

Avaliação de desempenho para monitores diversos utilizados em ambiente clínico para análise de imagens médicas

Performance evaluation for various monitors used in a clinical environment for medical image analysis

Evaluación de rendimiento para varios monitores utilizados en un entorno clínico para el análisis de imágenes médicas

Recebido: 29/10/2023 | Revisado: 07/11/2023 | Aceitado: 08/11/2023 | Publicado: 12/11/2023

Carolline Gomes de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5159-3758>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: carolmaio1998@gmail.com

Bruno Fabricio de Oliveira Lisboa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5483-9093>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: bfolisboa@gmail.com

Márcia Regina Pereira Attie

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-0290>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: marcia.attie@academico.ufs.br

Resumo

O artigo visa avaliar o desempenho de monitores dedicados e comuns, utilizados para a realização de laudos médicos. Foram avaliados onze monitores utilizados para laudo médico em um hospital da rede pública, um de 2 MP e dois de 5 MP, e oito de uso comum, porém utilizados para a avaliação de imagens médicas. Os testes realizados analisam a luminância do monitor, iluminância da sala de laudos referente à utilização de cada equipamento, uniformidade de luminância, ruído, resolução e a curva de resposta da luminância conforme o indicado pela publicação da AAPM Report 270. Independente da finalidade, dedicado ou comum, os monitores apresentaram desvios consideráveis em relação às medidas de luminância, que interferem no comportamento da curva de resposta dos mesmos, embora a avaliação de uniformidade da luminância esteja adequada aos limites estabelecidos na legislação. Do mesmo modo, a iluminância e resolução se adequam ao estabelecido nas INs. Apenas dois dos monitores de uso dedicado, Barco esquerdo e direito, condizem com os limites estabelecidos para monitores primários em relação às medidas de ruído e luminância máxima. Já os monitores de uso comum não atingiram o valor mínimo na avaliação de ruído, para se enquadrarem como monitores primários, porém, em relação à luminância máxima, apenas dois dos equipamentos não atingiram os valores mínimos. Os equipamentos avaliados não são adequados ao estabelecido pela ANVISA e a AAPM, indicando a necessidade de nova calibração dos equipamentos de uso dedicado e a incompatibilidade ao uso para laudo médico dos dispositivos de uso comum.

Palavras-chave: Monitores para diagnóstico; Radiodiagnóstico; Controle de qualidade.

Abstract

This article aims to evaluate the performance of dedicated and common monitors used for medical reporting. Eleven monitors employed for medical reporting in a public hospital were assessed, including one 2 MP monitor, two 5 MP monitors, and eight common-use monitors employed for medical image evaluation. The tests analyzed monitor luminance, room illuminance specific to each equipment's use, luminance uniformity, noise, resolution, and the luminance response curve as indicated by the publication of AAPM Report 270. Regardless of their purpose, dedicated or common use, the monitors displayed significant deviations in the luminance measurements, which impacted their luminance response curve. However, the assessment of luminance uniformity complied with the limits established by legislation. Similarly, illuminance and resolution met the requirements set by regulations. Only two of the dedicated-use monitors, namely Barco left and right, conformed to the limits established for primary monitors regarding noise and maximum luminance measurements. In contrast, the common-use monitors did not meet the minimum noise evaluation criteria to be considered primary monitors, but with respect to maximum luminance, only two of the devices failed to reach the minimum values. The evaluated monitors do not meet the standards set by ANVISA and AAPM, indicating

the need for recalibration of dedicated use equipment and the incompatibility of common-use devices for medical reporting.

Keywords: Diagnostic monitors; Radiodiagnostic; Quality control.

Resumen

El artículo pretende verificar el rendimiento de monitores dedicados y comunes utilizados para la emisión de informes médicos. Se evaluaron once monitores utilizados para informes médicos en un hospital de la red pública, uno de 2 MP y dos de 5 MP, y ocho de uso común, aunque utilizados para la evaluación de imágenes médicas. Las pruebas realizadas analizaron la luminancia del monitor, la iluminancia de la sala de informes en relación con el uso de cada equipo, la uniformidad de la luminancia, el ruido, la resolución y la curva de respuesta de la luminancia según lo indicado en la publicación de AAPM Report 270. Independientemente del propósito, ya sea dedicado o común, los monitores mostraron desviaciones significativas en relación con las mediciones de luminancia, lo que afecta el comportamiento de la curva de respuesta de los mismos, aunque la evaluación de la uniformidad de la luminancia cumple con los límites establecidos por la legislación. De manera similar, la iluminancia y la resolución cumplen con lo establecido en las normativas. Solo dos de los monitores de uso dedicado, Barco izquierdo y derecho, cumplen con los límites establecidos para monitores primarios en relación con las mediciones de ruido y luminancia máxima. En contraste, los monitores de uso común no alcanzaron el valor mínimo en la evaluación del ruido para considerarse monitores primarios, aunque en cuanto a la luminancia máxima, solo dos de los equipos no alcanzaron los valores mínimos. Los monitores evaluados no cumplen con lo establecido por ANVISA y AAPM, lo que indica la necesidad de una nueva calibración de los equipos de uso dedicado y la incompatibilidad del uso de dispositivos de uso común para informes médicos.

Palabras clave: Monitores para diagnóstico; Radiodiagnóstico; Control de calidad.

1. Introdução

O diagnóstico por imagem parte, fundamentalmente, do processo de aquisição, processamento e avaliação. Em uma situação em que as etapas de aquisição e processamento da imagem médica ocorrem dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos pelo órgão fiscalizador, para o Brasil corresponde à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), essa imagem será avaliada por um profissional especializado.

A exibição dessas imagens em monitores possibilita que profissionais responsáveis tanto pela aquisição, como a equipe técnica, quanto pela avaliação, com o corpo clínico, consigam estabelecer visualmente se há qualidade nas imagens adquiridas (Bushberg et al., 2020, Samei, 2002).

Processos diversos podem interferir na qualidade da imagem formada; desde problemas associados a características do equipamento utilizado para a realização do exame, a erros no software de processamento, as condições do ambiente de visualização da imagem formada, até a acuidade visual do profissional responsável pelo laudo (Nobre et al., 2012, Ribeiro & Furquim, 2010).

