

TÉCNICAS E ANÁLISES COMPUTACIONAIS EM UM SOFTWARE PARA REALCE DE IMAGENS MÉDICAS EM DETECÇÃO DA ATEROSCLEROSE CORONARIANA PRÉVIA

1. INTRODUÇÃO

A doença da artéria coronária (CAD) é uma das causas mais comuns de morte no mundo ocidental. Classificada como isquemia cardíaca, esta patologia é causada pela decorrência da obstrução das artérias coronárias, ou seja, vasos sanguíneos que irrigam o músculo do coração. (Hospital Albert Einstein, 2020). Desta forma, com o acúmulo de gordura geram-se as placas, causando a obstrução das artérias coronárias. Com este cenário, utiliza-se a imagenologia solicitada pela angiografia. No entanto, tal exame apresentou algumas deficiências quanto ao contraste e nitidez. Tendo em vista essa problemática, desenvolveu-se a partir de conhecimentos técnicos na área de processamento digital de imagens, ferramentas prévias capazes de melhorar a imagem a fim de possibilitar ao profissional de saúde um melhor diagnóstico mais preciso.

Em definição, uma imagem é classificada por uma função bidimensional, $f(x, y)$, onde x e y são coordenadas espaciais (plano) e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamada de intensidade ou nível cinza da imagem naquele ponto. Quando x , y e os valores de amplitude de f são todas quantidades finitas e discretas, chamamos de uma imagem digital (Digital Image Processing, Rafael G. et al., 2009). Logo, na metodologia de processamento de imagens computacionais obtiveram-se vários níveis de cores ou tons possíveis, que são atribuídos a cada pixel de uma imagem, classificando, assim, a amplitude finita e discreta.

Para uma análise de qualquer imagem, constrói-se as seguintes etapas de imagem digital, sendo elas: aquisição de imagens > realce de imagem > restauração de imagens > codificação > segmentação > representação e descrição > sensoriamento que são descritas ao decorrer das técnicas de manipulação (IEEE, SINGAPORE, 2015). Para isto, utilizou-se o software MATLAB em anexo com a Image Processing Toolbox (ferramenta essencial para as técnicas de imagens). Esta ferramenta, possibilita ao usuário utilizar comandos já instaurados, para facilitar o desenvolvimento da programação no Command window, espaço capaz de interpretar as demais funções. Em base teórica, entende-se que uma imagem é formada a partir de um conjunto de pixels, que no caso da angiografia, têm-se pixels variados em escala cinza. O domínio espacial de uma imagem é classificado pelas transformações da intensidade da escala em nível cinza, portanto, opera-se individualmente para fins de manipulação de contraste e brilho.

O MATLAB é um software interpretativo para leitura e escrita de imagem digital. A análise dos pixels de uma imagem dará origem ao sistema de processamento de imagens digitais, a fim de desempenhar as operações bases de PDI, sendo elas: aquisição, armazenamento, processamento, comunicação e exibição. Ainda retratando os pixels, cada um deles, nas imagens com tons de cinza, podem assumir valores entre 0 e G , sendo que G apresenta tipicamente um valor igual a 255. Esta classe é fundamental para o entendimento, pois, quando um pixel atribui o valor 0 é associado ao preto e quando G , por ter um valor elevado de tons em cinza, é associado ao branco. Estima-se que em imagens coloridas, cada pixel possui 3 valores, um para cada canal R (vermelho), G (verde) e B (azul).



2. Image Processing Toolbox™

No universo do PDI, várias abordagens e manipulações são citadas por meio de scripts e outras linguagens de programação. No entanto, a ferramenta Image Processing Toolbox já está inclusa na biblioteca do MATLAB, no qual é solicitada ainda na instalação do software. Os dados processados estão analisados de acordo com o livro "Digital Image Processing Using MATLAB®" – Capítulo 2, onde funções básicas e principais fazem parte da análise de uma imagem. Desta forma, no processamento de imagens, um comando é descrito para várias funções. Portanto, é possível definir uma função para vários conceitos, sendo eles relacionados para o melhoramento de imagem, nitidez, contraste etc. Todos esses recursos possibilitam uma visão geral da ferramenta "toolbox".

