

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS *CAMPUS* AVANÇADO POÇOS DE
CALDAS INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

MURILO SILVA CARROZZA LEMOS

**APRIMORAMENTO DO CÓDIGO-FONTE DO SENSOR TCS3200 PARA
UTILIZAÇÃO NA AFERIÇÃO DE CORES DA PALETA DO “KIT LABCON TEST
AMÔNIA TÓXICA ÁGUA DOCE”**

Poços de Caldas – MG

2019

MURILO SILVA CARROZZA LEMOS

**APRIMORAMENTO DO CÓDIGO-FONTE DO SENSOR TCS3200 PARA
UTILIZAÇÃO NA AFERIÇÃO DE CORES DA PALETA DO “KIT LABCON TEST
AMÔNIA TÓXICA ÁGUA DOCE”**

Trabalho apresentado como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia da
Universidade Federal de Alfenas,
Campus Poços de Caldas
Orientador prof.: Dr. Laos Alexandre
Hirano

Poços de Caldas – MG

2019

RESUMO

Muitos processos químicos demandam o trabalho manual do operador para se realizar uma determinada análise, como é o caso dos processos que utilizam de indicadores/colorímetros para se medir a concentração de uma substância no sistema químico. Pensando na aplicação futura de se automatizar estes processos de uma maneira custo-eficiente, o presente trabalho teve por objetivo aprimorar o código-fonte de um sensor de cores RGB TCS3200 por meio de relações matemáticas simples afim de utilizá-lo com melhor acurácia dentro da paleta de cores dada pelo kit “labconTest Amônia Tóxica Água Doce”. Com a correção matemática aplicada ao código foi evidenciado uma grande aproximação entre as cores medidas pelo sensor e replicadas pelo software Photoshop com aquelas tomadas como medição.

Palavras-chave: indicadores, sensor de cores, RGB

ABSTRACT

Many chemical processes require the operator's manual work to perform a particular analysis, such as processes that use indicators to measure the concentration of a substance in the chemical system. Thinking about the future application of automating these processes in a cost-efficient way, the present work aimed to improve the source code of a TCS3200 RGB color sensor through simple mathematical relations in order to use it more accurately within color palette given by “labconTest Amônia Tóxica Água Doce” kit. The mathematical correction applied to the code showed a great approximation between the colors measured by the sensor and replicated by Photoshop software with those taken as measurement.

Keyword: color sensor, RGB, TCS3200

Lista de ilustrações

Figura 1 - Espectro Eletromagnético e luz visível	6
Figura 2 - Sensibilidade relativa do olho humano à variadas cores	7
Figura 3 - Decomposição da luz branca por um prisma.....	7
Figura 4 - Esquema de funcionamento do sensor de cores TCS3200	9
Figura 5 - Chip TCS3200 com seus 64 fotodiodos.	10
Figura 6 - Hardware do sensor TCS3200.....	11
Figura 7- Cores captadas pelo sensor após calibração; sem correção	20
Figura 8 - Comparativo entre as cores captadas pelo sensor calibrado, sem correção, com as cores de referência.....	20
Figura 10 - Comparativo entre as cores captadas pelo sensor após correção com as cores de referência.	24

Lista de tabelas

Tabela 1 - Combinações de níveis lógicos possíveis para escolha da cor de leitura.....	11
Tabela 2 - Combinações de níveis lógicos possíveis para seleção da escala de frequência.....	12
Tabela 3 - Valores RGB para as cores-padrão geradas no Photoshop, sem calibração	14
Tabela 4 - Linhas do código-fonte referentes à calibração do sensor	15
Tabela 5 - Linhas do código-fonte referentes à correção das frequências azuis	17
Tabela 6 - Linhas do código-fonte referentes à correção das tonalidades claras da cor verde.....	17
Tabela 7 - Linhas do código-fonte referentes à correção das tonalidades escuras da cor verde	18
Tabela 8 - Valores RGB medidos após calibração do sensor.....	19
Tabela 9 - Correção das frequências azuis	21
Tabela 10 - Correção das tonalidades claras de verde.....	22
Tabela 11 - Correção das tonalidades escuras de verde	23
Tabela 12 - Valores RGB obtidos pela leitura do sensor após correções aplicadas.....	23

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	OBJETIVO	5
2.1.	OBJETIVO GERAL	5
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1.	Luz e cor;	5
3.2.	Sistema RGB	8
3.3.	Sensor TCS3200;.....	9
3.4.	Colorímetro	12
3.5.	Kit labconTest Amônia Doce Água Tóxica	13
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1.	Material utilizado	13
4.2.1.	Paleta de cores padrão.....	14
4.2.2.	Calibração.....	14
4.2.3.	Medição das cores padrão	16
4.2.4.	Correção matemática do código	16
4.2.4.1.	Correção dos valores da frequência azul (B) da leitura RGB.....	16
4.2.4.2.	Correção da leitura das tonalidades claras da cor verde	17
4.2.4.3.	Correção da leitura das tonalidades escuras da cor verde	18
4.2.5.	Medição das cores padrão com o código ajustado.....	18
5.	RESULTADOS	19
5.1.	Calibração.....	19
5.2.	Resultado da correção dos valores das frequências azuis	21
5.3.	Resultado da correção das tonalidades claras da cor verde	22
5.4.	Resultado da correção das tonalidades escuras da cor verde	22
5.5.	Resultado da medição com as correções aplicadas ao sensor.....	23
6.	CONCLUSÃO	24
7.	SUGESTÕES PARA APLICACÇÕES FUTURAS.....	25
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

O emprego de técnicas manuais para a aferição da concentração de substâncias químicas em determinados sistemas a partir de indicadores específicos é a forma mais comum e amplamente encontrada de se realizar a medição destas concentrações.