Em relação aos parâmetros que devem ser mantidos sob observação para garantir a melhor qualidade dos exames e laudos realizados, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 611 de 2022 estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista (Diário Oficial da União, 2022). A partir deste documento, são validadas as Instruções Normativas (IN) que regem a avaliação de equipamentos associados em cada modalidade dos exames de radiologia. Para este trabalho, destaca-se as INs 90, 92, 93 e 97 correspondentes aos equipamentos de Raios - X, Mamografia, Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética, respectivamente (Diário Oficial da União, 2021a, Diário Oficial da União, 2021b, Diário Oficial da União, 2021c, Diário Oficial da União, 2021d).

Estes documentos estabelecem a relação mínima de avaliações que devem ser realizadas em cada modalidade a fim de garantir o melhor resultado a ser obtido. A avaliação acerca dos monitores de visualização de imagens médicas é comum em todas as INs mencionadas.

A maioria dos sistemas comerciais de exibição de uso geral é projetada para apresentar imagens em cores. No entanto, no caso das imagens provenientes das modalidades radiológicas, que são compostas por matrizes retangulares de números, geralmente não há benefício em exibi-las em cores. Portanto, essas imagens são comumente mostradas em monitores de alta

qualidade em escala de cinza para interpretação (Bushberg et al., 2020).

As telas dos monitores utilizados para laudo são sistemas que recebem imagens processadas computacionalmente e convertem em um sinal que é exposto nas mesmas e constituem a etapa final no fluxo estabelecido para a avaliação das imagens médicas. Dessa forma, é necessário estabelecer parâmetros que permitam avaliar as características destes monitores.

Diante disso, alguns parâmetros como resolução espacial, resolução em relação ao contraste, distorção da imagem formada, uniformidade da luminância, luminância máxima, faixa dinâmica de apresentação de cores entre outras propriedades deve ser controlados e avaliados com uma periodicidade regular a fim de garantir a qualidade da informação apresentada (Bushberg et al., 2020).

A ANVISA regula no Brasil as avaliações mínimas a serem executadas nesses equipamentos para que apresentem qualidade suficiente, permitindo que profissionais habilitados consigam realizar laudos médicos a partir da observação das imagens apresentadas. Entretanto, este órgão não possui atualmente indicação de metodologias para que essas avaliações sejam executadas. Dessa forma, é necessário utilizar-se de protocolos internacionais, dos quais o Brasil seja signatário.

Assim, o documento apresentado pela American Association of Physicists in Medicine (AAPM), Report 270, elaborado e publicado entre os anos de 2019 e 2020, torna-se uma referência adequada como material (Nunes, Scolastici, & Nersissian, 2020).

Para que as avaliações sejam executadas, são utilizadas quatro categorias para classificar os tipos de monitores a serem utilizados no ambiente clínico: monitor para diagnóstico, por modalidade, por especialidade clínica e de registro eletrônico clínico (Bevins et al., 2020).

Os monitores utilizados para diagnóstico são classificados como monitores primários e representam o equipamento utilizado para a interpretação das imagens médicas utilizadas para a formação de um laudo médico. Dessa forma, devido a sua finalidade, é a categoria que apresenta maior rigor em relação aos requisitos de avaliação de qualidade. Portanto, os monitores utilizados exclusivamente para a realização de laudo médico são classificados como primários, e qualquer monitor que não seja de uso dedicado é classificado como secundário.

Este trabalho buscou avaliar o funcionamento de diversos monitores, de uso dedicado e comum, utilizados para a realização de laudos médicos, alocados em um hospital público situado na cidade de Aracaju.

2. Metodologia

Foram avaliadas 11 estações de trabalho com monitores de marcas diversas utilizados para laudo médico em um hospital da rede pública da cidade de Aracaju. Destes, três monitores são categorizados como primários, um de 2 MP (megapixels), HP - Vítrea, e dois de 5 MP, Barco direito e Barco esquerdo. Os outros oito monitores analisados são de uso comum, porém são utilizados para a avaliação de imagens para laudo. As avaliações realizadas estão de acordo com o estabelecido pela legislação brasileira, determinado nas Instruções Normativas mencionadas e são realizadas conforme o indicado pela publicação da *AAPM Report 270* (Bevins et al., 2020). Elas englobam a luminância do monitor para diagnóstico ou laudo, a iluminância da sala de laudos referente à utilização de cada monitor individualmente, uniformidade de luminância, ruído, resolução espacial e a curva de resposta da luminância. Para isso foram utilizados instrumentos simples como lupa e fita métrica. Para avaliações que englobam medidas de iluminância e luminância foi utilizado um Fotômetro SECULIFE IA.

2.1 Iluminância da sala de laudo

A iluminância é uma medida associada à quantidade de luz no ambiente devido a presença de fontes de luz que refletem na superfície da tela. A luz refletida se sobrepõe à visão do observador da imagem, interferindo na visibilidade da imagem exibida

(Bevins et al., 2020). Desta forma, a iluminação adequada do ambiente no qual são realizados os laudos médicos pode ser considerada como um indicador de qualidade associado ao processamento da imagem (Travassos et al., 2012).

A avaliação de iluminância da sala de laudos foi realizada tomando como referência cada monitor analisado. O fotômetro foi posicionado no centro da tela, a uma distância que simula a posição do observador (fixado em 30 cm), com a iluminação do ambiente mantida em condições da rotina clínica. Após a estabilização do equipamento, a iluminância ambiente foi registrada, em unidade de lux (lx).

2.2 Luminância do monitor

A luminância do monitor está associada à intensidade da luz visível que é emitida da superfície da tela do mesmo. Dentro da avaliação de luminância há várias características que podem ser utilizadas como ferramenta para obter uma melhor resposta da tela; entre elas a luminância ambiente (L_{amb}), luminância mínima (L_{min}), luminância máxima (L_{max}) e a taxa de luminância.

Uma vez que as condições de iluminação ambiente são caracterizadas, L_{min} e L_{max} podem ser definidas e avaliadas antes de serem utilizadas para determinar a resposta de luminância apropriada em vários níveis de tons cinza na imagem. A luminância total percebida por um observador (L') é determinada como:

$$L' = L + L_{amb} \quad (1)$$

L sendo a medida de luminância, em cd/m^2 , obtida com o fotômetro.

