

DESENVOLVIMENTO DE SENSOR MICROPROCESSADO DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE CORES EM PROCESSOS PRODUTIVOS

Eduardo Calgaro Godinho De Amorim¹, Mario Mollo Neto²

¹ Centro Universitário Padre Anchieta- Jundiaí, SP, Brasil. Email: eduardo_cga@hotmail.com

² Centro Universitário Padre Anchieta- Jundiaí, SP, Brasil. Email: mariomollo@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa propõe-se a reportar o desenvolvimento de um equipamento portátil, microprocessado, que permita a realização de medições de superfícies coloridas e apresente a composição RGB (*Red, Green and Blue*) da cor medida numa interface amigável para o usuário final. Pretende-se visualizar, por meio de um instrumento digital, a composição de uma cor alvo, baseado na leitura dos valores do comprimento de onda refletidos para o sensor a ser construído. Com este estudo, observa-se a utilização de sistemas digitais com sensores eletrônicos em substituição aos sistemas convencionais e humanos, identificando cores em tempo real, auxiliando na sua correta identificação, fornecendo informações confiáveis para o processo de tomada de decisão dentro de estruturas e sistemas que demandem a correta identificação de cores em processos produtivos, de forma mais ágil e precisa.

PALAVRAS-CHAVE: Colorímetro, Sensor, Sistema Microprocessado, Medição, Interface.

Abstract

This research intends to report the development of a portable, microprocessor equipment that allows it to take measurements of surface color and determine his composition that it shows the RGB (Red, Green and Blue) color as a friendly interface for the end user. It is intended to show, through a digital instrument, the composition of a target color based on the reading of the reflected wavelength values to the sensor to be built. With this study, we observe the use of digital systems with electronic sensors to replace conventional and humans systems, identifying colors in real time, assisting in its correct identification by providing reliable information for decision-making process within structures and systems that require the correct colors identification in production processes, more agile and precise.

KEY WORDS: *Colorimeter, Sensor, Microprocessor Systems, Measurement, Interface.*

Introdução

A proposta deste artigo é a de reportar o desenvolvimento de um dispositivo que utiliza filtros ou sensores que imitam a resposta dos cones do sistema visual humano e produz resultado numérico com base no princípio de ação baseado em separar as componentes RGB (*Red, Green and Blue*) da luz como declaram Cunha, Dantas e Moraes (2006). O objetivo do estudo do conjunto formado é o desenvolvimento tecnológico de um hardware com software embarcado que permita realizar o procedimento de detecção de cores e a sua respectiva formação, baseada na utilização de sensores que detectam os comprimentos de onda provenientes da luz refletida pelos alvos.

Esta pesquisa propõe o estudo mais aprofundado da composição das cores, que são, segundo Goldstein (2003), o resultado de uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, que transmitem por meio de informação pré-processada no nervo óptico, impressões para o sistema nervoso.

Segundo Santos (2010), a cor de um material é determinada pelas médias de frequência dos pacotes de onda que as suas moléculas constituintes refletem. A cor é relacionada aos diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. São percebidas pelas pessoas, em faixa específica (zona do visível), e por alguns animais através dos órgãos de visão, como uma sensação que nos permite diferenciar os objetos do espaço com maior precisão.

A presente pesquisa leva ao desenvolvimento de um hardware que reproduz eletronicamente o mecanismo de funcionamento dos fotorreceptores do olho humano. O projeto prevê a realização desta tarefa por meio de sensores que convertem os comprimentos de onda do sistema RGB (*Red, Green and Blue*) para frequências, a serem processadas por um Microcontrolador. Este dispositivo permite a exibição dos resultados da composição da cor matiz do alvo num *display*, e permite que esta cor seja memorizada para que, posteriormente, em uma nova medição possa ser comparada e ser informada ao usuário via *display* com o resultado da confrontação. Desta forma, temos a automação do processo de visão, o que remete a Cattani (1999). Segundo este autor, o termo automação [...] diz respeito a todo instrumento ou objeto que funcione sem a intervenção humana, podendo ser aplicado a qualquer tipo de máquina ou artefato que opere desse modo. [...] Atualmente, com a mudança em curso da automação de base eletromecânica para a de base eletroeletrônica, passa a ser

utilizado o termo automatização, que “... implica técnicas diversas de coleta, armazenamento, processamento e transmissão de informações [...], materializadas em diferentes tipos de equipamentos utilizados na produção de bens e serviços.” Apesar dessas diferenciações, é comum, na literatura sobre o tema, a utilização do termo automação em referência, também, às tecnologias de base microeletrônica.

