



DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLOS DE PROCESSAMENTO DE FILMES RADIOCRÔMICOS XR-QA2 PARA DOSIMETRIA RADIOLOGICA

Douglas Philipe M. dos Santos¹, Tarcísio P. R. Campos², Luciana B. Nogueira³

¹ Curso Superior de Tecnologia em Radiologia- Faculdade de Medicina
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Prof. Alfredo Balena, 190, 30130-100, Belo Horizonte, MG, Brasil

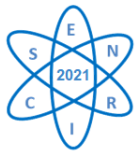
² Departamento de Engenharia Nuclear-
Universidade Federal de Minas Gerais,
Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brasil

³ Departamento de Anatomia e Imagem- Faculdade de Medicina
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Prof. Alfredo Balena, 190, 30130-100, Belo Horizonte, MG, Brasil
lucibn19@yahoo.com.br

Palavras-Chave: Filmes radiocrômicos XR-QA2, Protocolos de processamento, Dosimetria, Radiologia.

RESUMO

Filmes radiocrômicos XR-QA2 são utilizados como dosímetros para medir a distribuição de dose em exames de imagens diagnósticas, sendo uma ferramenta de garantia de qualidade. Suas vantagens incluem baixa sensibilidade à luz ambiente e alta sensibilidade à radiação ionizante. O objetivo deste trabalho foi desenvolver protocolos de processamento de filmes radiocrômicos XR-QA2 para estudos de dosimetria na radiologia diagnóstica. Os materiais utilizados foram um *scanner* de reflexão, filmes radiocrômicos XR-QA2 e o *software* ImageJ. O protocolo de digitalização desenvolvido seguiu as instruções do fabricante do filme e do *scanner*. Dessa maneira, o *scanner* foi configurado no modo reflexão e os filmes digitalizados 3 vezes para obtenção da média dos dados. O protocolo de leitura foi desenvolvido de acordo com as ferramentas do ImageJ para identificação do grau de intensidade das componentes RGB (*red*, *green*, *blue*). Definido a região de interesse (ROI), cada filme irradiado foi digitalizado e realizada a leitura da componente *red net color*, que representa melhor a quantidade de radiação absorvida. Nos estudos de dosimetria de mamografia e radiografia médica com filmes radiocrômicos foram geradas curvas de calibração para levantamento das doses absorvidas nos filmes. Para geração da curva de calibração foi calculada a média da componente *red net color*. Uma tabela foi gerada com esses dados e estes convertidos em densidade óptica (DO). Para a dosimetria dos filmes foi feita a divisão das cores em RGB no ImageJ. As imagens dos filmes foram salvas na componente *red net color* e as matrizes de dados foram geradas e salvas em formato de texto *ASCII*. Após calculadas as médias dos valores das componentes *red net color* dos 3 escaneamentos dos filmes, estas foram transformadas em matrizes de DO. As DO's foram convertidas em doses, conforme equação da curva de calibração. Essas doses mensuradas nos filmes são representadas em mapas bidimensionais nos estudos de dosimetria. O presente artigo detalha cada uma destas etapas de processamento. Pode-se concluir que os protocolos de processamento de filmes radiocrômicos XR-QA2 desenvolvidos estão de acordo com instruções dos fabricantes dos filmes, *scanner* e *software* ImageJ. A produção deste material proporciona otimizar os estudos de dosimetria na área da radiologia diagnóstica.



