

MÉTODO DE SEGMENTAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE IMAGENS DE ULTRASSOM INTRAVASCULAR DA BORDA MEDIA-ADVENTÍCIA DA ARTÉRIA CORONÁRIA

Andrey Lopes Marques Ribeiro*, Matheus Cardoso Moraes*

*Departamento de Ciência e Tecnologia/Instituto de Ciência e Tecnologia da UNIFESP, São José dos Campos, Brasil

andrey.ribeiro@unifesp.br

Resumo

As doenças cardiovasculares apresentam um elevado índice anual de mortalidade ao redor do mundo. Nesse mérito, técnicas de imagens biomédicas são utilizadas para o diagnóstico e tratamento de tais complicações. Entretanto, tais técnicas, apesar de possuírem grande importância, apresentam limitações que podem comprometer a visualização precisa de informações. Desta forma, o presente trabalho propõe a melhora da visualização de informações por meio de processamento computacional, em Python, para a segmentação de regiões de interesse de imagens da borda media-adventícia, sendo que na segmentação de 20 imagens da referida região foi obtido um Overlap de 94,36%. Desta forma, o método se apresentou eficiente, porém com certas restrições para determinadas imagens.

Palavras-chave: Ultrassom intravascular, imagens, processamento, segmentação.

Introdução

As doenças cardiovasculares, de forma geral, culminam, em média, em 17,3 milhões de mortes anuais ao redor do mundo, sendo que no ano de 2013, foram responsáveis por aproximadamente 30% da mortalidade global, com grande parte de tal incidência se dando em países de baixa e média renda [1]. Tais patologias apresentam como principais fatores de risco o sedentarismo, o estresse, a inadequação de hábitos alimentares e fatores genéticos [2], sendo que, no Brasil, representam 20% das causas de morte de adultos com mais de 30 anos. O destaque se dá para os casos de aterosclerose que levaram a 193.309 mortes em 2009 [3], totalizando um custo de R\$ 165.461.644,33 ao sistema de saúde pública em novembro do mesmo ano [4].

De forma mais específica, a aterosclerose (AS) é uma doença cardiovascular que atinge artérias de grande e médio calibre, gerando lesões e formação de placas de obstrução nos locais nos quais há maior índice de fluxo sanguíneo e tensão intra-arterial, dificultando a irrigação sanguínea. As causas do desenvolvimento da AS são o acúmulo de gordura e a proliferação inadequada de células musculares lisas nas artérias, sendo passível de se manifestar na região cerebral, nas coronárias e nas artérias periféricas, podendo ocasionar infartos,

aneurismas e gangrenas. Para muitos indivíduos, entretanto, a incidência de tal patologia nem sempre apresenta sinais óbvios que promovam um fácil diagnóstico, sendo que a principal forma de tratamento da AS é o implante de stents para sustentação arterial [5].

Para o diagnóstico preciso e prevenção da AS, assim como para o desenvolvimento de novos métodos de tratamento, são utilizadas técnicas de imagens biomédicas como a Tomografia Ótica Coerente Intravascular (IOCT) e o Ultrassom Intravascular (IVUS). O IVUS, por sua vez, consiste na reflexão de ondas sonoras produzidas pelo movimento de um transdutor piezoelétrico, que promovem a visualização intra-arterial por meio do Efeito Doppler, possibilitando a caracterização de tecidos, com suas condições e propriedades [6]. Já a IOCT é uma relativamente nova técnica de imagens médicas que se baseia na medição de intensidades de reflexos de luz infravermelha, com o intuito de proporcionar imagens em tempo real, sendo que se comparada ao IVUS, apresenta uma menor penetração aos tecidos, porém melhor resolução de 10 μ m, contra 150 μ m para o IVUS, possibilitando assim uma caracterização mais precisa da composição da placa aterosclerótica [7].