Ao passo que novas tecnologias são empregadas nessa avaliação, as mesmas se destinam a grandes empresas e produtores e possuem um alto valor de aquisição.

O sensor TCS3200 é um dispositivo de baixo custo cuja função é identificar cores. No entanto, este sensor apresenta baixa resolução se trabalhado em um grande espectro de cores e tonalidades simultaneamente, ou se utilizado com códigos de programação convencionalmente encontrados na internet. A fim de melhorar o desempenho do TC3200 e já visando futuras aplicações de mercado, o presente trabalho teve por objetivo integrar um dispositivo capaz de reconhecer cores com este sensor e realizar correções matemáticas em um código fonte simples encontrado na internet para melhorar a sua eficiência dentro do espectro tonal entre as cores amarelo e verde escuro.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

- Desenvolvimento de um dispositivo capaz de reconhecer cores dentro do espectro entre o amarelo e o verde.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Integrar um dispositivo capaz de reconhecer cores utilizando o sensor de cores TCS3200;
- Ajustar um código fonte encontrado na internet para melhorar a sua resolução dentro do espectro de cores entre as cores amarelo e verde escuro.

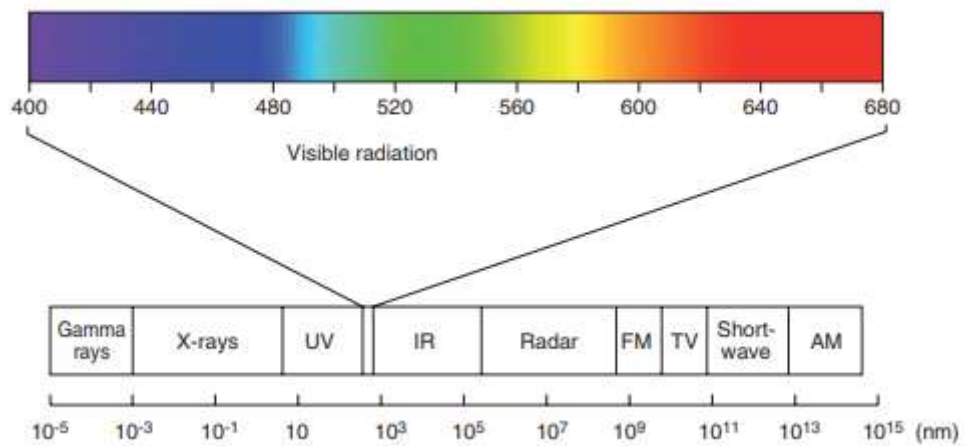
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Luz e cor;

Antes de se entender o conceito de cor, é necessário saber que a luz é uma onda que se propaga no espaço por meio de campos elétricos e magnéticos, ou seja, é uma onda eletromagnética.

O espectro eletromagnético é dividido de acordo com o comprimento de onda, sendo que a luz visível está alocada em um pequeno segmento de todo o espectro, uma vez que seu comprimento de onda varia de aproximadamente 400nm à 680nm, enquanto o espectro eletromagnético total não tem limites definidos (HALLIDAY, 2008). A Figura 1 mostra o Espectro Eletromagnético com e os respectivos comprimentos de luz visível.

Figura 1 - Espectro Eletromagnético e luz visível



Fonte: SCHWARTZ, 2010.

O comprimento de onda e a frequência da radiação eletromagnética são inversamente proporcionais entre si, segundo a relação (1):

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

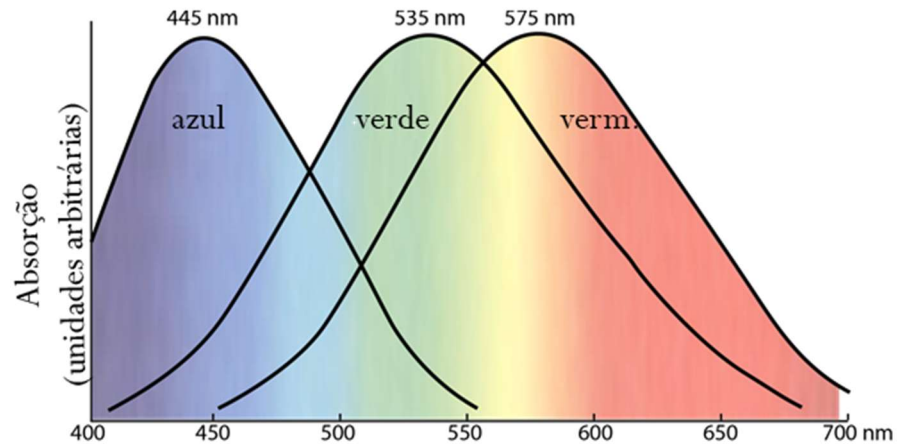
ν = frequência da luz;

c = velocidade da luz;

λ = comprimento de onda da luz;

Cada comprimento de onda dentro do segmento da luz visível corresponde à sensação visual que temos para uma determinada cor. A Figura 2 mostra a sensibilidade relativa do olho humano à comprimentos de onda distintos:

Figura 2 - Sensibilidade relativa do olho humano à variadas cores



Fonte: NAVE, 2019.

