

Registro de imagens infravermelhas do pescoço para o estudo de desordens das tireóides

José R. González¹, Yanexis P. Toledo¹, Leonardo Nardi¹, Aura Conci¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)
Av. Milton Tavares de Souza, s/n - Boa Viagem, Niterói - RJ, 24210-330 – Brazil

{jgonzalez, yptoledo, lnardi, aconci}@ic.uff.br

Resumo.

As desordens das glândulas tireóides constituem um problema de saúde muito freqüente, sendo que o câncer diferenciado de tireóide poderia ser o segundo tipo de câncer mais comum no sexo feminino e o terceiro no masculino. Tem sido comprovada a importância da detecção do câncer nos seus estágios iniciais, o que aumenta as possibilidades de um tratamento efetivo. A termografia infravermelha é uma técnica de imagens que tem sido estudada e aplicada recentemente no estudo e diagnóstico de diferentes doenças, apresentando bons resultados, mas a sua eficácia depende em determinada medida de um correto alinhamento dos termogramas, quando estes são adquiridos em diferentes momentos de tempo. Neste trabalho é feito um estudo das possíveis anomalias que poderiam acontecer durante o processo de captura de termogramas de tireóides, e que devem ser corrigidas com o registro adequado das imagens. Além disso, experimentos são feitos em um conjunto de imagens que possui anomalias simples, usando transformações rígidas entre imagens a partir de pontos de correspondência indicados manualmente.

1. Introdução

A glândula tireóide é uma glândula neuroendócrina localizada no pescoço perto da cartilagem tireóide sobre a traquéia, que tem como função regular o metabolismo do corpo, produzir proteínas, e regular a sensibilidade do corpo frente a outros hormônios. Existem diferentes doenças associadas com desordem das tireóides, relacionadas geralmente à deficiência de iodo, como o bócio, hipotireoidismo, hipertireoidismo, tireoidite, e os nódulos, sendo que alguns desses nódulos chegam a ser cancerosos.

Os nódulos de tireóides constituem um problema clínico comum, e o câncer da tireóide está se tornando cada vez mais prevalente. Segundo dados fornecidos em conferências da Associação Americana de Tireóides do ano 2015 [1], o câncer papilar de tireóides poderá ser o terceiro tipo de câncer mais comum em mulheres no ano 2019, e no ano de 2030, o segundo tipo de câncer mais comum em mulheres e o terceiro em homens. Entre os tipos principais de câncer de tireóides estão: os diferenciados (papilar, folicular e o causado por células de Hürthle), o medular, e o anaplásico.

A detecção da doença nos seus estágios iniciais é de grande importância, pois aumenta as possibilidades de que o tratamento médico seja efetivo. As técnicas de exploração por imagens, como a Ultrassonografia (*UltraSonography*, US) [2, 3, 4], Tomografia Computadorizada (*X-ray Computed Tomography*, CT) por Raios X [5], e Ressonância Magnética (*Magnetic Resonance Imaging*, MRI) [6] tem sido amplamente estudadas e

aplicadas ao problema da detecção. A ultrassonografia é a mais usada e recomendada, mas tem sido comprovado que essas técnicas fornecem índices consideráveis de falsos positivos, sendo necessária sua confirmação pelo método de análise das células locais retiradas por aspiração com agulha fina (*biopsy*).

A distribuição da temperatura do corpo humano apresenta padrões altamente simétricos em relação ao eixo de simetria longitudinal (vertical), e mudanças nesses padrões têm sido associadas com anormalidades. Em [7] foi observado que a glândula tireóide produz um padrão termográfico característico e de fácil reconhecimento, mas em hipotatividade esse padrão não era visível. Além disso, esse trabalho ainda reporta que é possível discriminar entre nódulos benignos e malignos de acordo com a sua temperatura [7]. Tem sido mostrado que células cancerígenas provocam um aumento da temperatura nas regiões vizinhas, sendo que quanto mais superficial estiver localizada a lesão, maior será a temperatura na superfície da pele.

A termografia infravermelha (*InfraRed Termography*, IRT) permite capturar as informações de temperaturas, chamadas de termogramas, que podem ser representadas como imagens bidimensionais. A IRT é uma técnica não invasiva e de baixo custo que tem sido recentemente aplicada no estudo e diagnóstico de diversas doenças [8, 9], obtendo altos índices de acertos no diagnóstico de câncer de mamas [10]. Alguns trabalhos recentes, como os reportados em [11-18], estudam a aplicabilidade da termografia infravermelha para o estudo das desordens das tireóides, mas a maioria deles foca a descrição do modelo físico como uma aproximação inicial do problema, e fazem estudos de alguns casos.