Considerando as limitações das referidas tecnologias, apesar de apresentarem muitas similaridades entre si, ainda não há um consenso sobre qual das técnicas é a melhor, uma vez que a eficiência fica restrita à aplicação. Vale ressaltar que a aplicação de técnicas multimodais não é recomendada devido ao custo e aos riscos envolvidos na prática e que ambas apresentam desvantagens no seu uso. A IOCT apresenta uma dificuldade na penetração de tecido, podendo comprometer a visualização analítica, sendo esse um dos motivos pelos quais a IOCT apresenta baixa performance na obtenção de imagens da adventícia. O IVUS, entretanto, possui uma menor resolução e sofre influência na presença de cálcio, com prejuízo da imagem. Nesse mérito, torna-se interessante o processamento de imagens para a obtenção de um melhor resultado [8].

Considerando as limitações das técnicas de imagens médicas, o presente trabalho busca implementar um método de processamento pautado na segmentação semiautomática de imagens de ultrassom intravascular da borda media-adventícia da artéria coronária, para facilitar a análise dessas imagens no diagnóstico de patologias tais quais a aterosclerose coronária.

Materiais e Métodos

Para o processamento de segmentação de 20 imagens obtidas por meio de um exame de IVUS foram utilizados, uma série de algoritmos e funções para o realce e destaque das regiões desejadas, fazendo uso de modificadores tais como aumento de contraste, filtragem, binarização, segmentação, inserção de efeitos de morfologia matemática, crescimento de região por semente etc. Para avaliar a qualidade da segmentação realizada foram utilizadas métricas comparativas com padrões ouro da mesma imagem, sendo tais métricas, os índices, em porcentagem de verdadeiro positivo (VP), falso positivo (FP), falso negativo (FN), Overlap Dice (OD) e Ovelap Ratio (OR), possibilitando a verificação da eficácia do método elaborado.

Os algoritmos de execução do método foram escritos na linguagem de programação Python, uma vez que esta possui bibliotecas que facilitam a realização do processamento das imagens. Assim, o software Spyder foi utilizado como ambiente de programação por proporcionar uma melhor visualização dos dados se comparado a outros ambientes. Além disso, foram utilizadas as bibliotecas numpy, para a realização de cálculos elaborados, cv2, para leitura e seleção de regiões das imagens, skimage, para a normalização e modificação de contraste das figuras, scipy, para a aplicação de filtros, e matplotlib para a plotagem das imagens. Foram, também, utilizadas bibliotecas construídas de forma autônoma para a implementação de filtros e criação das funções de cálculo das métricas de avaliação, sendo que uma tabela foi construída para a visualização dos referidos índices, utilizado o software Microsoft Excel.

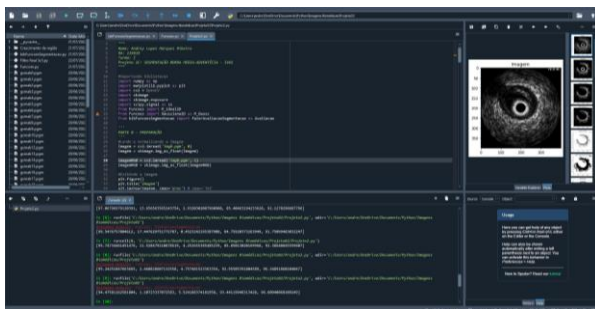


Figura 1: Ambiente de programação. **Fonte:** O autor.

O método utilizado foi dividido em três blocos, cada um deles voltado para um tipo específico de processamento de imagem, sendo que, de forma geral, o primeiro bloco do método consistiu na leitura e pré-processamento da imagem, contendo as etapas de leitura, normalização, aumento de contraste e filtragem da figura selecionada. O segundo bloco apresentou as funções de segmentação, binarização, realização de operações morfológicas matemáticas e delimitação da região de interesse da imagem. Por fim, no terceiro bloco, foi efetuado o pós-processamento e avaliação da imagem,

com a implementação do crescimento de região por utilização de semente, a leitura do padrão ouro e a avaliação da imagem pós-processada.