A luz branca, por sua vez, é composta pela radiação de diversos comprimentos de onda e, uma vez que o índice de refração é inversamente proporcional ao comprimento de onda, quando direcionada a um prisma origina as demais cores do espectro da luz visível (SCHWARTZ, 2010), como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Decomposição da luz branca por um prisma



Fonte: SEARS, 2016.

A cor que enxergamos em um determinado objeto é resultado do fenômeno de reflexão do comprimento de onda referente àquela cor pelo objeto em questão, de modo que

todos os outros comprimentos de onda que este objeto recebe são absorvidas por ele. Assim, tem-se que, por exemplo, um objeto vermelho tem propriedades que o fazem capaz de refletir a luz vermelha, ao passo que absorve as demais cores.

No entanto, segundo Sears (2016), “a natureza ondulatória da luz, não é suficiente para explicar tudo. Diversos efeitos associados à emissão e absorção da luz revelam a natureza corpuscular da luz, no sentido de que a energia transportada pela onda luminosa é concentrada em pacotes distintos conhecidos como *fótons* ou *quantum*”. Devido a isso, tem-se o que é conhecido por dualidade onda-partícula da luz: ora a luz se comporta como onda, ora como partícula.

3.2. Sistema RGB

De acordo com Pedrosa (1982), as cores tem classificação e nomenclatura de acordo com suas características e formas de manifestação, podendo então serem divididas em cores primárias, secundárias, terciárias, cores quentes, frias e complementares.

No presente estudo, o foco é encontrado na definição das cores primárias que, ainda segundo Pedrosa, “é cada uma das três cores indecomponíveis que, misturadas em proporções variáveis, produzem todas as cores do espectro”.

Existem dois processos de criação das demais cores a partir das primárias: o aditivo e o subtrativo. No processo aditivo, as cores são criadas pela emissão de luz, que é o caso das telas de computadores e de outros dispositivos em geral. O sistema de cores RGB é um processo aditivo, de modo que quando as intensidades da cor vermelha, verde e azul forem máximas, ter-se-á a cor branca (WONG, 1997).

No sistema RGB com um conversor de 8 bits, as intensidades de cada uma das três cores primárias variam de 0 a 255, o que totaliza 256 (2^8) valores para cada componente de cor, possibilitando a criação de mais de 16 milhões de cores secundárias como um todo.

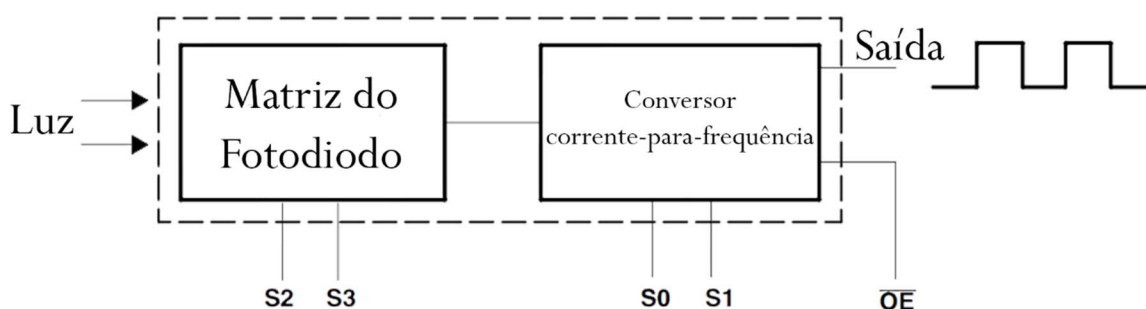
Segundo Drew & Meyer (2005), o modelo RGB equivale aos cones do olho humano, sendo que estes são capazes de formar a sensação referente às cores vermelha, verde e azul.

A título de curiosidade, no processo subtrativo as cores são subtraídas em escala e o resultado maior é a formação da cor preta. Este processo é utilizado em pigmentação em meios de impressão que utilizam o sistema de cores CYM, onde normalmente têm-se como substrato de impressão a cor branca.

3.3. Sensor TCS3200;

O sensor de cores TCS3200 é um sensor capaz de detectar várias cores com base em seus comprimentos de onda. Este sensor possui conversores de luz-para-frequência que trabalham combinando fotodiodos de silício com um conversor corrente-para-frequência dentro de um único circuito integrado, sendo que em sua saída tem-se uma onda quadrada com frequências diretamente proporcionais a intensidade luminosa (DATASHEET). A Figura 4 representa um diagrama do funcionamento do sensor de cores TCS3200.

Figura 4 - Esquema de funcionamento do sensor de cores TCS3200



Fonte: TAOS, 2009

No hardware encontra-se 64 fotodiodos, sendo 16 com filtro para a cor vermelha, 16 com filtro para a cor verde, 16 com filtro para a cor azul e 16 neutros, ou seja, sem filtro, sendo que estes fotodiodos são responsáveis por captar a intensidade luminosa, filtrar as cores em análise e gerar as informações que serão enviadas pelo pino “OUT”, que é a saída do sensor para o microcontrolador. Além destes fotodiodos, o hardware do TCS3200 também conta com 4 LEDs brancas que servem para iluminar o objeto que terá suas cores analisadas pelo sensor. A Figura 5 mostra o chip do sensor TCS3200 com seus 64 fotodiodos.

Figura 5 - Chip TCS3200 com seus 64 fotodiodos.



Fonte: SANTOS, 2019.

