

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE IMAGENS TERMOGRÁFICAS DE MAMA

Kamila Fernanda Ferreira da Cunha Queiroz, Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, kamilafqueiroz@gmail.com.

Marcus Costa de Araújo, Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco, marcus.araujo@ufpe.br.

Hugo Dourado, Institute for Computational Cell Biology - Heinrich-Heine University, hugo.dourado@hhu.de.

Rita de Cássia Fernandes de Lima, Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco, ritaflima@yahoo.com.

Resumo. A termografia tem emergido como um método potencial para melhorar a eficiência da detecção precoce do câncer de mama. Sistemas de diagnóstico auxiliado por computador (CAD) são métodos importantes no subsídio à decisão médica. Normalmente, estes sistemas são associados a interfaces gráficas de usuário (GUI) para tornar o programa desenvolvido acessível a pesquisadores e/ou médicos ligados à área. O objetivo deste trabalho é apresentar uma GUI prática que possibilite a detecção de anormalidades a partir de termogramas de mamas. Para isto foram implementados sistemas CAD baseados em classificadores estatísticos, com regiões segmentadas semiautomática e automaticamente. Noventa e oito imagens de pacientes do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco foram usadas na construção da base de dados para a classificação individual de determinada paciente. No presente trabalho, foram apresentadas as funcionalidades da GUI desenvolvida, bem como a análise das imagens termográficas de pacientes com diferentes anomalias.

Palavras chave: Termografia. Detecção do Câncer de Mama. Sistemas de CAD. GUI.

1. INTRODUÇÃO

Diversos fenômenos e funções do corpo humano podem ser modelados e analisados por métodos usados na engenharia, tais como: a troca de energia térmica entre o sangue em escoamento e o tecido circundante; a cinemática do movimento humano; o esqueleto funcionando como uma estrutura e o coração funcionando como uma bomba hidráulica. Além desses fenômenos, é possível simular alguns procedimentos médicos tanto cirúrgicos como terapêuticos. As ferramentas numéricas computacionais usuais da engenharia podem ser úteis em tornar tais procedimentos mais seguros e eficazes.

O desenvolvimento de técnicas que auxiliem no diagnóstico precoce do câncer é uma área da medicina que pode se beneficiar com o uso de tais ferramentas. A detecção precoce do câncer de mama torna-se importante, pois trata-se da neoplasia maligna de maior incidência sobre a população feminina mundial (INCA, 2014).

Algumas técnicas têm sido comumente usadas no rastreamento do câncer de mama. Entre os métodos existentes, a mamografia é o principal e o mais comum exame de rastreamento. Esta técnica, porém, pode ser ineficiente para mulheres com mamas fibrocísticas, densas ou cirurgicamente implantadas (Oliveira, 2012). Além disso, há o perigo do uso da radiação ionizante e o desconforto gerado pela compressão das mamas entre as superfícies planas para melhorar a qualidade da imagem (Ng & Sudharsan, 2004 apud Queiroz, 2014).

Mulheres jovens não são submetidas à mamografia por possuírem tecido mamário bastante denso, o que interfere na acurácia do exame, tornando difícil a visualização das anormalidades. Assim, a mamografia é recomendada para mulheres com mais de 40 anos (Bezerra, 2013), ou antes, se a paciente pertence a um grupo de risco.

A inspeção termográfica tem emergido como um método potencial para melhorar a eficiência da detecção precoce de doenças na mama (Kapoor; Prasad; Patni, 2012). Baseia-se no princípio de que as temperaturas em torno do tecido mamário pré-cancerígeno e cancerígeno são maiores do que as do tecido normal (Acharya *et al.*, 2014). Segundo Ng e Sudharsan (2004), a termografia associada à mamografia e ao exame clínico aumenta a sensibilidade da detecção do câncer mamário para, aproximadamente, 98%.

A vantagem adicional da termografia, além do fato de não utilizar radiação ionizante, é a facilidade da realização de exames de mama em homens e a detecção de alterações mamárias em mulheres mais jovens (Queiroz, 2014). Apesar das vantagens citadas, a termografia é considerada como um exame complementar, ainda em estudo.