De forma mais detalhada, o primeiro bloco, referente à leitura e pré-processamento da imagem, se iniciou com a leitura da imagem sem coloração, armazenando-a em uma variável através da utilização da biblioteca cv2.imread, sendo que logo em seguida, a imagem foi normalizada com intensidades de pixels entre 0 e 1, fazendo o uso da biblioteca skimage. Feito isso, o mesmo procedimento foi realizado para a mesma imagem com coloração RGB. Em seguida, a imagem foi exibida e seu contraste foi aumentado, fazendo uma maior distinção entre o intervalo de intensidade de pixels de 0,2 a 0,7, sendo posteriormente filtrada por um filtro ideal com frequência de corte de 30%, com o intuito de adicionar uma circunferência ao centro da imagem para melhor delimitação das regiões, como mostrado na figura 1. Para tanto foi necessário multiplicar a imagem já modificada pelo respectivo filtro em escala negativa. Ao fim do primeiro bloco, um filtro média simples 5x5 foi criado e convoluído com a figura, utilizando a função scipy.signal, para gerar uma melhor homogeneidade das regiões semelhantes.

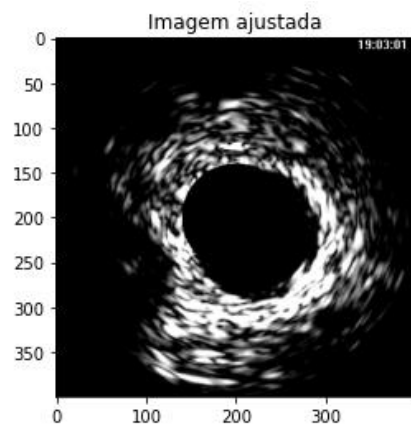


Figura 2: Imagem com filtro ideal. **Fonte:** O autor.

O segundo bloco se iniciou com o armazenamento de uma matriz de zeros, com a mesma dimensão da imagem filtrada, em uma variável, para que nela fosse futuramente armazenado o objeto segmentado. Em seguida, foi utilizada a biblioteca cv2.selectROI para selecionar a região de interesse da figura, sendo que os parâmetros de média e desvio padrão das intensidades de pixels foram calculados para viabilizar a segmentação. Assim, o objeto segmentado foi armazenado na matriz de zeros previamente criada e foi binarizado, tomando como threshold o valor de 0,5, ou seja, pixels acima desse valor seriam convertidos em 1 e aqueles abaixo desse valor seriam convertidos em 0, gerando assim, o objeto segmentado binarizado. Feitos tais procedimentos, iniciou-se a etapa das operações morfológicas, sendo utilizada a biblioteca skimage para criar um elemento morfológico circular de índice 7, que foi utilizado para realizar primeiro o fechamento e depois a abertura da imagem, para uma melhor distinção entre regiões. Ao final do segundo bloco, foi criado um filtro ideal passa

banda para servir como uma delimitação circular dos limites de interesse da imagem, resultando em imagens como as da figura 2.

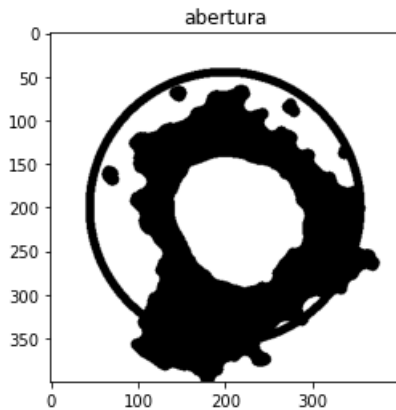


Figura 3: Processamento do 2º bloco. **Fonte:** O autor

Por fim, o terceiro bloco consistiu na construção de um processo de crescimento de região por semente, processo esse, no qual a região de interesse da imagem foi selecionada, utilizando, novamente, cv2.selectROI, sendo que a área da região selecionada foi desvincilhada da imagem e isolada para ser posteriormente comparada com o padrão. Assim, a imagem referente ao padrão ouro foi lida e armazenada em uma variável, enquanto a imagem original, sem processamento teve a sua região de interesse destacada em vermelho, como mostrado na figura 3, sendo finalmente realizada a avaliação por meio da comparação entre a imagem da região de interesse destacada e o padrão ouro.