Ainda no hardware do sensor observa-se duas fileiras com 5 pinos, sendo os pinos “S0”, “S1”, “S2” e “S3” os responsáveis pelo controle do sensor, o pino “LED” o responsável pelo controle de uma possível LED externa, o pino “OUT” o responsável por emitir as informações para o microcontrolador e os pinos “VCC” e “GND” os pinos de alimentação do sensor. O hardware do sensor de cores TCS3200 é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Hardware do sensor TCS3200



Fonte: SANTOS, 2019.

A fim de se escolher a cor a ser lida, utiliza-se os pinos de controle S2 e S3. Uma vez que os fotodiodos estão conectados em paralelo, combinando-se os níveis lógicos “LOW” (0) e “HIGH” (1) de diferentes formas ter-se-á a leitura das cores, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Combinações de níveis lógicos possíveis para escolha da cor de leitura

Pino		Fotodiodo
S2	S3	
Low	Low	Vermelho
Low	High	Azul
High	Low	(Sem filtro)
High	High	Verde

Fonte: Autor

Já para se selecionar a escala da frequência de saída entre os valores de 2%, 20% e 100%, pré-estabelecidos pelo sensor, afim de se otimizar o sensor de acordo com o microcontrolador utilizado, toma-se uma das combinações de níveis lógicos para os pinos S0 e S1, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Combinações de níveis lógicos possíveis para seleção da escala de frequência

Pino		Nível de frequência de saída
S0	S1	
Low	Low	Desligado
Low	High	2%
High	Low	20%
High	High	100%

Fonte: Autor

3.4. Colorímetro

A ciência que estuda a cor de acordo com a percepção humana é denominada Colorimetria. Para se ter um modelo colorimétrico, é necessário garantir que duas amostras distintas que possuem uma mesma cor sejam representadas numericamente com um valor igual enquanto amostras de cores diferentes sejam representadas com valores desiguais (FRASER; MURPHY; BUNTING, 2005).

Colorímetros são instrumentos utilizados no estudo da colorimetria e se referem a dispositivos capazes de caracterizar amostras com base em sua cor, determinando a absorbância e a transmitância de uma solução dentro de um espectro específico de frequência luminosa (WEST; KAPLAN, 2019).

Segundo Leite (2006), “O princípio de ação do colorímetro é separar as componentes RGB da luz. Este equipamento utiliza filtros: vermelho, verde e azul para medir a cor e produz um resultado numérico em um espaço de cor independente.”

3.5. Kit labconTest Amônia Doce Água Tóxica

O Kit labconTest Amônia Doce Água Tóxica é um produto utilizado para quantificar amônia em sistemas de água doce de forma manual e dispõe de dois reagentes químicos que são utilizados como indicadores em uma determinada amostra de água. O primeiro reagente é composto por fenol, nitroprussiato de sódio, álcool isopropílico e água destilada, enquanto o segundo é formado por hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e água destilada.

Além dos reagentes, o kit conta com uma proveta e uma escala de cores impressa para que, após a adição dos indicadores, a amostra possa ser comparada com uma das sete cores dispostas, sendo que cada cor representa uma concentração específica de amônia na água, dado em partes por milhão (ppm), partindo do amarelo até o verde escuro, motivo pelo qual o mesmo foi escolhido para compor a realização do trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Material utilizado

O presente trabalho foi realizado utilizando-se o sensor de cores TCS3200 conectado a um Arduino UNO, sendo o mesmo ligado a um Notebook Samsung modelo NP270E5G-XE1BR com processador Intel® Core™ i5-3230M CPU 2.60GHz, memória RAM de 8,00GB, sistema operacional Windows 10 Pro 64bits e resolução de vídeo 1366 x 728. Os softwares utilizados foram o Arduino IDE 1.8.10 e o Adobe Photoshop 2015.0.0. A paleta de cores estabelecida como padrão foi baseada nas cores padrões de análise do kit labconTest de Amônia Tóxica Água Doce.

4.2. Metodologia

4.2.1. Paleta de cores padrão

O sensor TCS3200 possui baixa acurácia quando utilizado para medir as diversas tonalidades de uma mesma cor. Com a finalidade de se analisar este efeito e, se possível, melhorá-lo, já visando uma possível futura aplicação, adotou-se como referência de cores padrão aquelas estabelecidas pela labconTest em seu kit medidor de amônia para sistemas de água doce, no qual cada cor corresponde à uma concentração específica de amônia quando adicionado os indicadores do kit à água em análise, variando de amarelo até verde escuro, em um total de 7 cores.

Com o software de edição de fotos Adobe Photoshop CC 2015, foram geradas cores no sistema RGB com o intuito de se chegar o mais próximo possível das cores observadas à olho nu na tabela do labconTest. Os valores RGB utilizados para se obter tais cores estão dispostos na Tabela 3 e foram posteriormente utilizados como padrão para a medição de cores com o sensor.

Tabela 3 - Valores RGB para as cores-padrão geradas no Photoshop, sem calibração

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	255	253	175	136	109	57	0	0
G	255	255	186	181	162	106	92	47
B	255	1	8	29	45	44	43	13

Fonte: Autor

A paleta de cores gerada pelo Photoshop foi impressa em uma folha de papel sulfite tamanho A4 em uma renomada gráfica da cidade para que, desta forma, pudesse ter suas cores medidas pelo sensor TCS3200 acoplado ao hardware Arduino UNO.

