

Desenvolvimento de método de avaliação de cor para quantificar eritema:

espaços de cores, análise da interferência da luminosidade

Autores: Pedro Henrique Fernandes Leal¹, Monica Maruno²

Colaborador: César Augusto Sangaletti Terçariol³

^{1, 2, 3} Centro Universitário Barão de Mauá

¹pedrohenriquefleal@hotmail.com, ²monica.maruno@baraodemaua.br

Resumo

A colorimetria é a ciência que analisa e quantifica a forma como a visão humana percebe as cores. O método em desenvolvimento poderá ser utilizado para qualificar a cor da pele. O objetivo do trabalho foi procurar diferentes espaços de cores, cuja principal característica analisada é ser o mais intuitivo à visão humana além de diminuir a interferência luminosa do ambiente. Tomou-se como base os valores RGB analisados no trabalho anterior que apresentou uma possível interferência da luz, percebida por um leve afastamento dos valores preditos das componentes R, G e B. No sistema HSI, foi possível concluir que esse afastamento era causado principalmente pela componente intensidade e que a componente matiz apresentou alto poder de predição, mostrando que este espaço de cor é mais adequado para o objetivo do estudo.

Introdução

A cor é um fenômeno primitivo presente em toda parte. Sua percepção é indissociável de várias esferas desde a ciência à arte. As teorias da cor possuem como base fatores que se associam à forma como esta é percebida e distinguida. Atualmente, emprega-se termos como cor, cor pura, cor saturada, luminosidade e brilho de forma bastante vasta. A distinção entre amarelo, verde, azul entre outras é empregada ao termo "cor". A pureza da cor, também denominada de "saturação", aponta o distanciamento da cor observada em relação a uma cor cinza de mesma intensidade luminosa. A intensidade da luz refletida é a "luminosidade", já o "brilho" retrata sobre a quantidade de luz emitida através de objetos luminosos como lâmpadas (LOPES, 2013).

A percepção da cor deve ser considerada pela conformação do olho humano, que possui visão tri crômica, baseando-se apenas nas cores

azul, verde e vermelho. Na retina, há dois sensores: os bastonetes e os cones. Os cones relacionam-se com a percepção das cores e os bastonetes com a percepção de tons de cinza. Também deve-se levar em consideração a luz visível, que corresponde a um conjunto de vibrações eletromagnéticas percebidas pelos seres humanos. Quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência de oscilação, liberando assim os fótons dos elétrons, dando origem à luz visível, cujo comprimento de onda se encontra na faixa de 380 nm a 740 nm e cuja frequência está entre 405 THz e 790 THz. A luz branca, por sua vez, é formada por todas as cores visíveis, do vermelho ao violeta (ROCHA, 2011).

O olho humano funciona de forma parecida a dos equipamentos de registro de imagem de acordo com a detecção e recepção da luz, focando a luz recebida e fazendo-a convergir na retina, formando uma imagem invertida. Os cones e bastonetes (sensíveis à luz) presentes na retina, convertem os fótons absorvidos em impulsos nervosos que comunicam ao cérebro através do nervo óptico, de onde vem a interpretação em imagem através do cérebro ao processá-los (LOPES, 2013).

Desenvolvimento

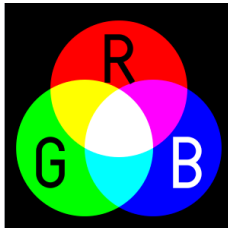
Espaços de cores são modelos matemáticos abstratos que associam cada cor a uma dupla de números reais e permitem a reprodução de cores tanto em representações analógicas como digitais e funcionais.

a) RGB

O espaço de cores RGB é caracterizado pela mistura (aditiva) de três fontes de luz com as cores primárias vermelha (R), verde (G) e azul (B), para produzir qualquer cor do espectro visível. Por exemplo, se projetarmos as luzes vermelha e verde num anteparo de pigmentação branca, obteremos a cor amarela; se projetarmos verde e azul, obteremos ciano; se projetarmos azul e vermelho, obteremos

magenta; se projetarmos vermelho, verde e azul, obteremos branco; e se não projetarmos luz alguma, obteremos preto, ou seja, escuridão (Figura 1).