Outra abordagem ao problema que tem sido pouco explorado é o uso de métodos de inteligência artificial para a classificação dos padrões térmicos contidos nos termogramas das tireóides. A termografia infravermelha dinâmica (TID) [10] consiste na aquisição e estudos de vários termogramas em diferentes instantes de tempo e sob determinadas condições, e resulta melhores diagnósticos que a análise de um único termograma também chamada de termografia infravermelha estática (TIE). Para uma correta captura dos termogramas, é preciso a definição e implementação de protocolos que tenham em conta os diversos fatores que poderiam influenciar na qualidade dos dados capturados [19]. Além disso, esses protocolos devem ser projetados também para facilitar o trabalho com as técnicas de análise a serem usadas.

Uma etapa importante no processamento dos termogramas na TID é o registro das imagens, que consiste na associação entre todos os pontos de cada imagem, ou na identificação da função de transformação das coordenadas dos seus pontos de modo que identifiquem o mesmo ponto físico, com o objetivo de que os dados amostrados em qualquer das imagens, dos exames de um ponto específico possam ser identificados em termo de suas coordenadas *rasterizadas* (pixels) correspondentes em todas as outras imagens. Um registro possibilita que as estruturas anatômicas do corpo humano tenham seus conjuntos de pontos conhecidos em cada imagem.

Existem diversos métodos para fazer o registro das imagens, mas a qualidade dos resultados obtidos com eles depende das características das imagens e das deficiências a serem retificadas, sendo que algumas das deficiências podem ser muito difíceis de modelar, o que converte o registro das imagens das tireóides em um problema de pesquisa ainda em aberto.

Neste trabalho é desenvolvida uma análise das possíveis deficiências que poderiam acontecer durante a captura dos termogramas e que podem ser corrigidas mediante o registro, além de uma avaliação de algumas das técnicas de registro de imagens que podem vier a ser usadas como solução inicial ao problema.

2. Protocolo de captura e possíveis movimentos durante a aquisição

O protocolo sugerido e usado neste trabalho estabelece uma série de requisitos que se devem cumprir para capturar os termogramas. Recomenda-se que a temperatura do ambiente deve permanecer entre 21 e 26 graus Celsius, não exista fluxo de ar na sala ou que o mesmo seja não constante, e que as portas e janelas permaneçam fechadas durante o exame. O paciente deve permanecer na sala pelo menos 20 minutos sentado e em repouso antes da captura das imagens para obter o equilíbrio térmico, e pelo menos duas horas antes não poderá fumar, beber substâncias quentes, usar perfumes, cremes, cosméticos ou qualquer outra substância que possa alterar os padrões de temperatura da região, nem colares ou roupas que possam gerar acúmulo de calor. No caso da captura por termografia dinâmica, antes de começar a captura das imagens o paciente receberá um fluxo de ar contínuo e uniforme (por meio de uma ventilação forçada) sobre a superfície do pescoço por uns minutos. Quando a câmera indicar que a temperatura média da região próxima das tireóides, alcançar a temperatura de 29 °C será suspenso o fluxo de ar e ao mesmo tempo começará a captura de uma imagem a cada 15 segundos, durante cinco minutos, até completar um total de 20 imagens. O paciente permanecerá sentado durante esses cinco minutos de exame com a cabeça inclinada ligeiramente para trás, apoiando a cabeça no encosto da cadeira. Além disso, deve ser colocado um quadrado formado por um material isolante no queixo do paciente, o que é usado como uma medida da dimensão real da cena capturada, e fornece pontos fiduciais que podem ser usados no pós-processamento das imagens.

O paciente é instruído para não se mover durante a aquisição das imagens, mas acontecem pequenos movimentos involuntários causados pela respiração, manutenção do equilíbrio, ou a incapacidade de manter a mesma postura durante esse período de tempo.

Para entender os possíveis movimentos na Figura 1 são mostradas a sobreposição (Figura 1a) e as bordas (Figura 1b) da primeira e última imagem obtida durante a captura de uma sequência de 20 imagens usando esse protocolo. Como podem ser visto, os diferentes movimentos que poderia realizar o paciente de forma involuntária faz que partes do corpo fiquem desalinhadas nas imagens. Para corrigir esses problemas, é preciso uma análise destes possíveis movimentos, uma possível forma de que não ocorram, ou seja como poderiam ser incluídos dispositivos para não acontecerem, e caso isso não seja possível a definição de um método de registro capaz de corrigir essas alterações.