1. INTRODUÇÃO

Filmes radiocrômicos podem ser utilizados como dosímetros de radiação porque possuem em sua composição polímeros que mudam de cor em função da dose de radiação recebida [1, 2]. Assim, são capazes de medir a distribuição de dose nos exames de imagens por raios X, como radiografia e mamografia. Tais dosímetros apresentam baixa sensibilidade à luz ambiente, alta sensibilidade à radiação ionizante, independem de processamento químico e podem ser mantidos em condições ambientais sem manuseio especial [3, 4, 5]. O processamento dos filmes radiocrômicos envolve os procedimentos de digitação e leitura. A digitalização de filmes radiocrômicos pode ser realizada através de *scanner*, de transmissão ou reflexão para reconhecimento das componentes RGB (red, green, blue), conforme o tipo de filme [6]. Para leitura dos filmes radiocrômicos utiliza-se um *software* de processamento de imagens para geração de dados em RGB. O valor de RGB de cada componente é estabelecido em uma faixa de 0 a 255, sendo 255 o valor máximo correspondente a intensidade máxima da cor (branco) e zero é o valor mínimo correspondente a ausência da cor (preto) [7]. Essa película radiográfica possui uma cor laranja e permite uma dosimetria multicanal no padrão RGB. A resposta do canal vermelho é escolhida porque há uma maior absorção na faixa do comprimento de onda entre 600 e 700 nm, além de redução de sensibilidade à luz [8]. O programa ImageJ feito em Java, de domínio público, é usualmente utilizado para manipular os dados dos filmes radiocrômicos. ImageJ faz a leitura de imagens no formato TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM e FITS e grava as imagens em formato de texto, e possui ferramentas de calibração espacial, podendo criar histogramas e gráficos do perfil de densidade [9,10].

Este estudo buscou desenvolver protocolos de processamento de filmes radiocrômicos XR-QA2 utilizados em estudos de dosimetria na radiologia diagnóstica. Estes estudos são justificados pela importância da otimização das exposições aos pacientes submetidos a exames de imagens, garantindo qualidade das imagens e diagnóstico correto pelo médico.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais e Exposição dos Filmes Radiocrômicos XR-QA2

Os materiais utilizados para este estudo foram: filmes radiocrômicos do tipo Gafchromic XR-QA2 da ISP [4], lote 07291303, um *scanner* modelo HP Scanjet G4050 [11] e o software ImageJ 1.50i, da Wayne Rasband National Institutes of Health, USA [9,10]. Além de um mamógrafo DR modelo *Planmed Clarity 2D*, um equipamento de raios X móvel da Meditronix, modelo BR100, placas de acrílico e phantoms de mama, antropomórficos e antropométricos, que foram utilizados nos estudos de dosimetria em mamografia e radiografia médica.

Os estudos de dosimetria com filmes radiocrômicos envolvem etapas de calibração e dosimetria. O protocolo de exposição para calibração dos estudos dosimétricos em mamografia foram: modo manual, tensão de 28kV e carga de 40 mA.s. Para combinação alvo/filtro W/Rh, utilizou 10 filmes, irradiados de 1 a 10 vezes e para W/Ag utilizou 5 filmes, irradiados de 1 a 20 vezes. Os filmes para dosimetria em mamografia foram posicionados no tecido equivalente (TE) glandular e pele de um phantom de mama,



irradiados 5 vezes e utilizados os mesmos fatores de exposição. O protocolo de exposição para dosimetria em radiografia médica foram: tensão de 75 kV, carga de 10 mA.s e distância foco-filme de 1,0 m, irradiados 30 vezes, para alcançar o limiar de resposta de leitura. Quatro filmes foram posicionados no TE pele de um phantom de mama [12].

2.1.1 Protocolo de Digitalização dos Filmes Radiocrômicos XR-QA2

Para digitalização de todos os filmes irradiados nos estudos de dosimetria, aguardou-se 24 h após as exposições, para que completasse as reações de polimerização e se estabilizasse a leitura da componente vermelha (*red net color*). Tanto para etapa de calibração ou dosimetria, os filmes foram digitalizados em *scanner* três vezes cada um, com objetivo de aumentar a confiabilidade das leituras, à temperatura ambiente na ausência de luz.

O *scanner* foi configurado na opção “digitalização desejada” modificando: “imagem para arquivo”; tipo de digitalização por imagem; resolução de saída de 300 dpi; tipo de cor em milhões de cores; escala percentual em 100%; qualidade versus velocidade de digitalizar com profundidade de bits alta; opção “nitidez” foi desmarcada; tipo de saída em colorido, e tipo de arquivo em imagem TIFF. Na opção de salvar os arquivos foram selecionados: imagem TIFF, escolhido nome dos arquivos e o local para gravação. E na opção “clarear/escurecer” foi selecionada “modo manual” para todas as digitalizações.