Figura 1 – Modelo aditivo RGB



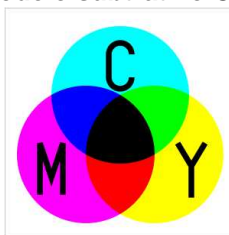
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Espa%C3%A7o_de_cores

Por ser aditivo, o modelo RGB é utilizado em monitores de vídeo e televisores. Além disso, esse espaço de cor é empregado em diversos tipos de aplicativos para análise de imagem, como por exemplo: o PhotoMetrix®, que analisa as imagens de cédulas de dinheiro e indica se é verdadeira ou falsa (VITTORAZZI; COSTA; COELHO; ISIDORO; LIMA; FILGUEIRAS; ROMÃO, 2020; ROCHA, 2011).

b) CMY(K)

O modelo CMY, complementar ao RGB, é caracterizado pela mistura (subtrativa) de três absorvedores de luz com as cores complementares ciano (C), magenta (M) e amarelo (Y). Essas cores complementares absorvem seletivamente as componentes da luz incidente para produzir as demais cores do espectro (Figura 2).

Figura 2 – Modelo subtrativo CMY



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Espa%C3%A7o_de_cores

Por ser subtrativo, o modelo CMY é utilizado em impressoras e artes plásticas. A versão industrial do CMY, é conhecido como CMYK, no qual o preto (K) é adicionado em vez de ser obtido por meio de mistura (SOUZA; CARNEIRO; CANDEIAS, 2009; ROCHA, 2011).

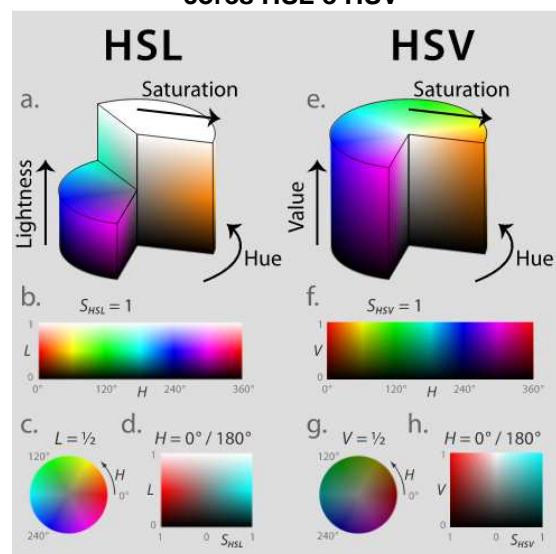
Os modelos de cores RGB e CMYK são essenciais à reprodução de imagens por dispositivos eletrônicos, porém, algumas cores

encontradas na natureza simplesmente não podem ser expressas por nenhum dos dois modelos (cores metálicas, cores fluorescentes, etc.)

c) HSL e HSV

Esses modelos de cores são relativamente novos em relação à sua criação e desenvolvimento. Vieram como forma de inovar a detecção de imagens por tecnologias e afins. Os modelos HSL (Hue, Saturation, Lightness) e HSV (Hue, Saturation, Value) (Figura 3) são duas representações alternativas do modelo de cores RGB e foram projetados na década de 1970 por pesquisadores de computação gráfica representar melhor a percepção de cores pelo sistema visual humano (LEITE, 2006). O modelo HSL é similar a modelos de cores mais perceptivos, como NCS ou Munsell, colocando cores totalmente saturadas em torno de um círculo com um valor de leveza de 1/2, em que os valores de leveza 0 e 1 representam o preto e o branco, respectivamente (FEITOSA, 2015). O HSL (também conhecido como HSI) e HSV são representações em coordenadas cilíndricas, com tonalidades que variam à dimensão angular, começando no vermelho primário em 0°, passando pelo verde primário em 120° e o azul primário em 240°, e retornando ao vermelho em 360° (Figura 3). O eixo vertical central compreende as cores neutras, acromáticas ou cinzentas, variando de preto (valor 0) na parte inferior, a branco (valor 1) na parte superior. (FARIAS, 2016).

