

Extração automática de medidas em exames de ecocardiograma

Paulo Rodrigues Gomes*, Ramon Figueiredo Pessoa*

*Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas),
Minas Gerais, Brasil

Email: prxgomes@gmail.com, ramon.fgrd@gmail.com

Resumo— O diagnóstico de exames de ecocardiograma é um processo trabalhoso e requer muito tempo do especialista para identificação das regiões de interesse assim como as aferições. O objetivo proposto visa agilizar o processo de diagnóstico e fornecer uma maior quantidade e qualidade de informação ao especialista. Este trabalho apresenta uma abordagem para a extração automática de algumas das medidas que o exame fornece, avaliando dois filtros diferentes e a influência deles na extração de medidas, utilizando como linha de base, medições feitas por um especialista. Foram obtidos resultados importantes, mostrando que 98% a 99% da porcentagem de variação explicada no processo de extração de medidas refere-se ao passo de pré-processamento, a abordagem proposta obteve redução de erro 9% em comparação com outra solução implementada e usando uma abordagem combinada, foi obtido uma redução de 38% de erros.

Abstract—The diagnosis of echocardiogram exam is a cumbersome process and requires much time of a specialist due to the identification of regions of interest as well as their measurements. The proposed objective aims to streamline the diagnostic process and provide a greater amount and quality of information to the specialist. This work presents an approach for automatic extraction of some of the measures that the exam provides, evaluating two different filters and the influence of them in the measures extraction, using a baseline, measurements made by a specialist. Important results were obtained, showing that 98% to 99% of the percentage of variation explained in the measures extraction process refers to pre-processing step, the proposed approach obtained 9% error reduction in compared to another solution implemented and using a combined approach, a 38% reduction of errors.

I. INTRODUÇÃO

A área médica necessita de ferramentas que disponibilizem uma pré-análise de exames de eletrocardiograma com diversas informações importantes [1]. Em exames de ecocardiograma, este tipo de ferramenta seria de grande valia, devido a complexidade da análise de imagens com grande variação na qualidade, fator que é inerente à fisiologia do paciente.

O exame ecocardiográfico consome um tempo considerável do especialista, além de sua complexidade natural, ele apresenta como agravante a baixa qualidade nas imagens [2]. A Fig. 1, demonstra medições de duas regiões de interesse (ROI) em um exame. É possível observar que os pontos de referência para as medidas não são simplesmente a delimitação da região, mas um ponto dentro da região.

A importância do exame de ecocardiograma e a eficácia da sua utilização, são fatores que aumentam a necessidade da criação de recursos mais avançados de processamento para

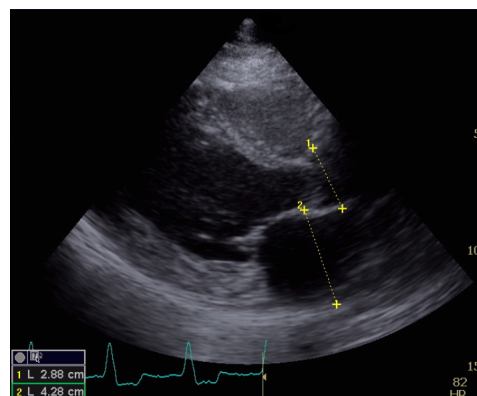


Fig. 1. Exemplo de medição em um exame realizado por um especialista.

este tipo de exame [3]. As imagens deste tipo de exame são contaminadas com ruídos [2], além de outros agravantes em sua análise por conta de diversos fatores inerentes ao próprio exame ou mesmo à fisiologia do paciente, fatores que dificultam o processamento e reconhecimento automático de padrões e medidas.

Este trabalho visa reduzir o tempo de diagnóstico, extraindo medições de imagens de qualidade variada, facilitando a análise e reduzindo o erro na conclusão do diagnóstico. A abordagem propõe e compara dois métodos de pré-processamento para normalizar e remover ruídos, e ao final do processo, extrai medidas do exame de forma automática referentes a distância (em centímetros) das regiões de interesse, utilizando métodos estatísticas para validação dos resultados.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Póvoa and Souza [3], “o ecocardiograma provocou uma verdadeira revolução na cardiologia, em consequência de uma melhor definição das doenças cardíacas”. Exames de ecocardiograma tornaram-se largamente utilizados pela praticidade e facilidade na aquisição do mesmo [2].