Os sistemas de diagnóstico auxiliados por computador (CAD - *Computer Aided Diagnosis*), são considerados um importante método no auxílio ao diagnóstico médico do câncer de mama. A sua intenção é melhorar a consistência da interpretação das imagens considerando-se a resposta do computador. Esta resposta pode ser útil notadamente quando o diagnóstico de uma doença está relacionado à subjetividade de uma análise visual. Assim, uma dupla leitura por um médico especialista e por um computador pode melhorar significativamente a eficiência do diagnóstico (Cotrim; Silva; Bezerra, 2007).

Normalmente, sistemas de CAD são associados a interfaces gráficas para facilitar o trabalho dos usuários. Uma das principais vantagens de criar uma interface gráfica de usuário (GUI - *Graphical User Interface*) é tornar o programa

desenvolvido acessível para uma pessoa sem conhecimento prévio da linguagem de programação (Kapoor; Prasad; Patni, 2012). E, neste caso, por incorporar os sistemas de CAD, essas interfaces homem-computador possuem grande valor prático no diagnóstico de anormalidades da mama usando termogramas.

A proposta deste trabalho é apresentar uma interface gráfica para uso médico na análise de termogramas de mama, com intuito de ser utilizada como ferramenta de triagem de pacientes e de auxílio ao diagnóstico do câncer de mama. Para isto, é proposto um ajuste dos sistemas CAD desenvolvidos por Araújo (2014) e Dourado Neto (2014) para que uma paciente seja avaliada individualmente, quanto à presença ou não de distúrbios mamários.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens termográficas utilizadas neste trabalho foram obtidas por meio de uma câmera de infravermelho FLIR S45. Essas imagens são de pacientes do Ambulatório de Mastologia do Hospital das Clínicas (HC) da UFPE e a amostra selecionada é composta por mulheres com diagnóstico concluído através de exames clínicos tradicionais, como ultrassonografia, mamografia e biópsia, caso necessária. Cada paciente concordou em participar da pesquisa através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), documento associado ao cadastro do projeto no Ministério de Saúde, sob o Registro CEP/CCS/UFPE N° 279/05 e aprovado pelo Comitê de Ética da UFPE. A análise das imagens foi realizada com o auxílio do software *FLIR QuickReport*® e processadas no *Matlab*®.

Segmentação das mamas - A segmentação da região de interesse (ROI) das imagens foi realizada de duas formas: automática, desenvolvida por Dourado Neto (2014), e manual, desenvolvida por Araújo (2014).

A matriz de temperaturas **T** da imagem termográfica é reconstruída como uma imagem digital através do *Matlab*®, atribuindo uma cor a cada valor de temperatura, e sobre essa imagem é feita a segmentação. Na segmentação automática, a imagem foi tratada em tons de cinza, na qual os tons mais claros indicam as temperaturas mais altas. Nesse caso, o processo de extração da região de interesse ocorre sem nenhuma intervenção humana.

Na segmentação manual é necessário que o usuário selecione cada mama usando elipses geradas manualmente no *Matlab*®. Ao final do processo, são obtidas duas matrizes de temperaturas, independentes, uma referente à mama esquerda e a outra correspondendo à mama direita.

Extração de características - A partir das matrizes geradas pelo processo de segmentação foram extraídas características contínuas e intervalares para o processo de classificação. Sobre cada matriz de temperatura, foram obtidas informações relacionadas ao aumento de temperatura local e da área total da mama. A etapa de extração de características segue o modelo sugerido em Araújo (2014) e em Dourado Neto (2014).

Classificação - Os dados extraídos de cada matriz de temperatura serviram de entrada para os classificadores utilizados no processo de segmentação automática e na segmentação manual: classificador *Support Vector Machine* (SVM) com núcleo polinomial 8 (Dourado Neto, 2014) e classificador de distância mínima baseado na distância de Mahalanobis (Araújo, 2014), respectivamente. O desempenho dos classificadores foi analisado e cada um deles foi adaptado para posterior uso na avaliação individual de pacientes cujos diagnósticos ainda não foram concluídos.

No caso da utilização das características contínuas, pelo classificador de Mahalanobis, foi utilizado o processo de minimização dos efeitos da grande variabilidade da classe Normal, através do uso de distâncias ponderadas pela máxima variância da classe (SILVA *et al.*, 2015). Assim, um indivíduo que está à mesma distância de diversas classes, quando projetado no espaço de características, é designado àquela classe cuja variância é máxima.

