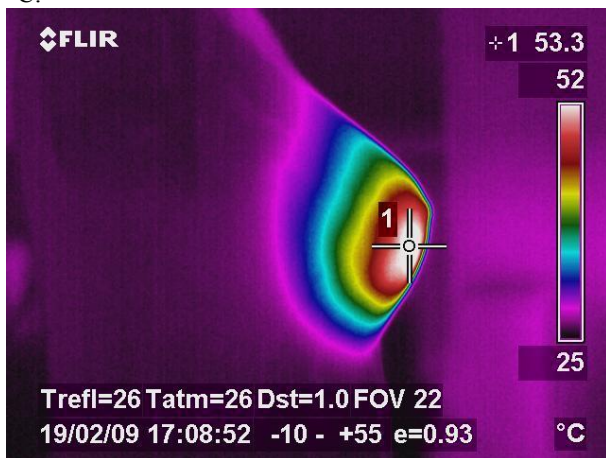


Figure 6. Termograma da mama do manequim (vista lateral).

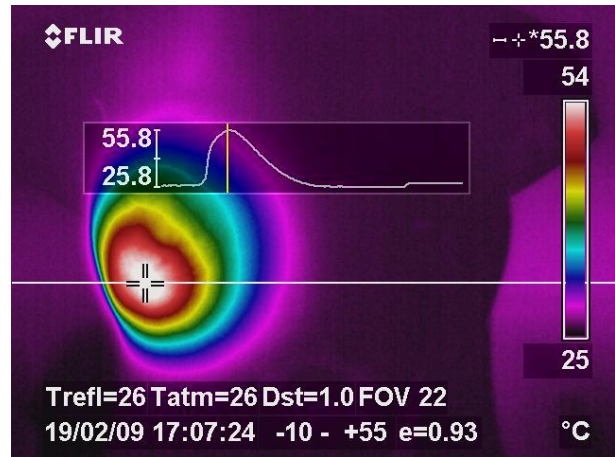


Figure 7. Termograma da mama do manequim (vista frontal).

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

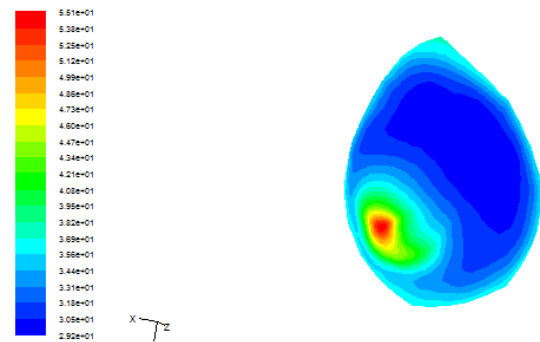


Figure 8. Distribuição de temperatura na mama (vista frontal)

É possível observar que o erro foi de 1,25% quando se compara o termograma da Fig.7. com a simulação da Fig.8, e que este erro aumenta para 3,26% quando a simulação é confrontada com a Fig.6.

## V. 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 correto da fonte de calor, a lâmpada incandescente. O formato da lâmpada mais se aproxima de um cilindro, forma ainda não implementada no PARAMETRICA.

## VI. 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.

## VII. AGRADIMENTOS

CAPES (Programa Pró-Engenharias PE021-2008).

## VIII. REFERÊNCIAS

- [1] INCA-Instituto Nacional de Câncer – ([www.inca.gov.br](http://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.