Revisão Bibliográfica

Luz, Cor e Percepção Visual

Segundo Gattass (2010), uma maneira de caracterizar a luz de uma fonte é definir a função que mostra a quantidade de energia que ela possui em cada um dos comprimentos de onda do espectro visível. Analisando a luz como uma onda, podemos relacionar o comprimento de onda λ e a frequência f à velocidade, v , através da equação 1:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{Eq.1}$$

onde,

v é a velocidade da onda; λ é o comprimento da onda que é a distância percorrida pela onda em um ciclo e f é a frequência medida em ciclos por segundo (Hertz).

As três características básicas do espectro de uma fonte de luz, matiz, brilho e saturação, podem ser determinadas a partir do seu espectro, como ilustra a Fig. 1.

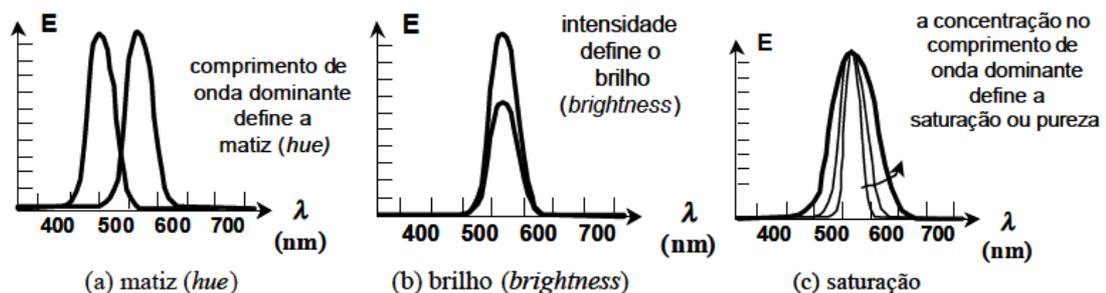


Figura 1. Características de um espectro luminoso. Fonte (GATTASS, 2010).

Ainda segundo Gattass (2010), o espectro de frequências que excitam nossos olhos, o chamado espectro visível, vai do vermelho (4.3×10^{14} Hz), passando pelo laranja, amarelo, verde e azul, até chegar ao violeta (7.5×10^{14} Hz). Este espectro de cores é o mesmo que observamos no arco-íris.

Na retina de nossos olhos existem duas classes de sensores que captam luz. Devido à sua forma geométrica, estes sensores recebem os nomes de cones e bastonetes. Os bastonetes nos

permitem enxergar em ambientes muito pouco iluminados, como numa noite com apenas luz de estrelas, e não transmitem sensação de cor, ou seja, são cegos para as cores.

Os cones, por outro lado, são fundamentais para a sensação de cor. Existem três tipos diferentes de cones, cada um respondendo melhor a uma determinada faixa de frequências da luz. A Fig. 2 mostra resultados experimentais de sensibilidade de cada um destes cones que correspondem à sensação de vermelho (*r* para *red*), verde (*g* para *green*) e azul (*b* para *blue*) em função do comprimento de onda (GATTASS 2010; CUNHA, DANTAS e MORAES 2006).

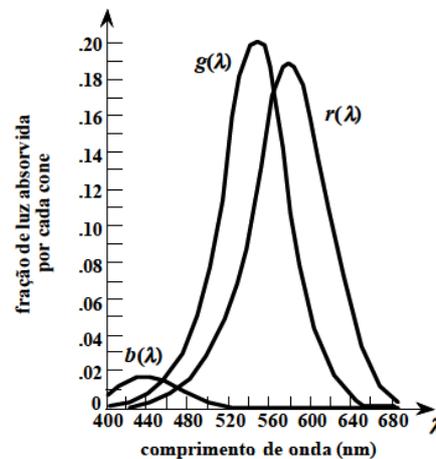


Figura 2. Absorção de energia luminosa pelos cones r, g e b em função de λ . Fonte (GATTASS, 2010).