4.2.2. Calibração

Cada vez que o sensor é ligado em um ambiente diferente deve-se realizar a calibração do mesmo, uma vez que a variação de luminosidade pode interferir na leitura dos valores. Para realizá-la, foi utilizada a função *map* do Arduino, que “remapeia um número **de** um intervalo **para** outro. Isto é, um valor de **deMenor** seria

mapeado para **paraMenor**, um valor de **deMaior** para **paraMaior**, valores dentro de uma faixa para valores dentro da outra faixa, etc.” (REFERENCIAR ARDUINO), o que possibilita transcrever os valores de base do sensor para o sistema RGB, no qual cada valor de vermelho, verde ou azul varia de 0 (menos presente) à 255 (mais presente).

Na etapa de calibração, ligou-se o sensor utilizando o código fonte no software Arduino sem direcioná-lo a nenhum objeto próximo e fez-se a média dos 10 maiores valores para cada uma das variáveis (R, G e B) estabelecidas, afim de posteriormente convertê-las para o valor “0” do sistema RGB com a função *map*, representando a ausência de cores nesta situação.

No software Adobe Photoshop, foram geradas as cores primárias do sistema RGB (R,G,B) que foram impressas em papel e utilizadas na calibração do sensor, de modo que, com a utilização da função *map*, o valor máximo das variáveis de frequência analisada ficasse mais próximo possível do padrão estabelecido no devido sistema, ou seja: vermelho (255,0,0), verde (0,255,0) e azul (0,0,255).

As linhas do código fonte que representam a calibração realizada estão demonstradas na Tabela 7.

Tabela 4 - Linhas do código-fonte referentes à calibração do sensor

```
frequencyRED = map(frequencyRED, 27,273,255,0);

frequencyGREEN = map(frequencyGREEN, 27,250,255,0);

frequencyBLUE = map(frequencyBLUE, 19,184,255,0);
```

Fonte: Autor

4.2.3. Medição das cores padrão

Com o sensor devidamente calibrado no sistema RGB e a folha A4 impressa com as cores geradas pelo Photoshop a partir da referência do kit labconTest, foi realizada a medição das cores.

A fim de melhor padronizar o experimento, a distância estabelecida entre o sensor e a folha a ser medida foi o equivalente a altura das LEDs do hardware do TC3200, de modo que estes se encostassem à folha no momento da medição.

Cada cor foi medida individualmente, começando pelo branco, depois indo do amarelo ao verde mais escuro, passando pelas demais tonalidades de verde.

4.2.4. Correção matemática do código

Pela paleta de cores geradas no Photoshop a partir da aferição da paleta padrão pelo sensor, viu-se que havia uma clara distinção entre a tonalidade das cores, porém estas não se aproximavam daquelas esperadas pela leitura de acordo com os objetos medidos. Afim de se aproximar, no sistema RGB, as cores lidas pelo sensor daquelas que estão sendo visualizadas a olho nu, buscou-se por relações entre os valores de leitura com os valores esperados para as cores em medição, afim de corrigi-los por aproximações matemáticas.

4.2.4.1. Correção dos valores da frequência azul (B) da leitura RGB

A primeira observação notável foi que havia grande discrepância entre os valores RGB lidos daqueles esperados para as frequências azul. Para melhorar estes valores, tomamos as 3 cores da tabela da referência cujos valores estavam mais próximos entre si e os dividimos pelos respectivos valores da tabela de medição. Desta forma, o “Verde 3” medido da tabela de referência foi dividido pelo “Verde 3” da tabela de medição, repetindo-se o mesmo para o “Verde 4” e “Verde 5” e, posteriormente, fazendo-se a média entre os três valores. O valor obtido foi multiplicado pela variável *frequencyBLUE* no código.

A título de explicação, foi realizada a manipulação entre os três valores de azul que eram mais próximos entre si e não entre todos os valores uma vez que, como alguns valores se distanciam muito uns dos outros, nenhuma aproximação razoável seria possível tomada sua

média, o que ainda manteria todos os valores longe daqueles tomado como referência. Com isto, melhoramos a acurácia de medição da frequência azul no maior número possível de cores.

Tabela 5 - Linhas do código-fonte referentes à correção das frequências azuis

```
frequencyBLUE = frequencyBLUE*.3;
```

Fonte: Autor

4.2.4.2. Correção da leitura das tonalidades claras da cor verde

Na análise empírica da medição de cores com o sensor TCS3200, as medidas feitas pelo aparelho ainda se diferenciavam muito das cores em análise, mesmo após a correção da leitura de luz azul, como fora descrita anteriormente.

As leituras referentes às tonalidades claras da cor verde (verde 1, 2 e 3) não retornavam resultados satisfatórios, tendendo sempre a cores “pastel”. Para corrigir esta mazela, sem interferir na leitura da cor amarela, que já estaria próxima de seus valores de referência após a correção da frequência azul captada, adotou-se que, quando os valores RGB das frequências verde e vermelha medidas fossem simultaneamente menores do que 240, ou seja, quando não fossem amarelo, os valores RGB das frequências vermelhas deveriam ser multiplicados pela aproximação da média da fração das frequências vermelhas das cores “Verde 1”, 2 e 3 da tabela de referência (Tabela 3) pelas respectivas cores medidas. Por método análogo, os valores RGB das frequências verdes foram corrigidos.

