

CONSTÂNCIA DE COR EM SEQUÊNCIAS DE IMAGENS

JOSEMAR SIMÃO*, HANS-JÖRG ANDREAS SCHNEEBELI†, RAQUEL FRIZERA VASSALLO†

**Instituto Federal do Espírito Santo - IFES*

Campus Guarapari -

Est. da Tartaruga, sn - Muquiçaba - Guarapari, ES, Brasil

†*Universidade Federal do Espírito Santo - UFES*

Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Elétrica

Av. Fernando Ferrari, sn - Goiabeiras - Vitória, ES, Brasil

Emails: josemars@ifes.edu.br, hans@ele.ufes.br, raquel@ele.ufes.br

Abstract— The color constancy problem, that is, the perception of the color of a surface as invariant under changing illumination, is very important in applications such as the outdoor navigation of a mobile robot. The algorithms for color constancy are generally targeted to static images. In this paper, algorithms, that can be used in image sequences, are tested and evaluated using images obtained by a conventional camera in a path with changing illumination. The Pseudo-Inverse Algorithm (Konzen and Schneebeli, 2007) presented the best results.

Keywords— Color Constancy, Computer Vision, Mobile Robotics.

Resumo— A constância de cor, isto é, a percepção da cor de uma superfície como sendo invariante sob condições variáveis de iluminação, é muito importante em aplicações como as de navegação de um robô em um ambiente externo. As abordagens empregadas no problema da constância de cor estão focadas em imagens estáticas. Neste artigo, algoritmos de constância de cor aplicáveis a sequência de imagens são testados e avaliados no caso de imagens obtidas ao longo de um percurso com grandes variações de iluminação usando uma câmera convencional. O método da Pseudo-Inversa (Konzen and Schneebeli, 2007) apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave— Constância de Cor, Visão Computacional, Robótica Móvel.

1 Introdução

A cor é uma representação da interação entre iluminante, sensor e refletância, sendo esta última a única informação característica de um dado objeto observado. Na mente humana a percepção da cor é uma interpretação psicofísica da refletância envolvendo a retina e o córtex (Land et al., 1971). A constância de cor é o fenômeno no qual a percepção da cor dos objetos tende a manter-se constante mesmo quando há mudança na composição espectral do iluminante. Entretanto, a forma como a mente humana implementa a constância de cor ainda não é completamente entendida (Gijssen et al., 2011).

As cores são normalmente representadas usando o modelo tricromático RGB em que o valor de cada canal medido na posição x da imagem é dado por:

$$C_k(x) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_k(\lambda)R(\lambda, x)E(\lambda, x)d\lambda \quad (1)$$

Onde $R(\lambda, x)$ é a curva de refletância da superfície no ponto x , $E(\lambda, x)$ é a distribuição espectral de energia da fonte de luz incidente no ponto x , $S_k(\lambda)$ é a curva de sensibilidade do sensor em cada canal, k é um dos canais red, green ou blue do sensor RGB e $[\lambda_1, \lambda_2]$ é o intervalo de comprimento de onda de resposta do sensor.

Sistemas de visão artificial medem diferentes valores RGB de uma cor quando as condições de

iluminação variam. Isto prejudica o desempenho dos algoritmos de visão computacional tais como segmentação, rastreamento e reconhecimento de objetos quando aplicados sobre imagens estáticas. Em sequências de imagens onde há variação temporal da iluminação os resultados são ainda piores.

A solução do problema de constância de cor pode ser a representação da imagem em questão como obtida sob uma iluminação padrão, dita canônica. Para isso normalmente se considera que as superfícies são lambertianas, que o espectro de iluminação é uniforme em toda imagem, que os efeitos da geometria dos objetos e dos ângulos de incidência e reflexão são mínimos e que as curvas espectrais dos sensores são banda estreita sem sobreposição (Ebner, 2007).