O procedimento para escanear os filmes consistiram em ligar antecipadamente o *scanner* 1 h antes, limpar o vidro do *scanner* com álcool e secar com papel toalha. A tampa do adaptador de materiais transparentes (TMA) não foi retirada, para garantir o modo de reflexão “imagem”. Com objetivo de calibrar o *scanner* foram escaneados por três vezes um filme radiopaco (irradiado) junto com um filme radiocrômico virgem (não irradiado), com objetivo de apresentarem os valores máximos e mínimos de RGB (Fig. 1 A). Depois, o conjunto de filmes da calibração irradiados mais o filme “0” não irradiado (Fig. 1 B e 1 C) foram posicionados no centro do *scanner* com a parte amarela voltada para o vidro do aparelho e realizadas três varreduras subsequentes. O mesmo procedimento foi realizado para o conjunto de filmes da dosimetria para mamografia e radiografia médica (Fig. 2 A e 2 B). A área útil da imagem digitalizada foi regulada com a ferramenta de corte do software do *scanner*, concluindo o escaneamento e gerando a imagem final. Dessa maneira, todos os filmes radiocrômicos foram digitalizados sob as mesmas condições, a fim de se obter um resultado confiável.

2.2.2 Protocolo de Leitura dos Filmes Radiocrômicos XR-QA2

Para leitura dos filmes radiocrômicos de calibração ou de dosimetria, as imagens digitalizadas foram analisadas pelo software ImageJ, para identificação do grau de intensidade das componentes RGB (*red, green, blue*). A componente *red net color* foi escolhida, pois representa melhor a quantidade de radiação absorvida no filme.

O procedimento de leitura dos filmes radiocrômicos de calibração para mamografia ou radiografia médica no ImageJ consistiu em: salvar as imagens de formato TIFF em formato JPG, pois não é possível gerar dados de RGB de imagens em TIFF no software. Aberta a imagem JPG, foi padronizada uma ROI (região de interesse) igual para cada filme. A ROI foi determinada de modo a não incluir as bordas dos filmes e nem os



números escritos de canetas para identificação dos filmes, pois estes podem influenciar nos valores de RGB gerados. Depois foi gerada a média das componentes em RGB, através da ferramenta do ImageJ “Analyze”, clicando em “Plugins/Analyze/RGB Measure”. Uma tabela foi gerada pelo ImageJ com os dados da média de cada componente *red*, *green* e *blue* da imagem. A tabela foi salva em formato de texto *ASCII* (código padrão americano para troca de informações), sendo utilizados os dados da componente *red net color*. Estes dados de cada filme de calibração foram exportados para tabelas de Excel e obtida a média das componentes *red net color* referente aos três escaneamentos. O resultado gerado foi utilizado para construção da curva de calibração dos experimentos dosimétricos.

As imagens dos filmes de dosimetria também foram salvas em formato JPG e o procedimento de definição do ROI foi o mesmo. Depois foi realizada a decomposição das imagens nas três componentes *red*, *green* e *blue*, por meio da ferramenta “Split channels” do ImageJ, salvas as imagens da componente *red net color* e as matrizes de dados dessas imagens em formato de texto *ASCII*. As matrizes de dados de cada filme radiocrômico da dosimetria em mamografia ou radiografia médica foram exportados para tabelas de Excel e obtida a média das componentes *red net color*, referente aos três escaneamentos, que foram utilizados para os estudos de dosimetria.

3. RESULTADOS

3.1 Digitalização dos Filmes Radiocrômicos XR-QA2

A digitalização dos filmes para calibração dos estudos de dosimetria para mamografia e radiografia médica, pode ser mostrado na Fig. 1. (A) filme radiopaco (irradiado) e filme virgem, utilizados para calibrar o *scanner*. Para calibração da mamografia, a Fig. 1 (B) mostra os 10 filmes irradiados e digitalizados (W/Rh), exceto o filme index “0” que representa o filme de referência não exposto. A Fig. 1 (C) apresenta os 5 filmes radiocrômicos irradiados e digitalizados, mais o filme “0” (W/Ag).