Tabela 6 - Linhas do código-fonte referentes à correção das tonalidades claras da cor verde

```
if (frequencyRED < 240 && frequencyGREEN<240){
    frequencyGREEN = frequencyGREEN*.85;
    frequencyRED = frequencyRED*0.6;
}
```

Fonte: Autor

4.2.4.3. Correção da leitura das tonalidades escuras da cor verde

Corrigidas as cores amarelo e verdes de tonalidade clara, restou apenas a correção das tonalidades escuras da cor verde. Porém, como este ajuste vem após a correção da tonalidade do verde claro, que necessariamente interferiu nas tonalidades escuras, os valores do Verde 4, 5 e 6 foram analisados por último. Para tal ajuste, observou-se que, na tabela de referência, as frequências vermelhas para as cores em correção tendiam a 0, enquanto nos valores obtidos após correção das tonalidades claras do verde, apresentavam sempre valores inferiores à 100.

Para corrigir os problemas encontrados, foi adotado que, quando o valor da frequência vermelha fosse menor do que 100, tal frequência deveria retornar o valor como sendo 0, enquanto que a frequência verde deveria retornar a multiplicação de uma fração pelo seu valor, por metodologia análoga aquela descrita na correção das tonalidades claras da cor verde, ou seja, foi-se feito a média dos valores da frequência verde nas cores Verde 4, Verde 5 e Verde 6 da tabela de referência e tal média foi dividida pela média das frequências verdes das respectivas cores dadas após a correção das tonalidades claras, de modo que o valor retornado para esta fração fosse multiplicado pela variável *frequencyGREEN*. As linhas do código que representam o ajuste e a tabela com os valores ajustados esperados são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Linhas do código-fonte referentes à correção das tonalidades escuras da cor verde

```
if (frequencyRED < 100){

    frequencyRED = 0;
    frequencyGREEN = frequencyGREEN*.6;
```

Fonte: Autor

4.2.5. Medição das cores padrão com o código ajustado

Para avaliar a funcionalidade do código corrigido, refizemos a medição das cores padrão, impressas em papel sulfite A4, adotando a altura das LEDs do TC3200 como distância padrão entre o sensor e o objeto medido.

5. RESULTADOS

5.1. Calibração

Na observação empírica, viu-se que, sem a calibração, as cores medidas pelo sensor eram mais presentes quanto mais próximo de zero e mais ausentes quanto mais longe de zero, o que não corresponde ao método de análise no sistema RGB, pois para os valores que deveriam representar a ausência de cores, ou seja, a cor “preta”, os números obtidos para as frequências de vermelho, verde e azul foram R=273, G=250 e B=184, enquanto que na medição das cores do papel, que deveriam representar a presença máxima das cores, foi-se obtido os valores R=27, G=27 e B=19.

O problema da incongruência entre os valores obtidos e àqueles obtidos pelo sistema de cores RGB foi resolvido com a calibração dada pela função *map*, de modo que quanto mais próximo de zero, mais ausente e quanto mais próximo de 255, mais presente eram as cores.

Os valores medidos para as cores padrão após a calibração estão dispostos na Tabela 8.

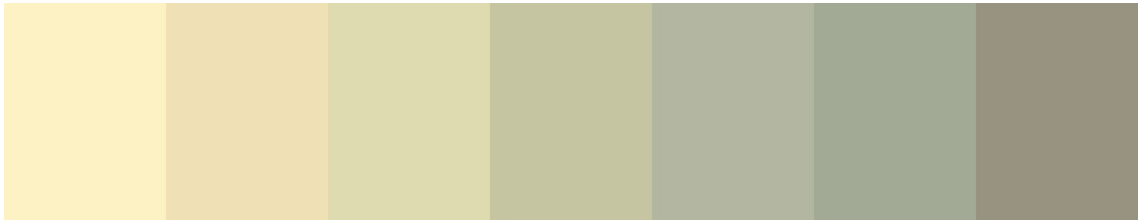
Tabela 8 - Valores RGB medidos após calibração do sensor

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	254	253	239	222	197	179	162	152
G	255	242	225	219	197	182	170	147
B	254	195	181	177	161	160	149	129

Fonte: Autor

A paleta de cores gerada no Adobe Photoshop a partir dos dados da Tabela 8, ignorando-se a cor branca, é mostrada na Figura 7.

Figura 7- Cores captadas pelo sensor após calibração; sem correção



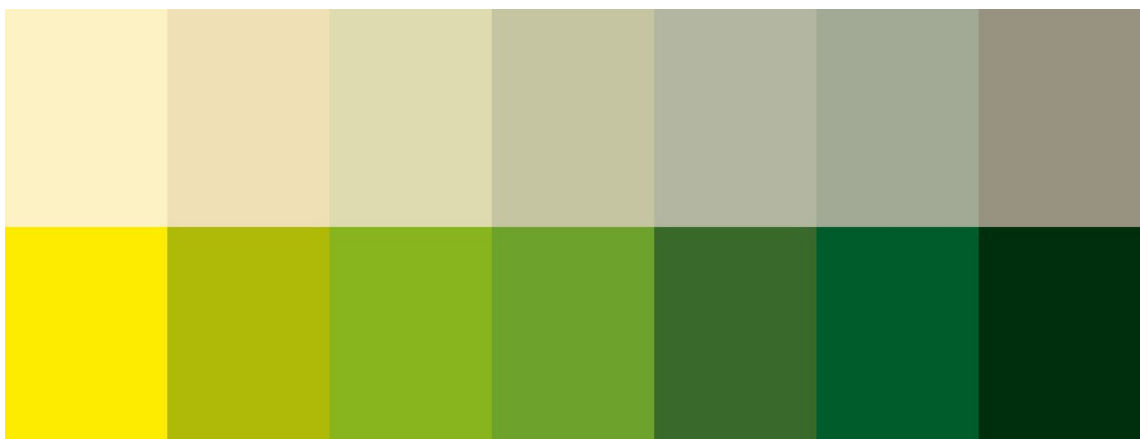
Fonte: Autor

A partir da comparação a olho nu entre as cores geradas no Photoshop a partir das medições do sensor calibrado na escala RGB e as cores estabelecidas como referência, percebe-se que em ambas há uma variação de tonalidade que vai de uma cor mais clara para uma mais escura, passando por cores intermediárias.