Figura 3 – Representação dos espaços de cores HSL e HSV



Fonte: <https://www.hisour.com/pt/color-model-26071/>

O espaço de cores HSL foi inventado em 1938 por Georges Valensi como um sistema alternativo às transmissões televisivas monocromáticas (ou seja, apenas contendo o canal L), permitindo que os receptores existentes na época recebessem transmissões em cores sem modificação, já que o canal Luminance (L) não foi modificado. Seu modelo baseou-se, mais em como as cores são organizadas e interpretadas na visão humana em termos de outros atributos de criação de cores, como tonalidade, leveza e croma (TSAI; TSENG, 2012).

Os modelos HSV e HSL, são comumente usados em modelos de detecção visual robótica (BORA; GUPTA; KHAN, 2015). As aplicações incluem detecção de objetos, por exemplo, na visão do robô; reconhecimento de objetos, por exemplo, texto ou placas; recuperação de imagens baseada em conteúdo; e análise de imagens médicas (ANAIS DA CONFERÊNCIA ICCASP, 2016). HSB e HLS foram desenvolvidos para especificar Matiz, Saturação e Brilho numéricos (ou Hue, Lightness e Saturação) para que os usuários consigam especificar cores numericamente. As formulações usuais de HSB e HLS são falhas em relação às propriedades da visão colorida. Outros sistemas foram desenvolvidos para os usuários escolherem cores visualmente ou escolher cores relacionadas a outras mídias (como PANTONE). Tais sistemas são baseados na percepção denominados $L^*u^*v^*$ e $L^*a^*b^*$. (PALOMERA; VILLASANTE; MARTINEZ; GONZALEZ; ZAPATA, 2018; ANAIS DA CONFERÊNCIA ICCASP, 2016)

Conversão de RGB para HSI

A partir dos parâmetros vermelho, verde e azul do modelo RGB, é possível obter os parâmetros do modelo HSI, por meio da transformação não linear de coordenadas dada pelas Equações 1 a 4 (GONZALEZ; WOOD, 2009):

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (1)$$

é a intensidade,

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad (2)$$

é a saturação (indefinida para $I = 0$), e

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{se } B \leq G \\ 360 - \theta, & \text{se } B > G \end{cases} \quad (3)$$

é a matiz (indefinida para $S = 0$), onde

$$\theta = \arccos \left[\frac{R - \frac{G+B}{2}}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B) \cdot (G-B)}} \right] \quad (4)$$

Nessas equações, os valores de R , G e B estão restritos ao intervalo real fechado $[0, 1]$. Em um arquivo de imagem digitalizada, cada pixel possui valores inteiros de R , G e B que variam de 0 a 255 (8 bits ou 1 byte). Por isso, é necessário normalizar esses valores, dividindo cada um deles por 255.

d) $L^*a^*b^*$

O espaço de cor $L^*a^*b^*$, também conhecido como espaço de cor CIELAB, é atualmente o mais popular e mais utilizado dos espaços uniformes usados para avaliar as cores, pois correlaciona consistentemente os valores de cor com a percepção visual. Indústrias como as de plástico, tintas, impressão, alimentos e têxtil, além de universidades, utilizam este espaço para identificar, comunicar e avaliar os atributos da cor além das inconsistências ou desvios de uma cor padrão (BARCELLOS, 2011).