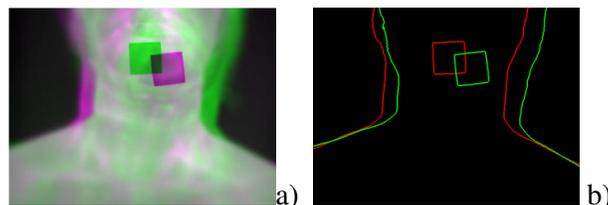


Figura 1: Modificações entre a primeira e última imagem capturadas de um mesmo exame e paciente.

Para identificar essas alterações, foi realizada uma análise qualitativa mediante a comparação de duplas de imagens que foram capturadas, usando o protocolo descrito anteriormente. Foi utilizada uma câmera infravermelha FLIR modelo SC620, que fornece imagens com resolução de 640x480 pixels. A maioria das alterações encontradas, segundo o grau de alterações, pode ser classificada em dois tipos:

- I. Alterações de todo o corpo: incluem inclinações laterais à direita e à esquerda (Figura 2a), movimentos para acima e abaixo (Figura 2b), ou combinações de ambas. Estas inclinações aparentemente poderiam ser corrigidas com transformações de corpo rígido: translação e rotação. As imagens da Figura 2 apresentam as bordas laterais e as bordas do quadrado marcador de material isolante, para duas imagens consecutivas (a de bordas verdes precede à de bordas vermelhas), que demonstram estas alterações.

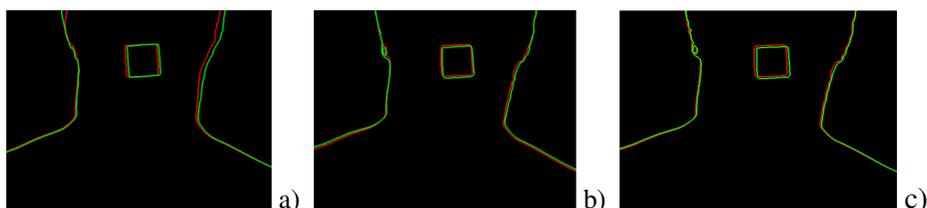


Figura 2: Alterações simples durante a captura das imagens

- II. Alterações locais: são modificações de partes do corpo como as inclinações da cabeça ou do pescoço independentemente do resto do corpo, em várias direções: i) inclinações para os laterais esquerdos e direito da cabeça e o pescoço independentemente do corpo (Figura 3a); ii) rotação da cabeça para baixo ou acima, de forma tal que o queixo muda de posição de uma imagem para outra, independentemente do resto do corpo (Figura 3b, 3c e 3d). Essas possivelmente serão relacionadas a transformações não lineares ou deformações do quadro.

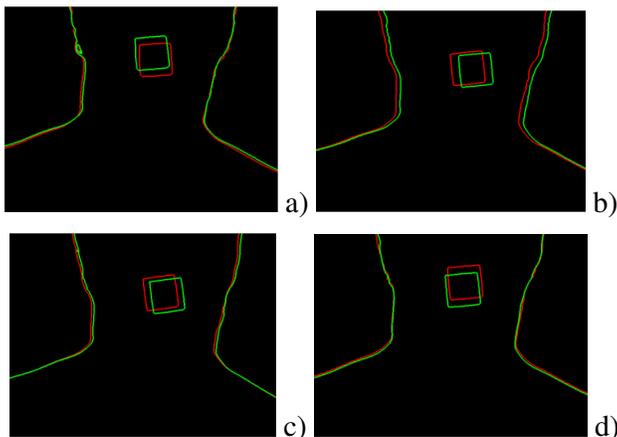


Figura 3: Alterações complexas durante a captura das imagens.

3. Transformações geométricas e o registro de imagens

O registro de imagens pode ser definido como um mapeamento espacial entre duas imagens, uma denominada como imagem de referência e a outra como imagem sensível com o objetivo de fornecer uma correspondência entre os pontos das mesmas. O objetivo do método de registro é encontrar uma função de transformação ideal que irá relacionar os pontos da imagem sensível a pontos na imagem de referência e que, ao

final, possa gerar uma nova imagem sensível mais "alinhada" à imagem de referência, ou levar a uma identificação entre os pontos físicos e suas coordenadas em todas as imagens.

Existe grande quantidade de técnicas para fazer o registro de imagens, mas a identificação da mais adequada depende de uma série de fatores como por exemplo das deformações a serem corrigidas, as características das imagens, etc. Dentre as técnicas para o registro de imagens estão as transformações geométricas baseadas na identificação de pontos comuns usados como pontos fixos ou elementos geométricos a partir dos quais se descobrem as melhores funções para mapear todos os demais pontos dos elementos das imagens. A identificação de duas características similares, uma em cada imagem, recebe o nome de correspondência, sendo mais comum a identificação de correspondências de pontos. Assim, a transformação (ou as transformações) poderá (ou poderão) ser calculada a partir da identificação destas correspondências.