No entanto, quando comparadas uma a uma, as cores apresentadas pela leitura do sensor diferiam-se muito daquelas tomadas como padrão, pois enquanto neste a paleta de cores varia do amarelo ao verde escuro, transitando entre outras tonalidades de verde, nas cores averiguadas pelo sensor a paleta varia do bege ao cinza escuro, percorrendo também outras tonalidades de cinza.

A Figura 8 mostra a distinção das cores captadas pelo sensor TCS3200 utilizando-se um código sem correção matemática em relação àquelas estabelecidas como referência, ambas geradas no software Adobe Photoshop.

Figura 8 - Comparativo entre as cores captadas pelo sensor calibrado, sem correção, com as cores de referência.



Fonte: Autor

Com a leitura do sensor exemplificada na Figura 8, um observador poderia facilmente visualizar que existe uma clara variação de tonalidade entre as medições, porém não teria nenhuma precisão quanto as cores que estão sendo avaliadas de fato se não dispusesse destas a olho nu.

Empiricamente, o sensor apresenta uma precisão razoável em distinguir as cores primárias da luz (vermelho, verde e azul), porém tem baixa acurácia em identificar cores secundárias e intermediárias. Uma hipótese para esta observação é que os fotodiodos do sensor TCS3200, dispostos em uma matriz com filtros vermelho, verde e azul, sofrem grande interferência de luminosidade ambiente ou mesmo das próprias LEDs brancas do hardware que iluminam o objeto para avaliação das cores, dado que a luz branca é composta por todas as demais cores.

5.2. Resultado da correção dos valores das frequências azuis

Com a aproximação realizada para os valores da frequência azul, observou-se uma aproximação mais razoável para os valores da frequência azul medidos se comparados àqueles dados como referência. Esta correção já permitiria uma leitura muito próxima para a cor amarela. No entanto, apenas com esta correção, as leituras para as cores verdes ainda não eram satisfatórias.

Esta aproximação, no entanto, não valeria para a cor branca, visto que o branco representa a presença de todas as cores em seus valores máximos no sistema RGB, ou seja, $R=255$, $G=255$ e $B=255$ e, com a fração aplicada, a frequência B teria valor de 76. Como a referência para aferição das cores no presente trabalho são aquelas dadas no kit do labconTest, a cor branca não seria um empecilho, visto que a paleta de cores dada pelo kit para aferição de amônia varia apenas do amarelo ao verde escuro, passando por outras tonalidades de verde.

Tabela 9 - Correção das frequências azuis

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	254	253	239	222	197	179	162	152
G	255	242	225	219	197	182	170	147
B	76	58	54	53	48	48	45	39

Fonte: Autor

5.3. Resultado da correção das tonalidades claras da cor verde

Com a metodologia aplicada no tópico verde claro para a correção das tonalidades claras da cor verde, a fração obtida foi de 0.85 para as frequências verdes e de 0.6 para as frequências vermelhas. Estas frações, após multiplicadas às suas respectivas frequências nos valores da Tabela 9, retornaram os valores mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Correção das tonalidades claras de verde

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	254	253	143	133	118	99	97	91
G	255	242	191	186	167	155	144	125
B	76	58	54	53	48	48	45	39

Fonte: Autor

Por esta tabela já se nota uma grande aproximação entre os valores RGB obtidos para as cores Amarelo, Verde 1, Verde 2 e Verde 3, se comparados à referência. Como as cores Verde 4, Verde 5 e Verde 6 também se enquadravam na situação em que as frequências vermelho e verde estavam abaixo de 240, elas também sofreram a aplicação do referido ajuste, contudo, ainda se mostravam distantes dos valores esperados pela tabela de referência.

5.4. Resultado da correção das tonalidades escuras da cor verde

A última aproximação realizada foi referente às tonalidades escuras da cor verde, ou seja, foi feita de modo a corrigir as cores “Verde 4”, “Verde 5” e “Verde 6”. A metodologia aplicada retornou, além de tornar a as frequências vermelhas para estas cores nulas, o valor de 0.6 para a fração das frequências verdes. O resultado desta aproximação é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Correção das tonalidades escuras de verde

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	254	253	143	133	118	0	0	0
G	255	242	191	186	167	93	87	75
B	76	58	54	53	48	48	45	39

Fonte: Autor

Se compararmos a tabela acima com a tabela de referência, já é possível notar uma grande aproximação entre os valores. Isto já permitiria, teoricamente, saber com uma maior precisão quais cores estariam sendo de fato medidas, dentro do sistema de cores RGB, e replicá-las em algum software capaz de gerar cores neste mesmo sistema, como é o caso do Adobe Photoshop.