Quando as cores são ordenadas, elas podem ser expressas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação. Com a criação de escalas para esses atributos pode-se expressar cores de forma precisa. (BARCELLOS, 2011)

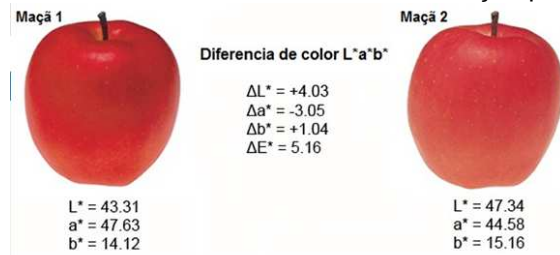
O espaço de cor $L^*a^*b^*$ foi criado após a teoria de cores opostas, onde duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo (BORA; GUPTA; KHAN, 2015).

O sistema $L^*a^*b^*$ é parametrizado por:

- L^* = Luminosidade
- a^* = Coordenada cromática vermelho/verde
- b^* = Coordenada cromática amarelo/azul

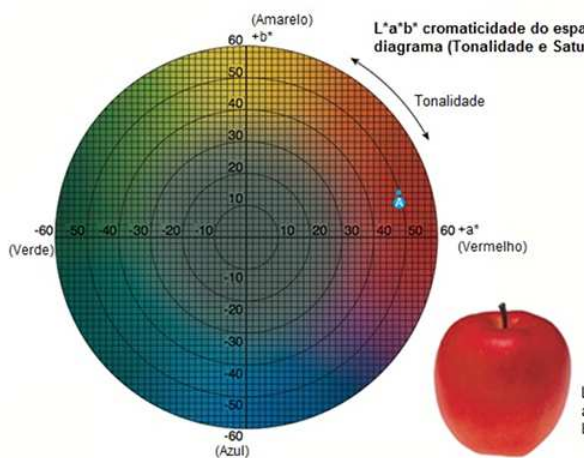
Espectrofotômetros e colorímetros são instrumentos de medição que fazem a quantificação desses atributos de cor. Eles medem a luz refletida, por um objeto, em cada comprimento de onda ou em faixas específicas e então quantificam os dados espectrais para determinar, em termos numéricos, as coordenadas de cor do objeto no espaço $L^*a^*b^*$ (GONZALEZ; WOOD, 2009).

Quando se mede a cor de uma maçã, por



exemplo, o instrumento de medição, mostra os valores de L*a*b*, apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Coordenadas L*a*b* para detecção de cores



Fonte:

<https://textil.sp.senai.br/5287/entendendo-o-espaco-de-cor-l-a-b>

Para medir o quão distante estão as cores de uma amostra e de um padrão, são calculadas as diferenças ΔL , Δa e Δb entre cada par de coordenadas de cor L*, a* e b*. Essas diferenças podem ser negativas ou positivas:

- ΔL^* = diferença entre mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro)
- Δa^* = diferença em vermelho e verde (+ = vermelho e - = verde)
- Δb^* = diferença em amarelo e azul (+ = amarelo e - = azul)

A diferença total ΔE^* entre as cores é calculada pela métrica euclidiana: $\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2}$, que é sempre positiva (GONZALEZ; WOOD, 2009).

A partir dos valores mostrados Figura 5, pode-se concluir objetivamente que as maçãs não têm cores iguais. Esses valores nos dizem que a Maçã 1 é levemente mais escura, mais vermelha e menos amarela do que a Maçã 2.

Figura 5 – Diferenças ΔL^* , Δa^* , Δb^* e ΔE^* entre duas fotografias.

Fonte:

<https://textil.sp.senai.br/5287/entendendo-o-espaco-de-cor-l-a-b>

O espaço de cor L*a*b* pode ser utilizado para estudar cores de eritema de pele (NISCHIK; FORSTER, 1997; BORA; GUPTA; KHAN, 2015)

Objetivos

Objetivo geral

Padronizar um método de avaliação de cor com vistas à avaliação de eritema pós-peeling.

Objetivos Específicos

Estudar espaços de cor mais intuitivos à visão humana e mais adequados para a análise sem interferência da iluminação.