Neste trabalho a constância de cor sobre sequências de imagens será avaliada considerando: 1) uso de uma câmera semi-profissional comum no mercado. 2) presença de um conjunto de cores conhecidas nas imagens. 3) imagens capturadas em ambientes comuns com forte variação de iluminação. 4) uso de um parâmetro objetivo nas avaliações desconsiderando a aparência das imagens originais e corrigidas. 5) métodos de constância de cor que não necessitam de treinamentos.

Este artigo está assim organizado: Na Seção 2 é feita uma revisão dos algoritmos de constância de cor. Na Seção 3 são apresentados os métodos de avaliação utilizados nos experimentos. A Seção 4 descreve os experimentos e os resultados

dos algoritmos de constância de cor aplicados sobre sequências de imagens. Na Seção 5 estão as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 Algoritmos de constância de cor

Os algoritmos de constância de cor podem ser separados em três categorias: 1) os estáticos; 2) os baseados no gamut de cores e 3) os baseados em aprendizagem. A primeira categoria engloba os algoritmos cujos parâmetros de ajustes são mantidos fixos ou estáticos. As outras duas abrangem os algoritmos cujos modelos precisam ser treinados antes de serem aplicados na obtenção da constância de cor (Gijssen et al., 2011).

Estes algoritmos normalmente são avaliados utilizando-se um conjunto de imagens sintetizadas (Barnard et al., 2002) ou imagens reais de ambientes naturais e cenas do cotidiano (Nascimento et al., 2002). Entre as métricas utilizadas na avaliação quantitativa das imagens corrigidas pode-se destacar o erro angular médio, a distância média e o erro médio quadrático medidos em relação às imagens de referência (Renno et al., 2005).

Muitos artigos abordam o problema da constância de cor considerando o modelo de dimensão finita em que um conjunto de duas ou três funções base representa as refletâncias das superfícies e outro representa as curvas espectrais dos iluminantes (Buchsbaum, 1980; Gershon et al., 1987; Forsyth, 1990). Em alguns casos o modelo é avaliado com dados baseados nas funções de sensibilidade das células cones da visão humana (Finlayson et al., 1993). Além disso, quando se considera a curva dos sensores como funções delta obtém-se um modelo diagonal de transformação em que os elementos da diagonal são definidos pela razão entre os componentes RGB da iluminação canônica I' e os componentes da iluminação do ambiente I (Ebner, 2007).

$$\begin{bmatrix} R_{corr.} \\ G_{corr.} \\ B_{corr.} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I'_r}{I_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{I'_g}{I_g} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{I'_b}{I_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{orig.} \\ G_{orig.} \\ B_{orig.} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Esta modelagem conduz a uma estratégia de correção de cores que se divide em duas etapas. Na primeira estima-se, com base na imagem, a cor do iluminante da cena, $I = (i_r, i_g, i_b)^T$, e na segunda aplica-se a correção na imagem. Os diversos algoritmos existentes implementam diferentes técnicas de se determinar este iluminante. Entre os algoritmos estáticos mais conhecidos pode-se citar o algoritmo *Gray-World* que supõe como sendo cinza a refletância média em uma cena sob luz neutra (Buchsbaum, 1980) e qualquer desvio dessa média é devido à cor do iluminante (Equação 3). k é a constante que torna unitário o módulo da cor do iluminante.

$$\begin{bmatrix} i_r \\ i_g \\ i_b \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} R_{medio} \\ G_{medio} \\ B_{medio} \end{bmatrix} \quad (3)$$

O algoritmo *Max-RGB* supõe que a resposta máxima dos canais R, G e B, Equação 4, é devido a uma superfície branca perfeita de onde pode-se obter a cor do iluminante (Land, 1977).

$$\begin{bmatrix} i_r \\ i_g \\ i_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \max(R) \\ \max(G) \\ \max(B) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Outro algoritmo é o *Gray-Edge* baseado na hipótese de que a variação média de cor nas bordas é acromática e que a derivada parcial da distribuição das cores é maior na direção da fonte de iluminação (van de Weijer et al., 2007).