Existem diferentes formas de determinar as correspondências entre os pontos. A escolha de forma manual das correspondências depende da habilidade de identificar os pontos em ambas as imagens e da precisão para marcar o *pixel* correto em todas as imagens, mas apesar de fornecer correspondências confiáveis, esta técnica pode ser difícil de usar no caso de que a quantidade de pontos a selecionar por imagens, ou a quantidade de imagens a serem alinhadas sejam grande. Existem técnicas que permitem a escolha automática das correspondências, como os algoritmos *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) [20], *Affine Scale-Invariant Feature Transform* (ASIFT) [21], *Speeded Up Robust Features* (SURF) [22], *Harris Corner Detector* (HARRIS) [23], mas eles têm como desvantagem que podem fornecer correspondências que não sejam reais, além disso, a quantidade de correspondências obtidas pode ser grande, o que precisa de uma seleção robusta das melhores correspondências para calcular a transformação.

As imagens infravermelhas registram mudanças de temperaturas, ou seja, alterações nos padrões térmicos, o que possibilita que características existentes em uma imagem não estejam presentes em outra, o que pode provocar também a identificação de falsas correspondências. Então, é preciso o desenvolvimento de algoritmos dedicados especificamente à identificação dos pontos e as suas correspondências.

Quanto às transformações geométricas estas podem ser de diversos níveis de complexidade [24]:

–Transformações de corpo rígido ou isometrias: composta de uma operação de translação e uma de rotação. Caracterizam-se por preservar a distância entre pontos, os ângulos entre linhas e tamanhos das áreas da imagem. Uma isometria apresenta três graus de liberdade: o ângulo de rotação e as coordenadas x e y para a translação, e pode ser calculada a partir de duas correspondências de pontos.

–Transformações de escala uniforme ou similaridade: é uma isometria (rotação e translação) que inclui uma mudança de escala isotrópica. Apresenta quatro graus de liberdade: o ângulo para a rotação, as coordenadas x e y para a translação, e o fator de escala. Pode ser calculada a partir de duas correspondências de pontos. Esta transformação conserva os ângulos entre linhas. A distância entre pontos não permanecem invariante, pois o fator de escala faz que a distância aumente ou diminua, mas a razão entre distâncias é a mesma. Este tipo de transformação permite reajustar o

tamanho das características (objetos) da imagem sensível em relação à imagem de referência.

–Transformações de escala não uniforme ou Afim: não preserva o ângulo entre as linhas da imagem, além de incluir um escala não isotrópico. É considerada como um tipo de similaridade que inclui escala não isotrópica, uma reflexão e/ou um cisalhamento. Tem seis graus de liberdade, e a transformação pode ser calculada a partir de três correspondências de pontos.

–Transformações projetivas: é em geral uma transformação linear não singular de coordenadas homogêneas. É uma generalização da transformação Afim, e permite trabalhar com imagens em perspectivas. Possui oito graus de liberdade, e pode ser calculada a partir de quatro correspondências de pontos.

–Transformações não lineares: tenta corrigir deformações nas imagens como a distorção radial ou polinomial introduzida pela lente das câmeras convencionais, mas também podem ser usadas para corrigir mudanças em determinadas regiões da imagem de origem não linear.

As maiorias destas transformações permitem modificar uma imagem completa, ou partes dela de cada vez, ou seja, a posição de cada pixel da imagem será recalculada pela mesma transformação. As anomalias do Tipo I podem ser resolvidas mediante transformações de isometrias, pois somente precisam de uma rotação e/ou translação da imagem completa. No caso das anomalias de Tipo II, a solução fica mais simples se não forem aplicadas transformações sobre a imagem completa em uma única vez, e sim em partes da mesma, sendo que cada parte do corpo do paciente pode ser corrigido por diferentes transformações, segundo o tipo e o grau da deformação presente em cada parte da imagem. Uma das técnicas que pode ser aplicada às anomalias de Tipo II pode ser as Transformações Lineares Parciais [25], que permitem relacionar as diferenças locais das imagem sensível e de referencia, nesta a imagem é dividida em partes que apresentam o mesmo tipo de deformação, e tenta registrar cada parte aplicando uma transformação linear diferente.

4. Metodologia, experimentação e resultados

Um dos objetivos deste estudo é ver a viabilidade do registro de conjuntos de imagens infravermelhas mediante transformações rígidas. A região mais importante, ou de interesse corresponde a região do pescoço onde se encontra provavelmente a tireóide. Para isso, foram selecionadas 20 imagens capturadas de um paciente seguindo o protocolo dinâmico descrito.