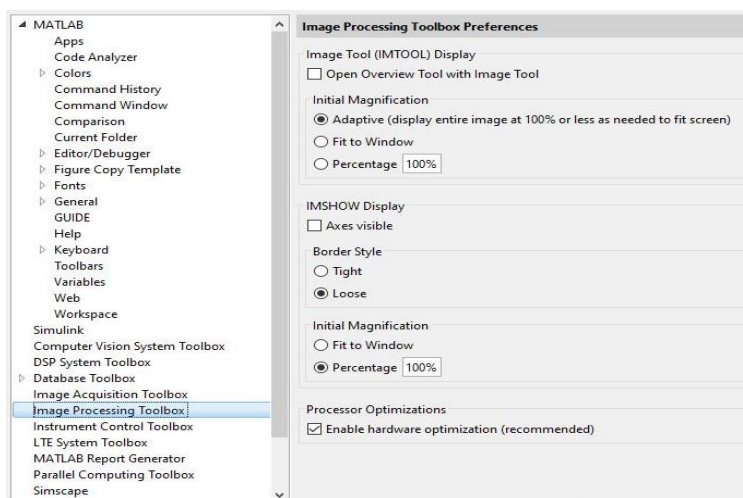


Figura 1 - Interface da ferramenta para análise de imagens. Fonte: Manipulação dos autores no MATLAB

2.1. Histograma de uma imagem

Essa função no software reproduz uma visualização em tons de cinza, no formato de gráfico em barras. Em cada barra consta o número de ocorrências de cada nível de cinza processados em uma imagem. Desta forma, através da visualização do histograma, é possível obter uma indicação quantitativa em relação ao nível de contraste e ao brilho médio em escala cinza. No software, esse comando é nomeado por `histeq`, e tem como objetivo melhorar o contraste através dos níveis de cinza. O histograma de uma imagem digital com níveis de cinzentos no intervalo $[0, L-1]$, em uma função discreta, possui matematicamente, o comportamento a seguir:

$$h(rk) = nk; \quad (1)$$

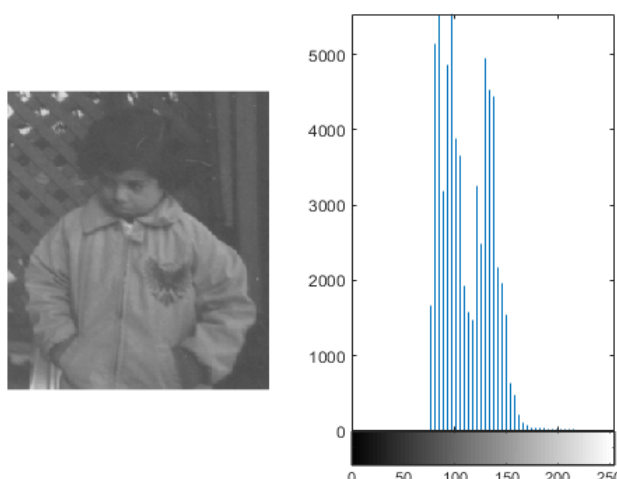


Figura 2 – Exemplo de imagem representada no histograma. Fonte: Documentação, MathWorks, 2021.

Além disso, a ferramenta fornece ao usuário uma descrição global da imagem. Caso a análise do histograma acuse uma imagem estreita, significa que a imagem é pouco visível, pois a diferença nos níveis de cinzento presente na imagem é baixa. Desta forma, uma distribuição uniforme dos níveis de cinza de um histograma significa um maior contraste e uma melhor visibilidade.

Em paralelo, algumas informações sobre o histograma como nível de intensidade, gama dinâmica, contraste, informação estática (média, desvio padrão e outras encontradas na escala cinza) contam como parte de aplicações para o processamento de imagem como a compressão e a segmentação. No entanto, neste trabalho abordaremos a importância do histograma para a leitura de um exame de imagem, neste caso, a angiografia.

2.2. Processamento e Equalização de um histograma

Para melhor compreensão, em alguns métodos em PDI são realizados no domínio espacial, isto é, o próprio plano da imagem e técnicas para manipulação de uma imagem. Estas, são divididas em operações de adição, subtração, multiplicação, divisão etc. e em leitura, são operações de manipulação direta de pixels de uma imagem requerida.