5.5. Resultado da medição com as correções aplicadas ao sensor

Na etapa final do trabalho, avaliou-se a eficácia das correções realizadas por meio de análise empírica e, para tal, mediu-se novamente as cores de referência impressas em papel com o sensor TCS3200 devidamente calibrado. Os valores obtidos nesta etapa, bem como a paleta de cores geradas pelo Photoshop a partir destes valores, são mostrados na Tabela 12 e Figura 9.

Tabela 12 - Valores RGB obtidos pela leitura do sensor após correções aplicadas

	Branco	Amarelo	Verde 1	Verde 2	Verde 3	Verde 4	Verde 5	Verde 6
R	255	251	139	126	108	0	0	0
G	253	241	183	173	155	87	84	71
B	76	55	51	48	44	42	41	35

Fonte: Autor

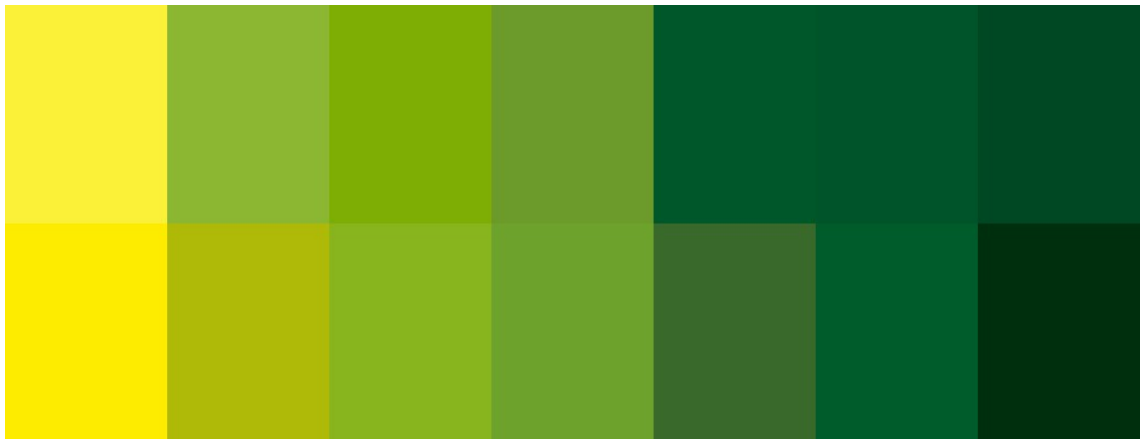
Figura 9 - Cores captadas pelo sensor após correção matemática



Fonte: Autor

A Figura 10 mostra um comparativo entre as cores captadas pelo sensor após passarem pela correção matemática, geradas pelo Photoshop, com as cores de referência, geradas também pelo mesmo programa:

Figura 9 - Comparativo entre as cores captadas pelo sensor após correção com as cores de referência.



Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

As simples relações matemáticas quando aplicadas como forma de correção as cores se mostraram eficazes para aproximar as cores lidas pelo sensor das cores reais analisadas. Com esta correção em mãos, um observador poderia, além de visualizar a variação tonal de uma cor mais clara para uma mais escura, saber com uma boa conjetura as cores que estão sendo observadas, sem necessariamente dispor em mãos do objeto medido.

7. SUGESTÕES PARA APLICACÇÕES FUTURAS

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se sugerir a tentativa de utilização de um sensor de baixo custo e de fácil manuseio, assim como é o TCS3200, como um colorímetro para avaliar diferenças tonais e de cores em diversas aplicações, como por exemplo no caso da medição do nível de amônia em um sistema de aquaponia a partir de um determinado indicador e no monitoramento de sistemas de esgoto a partir da coloração da água em análise.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO. **Map()**. 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/math/map/>>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- DREW J. T.; MEYER, S. A. **Color management: A comprehensive guide for graphic designers**. Mies, Switzerland: RotoVision, 2005.
- FRASER, Bruce; MURPHY, Chis; BUNTING, Fred. **Real World Color Management: Industrial-Strenght Production Techniques**. 2. ed. Berkeley, Ca: Peachpit Press, 2005.
- HALLIDAY, Resnick Walker. **Fundamentos de Física: Vol. 4**. 8ª edição. São Paulo, editora LCT, 2008.
- LEITE, Frederico Nogueira. **CALIBRAÇÃO DE DISPOSITIVOS A CORES UTILIZANDO UMA CAMERA DIGITAL**. 2006. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília-df, 2006.
- NAVE, R. **The Color-Sensitive Cones**. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/colcon.html>>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- PEDROSA, Israel. **Da Cor à Cor Inexistente**. Rio de Janeiro: Editora Universidade de Brasília, 1982.
- SANTOS, Rui; SANTOS, Sara. **Guide for TCS230/TCS3200 Color Sensor with Arduino**. 2019. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/arduino-color-sensor-tcs230-tcs3200/>>. Acesso em: 06 dez. 2019.
- SCHWARTZ, S.H. **Visual perception: a clinical orientation**. 4th ed. New York: Medical; 2010.
- TAOS. Datasheet: **TCS3200, TCS3210 Programmable Color Light-to-Frequency Converter**. Electronic Publication, 2009.

WEST, Jonathan; KAPLAN, Kelsey. **Colorimeters**. Disponível em: <<http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Colorimeters/Colorimeters.html>>. Acesso em: 09 dez. 2019.

WONG, W. **Principles of color design: Designing with electronic color**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

YOUNG, H.; FREEDMAN, R. **Ótica e Física Moderna: Vol. 4**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.