Gattass (2010) explica a razão do motivo que normalmente definimos as cores por meio de um modelo tricromático, ou seja, definindo cada cor através de três números. Um modelo matemático simples para determinarmos a medida da intensidade de luz percebida pelos nossos cones quando excitados por uma luz de espectro $E(\lambda)$ é dado pela equação 2:

$$R = \int E(\lambda)r(\lambda)d\lambda; G = \int E(\lambda)g(\lambda)d\lambda; B = \int E(\lambda)b(\lambda)d\lambda. \quad \text{Eq.2}$$

onde $r(\lambda)$, $g(\lambda)$ e $b(\lambda)$ são as curvas de sensibilidade da Fig. 2.

Observando as diferentes capacidades de absorção de luz dos três cones podemos notar que o verde tem melhor absorção, seguido pelo vermelho e por último o azul. Assim, mesmo que uma fonte azul emita a mesma quantidade de energia luminosa que uma fonte verde, pode-se perceber a luz verde como sendo mais intensa. É comum utilizarmos uma fórmula

para determinar a quantidade de luz, L , que percebemos (luminosidade) do tipo explicitado na equação 3:

$$L = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad \text{Eq.3}$$

O mesmo autor destaca, ainda, outro aspecto importante do olho humano que é a sua capacidade de se adaptar a diferentes níveis de luminosidade do ambiente que nos cerca por meio da ação da retina sem controle consciente.

Modelos Tricromáticos e o Modelo RGB (*Red, Green and Blue*)

Segundo Gattass (2010), os experimentos com as três cores primárias permitiram estabelecer três leis de misturas aditivas de cores, conhecidas como leis de Grassman:

1. Podemos especificar qualquer cor como mistura aditiva de três cores independentes;
2. A cor de uma mistura aditiva não se altera quando substituimos as cores componentes pelas suas metâmeras, ou seja, por cores isômeras;
3. Se uma componente de uma mistura aditiva é alterada numa dada proporção, a cor da mistura é modificada na mesma proporção, obedecendo às leis de simetria, transitividade e linearidade.

A cada cor “ C ” é definida uma cor complementar “ $- C$ ” de forma que a soma das duas cores resulta em uma luz acromática (cor branca). Uma luz acromática é uma cor que adicionada a qualquer outra não altera o matiz da cor, mas sim só a sua saturação ou pureza. Estas propriedades junto com a estrutura aditiva linear das cores nos permitem dizer que o conjunto de cores provido da operação de mistura aditiva e da multiplicação por fator de potência forma um espaço (linear) de cores de dimensão “3” gerado pelas três cores primárias $\{C_1, C_2, C_3\}$ (Figura 3). Estas três cores primárias constituem a base de espaço, cuja origem corresponde a uma luz acromática (por exemplo, “cor” de luminância zero = preta).

A equação 4 descreve a dimensão “3”:

$$\alpha(C_1 + C_2 + C_3) = \alpha C_1 + \alpha C_2 + \alpha C_3, \quad \text{Eq.4}$$

(onde α é um fator não-negativo de acréscimo na potência radiante estimulante)

Com base no que foi exposto, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabeleceu vários padrões de cor. Um dos padrões mais conhecidos é o modelo RGB.

O modelo *RGB* define como as três cores primárias as cores espectrais de comprimentos iguais a 435.8 nm (azul), 546 nm (verde) e 700 nm (vermelho).

O sistema usado para a criação de cores em monitores de vídeo baseia-se nas mesmas propriedades fundamentais da luz que ocorrem percepção humana: estas cores podem ser criadas a partir do vermelho, do verde e do azul. Essa é a base do modelo de cores RGB.

No modelo de cores RGB, as cores dos pixels podem ser mudadas combinando-se vários valores de vermelho, verde e azul. Cada uma das três cores primárias tem um intervalo de valores de 0 até 255. Quando se combinam os 256 possíveis valores de cada cor, o número total de cores fica em aproximadamente 16,7 milhões (256 X 256 X 256).

Sensores

Segundo Rueda et al. (2005), sensores são dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Quando operam diretamente, convertendo uma forma de energia em outra, são chamados transdutores. Os parâmetros de operação têm suas propriedades alteradas, (como a resistência, a capacitância, frequência ou a indutância) sob ação de uma grandeza. O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle, e nos instrumentos de medição, orientando o processo. Os sensores eletrônicos podem ser projetados para detectar uma variedade de aspectos quantitativos de um determinado sistema físico. Tais quantidades incluem: temperaturas, campos Magnéticos, tensão, pressão, deslocamento, rotação, aceleração e luz (Optoeletrônica) como nesta pesquisa.

Sistemas Embarcados com Microcontroladores.