Sendo assim, o histograma atua auxiliando a imagiologia proporcionando alterações de baixo contraste, isto é, segmento em que ocorre na visualização do histograma de forma estreita e centrada no centro de escala cinza. Altera também, imagem com alto contraste, proporcionando a manipulação exata para valores referentes à intensidade de cada pixel apresentado nas barras compiladas.

Quanto a equalização do histograma, é considerado como um ajuste na escala dos níveis de cinza, uma técnica muito comum em PDI, pois consiste no mapeamento dos pixels, isto é, uma análise geral de todas as barras identificadas na escala cinza. Pode-se concluir:

$$R = [0: 1] \quad (2)$$

Sendo R, um valor no intervalo de [0:1] indicando o nível de escala cinza em uma imagem. Seguindo as condições:

$$R = 0 \text{ (preto, variante na escala cinza)}$$

$$R = 1 \text{ (branco, variante na escala cinza)} \quad (3)$$

Normalmente, para a leitura de imagens, a escala apresenta um intervalo de [0:255], neste caso, os números de pixels e a intensidade em que se destacam constam nessa condição. Ainda neste tópico abordaremos algumas propriedades aplicadas no histograma. O primeiro caso é apresentando quando a imagem é condensada em um histograma, ou seja, quando a leitura é realizada pelo histograma toda a informação espacial da distribuição dos pixels é perdida, pois este contém apenas a quantidade de pixels com um determinado nível de cinza, mas não a sua posição na imagem. No segundo caso, a condição é quando a imagem é constituída por duas ou mais regiões, o histograma da imagem pode ser obtido através da soma dos histogramas destas regiões. Em terceiro caso, a imagem é escalada apropriadamente quanto a faixa de variação de níveis de cinza disponíveis, apresentando a condição em que uma imagem pode ter um histograma, mas um histograma pode pertencer a mais de uma imagem.

3. Aterosclerose Coronariana e análise PDI

O desenvolvimento desse artigo tem como base principal o estudo da fisiopatologia aterosclerose coronariana. Conhecida como doença arterial coronariana, seu processo é caracterizado por uma resposta inflamatória da parede arterial, causada por agressões da superfície arterial. Normalmente, atinge artérias e aorta, com seus ramos principais como: artérias carótidas, renais, ilíacas e femorais.

A doença coronariana é diagnosticada quando a substância gorda se acumula por baixo do revestimento interno da parede arterial e com isso, causa-se um infarto agudo do miocárdio. Na figura 3 apresenta-se o ateroma formado por gordura e/ou cálcio no interior da artéria. Para o diagnóstico dessa fisiopatologia, é solicitado pelo cardiologista, o exame de imagem chamado por angiotomografia coronária. Este exame consiste na visualização exata das placas de gordura no interior das veias e artérias do corpo e é capaz de identificar as obstruções dos vasos sanguíneos que não são detectados em exames comuns como eletrocardiograma. Desta forma, o exame é indicado para as seguintes evoluções:

- a) Pacientes com quadro clínico e exames complementares conflitantes, quando permanece a dúvida diagnóstica mesmo após realização de exames funcionares para avaliação de isquemia do miocárdio;
- b) Pacientes com suspeita de coronárias anômalas;
- c) Dor torácica aguda em paciente com sintomas compatíveis com síndrome coronariana ou equivalente anginoso e sem alterações isquêmicas no eletrocardiograma e marcadores de necrose miocárdica;
- d) Descartar doença coronária isquêmica em paciente com diagnóstico estabelecido de insuficiência cardíaca recente.

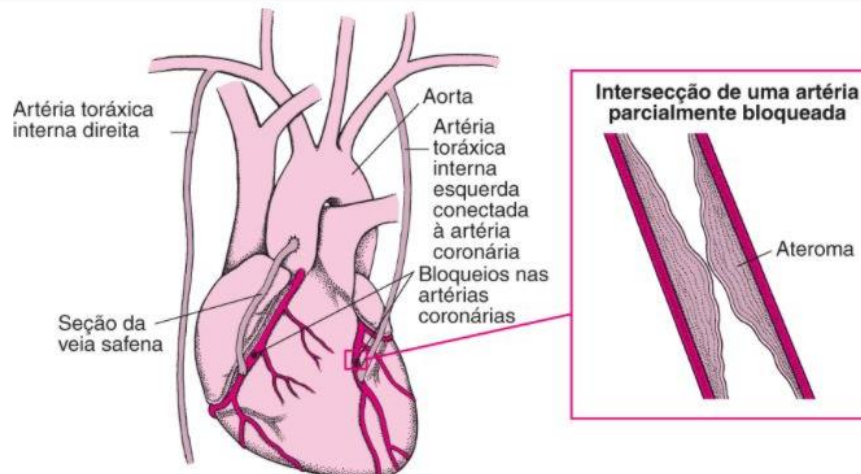


Figura 3 – Demonstração e localização da DAC. Ateroma classifica a placa de gordura na artéria coronária. Fonte: Merck and the Merck Manuals.