Para medir L_{amb} diretamente, o monitor avaliado foi desligado, com a iluminação da sala mantida da forma usualmente utilizada durante os processos para laudo. Para a medição, o fotômetro foi posicionado na direção de visualização do observador em relação a superfície da tela, mantido em 30 cm.

A luminância mínima é uma quantidade que descreve o sinal apresentado pelo monitor quando o menor valor de pixel é imageado. A luminância mínima total do monitor pode ser definida como:

$$L'_{min} = L_{min} + L_{amb} \quad (2)$$

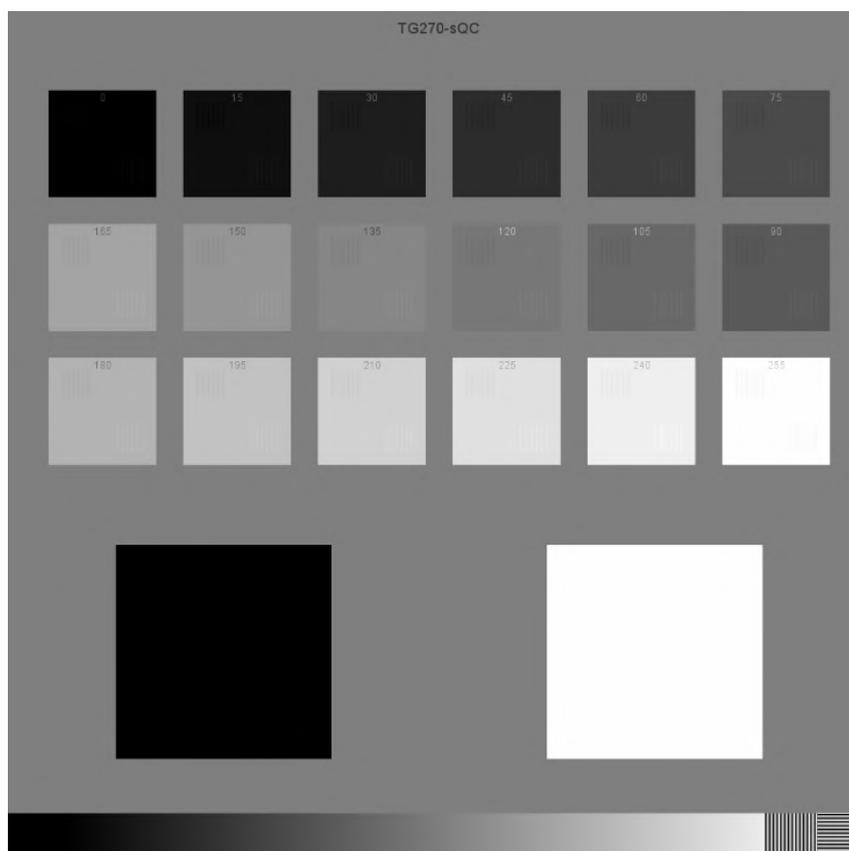
L_{min} sendo a medida realizada com o fotômetro e L'_{min} o valor de luminância que inclui os efeitos do ambiente e a luminância inerente da tela. Avaliar a luminância mínima total é importante para manter uma referência que indicará de forma confiável o contraste nas regiões mais escuras da imagem.

Por outro lado, a luminância máxima é uma quantidade que descreve o sinal apresentado pelo monitor quando o maior valor de pixel é imageado. A luminância máxima total (L'_{max}) do monitor pode ser definida como:

$$L'_{max} = L_{max} + L_{amb} \quad (3)$$

A imagem padrão utilizada para a medida de L_{min} e L_{max} é apresentada com os quadrados na parte inferior do padrão TG270-sQC, Figura 1.

Figura 1 - Padrão de avaliação, TG270-sQC, utilizado para verificar as medidas de luminância mínima e máxima, além da curva de resposta de luminância.



Fonte: AAPM Report 270.

O quadrado de menor nível de cinza, tom escuro, permite avaliar L_{min} ; já o quadrado de maior nível de cinza, tom claro, é utilizado na medida de L_{max} .

2.3 Curva de resposta da luminância

A curva de resposta da luminância corresponde à percepção de mudança da luminância do monitor devido a mudanças na escala de cinza, ou seja, as alterações de cor que ocorrem entre os pontos de L'_{min} e L'_{max} . Essa mudança na escala de cinza está diretamente associada à percepção do observador em relação à presença de brilho e contraste na imagem. Para isso, é necessária a calibração adequada de cada monitor para a melhor visualização das faixas de contraste apresentadas (Bevins et al., 2020). Equipamentos calibrados uniformemente permitem que imagens de um mesmo paciente possam ser apresentadas em várias estações de laudo sem prejuízo na qualidade da informação apresentada. Esta avaliação é comumente realizada a partir do uso da escala de cinza presente na Função de Exibição Padrão, do inglês "Grayscale Standard Display Function", referenciado como curva GSDF.

Esse teste visa fornecer contraste visual semelhante entre os níveis de cinza em toda a faixa dinâmica de uma tela. Para a construção da curva GSDF, utiliza-se o padrão TG270-sQC, na região superior, apresentada na Figura 1, realizando a medida de luminância em cada valor de pixel apresentado. A caracterização da faixa dinâmica em função de cada valor de pixel é realizada em intervalos de 15 níveis de tons de cinza; os valores de pixel variam de 0 até 255, resultando no total de 18 medidas.

Para esta avaliação é necessário realizar a conversão dos valores de luminância medidos para os índices correspondentes na curva GSDF, denominados de índice JND ("Just Noticeable Difference"), que determina a menor diferença de contraste que

pode ser percebida nos valores de luminância na tela (Bevins et al., 2020). A resposta obtida com a conversão dos valores de luminância para o índice JND é linear, o que permite um melhor processo de intercomparação entre os valores de luminância medidos e de resposta alvo.