Estes algoritmos aplicam-se principalmente a imagens estáticas e que possuam uma composição de cores bem heterogênea. Pouquíssimos trabalhos tratam da constância de cor aplicada à sequências de imagens e mais raros ainda são aqueles onde há mudanças de ambientes constantemente. Por exemplo, Sridharan and Stone (2004) aplicam constância de cor em um esquema de futebol de robôs. Na fase de treinamento todo espaço de cor é mapeado para apenas dez cores existentes no ambiente que são corrigidas quando há variação da iluminação. Em Renno et al. (2005) é feita uma análise comparando os algoritmos *Gray World* e *Gamut-mapping* aplicados sobre sequências de imagens geradas em sistemas de vigilância. Agarwal et al. (2006) faz uma análise dos algoritmos de constância de cor avaliando suas vantagens e desvantagens em aplicações de rastreamento de vídeo e conclui que a dependência deles a respeito das suposições adotadas restringem seu uso em aplicações práticas onde não há restrições.

Almonfrey et al. (2011) utiliza um controlador servo-visual na navegação de um robô em ambiente externo sob iluminação natural. Ele emprega um esquema de cores conhecidas nas cenas pelas quais se obtém uma matriz pseudo-inversa de transformação (Konzen and Schneebeli, 2007). Nesta abordagem as cores capturadas sob iluminação desconhecida são multiplicadas por uma matriz $T_{3 \times 3}$ obtendo as cores corrigidas. A matriz $T_{3 \times 3}$ é determinada por m cores cujos os componentes RGB sob iluminação canônica " c " e sob iluminação desconhecida " d " são conhecidos. Quando m é maior que o número de canais de cor a matriz T é uma pseudo-inversa que implementa um processo de minimização utilizando mínimos quadrados.

$$T = [c^1, \dots, c^m][d^1, \dots, d^m]^{-1} \quad (5)$$

3 Método de avaliação

Um vídeo contendo cenas de ambientes comuns fornece a sequência de imagens que serão corrigidas pelos algoritmos de constância de cor. Presentes nas imagens há um conjunto permanente de cores conhecidas que são comparadas com os valores de referência. A estabilidade das cores corrigidas durante o trajeto percorrido indicará a eficiência de cada algoritmo.

3.1 Câmera de vídeo

A câmera de vídeo utilizada é uma *SONY DSC-H9*. Ela possui um sensor da série ICX636 com resolução máxima de 3264x2448 pixels dispostos no padrão Bayer. Um filtro de cores primárias é utilizado neste sensor e possui curvas típicas de sensibilidade nos canais RGB (Figura 1).

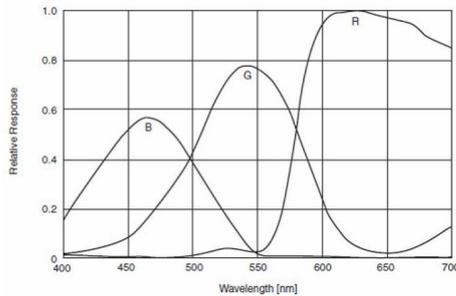


Figura 1: Curva típica de sensibilidade do sensor (SONY, 2013).

Observa-se que as curvas se sobrepõem em intervalos do espectro de radiação sendo muito diferentes de uma função delta.

3.2 Cores presentes nas cenas

As cores conhecidas e presentes em todas as cenas são obtidas a partir de um cartão do tipo *Macbeth ColorChecker*. Este cartão possui 24 placas coloridas numeradas de 01 a 24 (Figura 2) sendo que 18 delas servirão de referência. Os nomes das cores e os valores dos canais no padrão sRGB para o iluminante D65 são mostrados na Tabela 1.



Figura 2: Cartão com as placas coloridas.