Ajuste dos métodos de análise - Os classificadores citados anteriormente foram criados para analisar as suas eficiências no estudo de uma amostra específica. Para o desenvolvimento da interface gráfica desejada, foi necessário ajustar cada classificador para que a mesma paciente que foi selecionada na etapa de segmentação pudesse ser avaliada individualmente quanto à presença ou não de anormalidades mamárias.

Para ambos os classificadores foram fixados parâmetros e características contínuas e intervalares extraídas da base de treino, formada por 98 termogramas (20 pacientes normais, 27 pacientes com tumor benigno, 27 pacientes com tumor maligno e 24 pacientes com cisto). Fazendo isto, cada paciente nova que se queira avaliar, será usada como “teste” e o resultado da classificação é gerado apenas para ela.

A fim de padronizar e uniformizar os resultados obtidos na classificação de cada paciente foi definido um novo índice THS (*Thermal Statistical Index*) baseado nas imagens termográficas e nos classificadores estatísticos, para indicar a existência de possíveis patologias mamárias. A proposta de tal índice é ser similar ao BI-RADS que é usado nos exames de mamografia e ultrassonografia. A Tabela 1 abaixo mostra os valores atribuídos do THS e suas respectivas definições.

Tabela 1 – Classificação THS.

Classificação	Avaliação
THS 0	Não-Câncer
THS 1	Normal
THS 2	Cisto
THS 3	Tumor Benigno
THS 4	Tumor Maligno

O índice THS 0 foi incluído para os casos de avaliação binária - Câncer ou Não-Câncer - pelo uso do classificador SVM. Nesta situação, a paciente que apresentar THS 0 (Não-Câncer) pode ser portadora de cisto, tumor benigno ou não possuir anormalidades. A classe binária Câncer será representada pelo índice THS 4 (Tumor Maligno).

Na análise de multiclases, pelo uso do classificador relacionado à distância de Mahalanobis, o índice THS poderá assumir as categorias de avaliação de 1 a 4, por classificação crescente de risco de malignidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sistemas de CAD desenvolvidos por Araújo (2014) e Dourado Neto (2014) foram adaptados e associados a uma interface gráfica de usuário (GUI), criada na plataforma *Matlab*® (Fig. (1)). Ela possui dois menus (**File** e **Help**) e quatro painéis (**Informações do Paciente**, **Segmentação**, **Resultado** e **Estatística**).



Figura 1 – Interface gráfica Analise IR_MAMA.

No menu **File** o usuário tem a opção de abrir a imagem termográfica através do programa FLIR QuickReport e exportar a matriz de temperaturas no formato .csv, ou sair da interface. No menu **Help** encontra-se uma breve explicação sobre a interface e suas funcionalidades, com o intuito de que o usuário possa tirar suas dúvidas acerca da mesma.

No painel **Informações do Paciente** o médico/pesquisador pode inserir os dados do paciente, tais como o número do prontuário, a idade e o gênero (masculino/feminino). Estes dados serão armazenados em um arquivo .txt para que eles possam ser usados posteriormente no painel Estatística.

No painel **Segmentação** é possível escolher entre dois tipos de segmentação das mamas (semiautomática ou automática), que estão associadas internamente aos classificadores relacionados para cada uma das segmentações.

O painel **Estatística** serve para análises estatísticas dos dados registrados em determinado período. Por exemplo, caso se deseje saber a quantidade de casos clínicos no ano de 2015, no campo **Período** coloca-se 2015 2015 e ao selecionar **Casos Clínicos** aparecerá um gráfico “pizza” com os resultados (Fig. (2)). De forma semelhante, para saber a distribuição dos casos clínicos por idade, seleciona-se o botão **Casos clínicos × Idade** e aparecerão histogramas referentes a cada classe (Fig. (3)).