Figura 4 – Angiotomografia coronária: placa de cálcio identificada, proporcionando obstrução da artéria. Fonte: Revista Espanhola de Cardiologia, 2016.

3.1. Metodologia e técnicas de transformação no software

Ainda no MATLAB, há alguns comandos já indexados na toolbox. Sendo assim, a técnica consiste em utilizar uma função logarítmica capaz de criar uma curva no nível de escala cinza, compilados pelos pixels da imagem do exame angiotomografia. Para isto, será necessário utilizar o seguinte script para leitura de imagem.

```
clc;
clear;
I = imread('aterosclerose.jpg');
I = I(:,:,1); %selecionaremos a matriz
I2 = double(I);
% Histograma para os processos
Hist = [];
[L,C] = size(I2); %entende-se, L,C = linhas e colunas do mesmo tamanho de I2
%posteriormente, utilizaremos laço for para estimular as condições
for v = 1:1:255 % neste primeiro vetor, verificamos os níveis de cinza que variam de 1;255
    count = 0;
end
% Equalização do Histograma
```



```
Inivel = 255; % quantidade de níveis
lHist = length(Hist); %classifica o vHist
vcom = 255 - lHist; %neste comando, vetor segue no histograma até 255.
vfinal = horzcat(Hist, zeros(1,vcom)); % "junta-se", neste vfinal, os valores na horizontal e o
histograma
% Correlação: a soma cumulativa dos produtos; vetor com 255 amostras
for k = 1:1:Inivel
    csum = csum + vnorm(k);
    vsum(k) = csum; % o resultado será o vetor
    % Aplicando a filtragem na curva
    nsum(k)=round(((vsum(k)).*Inivel)); %teremos o alargamento da curva
end
figure();
subplot(121)
imhist(l);
subplot(122);
imshow(l);
% Aplicando filtragem: função da curva Gaussiana
gaus = gaussmf(g,[desvpad med]); %a variável g corresponde ao tempo de variação
gaus2 = (gaus(1:255))*255;
% Aplicação logarítmica diretamente na imagem
J = zeros(size(l2)); %aqui teremos a nova imagem, mas com o mesmo valor de l2
J2 = zeros(size(l2));
figure()
subplot(221)
imshow(J8); %Histograma modificado
title('Correlação');
subplot(222)
imhist(J8);
subplot(223)
imshow(J28);
title('Função da curva Guassiana');
subplot(224)
imhist(J28);
%Resultado final dos processos
figure();
subplot(311);
imshow(l);
title('Original');
subplot(312);
imshow(J8);
title('Soma cumulativa.jpeg');
subplot(313);
imshow(J28);
title('Gaussiana.jpeg');
```

Tabela 1 – Código atribuído para a leitura e manipulação do processamento de imagem adaptado para o melhoramento do exame requerido.

As variáveis foram devidamente declaradas para o script dos dados analisados na imagem. Em caso da função logarítmica aderida à convolução da imagem é utilizada para ajustar o brilho da imagem, enquanto a soma cumulativa atua como alargamento da escala cinza para melhor visualização do nível de escala cinza e, por fim, a função da curva gaussiana consiste em filtrar alguns sinais da imagem para sua nitidez.

4. Resultados

A técnica atribuída à imagem está exposta na figura 5, onde será realizada a primeira leitura da angiotomografia coronária. Solicitado pelo cardiologista, a necessidade do exame foi desencadeada a partir de um eletrocardiograma e deu-se início a investigação para o diagnóstico prévio. Logo, nesta primeira imagem é possível visualizar nitidamente o ateroma no segmento proximal do ramo descendente anterossuperior esquerdo. Além disso, a imagem contém a escala em nível cinza, variando em [0:255] e nota-se alguns picos dos pixels encontrados na indexação do histograma da imagem original. A imagem original analisada apresenta um baixo valor de contraste e nitidez.