Este cartão foi preso à câmera para que fique estático em relação à cena. Ele é montado inclinado, mas durante a filmagem a câmera é posicio-

Nº	nome	R	G	B
1	dark skin	115	82	68
2	light skin	194	150	130
3	blue sky	98	122	157
4	foliage	87	108	67
5	blue flower	133	128	177
6	bluish green	103	189	170
7	orange	214	126	44
8	purplish blue	80	91	166
9	moderate red	193	90	99
10	purple	94	60	108
11	yellow green	157	188	64
12	orange yellow	224	163	46
13	blue	56	61	150
14	green	70	148	73
15	red	175	54	60
16	yellow	231	199	31
17	magenta	187	86	149
18	cyan	8	133	161

Tabela 1: Valores RGB das placas coloridas no padrão sRGB para iluminante D65 (X-Rite, 2009).

nada para que o cartão fique na horizontal exposto à iluminação ambiente (Figura 3).

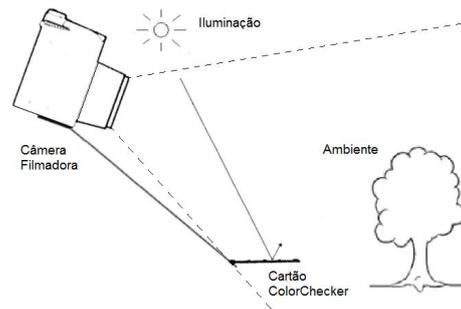


Figura 3: Posicionamento da câmera e do cartão de cores em relação ao ambiente.

Estas cores, descontada a correção gama¹, foram projetadas no plano unitário que corta o cubo RGB nos pontos (1,0,0), (0,1,0) e (0,0,1) formando um triângulo. Isto facilita a visualização do posicionamento relativo das cores abstraído a informação de intensidade. As coordenadas tridimensionais dos pontos projetados são dadas pelas equações:

$$r = \frac{R}{R + G + B}; g = \frac{G}{R + G + B}; b = \frac{B}{R + G + B}$$

Apenas as cores (01 a 18) que possuem baixa sensibilidade do matiz foram utilizadas nos experimentos. Este grupo foi dividido em outros dois, sendo o primeiro (cores 01, 03, 04, 07, 08, 10, 12, 14, 15 e 16) utilizado para se assistir o comportamento das cores sob mudança de iluminação durante o

¹Esta correção torna linear a relação entre o valor da intensidade da cor e brilho produzido nos monitores.

trajeto. O segundo (cores 02, 05, 06, 09, 11, 13, 17 e 18) utilizado para gerar as correções a serem aplicadas nas imagens pelo algoritmo descrito em Almonfrey et al. (2011) e Konzen and Schneebeli (2007). O branco absoluto está localizado no centro deste triângulo (Figura 4).

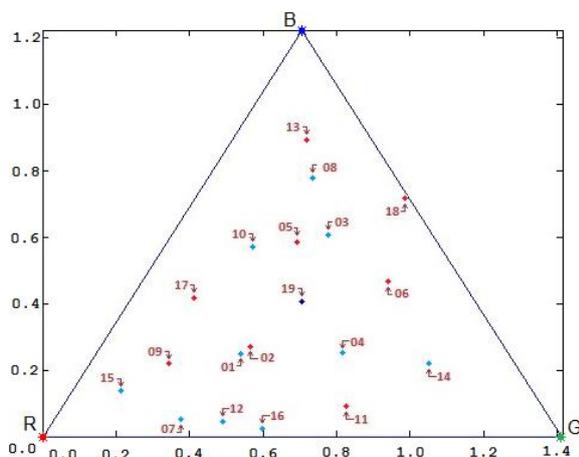


Figura 4: Cores de 01 a 19 projetadas no plano do triângulo unitário.

3.3 Produção do vídeo

O vídeo, com resolução 240x320, foi produzido filmando-se um trajeto que atravessa três zonas com diferentes fontes de iluminação. A primeira zona é um ambiente externo, sujeito à iluminação natural, mas sem incidência direta da luz do Sol sobre as cores observadas. A zona seguinte abrange dois ambientes cujas iluminações são produzidas por lâmpadas fluorescentes levemente esverdeadas. A terceira zona possui iluminação fluorescente de tom avermelhado. Em torno do quadro 2663, de um total de 5000, há um ponto de simetria já que o vídeo continua no caminho inverso até alcançar o ambiente externo novamente.