O ecocardiograma nem sempre apresenta uma qualidade aceitável, ou muitas vezes, contém ruídos que podem alterar a interpretação do exame [2]. Narang and Lal [4] apresenta um método de pré-processamento que busca facilitar a segmentação da região de interesse (ROI), algumas dessas técnicas são apresentadas em Voigt et al. [5]. O método

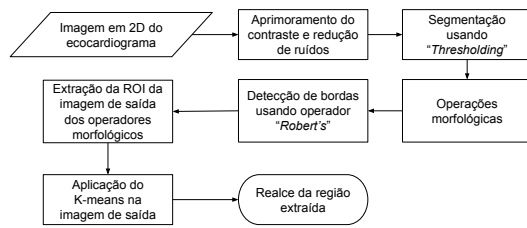


Fig. 2. Sequência dos passos descritos para segmentação da imagem (imagem adaptada) [4].

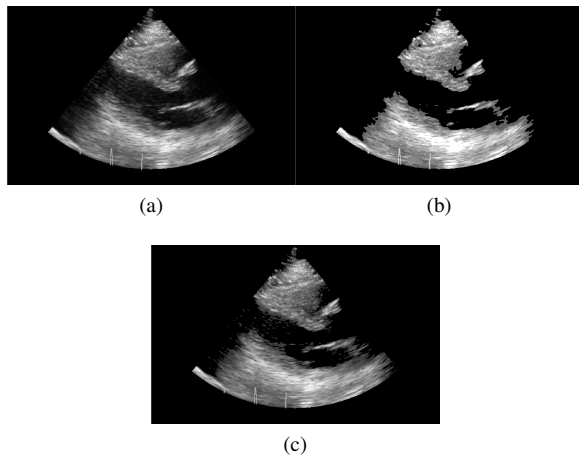


Fig. 3. (a) Imagem original, (b) proposta de Narang and Lal [4] e (c) proposta deste trabalho.

de Narang and Lal [4] usa métodos de pré-processamento, segmentação e a aplicação do *k-means* [6] como último passo (Fig. 2).

Existem diversas metodologias que visam atenuar os ruídos e realizar a segmentação de forma eficiente, Sigit et al. [7] e Narang and Lal [4] seguem esse intuito, apresentando formas diferentes para alcançar o objetivo. Em Narang and Lal [4] todo esse processo é organizado em cinco passos: 1) O ajuste de contraste e filtro de média; 2) A binarização da imagem (“*Thresholding*”); 3) Aplicação de filtros morfológicos (filtro de erosão seguido de dilatação, conhecido como “*Opening operation*”); 4) Detecção de bordas utilizando o operador de Robert’s [4]; 5) Utilização do *k-means* [6] para realce das ROI. Em Sigit et al. [7] os passos iniciais são semelhantes alterando o ultimo passo utilizado.

III. METODOLOGIA

Para a extração de medidas, o pré-processamento é uma etapa muito importante, pois facilita a correta segmentação da imagem. No entanto, testes preliminares (Fig. 3) mostraram resultados não satisfatórios para o processo automatizado realizado por Narang and Lal [4], por remover áreas de baixa tonalidade que podem representar regiões de interesse, fato que a proposta de pré-processamento apresentada neste trabalho visa reduzir (Fig. 3).

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário remover ruídos da imagem (pré-processamento), segmentar a região de

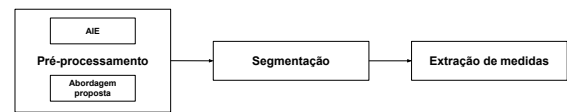


Fig. 4. Fluxo macro da metodologia proposta com a variação dos filtros de pré-processamento.

interesse (ROI) e extrair as medidas. Foi realizada a variação da etapa de pré-processamento, onde os resultados de Narang and Lal [4], aqui chamado de AIE (*Adaptive Image Enhancement*, em referência ao título do artigo) e da proposta de pré-processamento apresentada neste trabalho foram submetidos a etapa segmentação e posteriormente a etapa extração de medidas (Fig. 4).

Os resultados foram avaliados utilizando erro médio quadrático (MSE). Foram medidos dois momentos distintos do exame, o ventrículo esquerdo na sístole (VE-DS) que é o momento de menor abertura e na diástole (VE-DD), maior abertura. Foi aplicado o projeto fatorial de um fator [8] para avaliar a influência do pré-processamento no processo de extração automática de medidas em exames de ecocardiograma, em seguida realizada a comparação de sistemas utilizando intervalos de confiança [8] para inferir se ambas as técnicas apresentam diferença significativa em seus resultados.