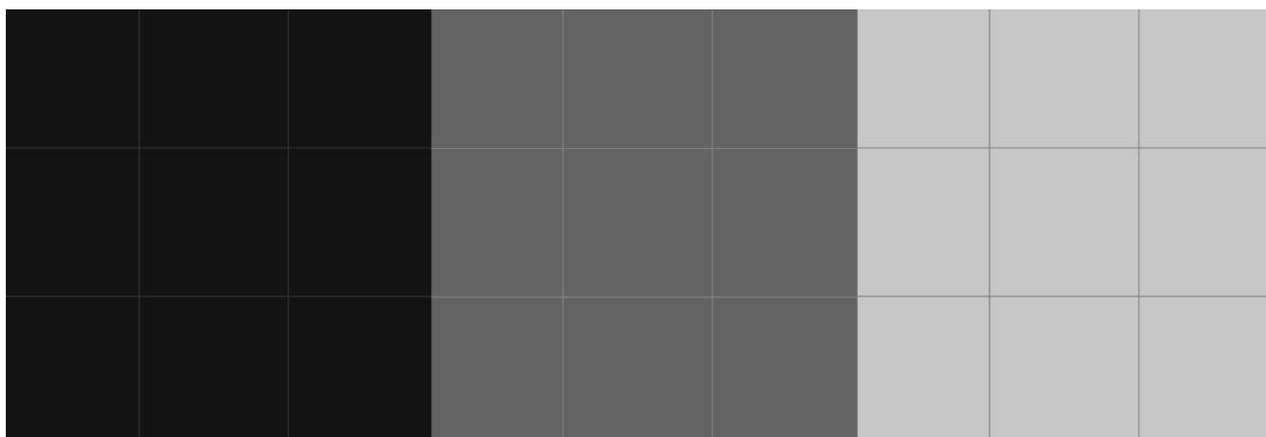
As equações utilizadas para a determinação dos índices JND estão descritas, assim como os valores dos coeficientes utilizados, no documento da AAPM (Bevins et al., 2020).

2.4 Uniformidade da luminância

A medida de uniformidade dos valores de luminância de uma tela determina que, para uma imagem sem alteração na faixa de tons de cinza avaliados, a resposta verificada pelo observador deve ser a mesma, independente da região analisada. Regiões de não-uniformidade podem provocar falsa interpretação das imagens associando uma estrutura que não está realmente presente na mesma.

Para a análise, foi utilizado o padrão de imagens TG270-UNL8 do documento da AAPM que avaliam regiões de baixo, médio e alto contraste (20%, 100% e 200% respectivamente), conforme indicado na Figura 2.

Figura 2 - Padrão de avaliação, TG270-UNL8, utilizado para verificar as medidas de uniformidade da luminância em baixo, médio e alto contraste, respectivamente.



Fonte: AAPM Report 270.

Para cada imagem representando um nível de cinza, foi realizada uma medida de luminância associada a cada uma das nove regiões presentes na mesma. Em seguida, foi adicionado o valor de L_{amb} , conforme Equação 1, para determinar a luminância total associada a cada quadrante. Por fim, a uniformidade é avaliada ao determinar o maior desvio de L' em relação ao valor médio de todas as medidas realizadas para cada nível de cinza.

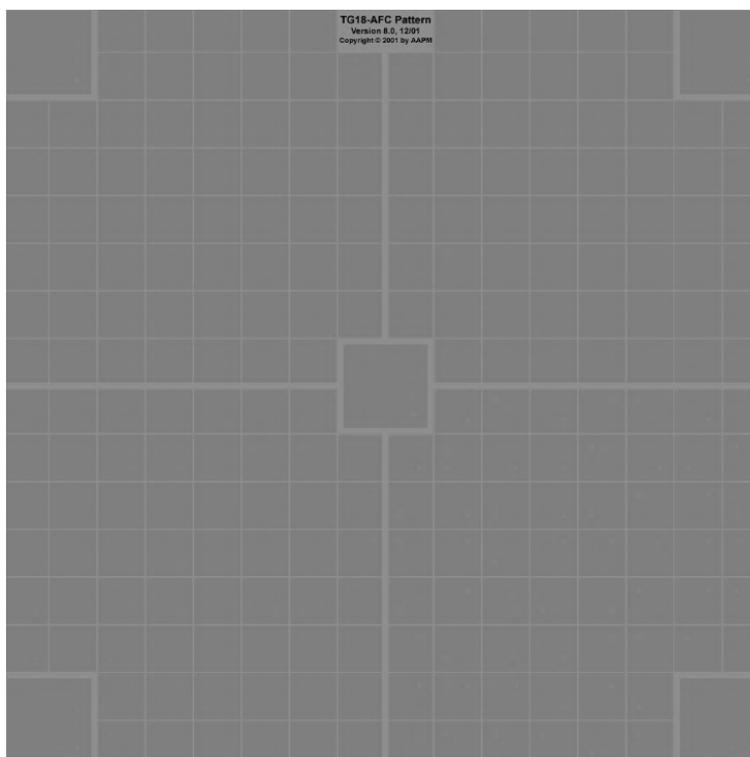
2.5 Ruído

O ruído é uma característica que impacta diretamente na qualidade e interpretação do profissional em relação às estruturas evidenciadas na imagem, podendo dificultar a visualização ou a sobreposição das mesmas. Assim, o teste avalia a existência de artefatos ou pixels defeituosos que possam interferir na percepção de estrutura, principalmente de baixo nível de contraste, na imagem.

Para realizar uma comparação qualitativa de ruído foi utilizado o padrão de teste de uniformidade de alto contraste, Figura 2, para determinar se há a presença de ruído na imagem.

Além disso, um padrão de teste para detalhar pixels de baixo contraste (TG18-AFC), Figura 3, é utilizado para complementar a análise da existência de ruído.

Figura 3 - Padrão de avaliação, TG18-AFC, utilizado para verificar a presença de ruído e não uniformidades em vários quadrantes da imagem.



Fonte: AAPM Report 270.

Para isso, avaliou-se a presença das estruturas de baixo contraste em cada um dos quatro quadrantes da tela de exibição.

2.6 Resolução espacial

A perda de informação decorrente da dispersão de luz entre pixels vizinhos pode ocasionar a diminuição da percepção de resolução espacial, interferindo na avaliação da menor estrutura que este monitor consegue distinguir nas imagens exibidas.