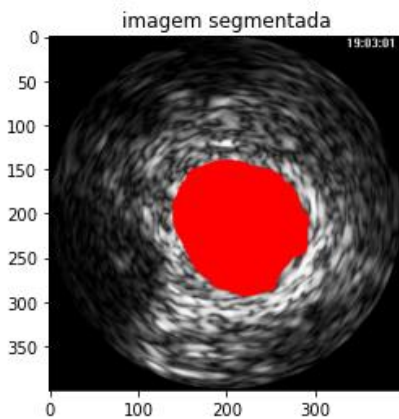


Figura 4: Região de interesse. **Fonte:** O autor

Resultados

A avaliação da eficiência do método proposto foi realizada através de métricas comparativas, gerando índices em porcentagem, que indicam quão próxima a imagem processada ficou em relação ao padrão ouro. O primeiro desses índices foi o verdadeiro positivo (VP), obtido por meio da equação 1, que denota a porcentagem da área da imagem processada que se encontra no padrão ouro, assim, um bom método visa a maximização deste parâmetro.

$$VP(\%) = \frac{\text{Área da interseção}}{\text{Área do padrão ouro}} \times 100 \quad (1)$$

O segundo índice se trata do falso positivo (FP), calculado pela equação 2, que indica a área da imagem processada que difere do padrão ouro, logo, um bom processamento visa a minimização deste parâmetro.

$$FP(\%) = \frac{\text{Área segmentada} - \text{Área da interseção}}{\text{Área da imagem} - \text{Área do padrão ouro}} \times 100 \quad (2)$$

O terceiro índice se refere ao falso negativo (FN), calculado pela equação 3, sendo que tal valor indica a porcentagem de área da imagem processada que foi perdida em relação ao padrão ouro, logo, também deve ser minimizado.

$$FN(\%) = \frac{\text{Área do padrão ouro} - \text{Área da interseção}}{\text{Área do padrão ouro}} \times 100 \quad (3)$$

O quarto índice, denominado Ovelap Ratio (OR) é calculado fazendo o uso da equação 4, e é referente ao grau de similaridade que a imagem obtida possui com a imagem do padrão ouro, portanto, um bom método maximiza esse parâmetro.

$$OR(\%) = \frac{100 \times VP}{VP + FP + FN} \times 100 \quad (4)$$

O quinto e último índice trata-se do Ovelap Dice (OD), sendo esse uma métrica semelhante ao OR, porém com uma maior consistência. É obtido pela equação 5 e deve ser maximizado para um bom método.

$$OD(\%) = \frac{200 \times VP}{(2 \times VP) + FP + FN} \times 100 \quad (5)$$

Vale ressaltar que a avaliação foi criada como uma função à parte do algoritmo principal, contendo as equações das métricas, sendo necessários apenas os valores dos parâmetros envolvidos para o cálculo.

As imagens utilizadas para o desenvolvimento do método são referentes a um exame de ultrassom intravascular (IVUS), totalizando 20 imagens nas quais é possível observar o interior da artéria coronária, buscando-se destaque para a borda média-adventícia. O processamento foi rodado a partir de um algoritmo em um laptop de performance razoável, com 8GB de memória RAM, processador Intel Core i5 e 512GB de SSD, não exigindo um elevado custo computacional, uma vez que o tempo de execução do código foi inferior a em segundo.

Após a execução do método de segmentação semiautomática, os resultados das métricas foram calculados e se encontram descritos na tabela 1.

Tabela 1: Resultados da avaliação.