A abordagem proposta utiliza técnicas para remover faixas de cores de baixa tonalidade, para isso a imagem é convertida numa faixa de valores que varia de zero a um, em seguida são removidos valores que estão abaixo da média computada das regiões preenchidas (diferente de preto ou zero). A seguir é aplicado a equalização do histograma [9] da imagem para alterar a distribuição de tonalidade e acentuar detalhes, em seguida o filtro morfológico “*Opening operation*” e o *k-means* são aplicados na imagem removendo o “*cluster*” mais distante. O resultado é a imagem à ser processada para extrair medidas.

Em resumo foi implementado a solução de Narang and Lal [4] e a solução proposta neste trabalho, seguido da execução dos experimentos com a comparação dos resultados obtidos (utilizando como base as medidas de um especialista). Finalmente os resultados são apresentados e analisados.

a) *Conjunto de dados*: A amostra utilizada é composta por 30 exames (todos com as medidas necessárias disponíveis) de pacientes reais, e para cada exame foi extraído duas imagens (uma para o VE-DD e outra para VE-DS). Estes exames são de uso privado, sendo que, para este trabalho foi permitido acesso às imagens sem a identificação do paciente, que é caracterizado por um código interno.

b) *Ambiente de Desenvolvimento*: Para implementação das metodologias propostas, foi utilizado a linguagem de programação Python, e as bibliotecas auxiliares, Matplotlib (biblioteca python para plotagem de gráficos) e Scikit-image (coleção de algoritmos de processamento de imagens).

IV. RESULTADOS

O primeiro passo, foi realizar testes estatísticos de desempenho das técnicas para a medição das regiões (VE-DS e VE-

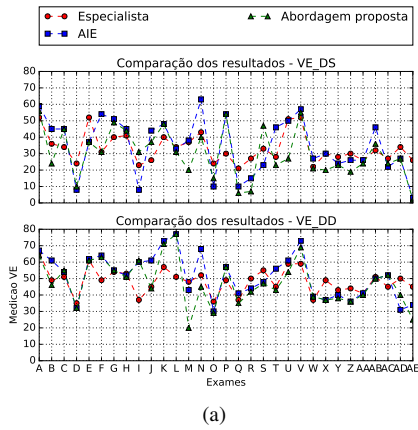


Fig. 5. Medidas realizadas pelo especialista e pelas abordagens apresentadas.

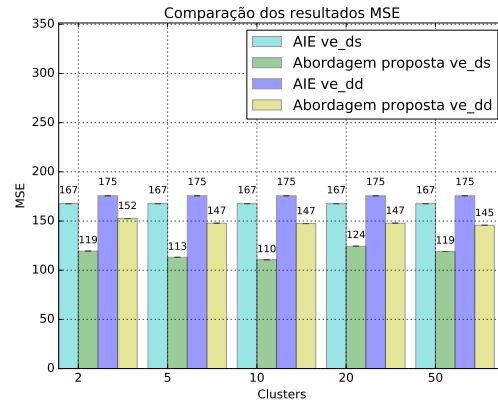


Fig. 7. Resultados dos valores de MSE com a variação dos “clusters”.

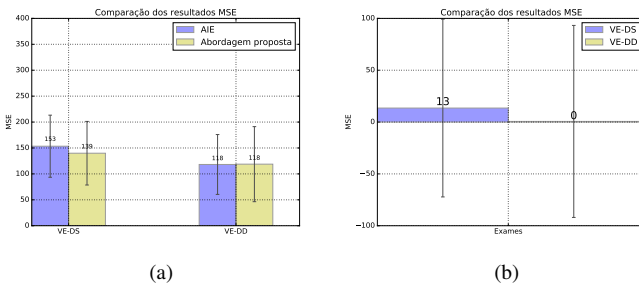


Fig. 6. (a) Resultados da comparação de sistemas para IC de 95%, (b) Resultados do teste-T de 95% (AIE x Abordagem proposta).

DD), a partir das medidas obtidas, foi calculado o MSE com base nos valores do especialista (a Fig. 5 demonstra alguns resultados obtidos).