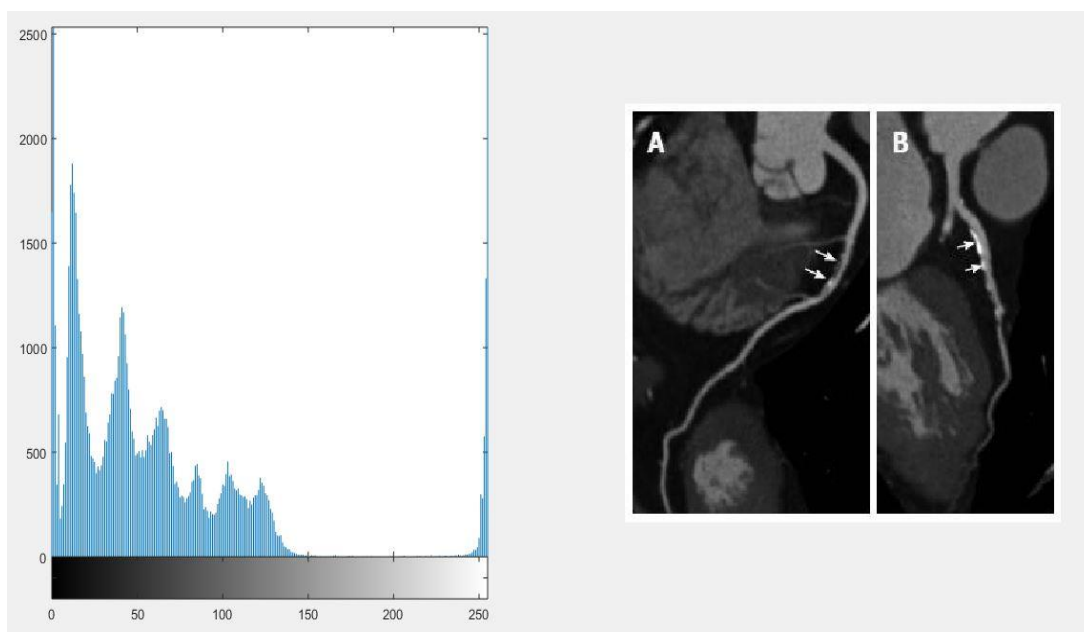


Figura 5 – Angiotomografia coronária original e histograma antes de atribuir as técnicas de manipulação.

A seguir, na figura 6, apresenta-se a primeira técnica baseada na Correlação. Em definição, é o processo de filtragem realizado pelo deslocamento de uma máscara (filtro) sobre a imagem, a cada vez que um pixel avança. Além disso, uma máscara é identificada por ser composta por um número ímpar de linhas e colunas. Dessa forma, a filtragem é feita a partir do cálculo encontrado no pixel central em função da área coberta na máscara. O processo se repete para todos os pixels da imagem e cria-se uma borda falsa, podendo ser caracterizada por valores iguais a 0. Como exemplo, as tabelas abaixo apresentam a manipulação da correlação teórica.

X_{00}	X_{01}	X_{02}	X_{03}	X_{04}	X_{05}	...	X_{0n}
X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	...	X_{1n}

X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	...	...
....	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	...	....
.....	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	...	...
...	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	X_{55}	...	...
.....
X_{n0}	X_{n1}	X_{n2}	...	....	...	...	X_{nn}

Tabela 2 – Representação da imagem em pixel.

Y_{00}	Y_{01}	Y_{02}
Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}
Y_{20}	Y_{21}	Y_{22}

Tabela 3: Representação da máscara (filtragem correlação).