| Imagem | Avaliação | | | | |
|----------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | VP(%) | FP(%) | FN(%) | OR(%) | OD(%) |
| 1 | 94,495 | 1,119 | 5,505 | 93,449 | 96,613 |
| 2 | 95,513 | 1,305 | 4,487 | 94,283 | 97,057 |
| 3 | 93,615 | 0,513 | 6,384 | 93,138 | 96,446 |
| 4 | 93,310 | 0,528 | 6,690 | 93,820 | 96,276 |
| 5 | 94,298 | 4,606 | 5,701 | 90,147 | 94,817 |
| 6 | 94,629 | 2,312 | 5,371 | 92,490 | 96,098 |
| 7 | 92,256 | 0,501 | 7,744 | 91,795 | 95,722 |
| 8 | 90,698 | 0,957 | 9,302 | 89,838 | 94,647 |
| 9 | 95,497 | 0,769 | 4,504 | 94,767 | 97,313 |
| 10 | 81,409 | 2,286 | 18,591 | 79,589 | 88,634 |
| 11 | 76,719 | 0,466 | 23,280 | 76,364 | 86,597 |
| 12 | 93,354 | 1,594 | 6,646 | 91,889 | 95,773 |
| 13 | 94,349 | 1,164 | 5,651 | 93,264 | 96,514 |
| 14 | 93,170 | 1,083 | 6,830 | 92,173 | 95,926 |
| 15 | 93,792 | 0,059 | 6,208 | 93,737 | 96,767 |
| 16 | 92,145 | 11,529 | 7,855 | 82,620 | 90,482 |
| 17 | 88,540 | 11,207 | 11,460 | 79,618 | 88,652 |
| 18 | 92,685 | 0,988 | 7,315 | 91,778 | 95,712 |
| 19 | 91,622 | 1,486 | 8,378 | 90,280 | 94,891 |
| 20 | 87,509 | 2,153 | 12,492 | 85,665 | 92,279 |
| Média | 91,480 | 2,331 | 8,520 | 89,535 | 94,361 |
| Desvio Padrão | 4,780 | 3,244 | 4,780 | 5,592 | 3,214 |

Por meio da tabela 1, torna-se perceptível que o método apresentou, em média, índices de verdadeiro positivo de 91,48%, falso positivo de 2,33%, falso negativo de 8,52%, Overlap Ratio de 89,54% e Overlap Dice de 94,36%.

Discussão e Conclusão

É notável que as técnicas de aquisição de imagens médicas puras, ou seja, sem processamento computacional, presentes atualmente no mercado, apesar de muito relevantes na investigação de patologias, ainda apresentam limitações consideráveis, como referido na seção de introdução. Assim, o processamento computacional das imagens adquiridas torna-se uma oportuna solução para melhor visualização de regiões específicas desejadas para diagnóstico e/ou tratamento de doenças cardiovasculares. Tais técnicas de processamento apresentam um excelente ferramental para a redução da mortalidade e internações provenientes de tais complicações médicas, sendo, portanto, um método relativamente simples, porém razoável para a melhora de exames de imagem na investigação médica.

Observando os resultados apresentados na seção de resultados, é perceptível que as métricas que deveriam ser maximizadas ficaram acima de 89% e aquelas que deveriam ser minimizadas ficaram abaixo de 9%, com destaque ao Overlap Dice, uma das métricas mais significativas, que apresentou 94,36% de correlação com padrão ouro, sendo que nos casos nos quais tal índice se encontra acima de 93%, os resultados já podem ser considerados razoavelmente satisfatórios [9]. Entretanto, é notável que para certas imagens, os resultados obtidos foram prejudicados pela forma como o método foi elaborado, sendo mais eficaz para imagens que apresentavam distinção mais acentuada de níveis de intensidade de cores entre si e com a concentração de informações no centro da imagem.