A técnica de comparação de sistemas [8] foi utilizada para verificar se uma abordagem é significativamente melhor que a outra, para isso é calculado a média dos valores, o desvio padrão (S) e definido um valor para o intervalo de confiança (IC). Foi utilizada a distribuição normal (Z) com 95% de confiança. Os resultados mostram que os valores dos intervalos de confiança colidem (Fig. 6a), com isso o teste-T foi necessário para validar os resultados [8]. Com os resultados do teste-T (Fig. 6b), é possível verificar que para as medições realizadas, as abordagens não apresentam diferença significativa (inclui zero no IC [8]).

Para avaliar a influência do pré-processamento, foi feito um projeto fatorial de 1 fator [8] para diferentes números de “clusters” (5, 10, 20 e 50) utilizado no algoritmo k-means. O cálculo foi realizado separadamente para medição do VE-DS e VE-DD. O valor médio do MSE encontrado foi de 142.47 para VE-DS e 161.94 para VE-DD (isto representa o valor médio das médias dos valores encontrados). Para as medidas do VE-DS realizadas usando a metodologia de AIE [4], foi obtido 25.19 acima da média e para metodologia proposta 25.19 abaixo da média (o termo “acima/abaixo da média” indica que o resultado apresenta maior/menor índice de MSE que a média de todos os valores). Já para as medidas do VE-DD realizadas

usando a metodologia de AIE [4], foi obtido 13.72 abaixo da média e para metodologia proposta 13.72 acima da média. O projeto fatorial de 1 fator mostrou que a variação explicada em VE-DS foi de 98.1% e está ligada ao pré-processamento e apenas 1.9% é devido a erros experimentais. Em VE-DD, 98.6% é referente ao pré-processamento e apenas 1.4% a erros experimentais. A Fig. 7 mostra os resultados de MSE obtidos com a variação dos “clusters” para cada região e para cada proposta.

O projeto fatorial de 1 fator ressaltou a importância do pré-processamento, porém não avaliou a influência da variação dos “clusters”, para isso foi realizado um projeto fatorial 2^k [8], com k igual a 2, onde é analisado qual a influência do pré-processamento, dos “clusters” e da combinação de ambos. Foi calculado o MSE para AIE e para a abordagem proposta variando os “clusters” em 5 e 10.

O resultados obtidos estão na Tabela I, onde SSA é a variação explicada pelo fator A (pré-processamentos), SSB pelo fator B (“clusters”) e SSAB é a variação explicada pela combinação de A e B. Em ambas as regiões o pré-processamento é responsável por 99.9% dos resultados enquanto a variação dos “clusters” e a combinação dos fatores não passa de 0.05%. Estes resultados reforçam os obtidos pelo projeto de 1 fator.

TABLE I
RESULTADOS DO PROJETO FATORIAL 2^k

| | VE-DD | VE-DS |
|------|---------|--------|
| SSA | 99.993% | 99.90% |
| SSB | 0.0035% | 0.05% |
| SSAB | 0.0035% | 0.05% |

Analisando os valores absolutos do MSE em cada exame foi possível observar que a abordagem proposta apresenta o menor índice de erro na maior parte dos exames (9% menos que AIE), mas em alguns exames, AIE obteve um melhor resultado. Com isso, foi feita a combinação de ambas as técnicas de pré-processamento para avaliar se uma supre as falhas da outra. Os resultados foram positivos (38% menos que AIE), obtendo

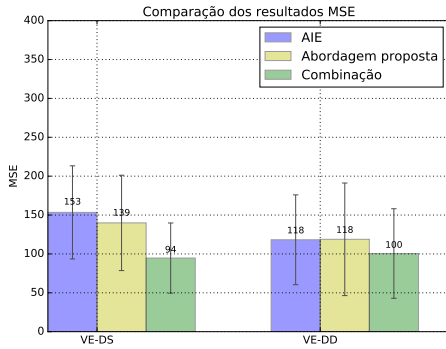
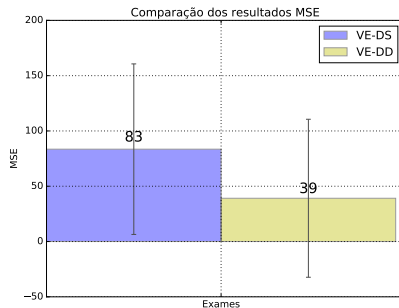
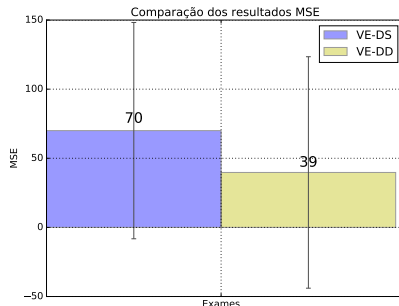


Fig. 8. Resultado da comparação de sistemas com 95% de confiança (AIE × Abordagem proposta × Combinação).