Desta forma, a correlação percorrerá no trecho marcado na tabela 2. O novo valor X_3 corresponde ao ponto central da máscara, portanto:

$$X_{22} Y_{00} + X_{23} Y_{01} + X_{24} Y_{02} + X_{32} Y_{10} + X_{33} Y_{11} + X_{34} Y_{12} + X_{42} Y_{20} + X_{43} Y_{21} + X_{44} Y_{22} \quad (4)$$

Verifica-se na figura 6, a curva gaussiana. Esta técnica é utilizada para borrar ou desfocar a imagem com o objetivo de reduzir os ruídos de uma imagem. Como resultado, obtém-se a suavização da imagem e tem o efeito de uma lente fora de foco, sendo assim, é possível visualizar a imagem em diferentes escalas. Logo, é possível analisar esses comportamentos a partir dos histogramas apresentados. Na figura 7, identifica-se a comparação entra a imagem original e com as técnicas estabelecidas para melhoramento do exame:

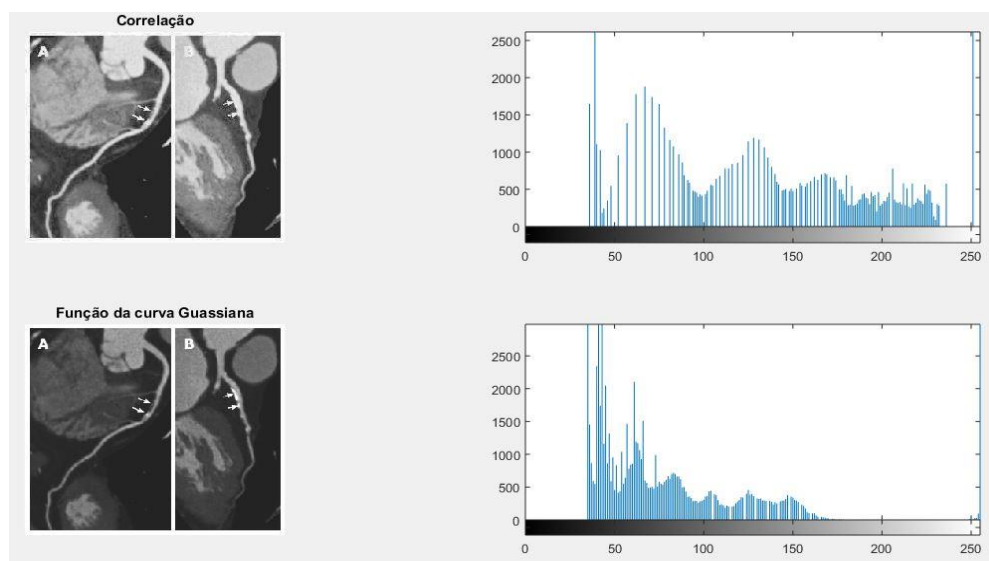


Figura 6 – Técnicas de aplicadas na imagem: Correlação e Gaussiana.

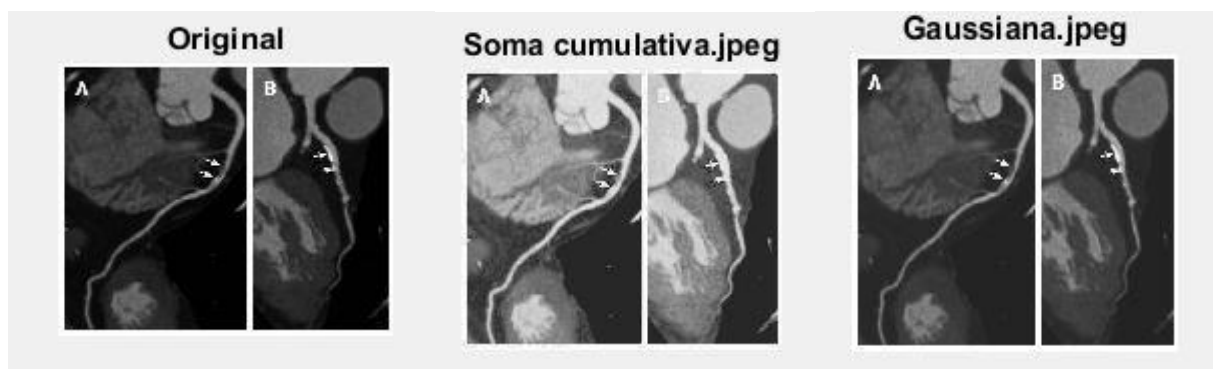


Figura 7 – Comparativo entre angiogramografia coronária original e após as transformações de intensidade.