Uma transformação rígida T que translada e rota um vetor x em outro x' se expressa mediante a equação $x' = T \cdot x$, sendo escrita de forma matricial como:

$$\begin{matrix} \cos \theta & \text{sen } \theta & t_x \\ \text{sen } \theta & \cos \theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Onde θ é ângulos de rotação, t_x e t_y as coordenadas para a translação.

Na experimentação realizada, a escolha das correspondências de pontos foi realizada de forma manual, para estudar o efeito dos pontos escolhidos. Na Figura 4a apresenta-se o desalinhamento existente entre duas imagens consecutivas, na Figura 4b as duas correspondências de pontos escolhidos manualmente sobre as diagonais opostas do quadrado, e o efeito de correção causado pelo isso destes em uma isometria nos demais pontos da imagem na Figura 4c: apesar de ser corrigido o desalinhamento com perfeição na região do quadrado, o efeito provocado na região de interesse (pescoço) não é adequado, ou seja deve-se ter cuidado na escolha dos pontos usados para determinar as correções. Nas Figuras 4d apresentam-se a escolha de outros pontos para fazer essa correspondência, para as mesmas imagens e a melhora do resultados conseguidos com eles na região de interesse na Figura 4e. Este exemplo mostra a importância da correta escolha das correspondências de pontos, bem como que esse pode ser corrigido e a necessidade de fazer o registrado por partes, focando a atenção principalmente na região de interesse.

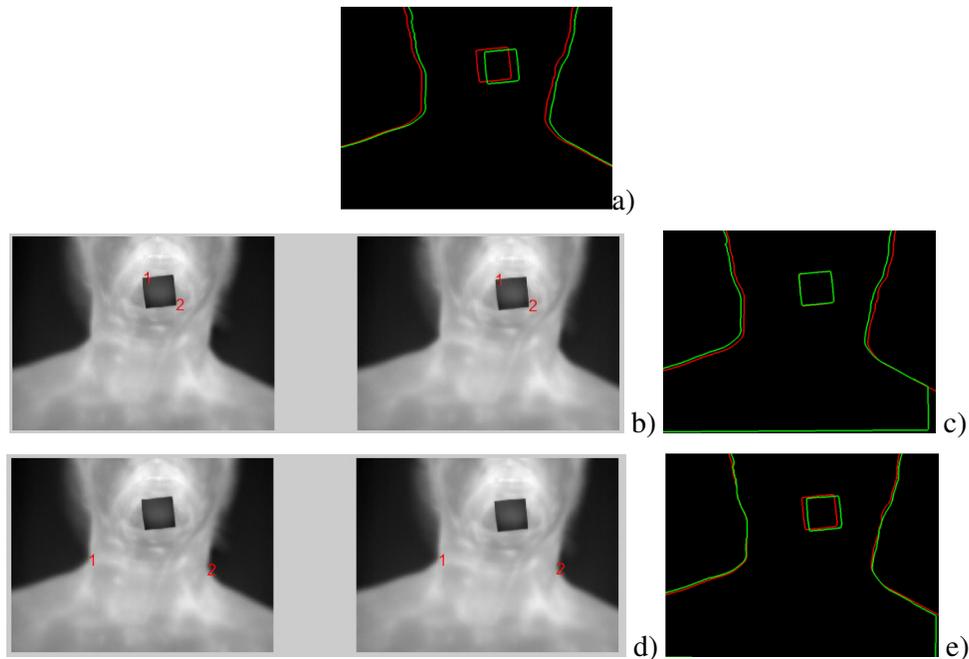


Figura 4: Problemas que pode gerar a escolha incorreta dos pontos para a correspondência a ser usadas no calculo da transformação.

Na Figura 5 amostram-se as bordas de duplas de imagens consecutivas sobrepostas. Como pode ser observado as mudanças de uma imagem e a sua consecutiva são poucas, mas quando se compara a primeira em respeito à ultima, as mudanças são notáveis (Figura 1).