O teste de resolução espacial verifica a capacidade do monitor de representar a menor fração possível de uma estrutura na imagem. Para isso, utiliza-se a imagem padrão TG18-CX, Figura 4, que apresenta elementos do tamanho do pixel do monitor e, com auxílio de uma lupa, é avaliado qual grupo padrão enumerado melhor representa as estruturas visualizadas.

Tabela 1 - Valores medidos de iluminância, luminância ambiente, mínima e máxima referente a cada monitor avaliado.

Monitor	Iluminância (lx)	Ambiente	Luminância (cd/m ²)	
			Mínima	Máxima
Barco esquerdo	10,8	0,19	0,86	677,0
Barco direito	10,8	0,69	0,71	619,2
HP - Vítrea	36,0	0,42	0,1	116,7
Positivo 1	22,5	0,36	0,13	195,7
Positivo 2	9,4	0,11	0,14	194,7
Positivo 3	1,9	0,07	0,12	194,6
Positivo 4	10,0	1,13	0,19	190,2
Positivo 5	9,7	0,6	0,14	169,0
HP 1	43,5	1,4	1,26	117,2
HP 2	25,4	0,1	0,17	178,6
HP 3	10,1	0,08	0,18	159,8

Fonte: Autores (2023).

Apesar da legislação brasileira não estabelecer um limite mínimo para a iluminância das salas de laudo, sabe-se que baixos níveis de iluminação podem causar condições de visualização inadequadas para a imagem e provocar cansaço visual (Chawla & Samei, 2007, Alter et al., 1982). Esta fadiga ocular pode ser atribuída à necessidade de adaptação devido a mudança do direcionamento do olhar da região mais clara do monitor e as superfícies circundantes mais escuras; assim, sendo necessário estabelecer ambientes com iluminação em níveis médios para maior precisão da avaliação e conforto do avaliador (McEntee et al., 2006). Diante disso, o Report 270 da APM e estudos realizados por Bevins et al. (2020) e Brennan et al. (2007) estabelecem que ambientes completamente escuros, utilizando apenas a luz do próprio monitor como fonte de iluminação, não agregam melhorias nas condições de laudo dos profissionais responsáveis, uma vez que os resultados observados se assemelham ao experimentado em ambientes com alta iluminação. Desta forma, o estudo desenvolvido por Brennan et al. (2007) determina uma quantidade mínima para a iluminância de 25 lx. Portanto, apenas três equipamentos se adequam a esta situação, os monitores HP - Vítrea, Hp 1 e HP 2.

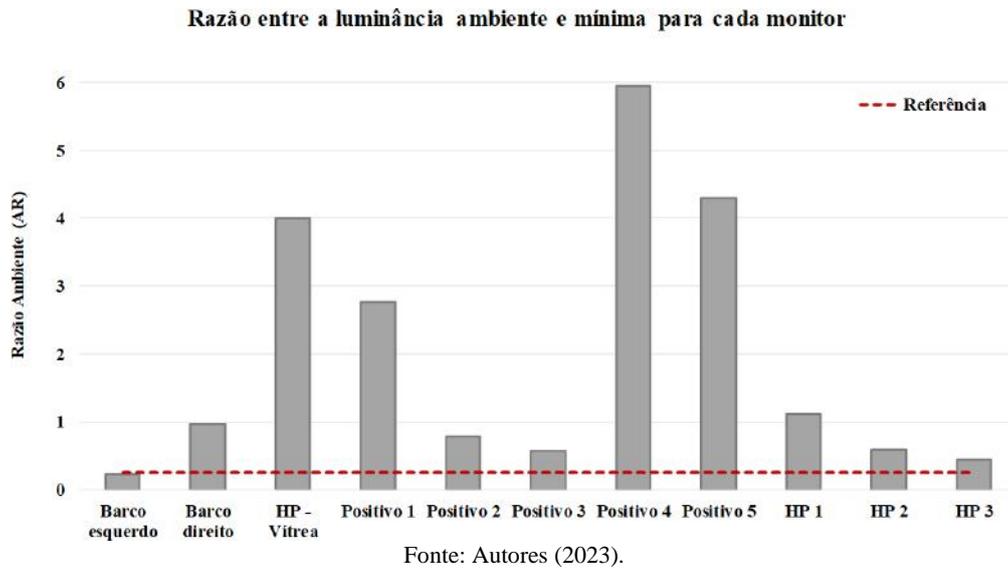
Resultados semelhantes, em relação às medidas de iluminância, foram obtidos no estudo de Mesquita et al. (2018) que comparou a curva de resposta de luminância de monitores comuns em relação a monitores especializados.

As medidas de luminância ambiente foram realizadas para integrar a avaliação de luminâncias mínimas e máximas, conforme estabelecido pelas Equações 2 e 3. Dessa forma, os valores de luminância ambiente apresentados na Tabela 1 devem ser levados em consideração durante a avaliação uma vez que impactam em como os equipamentos são calibrados e avaliados, principalmente em situação de avaliação de itens de baixo contraste. Uma forma de verificar se as condições de luminância ambiente são adequadas é a utilização da razão ambiente (AR), dada como:

$$AR = \frac{L_{amb}}{L_{min}} \quad (4)$$

AR deve ser inferior a 1/4; isso garante que, em regiões mais escuras da imagem, grande parte dos tons de contraste serão visíveis em iluminação ambiente. A Figura 5 apresenta os resultados de AR para cada monitor e, para a condição de iluminação mantida, apenas o Barco esquerdo obteve a razão na faixa esperada. Todos os outros equipamentos apresentaram razões maiores e podem apresentar perda de visibilidade de estruturas, em especial, de baixo contraste.

Figura 5 - Valores de AR obtidos para cada monitor avaliado em relação ao limite indicado de $\frac{1}{4}$.