Método

Foram fotografados, com máquina fotográfica digital Nikon D3100, 282 padrões de cores (amostra aleatória) a partir do livro "Colour Index XL: More than 1,100 New Palettes with CMYK and RGB Formulas for Designers and Artists" (KRAUSE, 2017). As imagens digitais foram lidas por uma rotina em Python, que calculou, para cada arquivo, as médias dos valores de vermelho (R), verde (G) e azul (B) de todos os pixels e gravou esses resultados numa planilha Excel. Juntamente com esses dados experimentais, foram digitados manualmente os valores padrão RGB (presentes no livro) de cada cor. Foi aplicado o método dos mínimos quadrados para obter a equação matricial de regressão linear múltipla que permite estimar os valores padrão \hat{R} , \hat{G} e \hat{B} a partir dos valores experimentais r , g e b .

$$\begin{bmatrix} \hat{R} \\ \hat{G} \\ \hat{B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,697 & -0,126 & -0,042 \\ -0,255 & 1,505 & 0,142 \\ -0,125 & -0,094 & 1,179 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 39,04 \\ 41,41 \\ 42,76 \end{bmatrix}$$

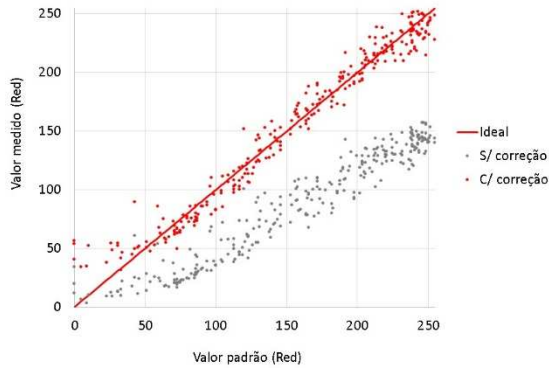
com matriz de correção angular sem matriz de correção deslocamento

Em seguida, os dados em RGB foram transformados para o espaço de cor HSI. A qualidade da estimativa, em ambos os espaços de cores, foi medida pelo coeficiente de determinação r^2 , que pode variar de 0 (ausência de predição) a 1 (predição perfeita).

Resultados e Discussão

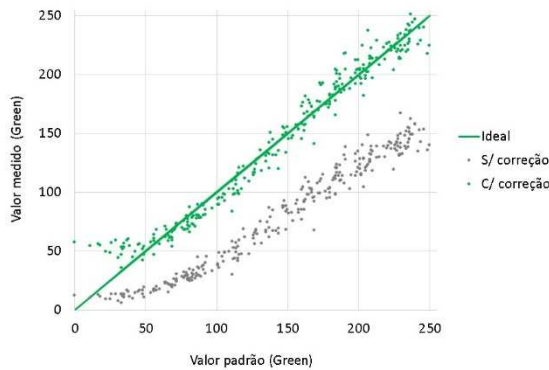
No espaço de cor RGB, as estimativas apresentaram um forte poder de predição ($r^2 > 0,95$), como mostram os Gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente vermelho (R).



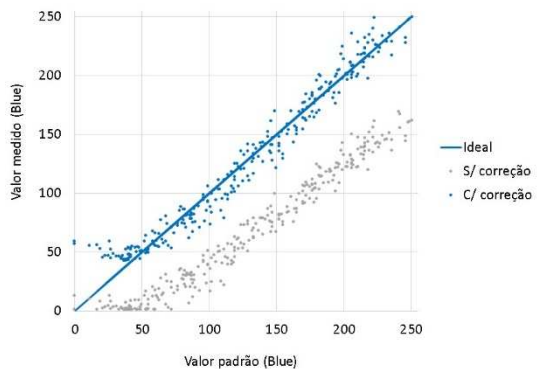
$$r^2 = 0,9621$$

Gráfico 2 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente verde (G).



$$r^2 = 0,9647$$

Gráfico 3 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente azul (B).