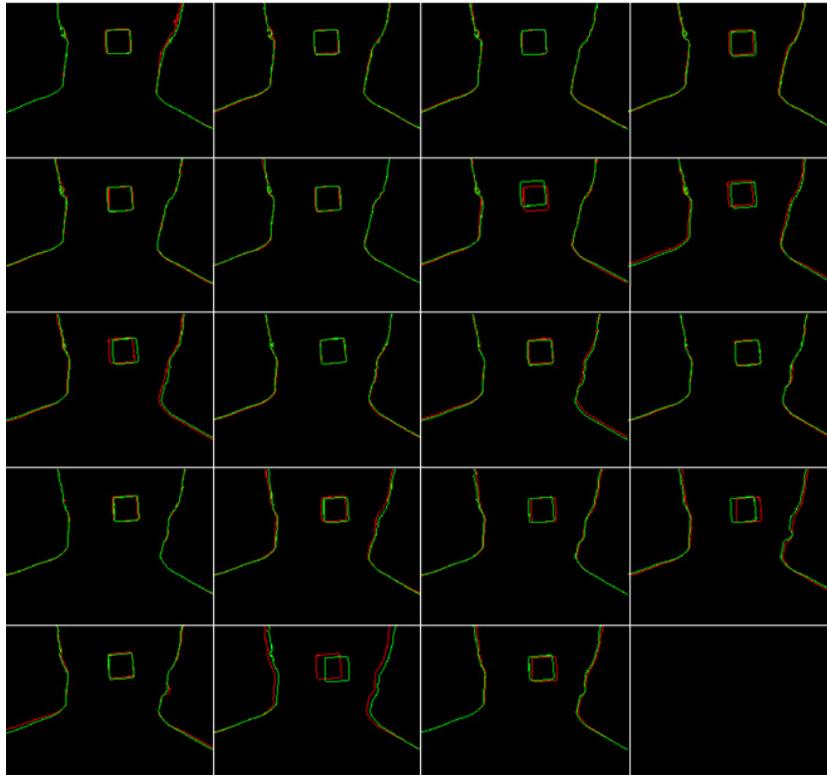


Figura 5: Bordas de cada dupla de imagens consecutivas sobrepostas de um conjunto de 20 imagens.

A metodologia sugerida para fazer o registro de um conjunto de imagens é apresentada no algoritmo em pseudocódigo da Figura 6. Inicialmente a primeira imagem é selecionada como de referência, e a segunda é registrada respeito à primeira. Então, depois de ser retificada a segunda, será selecionada como referência para a terceira, e assim sucessivamente.

```

Registro (ImageSet, NumImages)
  Reference= ImageSet(1)
  for i=2 to NumImages
    Sensitive= ImageSet(i)
    [P1,P2]=Correspondences( Reference, Sensitive)
    T=IsometryTransformation(P1,P2)
    Image= Transform (Sensitive,T)
    save (Image)
    Reference=Image
  end
end

```

Figura 6: Algoritmo sugerido para fazer o registro de um conjunto de 20 imagens.

Em um experimento para fazer o registro indicando as correspondências de pontos de forma manual, os resultados obtidos não foram bons, como se indica na Figura 7, devido possivelmente a erros na marcação dos pontos. Então, precisa-se da identificação

das correspondências de forma automática, ou incluir outras transformações para melhorar o resultado.

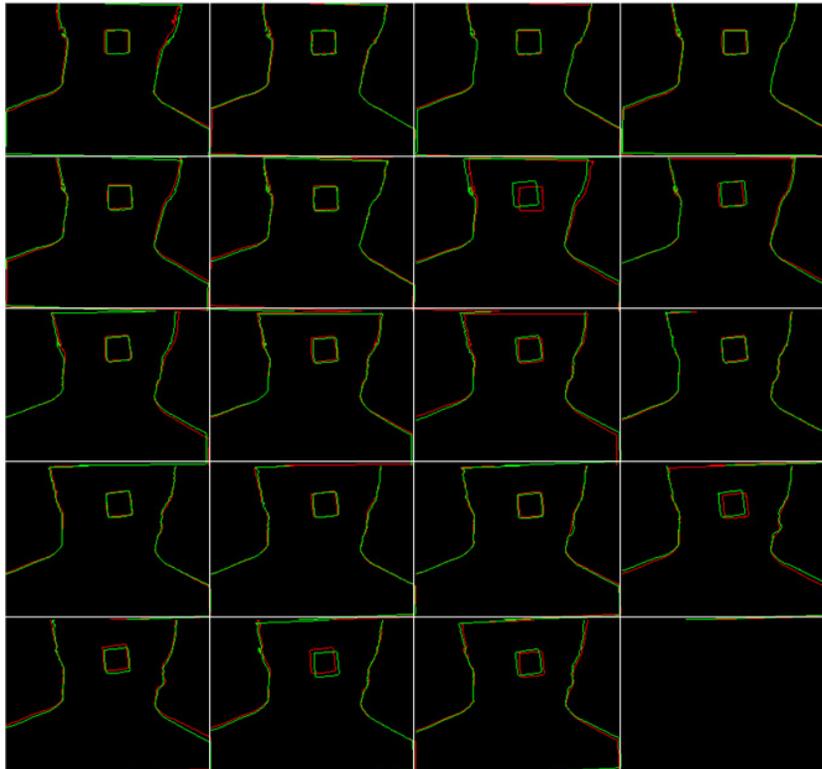


Figura 7: Bordas de cada dupla de imagens consecutivas depois de terem sido registradas com correspondências de pontos indicadas manualmente