(a)



(b)

Fig. 9. Resultados do teste-T com 95% de confiança. AIE × Combinação das abordagens (a) e Abordagem proposta × Combinação das abordagens (b).

índices de erros menores que as duas abordagens isoladas comparadas com 95% de confiança (Fig. 8).

V. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Verificou-se que a extração de medidas em exames de ecocardiograma não foram 100% satisfatórios, mas a abordagem proposta apresenta melhores resultados em vários exames, se comparada com o *baseline* AIE (Adaptive Image Enhancement) [4]. Outra contribuição deste trabalho foi a combinação das técnicas de pré-processamento propostas neste trabalho com as técnicas descritas no trabalho de Narang and Lal [4]. Os resultados mostraram que a combinação reduziu bastante

o índice de erro. Para as medidas no ventrículo esquerdo na sístole (VE-DS) é possível afirmar com 95% de confiança que a combinação das abordagens é melhor que AIE [4]. No entanto, para as medidas no ventrículo esquerdo na diástole (VE-DD) não se pode afirmar qual é a melhor com esta mesma porcentagem de confiança (Fig. 9).

A taxa de variação explicada pelo pré-processamento foi de 98% no projeto fatorial de 1 fator e de 99% para o projeto fatorial 2^k [8], ressaltando a grande importância desta etapa para a segmentação e extração de medidas nas imagens, e que a combinação de técnicas diferentes podem alcançar melhores resultados.

Grande parte dos resultados com alto índice de erro é devido a diversidade de padrões nas imagens que podem ou não representar as regiões de interesse, isto torna evidente a necessidade da utilização de técnicas mais sofisticadas voltadas a inteligência artificial como aprendizagem de máquina, em especial o estado da arte em várias aplicações de reconhecimento de padrões visuais que é o “*Deep Learning*” [10].

Como trabalho futuro, é proposto a utilização de técnicas aprendizado de máquina em todas as etapas propostas neste trabalho visando obter melhores resultados, além de novas formas de pré-processamento, descrição e segmentação de regiões.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr^o Vinicius Tostes Carvalho por permitir acesso às imagens para o estudo e ao Centro de Telessaúde HC - UFMG pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERENCES

- [1] P. W. Macfarlane, B. Devine, and E. Clark, “The university of glasgow (uni-g) ecg analysis program,” in *Computers in Cardiology, 2005*, Sept 2005, pp. 451–454.
- [2] M. L. d. Siqueira, “Reconhecimento automático de padrões em imagens ecocardiográficas,” Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [3] R. Póvoa and D. Souza, “Análise crítica do eletrocardiograma e do ecocardiograma na detecção da hipertrofia ventricular esquerda,” *Rev Bras Hipertens*, vol. 15, no. 2, pp. 81–9, 2008.
- [4] S. Narang and M. Lal, “Adaptive image enhancement of echocardiographic images using automatic roi,” *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, vol. 2, pp. 148–154, 2013.
- [5] J.-U. Voigt, G. Pedrizzetti, P. Lysyansky, T. H. Marwick, H. Houle, R. Baumann, S. Pedri, Y. Ito, Y. Abe, S. Metz *et al.*, “Definitions for a common standard for 2d speckle tracking echocardiography: consensus document of the eacvi/ase/industry task force to standardize deformation imaging,” *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, p. jeu184, 2014.
- [6] N. Dhanachandra, K. Manglem, and Y. J. Chanu, “Image segmentation using k-means clustering algorithm and subtractive clustering algorithm,” *Procedia Computer Science*, vol. 54, pp. 764 – 771, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915014143>
- [7] R. Sigit, M. M. Mustafa, A. Hussain, O. Maskon, and I. M. Nor, “Cardiac cavity segmentation in echocardiography using search contour and snakes,” in *Industrial Electronics Seminar 2009*, 2009, pp. C12–16.
- [8] R. Jain, “The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling,” 1990.
- [9] R. E. Gonzalez, Rafael C.; Woods, *Processamento digital de imagens 3^o ed.* São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [10] J. Schmidhuber, “Deep learning in neural networks: An overview,” *Neural Networks*, vol. 61, pp. 85 – 117, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089368014002135>