Segundo Santos (2006) Sistemas embarcados estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, o baixo custo tecnológico permitiu o aumento da capacidade do hardware, viabilizando a implementação de aplicações mais complexas. O surgimento de novas aplicações é impulsionado pelo crescimento do mercado e um melhor conhecimento das necessidades humanas.

Moore (1965), fundador da Intel, em 1965 constatou que a cada 18 meses a quantidade de transistores dentro de um chip dobra (consequentemente a sua capacidade de processamento),

enquanto os custos permanecem constantes. A lei de Moore, como é conhecida, mantém-se até hoje e este aumento na capacidade dos chips que possibilita o desenvolvimento de sistemas embarcados que executam aplicações cada vez mais complexas.

O constante crescimento do número de transistores dentro de um chip tornou possível o desenvolvimento de sistemas embarcados em um único chip (SoCs - System on a Chip), que são sistemas inteiros com processador, memória e periféricos dentro de um só circuito integrado. Além do avanço na capacidade dos chips, houve um avanço também nas ferramentas de CAD que auxiliam os projetistas no desenvolvimento.

Segundo Nicolosi (2002) o microcontrolador é uma máquina sequencial que executa um conjunto de comandos (instruções) previamente gravados em uma memória (ROM – *Read Only Memory*). Embora todos os microprocessadores utilizem um sinal de “*clock*”, é comum encontrar na literatura a classificação de microprocessadores síncronos e assíncronos.

Com a evolução tecnológica, principalmente na confecção de CI's (Circuitos Integrados), os fabricantes de microprocessadores começaram a incorporar memórias e dispositivos periféricos na mesma pastilha de seus microprocessadores. Surgiram então os microcontroladores.

Uma vez que incorporam grande parte dos dispositivos periféricos, a construção de um sistema baseado em um microcontrolador, frequentemente se resume a um circuito com poucos periféricos analógicos ou digitais, um cristal, um botão de reset e a memória de programa.

Ainda segundo Nicolosi (2002) um microcontrolador é um componente que tem, num único chip, além de uma CPU, elementos tais como memórias ROM (*Read Only Memory*) e RAM (*Random Access Memory*), temporizadores/contadores, moduladores PWM (*Pulse-width modulation*), canais de comunicação e conversores analógico-digitais. Estas características diferenciam os sistemas baseados em microprocessadores daqueles baseados em microprocessadores, onde normalmente se utilizam vários componentes para implementar essas funções. Com isso, os micro controladores permitem a construção de sistemas mais compactos e baratos do que aqueles baseados em microprocessadores.

Percebe-se que o campo de aplicação dos micro controladores é diferente daquele dos microprocessadores, e que um sistema que possa ser controlado por um microcontrolador tende a ter menor complexidade e menor custo do que um sistema que exija a capacidade de processamento de um microprocessador (Nicolosi, 2007).

Exemplos de sistemas onde os micro controladores encontram aplicação incluem controle de semáforos, balanças eletrônicas, microterminais, telefones públicos, controle de carregadores de baterias, inversores eletrônicos, controles de acesso, taxímetros, sistemas de aquisição de dados de manufatura e eletrodomésticos em geral.

A programação dos micro controladores é mais simples do que a dos microprocessadores. Cabe citar ainda uma vantagem particular dos micro controladores que possuem memória ROM, que é a possibilidade de armazenar programas internamente, dificultando sensivelmente a cópia ilícita do código (NICOLSI, 2007).

Materiais e Métodos

A metodologia adotada para o desenvolvimento desta pesquisa baseou-se, inicialmente, na exploração da bibliografia disponível sobre o assunto, o que permitiu coletar dados e informações que deram base ao projeto e construção do sistema na forma de um protótipo, partindo da modelagem dos componentes básicos de uma cápsula com sensores ativos de luz e a respectiva conexão desta ao hardware de microcontrolador e periféricos.

O sistema desenvolvido conta com uma sonda de cor, uma central microcontrolada, uma fonte externa de energia e um *display* de informações para o usuário (Figura 3).