Devido às desvantagens que apresenta a seleção manual das correspondências, é preciso estudar e desenvolver algoritmos automáticos que forneçam correspondências confiáveis ou particionar a imagem usando mais de uma transformação em cada parte da imagem. Uma idéia a ser estudada é considerar as bordas da esquerda e direita do corpo do paciente em cada imagem como uma curva discreta, e tentar encontrar o ponto, um de cada borda, onde o ângulo de inclinação da reta tangente à curva forneça maior mudança na sua direção, na faixa relacionada com o pescoço e os ombros, como se indica na Figura 8.

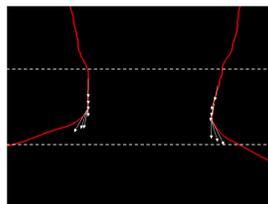


Figura 8: Faixa a analisar para procurar o ponto de cada borda lateral no que a reta tangente à borda tem maior mudança de direção.

5. Conclusões

No estudo desenvolvido para o registro de imagens infravermelhas para o estudo de desordens das glândulas tireóides foram identificadas e classificadas diversas anomalias que poderiam estar presentes nos termogramas e podem ter sido provocadas por diferentes movimentos involuntários que poderia ser feitos pelo o paciente durante o exame. O primeiro tipo de anomalias caracteriza-se por ser global de todo o corpo do paciente e o segundo local, mais complexo, e não pode ser resolvido por transformações geométricas gerais, sendo que poderiam ser resolvidas aplicando diferentes transformações à determinadas regiões da imagem sensível. A escolha de pontos para correspondências a partir do quadrado isolante provoca erros no registro por isometrias (transformações de corpo rígido), pois a transformação é determinada a partir desses pontos e eles não oferecem informação geral sobre a imagem. Então devem ser analisados pontos mais relacionados com a região de interesse. A marcação de correspondências de forma manual pode provocar erros no registro devido a imperfeições na marcação dos pixels exatos e na identificação das correspondências.

Como trabalho futuro, é preciso estudar e desenvolver algoritmos que permitam a seleção de correspondências de forma automática, as que devem se focar na região de interesse. Analisar e desenvolver algoritmos de registro por partes que permitam fazer a correção dos movimentos e deformações mais complexas (de Tipo II). Outra possível solução seria propor mudanças no protocolo de captura das imagens de modo a impedir movimentos complexos do paciente, com por exemplo apoiando sua cabeça de modo que com mais conforto não a movimente durante o processo de captura.

Referências

- [1] Haugen, B. R., Alexander, E. K., Bible, K. C., Doherty, G. M., Mandel, S. J., Nikiforov, Y. E., Pacini, F., Randolph, G. W., Sawka, A. M., Schlumberger, M., Schuff, K. G., Sherman, S. I., Sosa, J. A., Steward, D. L., Tuttle, M., and Wartofsky, L., “2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer”, 2015.
- [2] Keramidas, E. G., Iakovidis, D. K., Maroulis, D., and Dimitropoulos, N. “Thyroid texture representation via noise resistant image features”, In Computer-Based Medical Systems, CBMS’08. 21st IEEE International Symposium, pp. 560-565, 2008. DOI: 10.1109/CBMS.2008.108.
- [3] Chiu, L-Y., and Chen, A., “A variance-reduction method for thyroid nodule boundary detection on ultrasound images”, 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, pp. 681-685, 2014. DOI: 10.1109/CoASE.2014.6899401.
- [4] Chang, Ch-Yu., Lei, Y., Tseng, Ch., and Shih, S-R., “Thyroid segmentation and volume estimation in ultrasound images.”, IEEE transactions on biomedical engineering, Volume 57, Number 6, pp. 1348-1357, 2010. DOI: 10.1109/TBME.2010.2041003.
- [5] Liu, J., Narayanan, D., Chang, K., Kim, L., Turkbey, E., Lu, L., Yao, J., and Summers, R.M. . “Automated segmentation of the thyroid gland on CT using multi-atlas label fusion and random forest”, 2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging, pp. 1114 – 1117, 2015. DOI: 10.1109/ISBI.2015.7164067.
- [6] Chao, J., He, Z., and Liu, J., “MRI-based finite element simulation on radiofrequency ablation of thyroid cancer.” Computer methods and programs in biomedicine, Volume