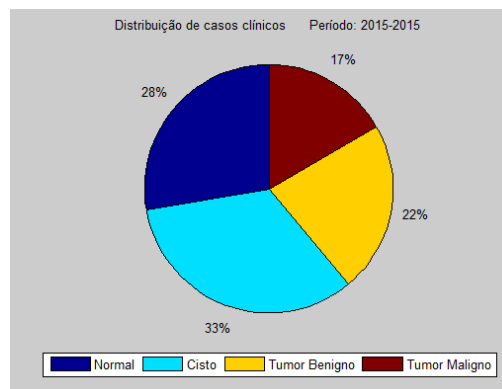


Figura 2 – Gráfico pizza de distribuição de casos clínicos (dados fictícios).

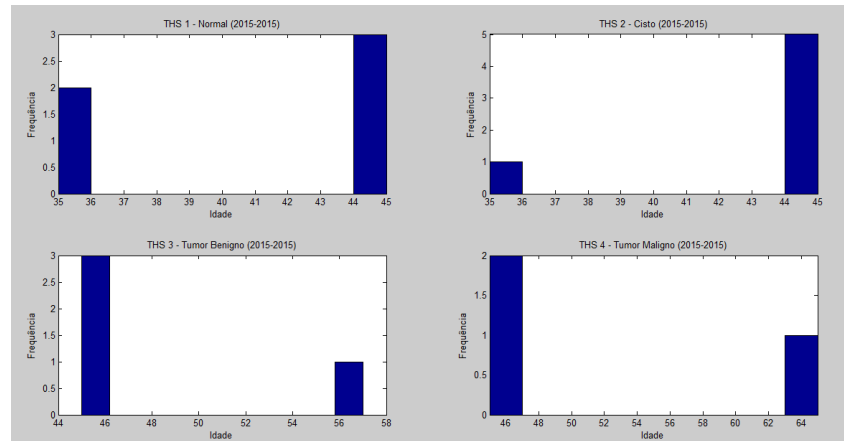


Figura 3 – Histogramas Idade × Frequência de cada caso clínico (dados fictícios).

O resultado associado ao THS é apresentado no painel **Resultado**. No primeiro espaço aparecerá um número entre 0 e 4, referente ao índice, e no segundo espaço aparecerá a avaliação, conforme a Tab. (1).

Por fim, a classificação é iniciada quando o botão **Iniciar Classificação** for selecionado. No presente trabalho, as imagens referentes aos resultados da classificação das pacientes apresentam os valores obtidos através dos classificadores SVM e Mahalanobis (com a minimização da variabilidade da Classe Normal).

Ao selecionar o botão **Salvar Resultado**, a imagem termográfica de cada paciente será salva assim como os seus dados: prontuário, diagnóstico e data da análise.

A seguir é apresentado um estudo de caso detalhado utilizando a interface gráfica na avaliação de uma determinada paciente. A paciente, escolhida aleatoriamente, possui 52 anos e teve seu diagnóstico concluído através de exame clínico e por meio de exames de imagem de ultrassonografia e de mamografia. Seu exame de mamografia indicou BI-RADS 1, que significa que não há anormalidades presente em suas mamas.

Primeiramente, foram preenchidos os dados da paciente com informações importantes para futuras análises e para facilitar a busca dos registros de cada pessoa submetida ao exame termográfico. Em seguida, selecionou-se o tipo de segmentação desejada e o botão **Iniciar Classificação** foi acionado para dar início ao processamento. A Figura 4 mostra o painel **Informações do Paciente** devidamente preenchido. Nele a letra F indica o gênero feminino.

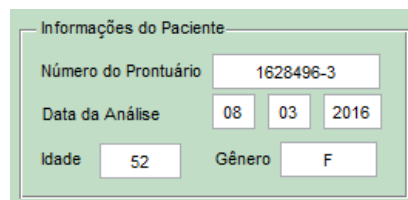


Figura 4 – Dados da Paciente 1.

A Figura 5 mostra os resultados da segmentação semiautomática (Fig. (5B)) e da segmentação automática (Fig. (5C)), bem como a imagem termográfica escolhida para análise (Fig. (5A)). Observa-se que na segmentação automática houve uma pequena perda da região das mamas, fato este que não ocorre na segmentação semiautomática.

Quanto ao tempo que cada processo de segmentação levou para fornecer o resultado, tem-se que: a segmentação semiautomática durou 58,8s devido, principalmente, a etapa de seleção manual de cada mama; e a segmentação automática foi aproximadamente 13 vezes mais rápida que a outra, com duração de 4,67s.