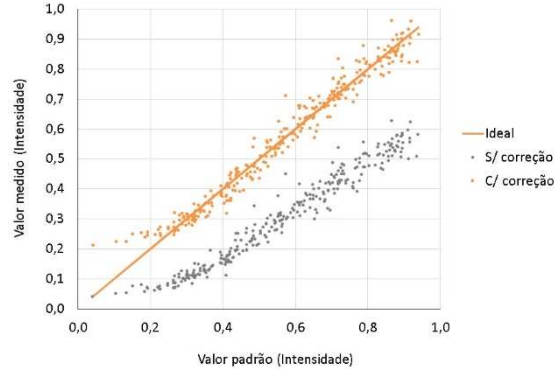


$$r^2 = 0,9608$$

Porém, para valores baixos de r , g e b , a predição se desviava sistematicamente para valores superiores aos valores padrão. Ao transformar os dados para o espaço de cor HSI, foi possível detectar que esse desvio

sistemático era causado principalmente pela componente intensidade (I), como mostra o Gráfico 4.

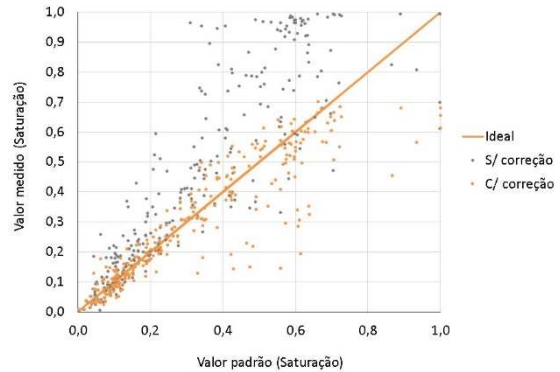
Gráfico 4 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente intensidade (I).



$$r^2 = 0,9669$$

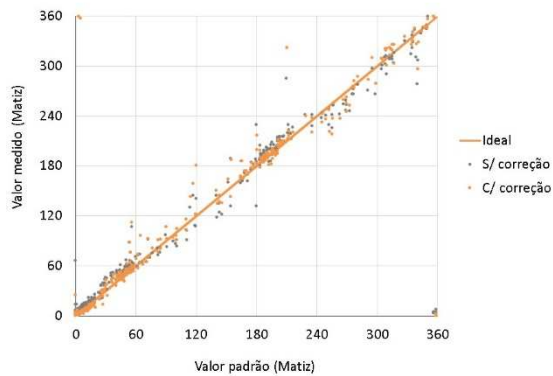
Também foi possível observar (Gráfico 5) que o poder de predição foi menor para a componente saturação (S). Por outro lado, a componente matiz (H) apresentou um poder de predição superior às demais componentes (Gráfico 6).

Gráfico 5 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente saturação (S).



$$r^2 = 0,8192$$

Gráfico 6 – Valores experimentais (com e sem correção) da componente matiz (H).



$$r^2 = 0,9869$$

Vale observar que os pontos nos extremos superior esquerdo e inferior direito do Gráfico 6 não são *outliers*, pois ambos os eixos desse gráfico representam uma coordenada angular e são, por isso, uma escala cíclica, e não linear.

Conclusão

A análise e quantificação de cores no espaço HSI apresenta várias vantagens em relação ao espaço RGB: a interferência da iluminação ambiente afeta apenas a componente intensidade (I); os valores experimentais da componente matiz (H) apresentam alto poder de predição, já que, mesmo sem correção, tais valores se aproximam muito dos valores ideais. Para estudos futuros, cabe investigar as causas da baixa predição da componente saturação (S) e explorar outros espaços de cores.

Referências

ANAIAS DA CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE COMUNICAÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS 2016 (ICCASP 2016), 2016, Lomere. **Detecção de pele humana usando modelos de cores RGB, HSV e YCbCr**. Lomere: Atlantis Press, 2016. 9 f. Disponível em: <https://www.atlantispress.com/proceedings/iccasp-16/25871632>. Acesso em: 31 mar. 2021.