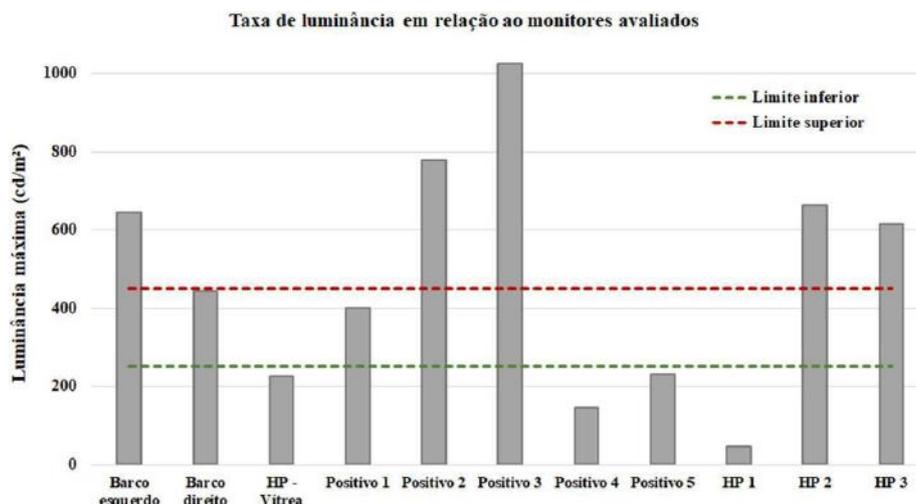
Em relação a luminância máxima, as instruções normativas estabelecem um limite mínimo de 350 cd/m^2 para os equipamentos utilizados para laudo em mamografia e 170 cd/m^2 para as demais modalidades. No momento de realização deste estudo, apenas os monitores Barco direito e Barco esquerdo foram utilizados para avaliação de imagens de mamografia. Desta forma, estão adequados em termo da luminância máxima para a devida utilização. Além de mamografia, estes monitores, assim como os outros, são utilizados para avaliação de imagens das modalidades mencionadas anteriormente. Nestas condições, os monitores HP - Vítreo, Positivo 5 e HP 1 não se enquadram ao mínimo estabelecido pela ANVISA. Diante disso, há a necessidade de uma nova calibração desses equipamentos para adequação aos critérios estabelecidos. Outros estudos, como o realizado por Jornada e Bandeira (2021) obtiveram o mesmo comportamento para monitores comerciais utilizados como monitores para laudo. Entretanto, não compete exclusivamente a esta avaliação determinar a capacidade de uso destes equipamentos, visto a abrangência dos testes realizados. Outra avaliação válida em relação à resposta dos monitores em função dos tons de contrastes apresentados é a taxa de luminância (LR), determinada como:

$$LR = \frac{L'_{max}}{L'_{min}} \quad (5)$$

Esta taxa descreve quanto de contraste poderá ser visualizado em uma imagem que apresenta níveis de tons de cinza. Espera-se que os valores para LR sejam tão altos quanto possível, de forma a garantir que seja visível toda a faixa de tons de cinza considerados. Entretanto, este valor não deve ser alto de maneira que extrapole o campo visual humano. Além disso, em uma situação ideal, a LR de todos os equipamentos deve ser semelhante para garantir a similaridade na aparência das imagens avaliadas (Bevins et al., 2020). Assim sendo, o *Report 270* estabelece uma faixa limite para os valores de taxa de luminância, entre 250 e 450, sendo o valor de 350 considerado como ideal para os equipamentos utilizados para avaliação de imagens.

A Figura 6 estabelece os valores de LR para cada monitor. Percebe-se que apenas os monitores Positivo 1 e Barco direito apresentam uma resposta no intervalo estabelecido pelo documento mencionado. Os demais monitores apresentam respostas em faixas superiores ao campo de visualização humano ou faixas que não cobrem toda a faixa de tons de cinza presentes na imagem.

Figura 6 - Valores de LR obtidos para cada monitor avaliado em relação aos limites inferior e superior estabelecidos internacionalmente.



Fonte: Autores (2023).

Para a avaliação de ruído foram realizadas análises qualitativas dos padrões de imagens utilizados no teste de uniformidade de luminância. Nesta etapa, não houve a percepção visual da presença de ruído. Além disso, uma avaliação quantitativa foi realizada utilizando o padrão representado pela Figura 3; o Report 270 da AAPM estabelece que para monitores primários, deve-se visualizar estruturas de baixo contraste em pelo menos três dos maiores quadrantes presentes na imagem. Já em monitores secundários, o mesmo documento estabelece a necessidade de visualização de estruturas em pelo menos dois dos maiores quadrantes na imagem. Os resultados obtidos para os equipamentos avaliados estão representados na Tabela 2. Apenas os monitores Barco direito e Barco esquerdo seguem o estabelecido para a classificação de equipamentos primários; os demais monitores responderam como monitores secundários. Esta avaliação não restringe a utilização do equipamento. Contudo, o documento da AAPM determina que, se as diferenças de ruído forem perceptíveis, a exibição com menos ruído deverá ser a selecionada.

Tabela 2 - Quantidade de grupos visualizados no teste de ruído para cada monitor avaliado.

Monitor	Ruído
Barco esquerdo	3
Barco direito	3
HP - Vitrea	2
Positivo 1	2
Positivo 2	2
Positivo 3	2
Positivo 4	2
Positivo 5	2
HP 1	2
HP 2	2
HP 3	2

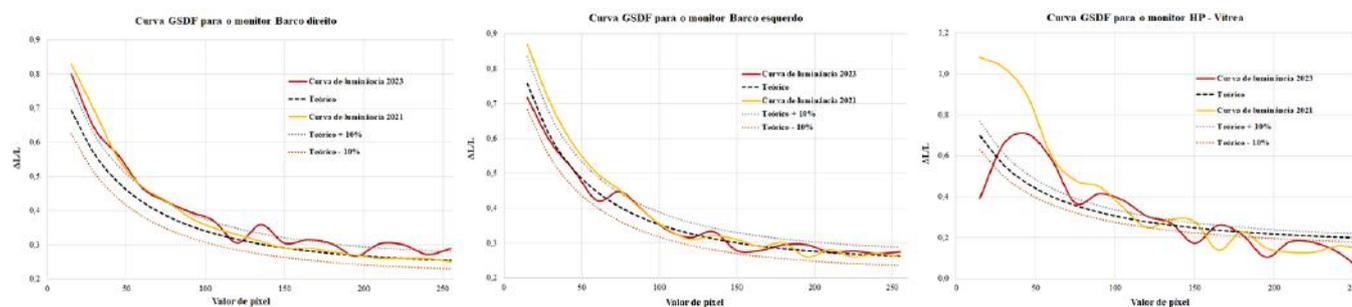
Fonte: Autores (2023).