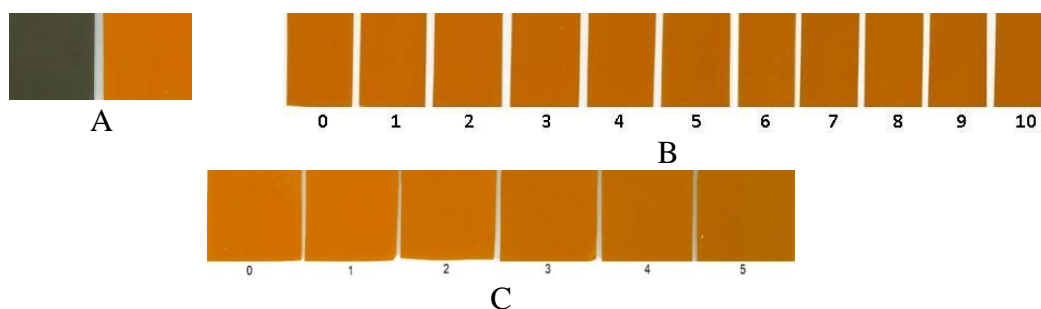
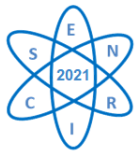


Fig. 1. Filmes radiocrômicos XR-QA2 (A) filme radiopaco (irradiado) e filme virgem, (B) W/Rh e (C) W/Ag filmes irradiados e digitalizados para calibração de estudo dosimétrico em mamografia.

O grau de escurecimento dos filmes pode ser observado nas imagens. À medida que se irradia o filme, o valor da componente *red net color* reduz com o aumento da exposição. A Fig. 1 (B) do W/Rh mostra que não há grandes diferenças óticas de visibilidade entre



o filme “0” não irradiado e o filme nº 10 irradiado (exposto 10 vezes). Devido este fato, para melhorar a resposta de leitura do filme o protocolo de irradiação dos filmes de W/Ag foi alterado para 5 filmes e exposição de 1, 5, 10, 15 e 20 vezes. Na Fig. 1 (C) de W/Ag observa-se uma melhora na visibilidade, do grau de escurecimento entre o filme “0” não irradiado e o filme nº 5 irradiado (exposto 20 vezes). Como a escala de cor de RGB vai de 0 a 255, assim quanto mais escuro o filme, menor sua escala em RGB e mais irradiado, e quanto mais claro o filme, maior é sua escala em RGB e menos irradiado.

A digitalização de dois filmes, utilizados nos estudos de dosimetria para mamografia e radiografia médica [12] é mostrado na Fig. 2.

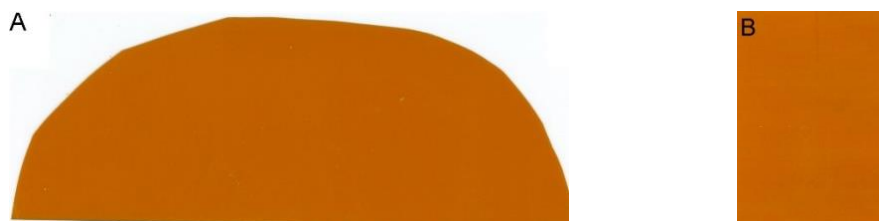


Fig. 2. Filmes radiocrômicos XR-QA2 irradiados e digitalizados dos estudos de dosimetria para mamografia- filme TE pele (A) e radiografia médica- filme TE pele (B).

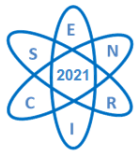
Os filmes foram escaneados três vezes para obter-se a média de valores da componente *red net color*. Pode se observar nas imagens o grau de enegrecimento dos filmes expostos.

3.2 Leitura dos Filmes Radiocrômicos XR-QA2

A leitura pelo ImageJ, dos 10 filmes radiocrômicos da calibração para mamografia, pode ser mostrado na Tab. 1 (W/Rh) e na Tab. 2 (W/Ag) dos 5 filmes. Estas apresentam os valores da componente *red net color* de cada escaneamento e a média da componente *red net color* dos três escaneamentos.