BARCELLOS, Robson. **Novo método de mapeamento de espaços de cor através de redes neurais artificiais especializadas**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18155/tde-04102011->

075505/publico/Robson.pdf. Acesso em: 31 mar. 2021.

BORA, Dibya Jyoti; GUPTA, Anil Kumar; KHAN, Fayaz Ahmad. Comparing the Performance of L*A*B* and HSV Color Spaces with Respect to Color Image Segmentation. **International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering**, Nova Delhi, v. 5, n. 2, p. 192-203, fev. 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1506/1506.01472.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

FARIAS, Renan Dozzo. **ESPAÇO DE CORES, MORFOLOGIA MATEMÁTICA E EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES**. 2016. 82 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/20338/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20DO%20MESTRADO%20-%20RENAN.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

FEITOSA, Rafael Divino Ferreira. **Modelos matemáticos para redução do espectro provável e detecção de tons de pele humana em imagens coloridas representadas nos espaços de cores RGB e HSV**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4756>. Acesso em: 31 mar. 2021.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento Digital de Imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 626 p.

LEITE, Frederico Nogueira. **Calibração de dispositivos à cores utilizando uma câmera digital**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6897/1/2006_FredericoNogueiraLeite.pdf. Acesso em: 31 mar. 2021.

LOPES, João Manuel Brisson, *Cor e Luz*. 2013. 47f. Dissertação para Disciplina de Computação Gráfica – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em:

<<http://disciplinas.ist.utl.pt/leic-cg/textos/livro/Cor.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2018.

NISCHIK, M.; FORSTER, C.. Analysis of skin erythema using true-color images. **IEEE Transactions On Medical Imaging**, [S.L.], v. 16, n. 6, p. 711-716, dez. 1997. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/42.650868>.

PALOMERA, Martin Arechiga; VILLASANTE, Fernando Vega; MARTINEZ, Cynthia Montoya; GONZALEZ, Adriana Mendoza; ZAPATA, Daniel Badillo. Background color effect on the pigmentation of prawn *Macrobrachium tenellum*. **Latin American Journal Of Aquatic Research**, [S.L.], v. 46, n. 3, p. 610-614, 10 jul. 2018. Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-16>. Acesso em: 27 jun. 2020.

ROCHA, João Carlos. **COR LUZ, COR PIGMENTO E OS SISTEMAS RGB E CMY**. 2011. Disponível em: <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/3/cor-luz-cor-pigmento-e-os-sistemas-rgb-e-cmy.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

RODRIGUES, Lucas Cerqueira. **SISTEMA COMPUTACIONAL DE MEDIDAS DE COLORAÇÕES HUMANAS PARA EXAME MÉDICO DE SUDORESE**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/267736/1/Rodrigues_LucasCerqueira_M.pdf. Acesso em: 4 jul. 2020.

SOUZA, Léa Queiroz Valongo de; CARNEIRO, Lorena Iumatti Siqueira; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. Modelos de Cores CMY e YIQ no SPRING e no MATLAB para Análise Visual de Imagens IKONOS e CBERS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: Remoto, 2009. p. 7173-7180. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.05.47/doc/7173-7180.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

TSAI, Shun-Hung; TSENG, Yu-Hsiang. A novel color detection method based on HSL color space for robotic soccer

competition. **Computers & Mathematics With Applications**, [S.L.], v. 64, n. 5, p. 1291-1300, set. 2012. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.073>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.073>. Acesso em: 31 mar. 2021.

VITTORAZZI, Bruno; COSTA, Rayana; COELHO, Larissa; ISIDORO, Marsele; LIMA, Kássio; FILGUEIRAS, Paulo; ROMÃO, Wanderson. CLASSIFICANDO CÉDULAS BRASILEIRAS (R\$) USANDO ANÁLISE DE IMAGEM POR SMARTPHONE. **Química Nova**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 1-8, 10 jun. 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170508>. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170508>. Acesso em: 31 mar. 2021.