Consoante ao resultado obtido, o estudo realizado por Mesquita et al. (2018) em relação a percepção de ruído nas imagens determinou que monitores não dedicados a laudo médico não apresentaram resposta suficiente para avaliação de imagens médicas, sendo assim devidamente classificados como secundários. Por outro lado, Ribeiro e Furquim (2010) conseguiram visualizar estruturas nos três maiores quadrantes em 86% dos monitores de uso não dedicado.

Por fim, a avaliação sobre a resposta da luminância foi realizada avaliando os desvios máximos entre as medidas realizadas em cada monitor e o padrão DICOM de GSDF. Este padrão foi estabelecido para valores de luminância medidos em relação aos pixels estabelecidos entre os valores de L' max. A curva GSDF representa a mudança necessária nos valores de luminância, associadas a uma faixa de pixels, que permite detectar alterações de tons de cinza na imagem. O comportamento padrão desta curva estabelece que, para maiores valores de pixel, consequentemente, maiores valores de luminância, a mudança que deve ocorrer na faixa dinâmica do equipamento é menor para que se possa detectar alteração de cor. Ou seja, para valores baixos de luminância é necessário maior contraste entre as estruturas da imagem para produzir uma mudança que possa ser detectada pelo profissional que está avaliando a mesma. Ao mesmo tempo, pequenas alterações no contraste de estruturas serão necessárias em valores de luminância maiores.

A Figura 7 representa a curva de resposta dos valores de luminância medidos para os monitores dedicados em função do valor de pixel avaliado, com uma faixa de tolerância de desvio da resposta teórica de 10% para monitores primários. Além disso, compara as mudanças nos resultados entre as medidas realizadas nos anos de 2021 e 2023.

Figura 7 - Curva GSDF representando a resposta de luminância dos monitores dedicados avaliados.



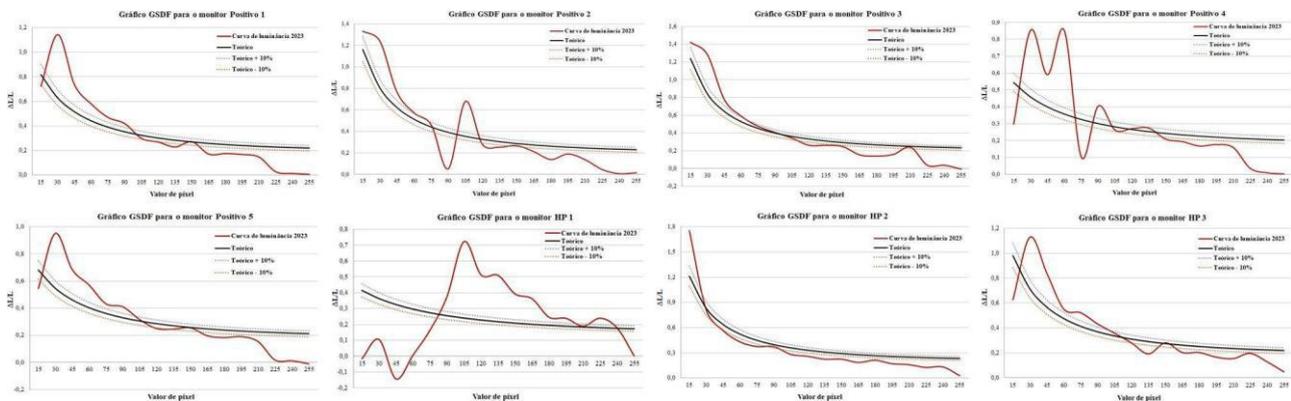
Fonte: Autores (2023).

É notável que, em ambos os anos, a resposta medida para a luminância não correspondeu ao valor teórico para nenhum dos monitores; ainda, a comparação entre as respostas dos dois anos demonstra uma queda nos resultados obtidos, levando a uma piora da qualidade de visualização utilizando estes monitores.

Os três monitores ultrapassam, em pelo menos um ponto, o intervalo aceitável de desvio da resposta teórica determinado pelo documento da AAPM, de forma que não os classifica como opções adequadas para realização de avaliação de imagens médicas. Estes resultados não corroboram com o apresentado por Siriani, Ferreira, Oliveira, D. H. F., Oliveira, L. M. e Oliveira, B. B. (2022) e Ribeiro e Furquim (2010), uma vez que, para monitores de uso dedicado obtiveram resposta similar ao comportamento teórico esperado para cada equipamento.

Todos os monitores comuns avaliados, Figura 8, apresentaram desvios significativos em vários pontos da resposta esperada em relação ao comportamento da luminância. Este resultado concorda com o observado por Mesquita et. al. (2018) e Jornada e Bandeira (2021) em seus estudos, em que os monitores não dedicados ultrapassaram o limite de 10% estabelecido pelo documento de referência.

Figura 8 - Curva GSDF representando a resposta de luminância dos monitores convencionais utilizados para laudo avaliados.



Fonte: Autores (2023).

Diante disso, é notório que monitores que não foram desenvolvidos para uso dedicado para laudos médicos falham em vários pontos nas avaliações mínimas estabelecidas pela legislação brasileira e complementares, estabelecidas pela AAPM, para determinar a qualidade destes equipamentos. Entretanto, os equipamentos de uso dedicado presentes no local avaliado também não cobrem todos os requisitos de avaliação necessários. Este fato indica a necessidade de realização de calibração para estes equipamentos de forma a garantir uma melhor resposta em relação às condições ambientais apresentadas no ambiente de laudo. Segundo a legislação brasileira, a avaliação dos critérios de qualidade associados aos monitores para laudos deve ocorrer anualmente; contudo, devido a perceptível necessidade de recalibração dos equipamentos, indica-se uma maior periodicidade nas avaliações a fim de evitar o processo de recalibração frequente (Pinto et al., 2012, Santos, 2023).