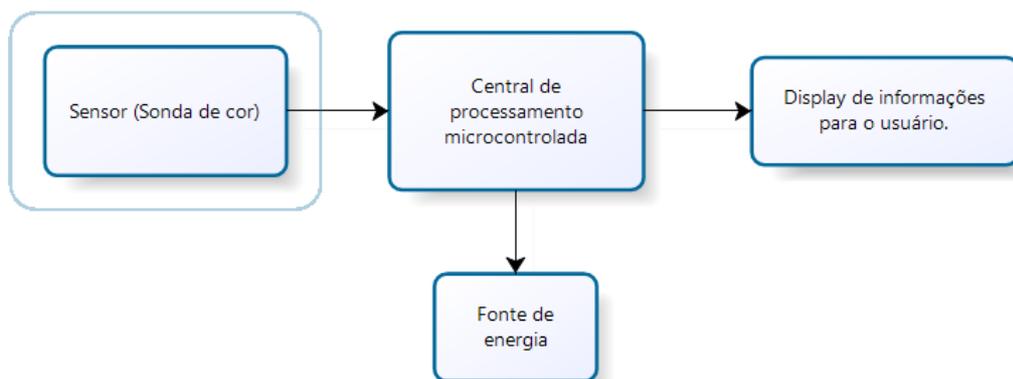


Figura 3. Estrutura do sistema desenvolvido (Protótipo). Fonte: Construída pelos autores.

O projeto da sonda sensor teve sua base de projeto em um sensor triplo que converte os comprimentos de onda em valores de frequências, que por sua vez são transferidas para o chip do microcontrolador. Este dispositivo processa as três frequências correspondentes aos comprimentos de onda lidos pela sonda por meio de uma varredura em alta velocidade e

converte cada uma destas frequências em um conjunto de três valores no intervalo de 0 até 255. Estes valores são exibidos no display de informações ao usuário, o que permite determinar a cor conforme apresentado por Gattass (2002), Cunha, Dantas e Moraes (2006).

Na sequência, com o projeto pronto, iniciou-se a construção de um protótipo em placa *protoboard* (Matriz de contatos) para a construção do conjunto pretendido.

Após a construção do protótipo, foram realizados testes de funcionamento para ajustes.

A validação do protótipo foi realizada com base em leituras e comparações por confrontação das respostas enviadas ao display de informação com um bloco padrão de cores RGB adquirido da empresa Afitec, distribuidor PANTONE no Brasil (Figura 4).



Figura 4. Padrão PANTONE RGB adquirido para a validação do protótipo. Fonte: Adaptada pelos autores.

As leituras realizadas foram inseridas em planilhas Excel e realizado o tratamento estatístico das medidas considerando os erros aleatórios para checar o erro percentual ou relativo do dispositivo. Os erros aleatórios tendem a desviar aleatoriamente as medidas feitas. Como foram realizadas muitas medições – “aproximadamente” – a metade das medidas feitas estará acima e metade estará abaixo do valor correto (isto acontece teoricamente quando a quantidade de dados tende a infinito. O que pode ajustar esta informação ou ajudar a ajustar é o desvio padrão, que é realizado a seguir, mesmo assim sem garantir que estejam 50% acima e 50% abaixo). Portanto, uma boa estimativa para o valor correto da grandeza será a média aritmética dos valores medidos (Equação. 5):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{Eq. 5}$$

Ao serem realizadas várias medições da mesma grandeza nas mesmas condições, a incidência de erros aleatórios faz com que os valores medidos estejam distribuídos em torno da média. A dispersão do conjunto de medidas realizadas pode ser caracterizada através do desvio padrão.

Conjuntos de medidas com desvio padrão baixo são mais precisas do que quando o desvio padrão é alto e quanto maior o número de medidas realizadas maior será a precisão, devido a compensação dos erros aleatórios.

O erro padrão da média é definido como (Equação 6), onde S , neste caso é a média calculada acima.

$$\Delta\bar{x} = S_m = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad \text{Eq.6}$$

Observa-se através da equação que o erro padrão da média diminui com a raiz quadrada do número das N de medições realizadas. Portanto, quanto maior o número de medições melhor é a determinação do valor médio. No caso desta pesquisa, foram realizadas pelo menos trezentas e sessenta medidas de cada uma das cores selecionadas para a validação.

O erro percentual ou relativo ao qual estão submetidas as medidas, expresso em porcentagem, foi obtido através da equação 7:

$$(\Delta\bar{x})_r = \frac{\Delta\bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad \text{Eq.7}$$

Resultados

Os resultados da presente pesquisa foram obtidos em duas fases distintas, sendo a primeira a construção do dispositivo protótipo para a automação do processo de identificação de cores e, a segunda, foi a validação do dispositivo com a verificação de seu erro percentual de leitura para cada um dos canais R,G e B.