A cor da placa 19 (branco) foi medida para cada ambiente (Tabela 2) em pontos próximos à fonte de iluminação. Estes valores fornecem uma noção da cor do iluminante. Além da diferença

Ambiente	R	G	B	Placa 19
Externo	255	255	255	
1º Lâmp. Fluor.	238	252	181	
2º Lâmp. Fluor.	164	175	116	
3º Lâmp. Fluor.	200	162	61	

Tabela 2: Valores RGB médios da placa 19 (branco) nos quatro ambientes.

nos valores, deve-se destacar que a curva espectral da iluminação natural e aquela produzida por uma lâmpada fluorescente são muito diferentes. Na Figura 5 pode-se observar as curvas padronizadas

pelo CIE das fontes D65 e F11 que se aproximam da iluminação do Sol e de lâmpadas fluorescentes respectivamente.

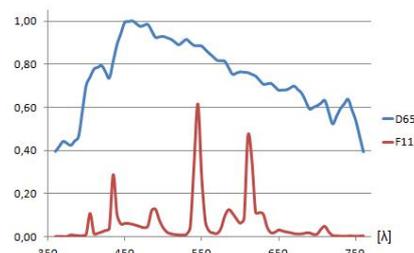


Figura 5: Distribuição de potência espectral relativa dos iluminantes D65 e F11 (CIE, 2004).

O balanço de branco automático existente na câmera foi desligado e um ajuste de branco foi feito antes do início do vídeo utilizando-se uma superfície branca exposta à iluminação externa.

3.4 O parâmetro de avaliação

O matiz, presente no espaço de cor HSV, será utilizado como parâmetro de avaliação uma vez que está associado à componente espectral predominante em uma cor. Ele será gerado para as cores assistidas presentes nas imagens capturadas e nas imagens corrigidas permitindo a comparação dos algoritmos de constância de cor. A Figura 6 mostra o matiz de referência das cores assistidas. Eles foram obtidos a partir dos valores da Tabela 1. O somatório do erro do matiz das cores da imagem capturada e das imagens corrigidas por cada algoritmo também serão comparados.

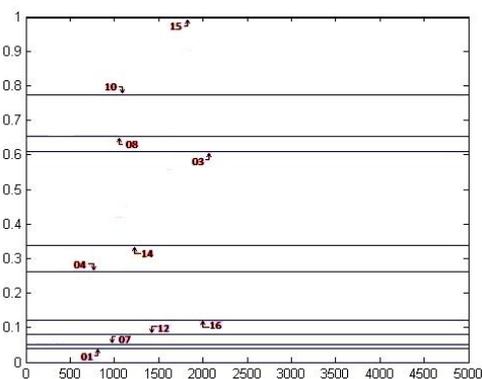


Figura 6: Matiz de referência das cores assistidas.

3.5 Algoritmos de constância de cor avaliados

O foco está sobre os algoritmos estáticos, ou seja, aqueles que não necessitam de treinamentos. Assim, os algoritmos a serem utilizados são *Gray World*, *Max-RGB*, *Gray-Edge* e *Pseudo-Inversa*. Os três primeiros seguem a implemen-

tação² de van de Weijer et al. (2007). O quarto algoritmo utiliza o segundo conjunto de cores do ColorChecker que foram separadas para se estimar as transformações.



Figura 7: Retângulo 7x7 para obtenção da cor média.

4 Ensaios e resultados

Os ensaios foram executados no MATLAB extraindo-se a cor média das placas coloridas em cada quadro de vídeo. A área considerada foi um retângulo 7x7 centrado na placa (Figura 7). Cada cor média no espaço RGB é convertido para o espaço HSV e o matiz (H) é plotado tanto para as imagens capturadas como para as corrigidas.