4. Conclusão

Três monitores de uso dedicado e oito monitores de uso comum utilizados pelos profissionais na rotina clínica do hospital foram avaliados.

Os testes de iluminância, uniformidade e resolução realizados em todos os monitores ofereceram resposta correspondente ao determinado para os monitores primários, conforme determinação da ANVISA e estabelecido pela AAPM. Entretanto, as demais avaliações demonstraram incongruências tanto para os monitores de uso exclusivo quanto para os monitores comuns utilizados.

Em relação às curvas de resposta, nenhum dos equipamentos apresentou uma concordância com a resposta esperada a partir da faixa dinâmica estabelecida entre os valores de L'_{min} e L'_{max} .

Assim, é possível concluir que monitores de uso comum na rotina clínica não devem ser utilizados para a execução de laudos médicos, e os monitores de uso dedicado sofrem uma diminuição de sua resposta com o passar do tempo, conforme evidenciado pela alteração da curva de resposta entre os dois anos avaliados, mostrando, com isto, a necessidade de recalibrá-los para as condições do ambiente. Trabalhos futuros podem ser realizados para observar a alteração da resposta destes equipamentos após a possível calibração ou a continuidade do comportamento atual.

Referências

- Alter, A. J., Kargas, G. A., Kargas, S. A., Cameron, J. R., & McDermott, J. C. (1982). The influence of ambient and viewbox light upon visual detection of low-contrast targets in a radiograph. *Investigative Radiology*, 17(4):402-405.
- Bevins, N. B., Silosky, M. S., Badano, A., Marsh, R. M., Flynn, M. J., & Walz-Flannigan, A. I. (2020). Practical application of AAPM Report 270 in display quality assurance: a report of Task Group 270. *Medical physics*, 47(9), e920-e928.

- Brennan, P. C., McEntee, M., Evanoff, M., Phillips, P., O'Connor, W. T., & Manning, D. J. (2007). Ambient lighting: effect of illumination on soft-copy viewing of radiographs of the wrist. *American Journal of Roentgenology*, 188(2), W177–W180.
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt Jr., E. M., & Boone, J. M. (2020). *The essential physics of medical imaging*. (4a ed.) Lippincott Williams & Wilkins.
- Chawla, A. S. & Samei, E. (2007). Ambient illumination revisited: A new adaptation-based approach for optimizing medical imaging reading environments. *Medical physics*, 34(1):81–90.
- Diário Oficial da União (2021a). *Instrução normativa in nº 90, de 27 de maio de 2021*. https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-90-de-27-de-maio-de-2021-*413366995. Recuperado em: 20/10/2023.
- Diário Oficial da União (2021b). *Instrução normativa in nº 92, de 27 de maio de 2021*. https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-92-de-27-de-maio-de-2021-*413367192. Recuperado em: 20/10/2023.
- Diário Oficial da União (2021c). *Instrução normativa in nº 93, de 27 de maio de 2021*. https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-93-de-27-de-maio-de-2021-*413249476. Recuperado em: 20/10/2023.
- Diário Oficial da União (2021d). *Instrução normativa in nº 97, de 27 de maio de 2021*. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-97-de-27-de-maio-de-2021-323013930>. Recuperado em: 20/10/2023.
- Diário Oficial da União (2022). *Resolução rdc nº 611, de 9 de março de 2022*. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-611-de-9-de-marco-de-2022-386107075>. Recuperado em: 20/10/2023.
- Jornada, T. & Bandeira, B. E. (2021). Avaliação da luminância e da curva gsdf em monitores médicos primários e em modelos comerciais. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 9(1).
- McEntee, M., Brennan, P., Evanoff, M., Phillips, P., Connor, W. T., & Manning, D. (2006). Optimum ambient lighting conditions for the viewing of softcopy radiological images. In *Medical imaging 2006: Image perception, observer performance, and technology assessment*, Vol. 6146, 260–268.
- Mesquita, B. R., Sousa, D. N., & Santos, L. A. P. (2018). Dispositivo alternativo para uso em controle de qualidade de monitores de imagem empregados no radiodiagnóstico médico. *Scientia Plena*, 14(10).
- Nobre, L. F., Von Wangenheim, A. & Marques, P. M. d. A. (2012). Monitores radiológicos: necessidade ou luxo? (*Editorial*) *Radiologia Brasileira* 45(4).
- Nunes, Isabella P.F., Scolastici, Éric F., & Nersissian, Denise Y. (2019). Implementation of the new TG-270 test standards in the quality control routine of diagnostic monitors. *Proceedings of the 24 Brazilian congress on medical physics*, (p. 567). Brazil
- Pinto, M., Pedro, M., Santos, A., & Saraiva, A. (2012). Controle de qualidade de monitores de diagnóstico por imagem e iluminância nos espaços de pós-processamento em serviços de imagiologia. *Radiologia Brasileira*, 45, 29–34.
- Ribeiro, L. D. & Furquim, T. A. (2010). Estudo do desempenho de monitores lcd em radiologia com imagem digital. *Revista Brasileira de Física Médica*, 4(2), 27–30.
- Samei, E. (2002). New developments in display quality control. In *Quality assurance: meeting the challenge in the digital medical enterprise*. In: Reiner BI, Siegel EL, Carrino JA, eds. *Great Falls, VA: Society for Computer Applications in Radiology*, 71–81.
- Santos, J. R. S. (2023). Estudo comparativo da frequência de realização dos testes que são requeridos pela instrução normativa nº54/19 ms e protocolos internacionais. *Revista Perspectiva: Ciência e Saúde*, 8(1).
- Siriani, E. V., Ferreira, I. H. C., de Oliveira, D. H. F., de Oliveira, L. M., & Oliveira, B. B. (2022). Avaliação do desempenho de monitores de alta resolução em mamografia digital. *Revista Brasileira de Física Médica*, 16, 583–583.
- Travassos, P. C. B., Magalhães, L. A. G., Navarro, M. V., Drexler, G. G., & de Almeida, C. E. (2012). Índice de qualidade em radiologia médica. *Revista Brasileira de Física Médica*, 6(2), 65–68.