Tab. 1. Componente *Red net color* (*Rnc*) dos filmes nº0 ao nº10- Calibração W/Rh

Filmes nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1º escaneam. <i>Rnc</i>	195,73	196,86	194,37	191,26	188,53	184,60	185,17	182,39	185,64	183,35	180,77
2º escaneam. <i>Rnc</i>	195,69	196,84	194,35	191,22	188,37	184,38	184,90	182,47	185,35	182,98	180,60
3º escaneam. <i>Rnc</i>	195,72	196,67	194,34	191,13	188,28	184,09	184,92	182,34	182,26	182,95	180,61
Média <i>Rnc</i> / Desvio Padrão	195,72 / 0,02	196,79 / 0,10	194,35 / 0,02	191,21 / 0,07	188,39 / 0,12	184,36 / 0,25	185,00 / 0,15	182,40 / 0,06	184,41 / 1,87	183,09 / 0,22	180,66 / 0,09



Tab. 2. Componente *Red net color* (*Rnc*) dos filmes nº0 ao nº5- Calibração W/Ag

Filmes nº	0	1	2	3	4	5
1º escaneam. <i>Rnc</i>	211,79	210,96	206,00	196,60	190,81	181,77
2º escaneam. <i>Rnc</i>	211,70	211,07	206,21	196,56	190,67	181,70
3º escaneam. <i>Rnc</i>	211,70	211,11	206,18	196,48	190,53	181,71
Média <i>Rnc</i> / Desvio Padrão	211,73 / 0,05	211,04 / 0,08	206,13 / 0,11	196,55 /0,06	190,67 /0,14	181,72 / 0,04

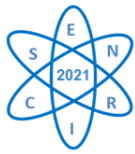
Podemos observar nas Tabelas 1 e 2 que existem pequenas variações nos valores das componentes *red net color* de cada escaneamento e que à medida que o número de irradiações aumenta o valor da componente *red net color* diminui, conforme esperado. Exceto para os valores entre os filmes 0 e 1 da Tab.1, no qual o filme 0 apresentou valor maior da componente *red net color*, provavelmente devido à baixa sensibilização do filme nº1 com apenas uma exposição. Dos 15 filmes radiocrômicos escaneados, somente uma leitura apresentou um desvio padrão maior que 1,00. Por isso foi realizado três escaneamentos de cada filme para descartar possíveis discrepâncias nos resultados dos valores da componente *red net color* e aumentar a confiabilidade do estudo. Essas discrepâncias podem ser geradas por algum erro no momento da digitalização ou leitura dos filmes, como seleção incorreta do ROI ou de ferramentas do Image J.

Antes da leitura dos filmes radiocrômicos para estudos de dosimetria em mamografia e radiografia médica [12], foram realizadas a decomposição das imagens nas três componentes *red*, *green* e *blue* e salvas as imagens da componente *red net color*, conforme ilustrado na Fig. 3.



Fig. 3. Filmes radiocrômicos XR-QA2 decompostos na componente *red net color* dos estudos de dosimetria em mamografia- filme TE pele (A) e radiografia médica- filme TE-pele (B).

A decomposição das imagens nas três componentes *red*, *green* e *blue* foi realizada por meio da ferramenta “*Split channels*” do ImageJ, salvas as imagens da componente *red net color* (Fig. 3) e as matrizes de dados dessas imagens em formato de texto *ASCII*. As matrizes de dados de cada filme radiocrômico dos estudos de dosimetria para mamografia ou radiografia médica foram exportadas para tabela de Excel e realizado a média das componentes *red net color*, referente aos três escaneamentos.



As matrizes de dados foram transformadas em matrizes de DO. As DO's foram convertidas em doses, conforme equação gerada pela curva de calibração. Como as matrizes geradas são muito extensas, sua apresentação neste estudo não é didática. Dessa maneira, foi realizado a média das componentes *red net color* de cada escaneamento dos filmes e sua média geral para demonstração, conforme Tab. 3 do estudo de dosimetria para mamografia (filme TE-pele) e radiografia médica (filme TE pele).