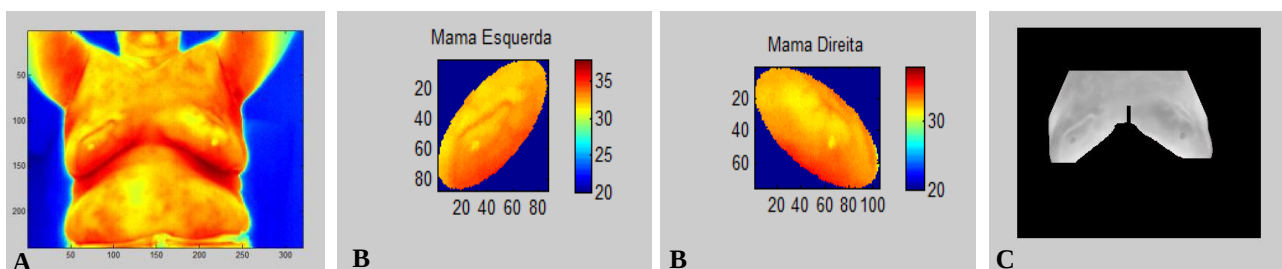


Figura 5 – Regiões segmentadas da Paciente 1.

A) Imagem termográfica B) Segmentação semiautomática C) Segmentação automática

A Figura 6 (A) mostra a forma que a decisão final da classificação SVM é exibida no painel Resultado. O resultado fornecido pelo *software* é um verdadeiro negativo, pois a paciente foi classificada com ausência de tumor maligno e de fato não o tem. A Figura 6 (B) apresenta o resultado obtido através da utilização do classificador Mahalanobis ajustado para minimizar os efeitos da variabilidade da classe Normal. Neste caso, apesar de não ter acertado o real diagnóstico da paciente, o resultado também foi um verdadeiro negativo.

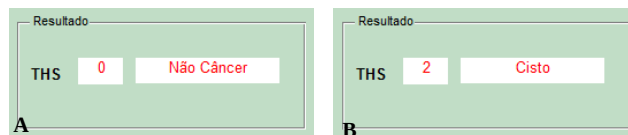


Figura 6 – Resultado da Paciente 1 após classificação.

A) Classificador SVM B) Classificador Mahalanobis com minimização da classe Normal.

A imagem termográfica com as informações da paciente e do resultado obtido foi salva em formato *png* quando se clicou no botão **Salvar Resultado**. Esta figura pode ser impressa e anexada ao prontuário médico da paciente, juntamente com os demais exames. A Figura 7 ilustra o termograma que foi salvo nesta operação.

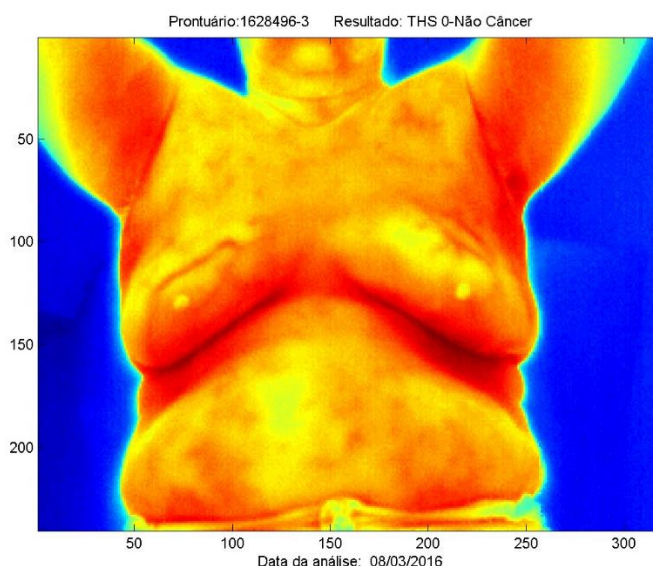


Figura 7 – Imagem salva da Paciente 1 com o resultado do classificador SVM.

A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados tanto no estudo de caso detalhado anteriormente como na análise de pacientes diagnosticadas com tumor benigno, com cisto e com tumor maligno. Analisando a tabela abaixo, para o classificador Mahalanobis, observa-se que a Paciente 3 gerou um falso positivo, pois ela foi classificada com presença de tumor maligno quando, na verdade, não o tem.