- 113, Number 2, pp. 529-538, 2014. DOI:10.1016/j.cmpb.2013.12.007.
- [7] Samuels, B. I., "Thermography: A Valuable Tool in the Detection of Thyroid Disease". *Radiology*, Volume 102, Number 1, pp. 59-62, 1972. DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/102.1.59>
- [8] Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., and Philip, J., "Medical applications of infrared thermography: A review", *Infrared Physics and Technology*, Volume 55, Number 4, pp. 221-235, 2012. DOI:10.1016/j.infrared.2012.03.007.
- [9] Ring, E. F. J., and Ammer, K., "Infrared thermal imaging in medicine". *Physiological measurement*, Volume 33, Number 3, pp. 33-46, 2012.
- [10] Silva, L. F., Santos, A. A., Bravo, R. S., Silva, A. C., Muchalut-Saade, D. C., and Conci, A., "Hybrid analysis for indicating patients with breast cancer using temperature time series." *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Volume 130, pp. 142-153, 2016. DOI: 0.1016/j.cmpb.2016.03.002.
- [11] Alves, M. L., Andrade, J., Cherri, J., Moriya, T., Piccinato, C. E., Okano, N., Velludo, M. A., and Nassim, I., "Papel da termografia da seleção de nódulos tireoidianos de indicação cirúrgica", *Arquivos brasileiros de endocrinologia e metabolismo*, Volume 32, Number 4, pp. 97-99, 1988.
- [12] Gavrioloia, G., Ghemigian, A-M., and Gavrioloia, M-R. "Infrared signature analysis of the thyroid tumors", *European Conferences on Biomedical Optics. International Society for Optics and Photonics*, Volume 7371, 2009. DOI:10.1117/12.831756.
- [13] Ahdy, H., Holdmann, M., and Rizkalla, M., "Application of thermography for non-invasive diagnosis of thyroid gland disease", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Volume 55, Number 3, pp. 1168-1175, 2008. DOI: 10.1109/TBME.2008.915731.
- [14] Gavrioloia, G., Gavrioloia, M-R., Sofron, E., and Ghemigian, A-M., "Using Fractal Analyze of Thermal Signatures for Thyroid Disease Evaluation." *Proceedings SPIE, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies*, Volume 782110, 2010. DOI:10.1117/12.882294.
- [15] Gavrioloia, B-M, Vizireanu, R-C., Neamtu, C. M., Popescu, H. I., Grigore, C. I., and Gavrioloia, G., "An improved method for IR image filtering from living beings." 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp. 3395 - 3398, 2013. DOI: 10.1109/EMBC.2013.6610270.
- [16] Mahajan, P., and Madhe, S., "Morphological Feature Extraction of Thermal Images for Thyroid Detection", *International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering*, Volume 5, Number 4, 2014.
- [17] Mahajan, P., and Madhe, S. "Hypo and hyperthyroid disorder detection from thermal images using Bayesian Classifier". In *Advances in Communication and Computing Technologies, International Conference*, pp. 1-4, 2014. DOI: 10.1109/EIC.2015.7230721
- [18] Gavrioloia, B-M, Vizireanu, C. R., Fratu, O., Mara, C., Vizireanu, D. N., Preda, R., and Gavrioloia, G "Thermal image filtering by bi-dimensional empirical mode decomposition." *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies*, Volume 9258, 2015. DOI:10.1117/12.2070375.
- [19] Fernández-Cuevas, I., Marins, J. C. B., Lastras, J. A., Carmona, P. M. G., Cano, S. P., García-Concepción, M. Á., and Sillero-Quintana, M., "Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review", *Infrared Physics*

and Technology, Volume 71, pp. 28-55, 2015. DOI:10.1016/j.infrared.2015.02.007.

- [20] Lowe, D. G., "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", International Journal of Computer Vision, Volume 60, Number 2, pp. 91-110, 2004. DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
- [21] Yu, G., and Morel, J. M. (2011). "Asift: An algorithm for fully affine invariant comparison", IPOL Journal-Image Processing On Line, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5201/ipol.2011.my-asift>
- [22] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., and Gool, L. V. "Speeded-up robust features (SURF)". Computer Vision and Image Understanding Volume 110, Number 3, pp. 346-359, 2008.
- [23] Harris, C., and Stephens, M., "A combined corner and edge detector", In Alvey vision conference, Volume 15 pp. 147-151, 1988.
- [24] Hartley, R., and Zisserman, A. (2003). Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press.
- [25] Arévalo Espejo, V. M., "Registro de imágenes mediante transformaciones lineales por trozos", Doctoral dissertation, Málaga University, 2008. URI: <http://hdl.handle.net/10630/10477>.