5. Conclusão

Em análise mundial, a área de pesquisa em processamento e análise de imagens médicas é ilimitada. Com o avanço tecnológico, centenas de aplicações relacionadas ao diagnóstico médico e estudo de processos biológicos incorporam o processamento digital de imagens e técnicas de análise. Este artigo apresenta uma parte da clínica médica, abordando a patologia comum conhecida como DAC (doença arterial coronariana). Algumas técnicas de processamento e análise digital de imagens foram incorporadas nesse estudo visando subsidiar suas aplicações na prática clínica e na pesquisa em imagens médicas. A literatura base, Digital Image Processing Using MATLAB ofereceu diversos algoritmos para cada estágio de processamento de imagens médicas, assim como para solucionar problemas específicos, em destaque, foi realizado a análise para a detecção da aterosclerose coronariana em diferentes cortes da imagem original.

O diagnóstico por imagem é identificado pela avaliação minuciosa de detalhes e propriedades que incluem condições de aquisição de dados apresentados pela imagem, podendo ser interpretados por softwares. Nesse aspecto, a inovação no diagnóstico por imagens médicas está avançando para a integração de distintas modalidades e avanços técnicos que produzam imagens de maior resolução espacial, temporal e razão sinal-ruído. Além disso, a medicina e saúde estão cada vez mais alinhadas aos computadores com maior capacidade de processamento. Logo, pode-se concluir que os métodos de análise de imagens médicas devem avançar no sentido de extrair novas informações que, unidas à mineração de grandes bases de dados e imagens, permitam a combinação de dados multidimensionais com o objetivo final de proporcionar um diagnóstico prévio para os exames de imagem.

REFERÊNCIAS

JR, Roberto Costa. A Utilização de Filtros Gaussianos na Análise de Imagens Digitais. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, Vol. 3, N. 1, 2015. Trabalho apresentado no XXXV CNMAC, Natal-RN, 2014. Disponível em: <https://proceedings.sbmec.org.br/sbmec/article/download/477/483>. Acesso em: 15/03/2021

HOFFMANN, Udo. Is Computed Tomography Coronary Angiography the Most Accurate and Effective Noninvasive Imaging Tool to Evaluate Patients With Acute Chest Pain in the Emergency Department?. **Cardiovascular Imaging**. Vol. 2, 2009; 251–263. **Publicado**

em: 1º de maio de 2009. Disponível em:
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCIMAGING.109.850347>. Acesso em:
15/03/2021

HANUSCH, Haris Papasaika. **Digital Image Processing Using Matlab**. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich. Disponível em:
https://www.cs.umd.edu/class/spring2016/cmsc426/matlab/matlab_imageprocessing.pdf Acesso em: 15/03/2021

Image Processing Toolbox. **MANUALZZ – The Universal Manuals Library**. Disponível em:
<https://manualzz.com/doc/15181155/matlab-image-processing-toolbox--16-45-mib->. Acesso em: 15/03/2021

Nomura CH, et al. Tomografia de coronárias: indicações clínicas e perspectivas futuras / Coronary CT: clinical indications and future directions. Revista Brasileira de Ecocardiografia e Imagem Cardiovascular 2011, 24(1):76-87. Disponível em:
<http://departamentos.cardiol.br/dic/publicacoes/revistadic/revista/2011/portugues/Revista01/11-tomografia.pdf>. Acesso em: 17/03/2021

Sabarudin A, Sun Z. Coronary CT angiography: Diagnostic value and clinical challenges. **World J Cardiol** 2013; 5(12): 473-483. Disponível em:
<https://www.wjgnet.com/1949-8462/full/v5/i12/473.htm>. Acesso em: 16/03/2021

CHÁVEZ, Guillermo Cámara. Filtragem Espacial. Disponível em:
<http://www.decom.ufop.br/guillermo/BCC326/slides/Processamento%20de%20Imagens%20-%20Filtros%20Nao%20Lineares.pdf>. Acesso em: 16/03/2021

Abstract: *The purpose of this article to present a clinical practice in the specialty of cardiology, in which the coronary angiotomography exam is used to visually diagnose CAD (coronary artery disease). Based on the computational techniques of a software, this study seeks to consider the main aspects involved in the processing and digital analysis of medical images. To explore the theme, the paper is divided into sections. The first section introduces the pathophysiology and medical practice. Next, some pre-processing fundamentals that allow enhancing and highlighting relevant aspects of the images are highlighted, in addition to the primary identification of codes described in the software interface for the development of the study.*

Keywords: *Image processing, Computational techniques, CAD, Medical imaging, PDI*