Tab. 3. Média *Red net color* (Rnc) de filmes XR-QA2- mamografia (M) e radiografia médica (R)- Dosimetria

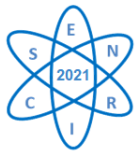
Filmes Radiocrômico	Média Rnc/ Desvio Padrão- M	Média Rnc/ Desvio Padrão- R
1º escaneamento	203,78 / 23,30	199,04 / 2,76
2º escaneamento	203,81 / 23,33	199,14 / 2,78
3º escaneamento	204,32 / 23,36	199,11 / 2,65
Média Geral Rnc /Desvio Padrão	204,03 / 23,12	199,09 / 2,35

Podemos observar na Tab. 3, que no estudo de dosimetria para mamografia, os valores dos desvios padrão da componente *red net color*, tanto de cada escaneamento como a média geral são maiores que em relação aos desvios padrão apresentados pelos filmes de calibração. Isso se deve ao formato assimétrico do filme utilizado, similar à de uma mama comprimida. Assim, na definição da ROI no ImageJ, não é possível contornar estruturas assimétricas. Então, regiões das imagens digitalizadas dos filmes que não foram expostas (Fig. 3A) apresentaram valores de leituras em RBG, e quando se realiza a média desses valores, o desvio padrão aumenta. Por isso, nos estudos de dosimetria de mamografia e radiografia médica são gerados mapas bidimensionais para medir cada ponto dos filmes irradiados, para melhor análise espacial das doses absorvidas. No estudo de dosimetria em radiografia médica os valores dos desvios padrões se mostraram pequenos, pois toda área digitalizada foi irradiada, não apresentando áreas sem exposição.

Podemos mostrar de forma geral que com três escaneamentos e leituras de cada filme, o aumento da confiabilidade nos estudos de dosimetria aumenta, e diminui assim as discrepâncias nos resultados dos valores da componente *red net color*.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os protocolos de digitalização e de leitura de filmes radiocrômicos XR-QA2 desenvolvidos para estudos de dosimetria em mamografia ou radiografia médica, seguiram as instruções dos fabricantes dos filmes, *scanner* e software ImageJ, e foram aqui melhor apresentados. O detalhamento de cada etapa do processamento dos filmes é de suma importância para se obter resultados confiáveis. Dessa maneira, a produção deste material cumpre a proposta de otimizar os estudos de dosimetria na área da radiologia diagnóstica.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a coordenação da Radiologia do Hospital das Clínicas- EBSEH da UFMG, pela utilização do setor de mamografia para os testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Benavente *et al.*, Caracterização de campos de radiação beta utilizando filmes radiocrômicos, *Revista Brasileira de Física Médica*, Vol. 4, n.3, pp. 71-74 (2011).
- [2] M. S. R. Silva *et al.*, Calibração do filme radiocrômico GAFCHROMIC XR-RV2 para radiologia, *Revista Brasileira de Física Médica*, Vol. 4, n.2, pp. 45-48 (2010).
- [3] S. Devic *et al.*, Linearization of dose-response curve of the radiochromic film dosimetry system, *Medical Physics*, Vol. 39, n. 8, pp. 4850-4857 (2012).
- [4] International Specialty Products (ISP). http://gafchromic.com/documents/PC-11805_Gafchromic_XR.pdf, acessado em 20/06/2020.
- [5] K. Solima and M Bakkari, Examination of the relevance of using radiochromic films in measuring entrance skin dose distribution in conventional digital mammography. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 165, n. 1-4, pp.373-375 (2015).
- [6] L. L. Amaral, Programa de Controle da Qualidade Dosimétrico, validado com Auxílio do Filme Radiocrômico, aplicados à Radioterapia Estereotáxica, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física Aplicada a Medicina e Biologia, Universidade de São Paulo, Brasil (2012).
- [7] L. B. Nogueira, Síntese, Caracterização e Dosimetria de Sementes Radioativas de Ho e Hozr para Tratamento de Câncer de Mama, Tese, Departamento de Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (2012).
- [8] V. G. L Alves, Avaliação dos Planejamentos de Tratamento de Radioterapia usando Modelagem Computacional e Dosimetria Absoluta com Filmes Radiocrômicos, Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Brasil (2014).
- [9] T. Ferreira, W. Rasband, “ImageJ User Guide”, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, pp. 198 (2012).
- [10] C. T. Rueden *et al.*, “ImageJ: ImageJ for the next generation of scientific image data”, *BMC Bioinformatics* (2016).
- [11] HP Scanjet série G4000/G4050, “Guia do usuário”, pp.32, acessado em 03/2020, <http://h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c00820934> .
- [12] J. Alves *et al.*, Doses absorvidas em órgãos internos em fantoma feminino de tórax em radiologia diagnóstica, *Revista Brasileira de Física Médica*, Vol. 14, pp. 517-521 (2020).