O primeiro gráfico contém a curva do matiz das imagens capturadas (Figura 8). Uma linha horizontal também foi plotada para indicar o matiz de referência. As curvas do matiz das imagens corrigidas pelos algoritmos citados anteriormente estão nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

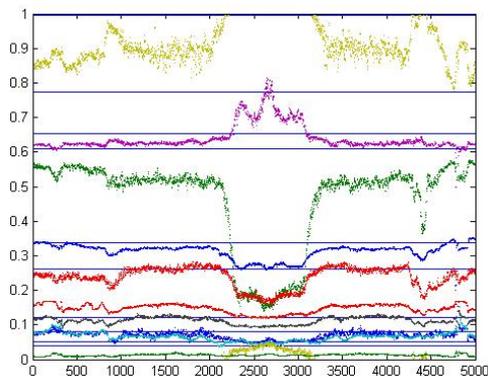


Figura 8: Matiz das cores na imagem capturada.

O somatório da diferença entre o matiz das cores capturadas e das cores de referência indica quanto a imagem capturada foi afetada pela variação da iluminação. Este mesmo somatório aplicado às imagens corrigidas revela quanto um algoritmo aproxima as cores de suas referências. A Tabela 3 sintetiza este somatório para cada situação.

²O código fonte está disponível em http://colorconstancy.com/?page_id=19.

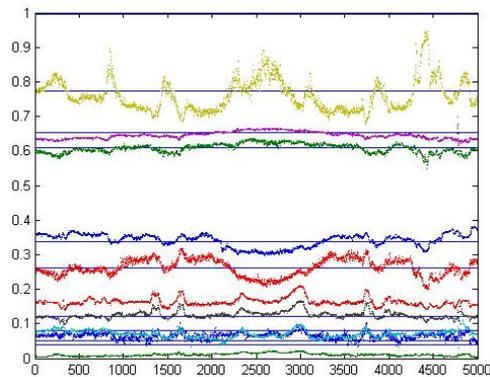


Figura 9: Matiz corrigido pelo algoritmo Gray-World.

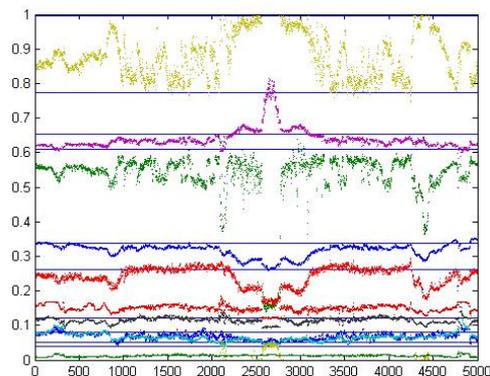


Figura 10: Matiz corrigido pelo algoritmo Max-RGB.

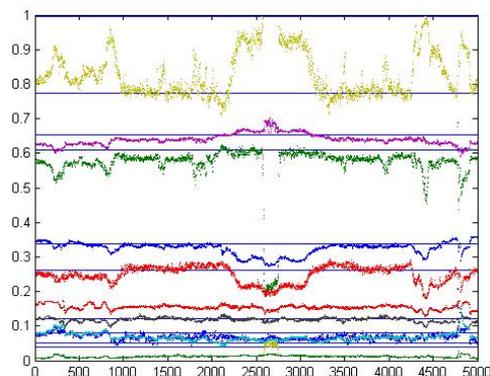


Figura 11: Matiz corrigido pelo algoritmo Gray-Edge.

Situação	Erro Absoluto	redução do erro
Original	2504	0%
Gray-World	1232	51%
Max-RGB	1928	23%
Gray-Edge	1478	41%
Pseudo-Inversa	1016	59%

Tabela 3: Somatório do erro do matiz.

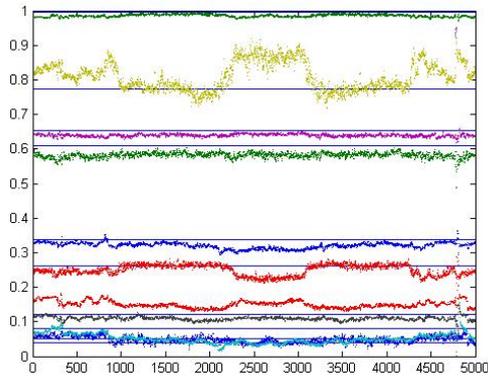


Figura 12: Matiz corrigido pelo algoritmo Pseudo-Inversa.