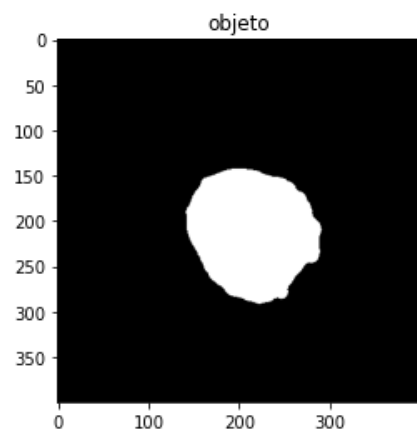


Figura 4: Imagem segmentada. **Fonte:** O autor

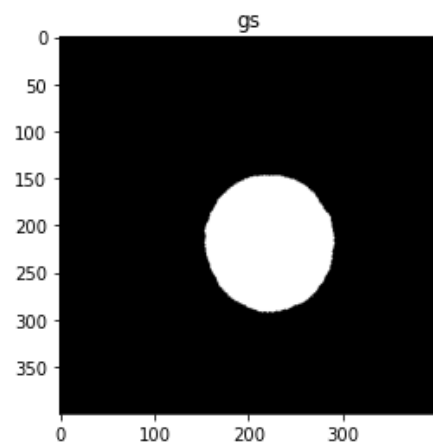


Figura 5: Padrão ouro da imagem segmentada. **Fonte:** O autor

Considerando os resultados obtidos e os pontos levantados na presente seção, o método de segmentação semiautomática de imagens de ultrassom intravascular da borda media-adventícia da artéria coronária proposto, apresenta como contribuições: (i) o aprimoramento da qualidade de distinção de informações em imagens IVUS da borda media-adventícia, (ii) facilidade de implementação, fazendo utilização de softwares gratuitos e que não exigem um computador de elevado desempenho, (iii) boa correlação das imagens

processadas obtidas com seus respectivos padrões ouro e (iv) fácil interação algoritmo-usuário, uma vez que o única função que o usuário precisa realizar é a seleção da área desejada.

De forma geral, o método criado foi bem sucedido, uma vez que gerou, na maior parte das imagens, porcentagens satisfatórias para as métricas de correlação consideradas. Entretanto, como evidenciado por algumas imagens, não se demonstrou igualmente eficiente para todos os tipos de imagem, necessitando assim, de um aprimoramento que proporcione uma maior generalização da aplicabilidade do método em trabalhos futuros.

Desta forma o presente estudo demonstra a importância do processamento de imagens na investigação clínica de doenças cardiovasculares, com intuito de obter de um maior número de diagnósticos confiáveis e soluções de tratamento adequadas, reduzindo a mortalidade e os casos de internação devido a tais patologias.

Agradecimentos

Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (InCor)

Instituto de Ciência e Tecnologia da UNIFESP (ICT-UNIFESP)

Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Referências

- [1] AMERICAN HEART ASSOCIATION. **Heart Disease and Stroke Statistics–At a Glance**, 2015.
- [2] RAMOS, S.; EULER, M.; MAURÍCIO, A.; EDUARDO, K. **Entendendo as doenças cardiovasculares**. Porto Alegre: Artmed, 2014. 104p.
- [3] MANSUR, Antonio de Padua; FAVARATO, Desidério. Mortality due to cardiovascular diseases in Brazil and in the metropolitan region of São Paulo: a 2011 update. **Arquivos brasileiros de cardiologia**, v. 99, p. 755-761, 2012.
- [4] ANDRADE, Jadelson Pinheiro de et al. Programa nacional de qualificação de médicos na prevenção e atenção integral às doenças cardiovasculares. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 100, p. 203-211, 2013.
- [5] DE MATOS, Livia Serrato et al. Gênese da aterosclerose em crianças e adolescentes: artigo de revisão. **CONNECTION LINE-REVISTA ELETRÔNICA DO UNIVAG**, n. 14, 2016.
- [6] GARCÍA-GARCÍA, Hector M. et al. IVUS-based imaging modalities for tissue characterization: similarities and differences. **The international journal of cardiovascular imaging**, v. 27, n. 2, p. 215-224, 2011.
- [7] CARDENAS, Diego Armando Cardona; MORAES, Matheus Cardoso; FURUIE, Sérgio Shiguemi. Segmentação do lúmen em imagens de IOCT usando Fuzzy Connectedness e Reconstrução Binária Morfológica. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 29, p. 32-44, 2013.
- [8] ONO, Masafumi et al. Advances in IVUS/OCT and future clinical perspective of novel hybrid catheter system in coronary imaging. **Frontiers in cardiovascular medicine**, v. 7, p. 119, 2020.
- [9] CRUM, William R.; CAMARA, Oscar; HILL, Derek LG. Generalized overlap measures for evaluation and validation in medical image analysis. **IEEE transactions on medical imaging**, v. 25, n. 11, p. 1451-1461, 2006.