Tabela 21 – Resultados obtidos na classificação das pacientes estudadas.

Pacientes	Idade	Diagnóstico	Métodos de Classificação	
			SVM/Binário	Mahalanobis
Paciente 1	52	Normal	THS 0	THS 2
Paciente 2	42	Tumor Benigno	THS 0	THS 1
Paciente 3	38	Cisto	THS 0	THS 4
Paciente 4	35	Tumor Maligno	THS 4	THS 4

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a ferramenta computacional ANALISE IR_MAMA, a qual agregou de forma eficiente e simples opções de segmentação (automática e semiautomática) de imagens termográficas de mama, assim como classificação de patologias mamárias. Os resultados das análises foram apresentados através da criação de um índice de classificação estatística de anomalias mamárias: THS (Thermal Statistical Index).

O diferencial do trabalho foi o ajuste dos sistemas de CAD desenvolvidos para análise de uma única paciente, usando uma base de dados composta de noventa e oito pacientes. Neste sentido, a aplicação da interface gráfica para avaliação individual de pacientes escolhidos aleatoriamente mostrou-se adequada para o classificador SVM, apesar da existente possibilidade de gerar falsos negativos em alguns casos. Os resultados, também, mostram que o classificador SVM pode ser usado em uma triagem rápida de pacientes, separando os grupos de risco e de não risco, devido à agilidade em fornecer os resultados e à forma mais direta de exibí-los.

Com base nestas considerações, espera-se que o uso da termografia associada a uma ferramenta de análise de disfunções mamárias possa colaborar no diagnóstico precoce do câncer de mama, sendo fundamental em uma triagem prévia, aumentando a acurácia deste diagnóstico quando associado aos métodos tradicionais.

5. REFERÊNCIAS

- ACHARYA, R.U.; NG, E.Y.K.; SREE, S.V.; CHUA, C.K.; CHATTOPADHYAY, S. Higher order spectra analysis of breast thermograms for the automated identification of breast cancer. **Expert Systems**, v. 31, p. 37 – 47, 2014.
- ARAÚJO, M.C. **Uso de imagens termográficas para classificação de anormalidades de mama baseado em variáveis simbólicas intervalares**. 2014. 162f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- BEZERRA, L.A. **Estimativa de parâmetros termofísicos da mama e de distúrbios mamários a partir de termografia por infravermelho utilizando técnicas de otimização**. 2013.171f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- COTRIM, D.S.; SILVA, A.M.M; BEZERRA, E.A. Infra-estrutura de informática para sistemas de apoio ao Diagnóstico aplicada a servidores PACS. **III Society for Imaging Informatics in Medicine (SIIM)**, 2007.
- DOURADO NETO, H.M. **Segmentação e análise automáticas de termogramas: um método auxiliar na detecção do câncer de mama**. 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- INCA. **Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva**. Estimativas 2014: Incidência de Câncer no Brasil. Rio de Janeiro, Brasil: Ministério da Saúde, 2014.
- KAPOOR, P.; PRASAD, S.V.A.V.; PATNI, S. Image Segmentation and Asymmetry Analysis of Breast Thermograms for Tumor Detection. **International Journal of Computer Applications**, v. 50, p. 40-45, 2012.
- NG, E.Y.K.; SUDHARSAN, N.M. Computer simulation in conjunction with medical thermography as an adjunct tool for early detection of breast cancer. **BioMed Central**, v. 4, p. 1 – 6, 2004.
- OLIVEIRA, M. **Desenvolvimento de protocolo e construção de um aparato mecânico para padronização da aquisição de imagens termográficas de mama**. 2012. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- QUEIROZ, K.F.F.C. **Análise da repetibilidade e melhoria de segmentação semiautomática de ROIs em imagens termográficas de mama**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- SILVA, A.S.V.; ARAÚJO, M.C.; LIMA, R.C.F. Avaliação da utilização da termografia como ferramenta de triagem de câncer de mama em mulheres residentes em regiões com poucos recursos médicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA BIOMECÂNICA, Uberlândia, 2015. **Anais...**Uberlândia: ABM, 2015.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro para a pesquisa

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

OS autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.