5 Conclusões

Verifica-se por meio dos gráficos que os algoritmos Max-RGB e Gray-Edge apresentaram uma resposta muito ruidosa enquanto que os algoritmos Gray-World e Pseudo-Inversa foram mais estáveis. Além disso, os métodos Pseudo-Inversa e Gray-World apresentaram os menores erros acumulados. O método da Pseudo-Inversa é 20% mais preciso que o método Gray-World. No entanto, é necessário que se conheçam algumas cores nas cenas. Um trabalho futuro é iniciar o vídeo com uma referência do cartão de cores e nos quadros seguintes, sem a necessidade do cartão, estimar a correção utilizando as cores do ambiente.

Referências

- Agarwal, V., Abidi, B. R., Koschan, A. and Abidi, M. A. (2006). An overview of color constancy algorithms, *Journal of Pattern Recognition Research* **1**(1): 42–54.
- Almonfrey, D., Frizzera Vassallo, R., Konzen, A., Andreas Schneebeli, H.-J. and Buback Covre, V. (2011). Uso da constância de cor na robótica móvel, *X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI'11)*, pp. 1256–1261.
- Barnard, K., Cardei, V. and Funt, B. (2002). A comparison of computational color constancy algorithms. i: Methodology and experiments with synthesized data, *Trans. Img. Proc.* **11**(9): 972–984.
- Buchsbaum, G. (1980). A Spatial Processor Model for Object Colour Perception, *Journal of the Franklin Institute* **310**(1): 1–26.
- CIE (2004). *Colorimetry CIE 15:2004*, CIE technical report, 3 edn, Commission internationale de l'Éclairage, CIE Central Bureau.
- Ebner, M. (2007). *Color Constancy*, 1st edn, Wiley Publishing.
- Finlayson, G. D., Drew, M. S. and Funt, B. V. (1993). Diagonal transforms suffice for color constancy, *In ICCV93*, pp. 164–171.
- Forsyth, D. A. (1990). A novel algorithm for color constancy, *Int. J. Comput. Vision* **5**(1): 5–36.
- Gershon, R., Jepson, A. D. and Tsotsos, J. K. (1987). From [r,g,b] to surface reflectance: computing color constant descriptors in images, *Proceedings of the 10th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 2, IJCAI'87*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., pp. 755–758.
- Gijsenij, A., Gevers, T. and van de Weijer, J. (2011). Computational color constancy: Survey and experiments, *Trans. Img. Proc.* **20**(9): 2475–2489.
- Konzen, A. and Schneebeli, H.-J. A. (2007). O problema da constância de cor em visão computacional, *VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*.
- Land, E. (1977). *The Retinex Theory of Color Vision*, Scientific American offprints, W.H. Freeman Company.
- Land, E. H., John and McCann, J. (1971). Lightness and retinex theory, *Journal of the Optical Society of America* pp. 1–11.
- Nascimento, S. M. C., Ferreira, F. P. and Foster, D. H. (2002). Statistics of spatial co-excitation ratios in natural scenes, *J. Opt. Soc. Am. A* **19**(8): 1484–1490.
- Renno, J.-P., Makris, D., Ellis, T. and Jones, G. A. (2005). Application and evaluation of colour constancy in visual surveillance, *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCCN '05*, IEEE Computer Society, pp. 301–308.
- SONY (2013). Semiconductor & component. Disponível em: <<http://www.sony.net/Products/SC-HP/datasheet/01/data/E05719.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2013.
- Sridharan, M. and Stone, P. (2004). Towards on-board color constancy on mobile robots., *CRV*, IEEE Computer Society, pp. 130–137.
- van de Weijer, J., Gevers, T. and Gijsenij, A. (2007). Edge-based color constancy, *Trans. Img. Proc.* **16**(9): 2207–2214.
- X-Rite (2009). Colorchecker classic. Disponível em: <http://xritephoto.com/documents/literature/en/ColorData-1p_EN.pdf>. Acesso em: 10 maio 2013.