Fase 1 - Construção do Protótipo

Circuito Eletrônico Projetado

A Figura 5 apresenta o circuito eletrônico projetado para o protótipo funcional da pesquisa:

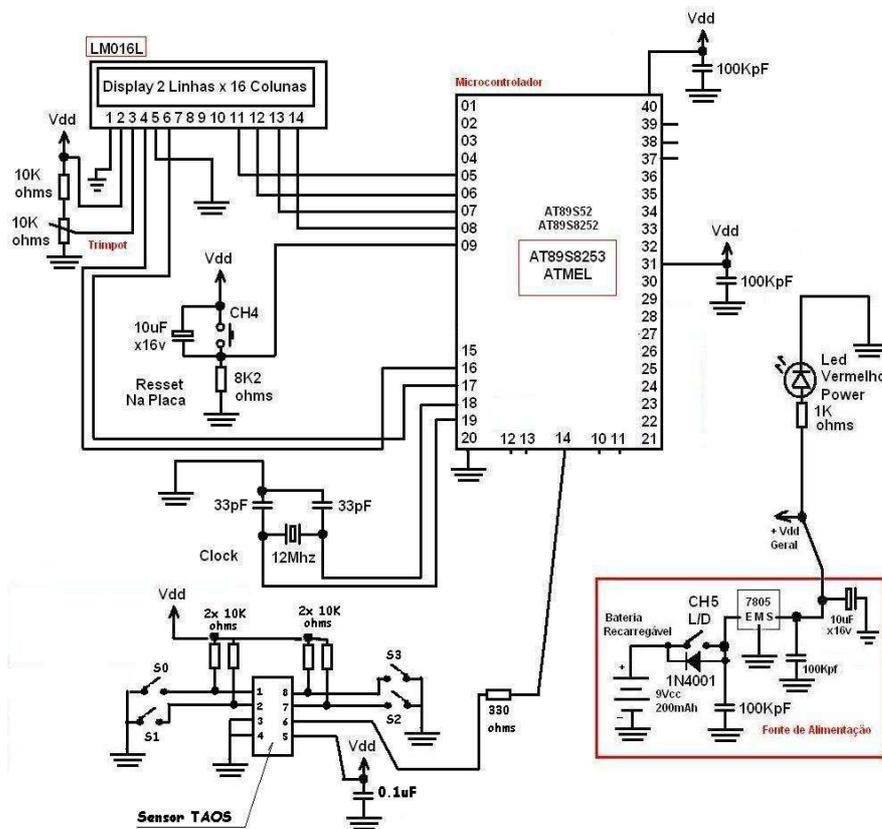


Figura 5. Circuito eletrônico projetado com o *hardware* básico do protótipo a ser montado no *protoboard* para os testes e a validação da pesquisa. Fonte: Construída pelos autores.

Sonda de Cor

A sonda de cor do protótipo foi construída com o circuito integrado TCS230 *PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER* da *Texas Advanced Optoelectronic Solutions* (TAOS) – (Figura 6).

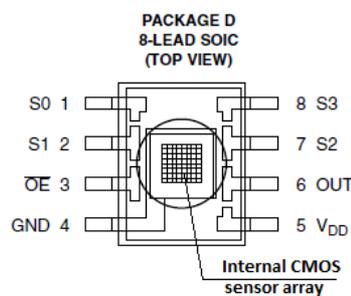


Figura 6. Sensor TCS230 da empresa TAOS e a representação do sensor interno do tipo CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*). Fonte (TAOS, 2008).

O sensor TCS230 conversor de luz para frequência de cor programável combina fotodiodos de silício, que são configuráveis e compostos de uma matriz de sensores CMOS monolítico. A saída tipicamente é uma onda quadrada de ciclo de 50% com frequência diretamente proporcional à intensidade luminosa (irradiância).

As suas entradas digitais e saídas digitais permitem interface direta ao microcontrolador.

O conversor lê a frequência em uma matriz de fotodiodos de 8 x 8 pixels. Dezesesseis fotodiodos têm filtros azuis, 16 fotodiodos têm filtros verdes, 16 fotodiodos têm filtros vermelhos, e 16 fotodiodos são de entrada direta, ou seja, são claros e sem filtros.

Os quatro tipos (cores) de fotodiodos são interligados para minimizar o efeito da não uniformidade da radiação incidente. Todos os 16 fotodiodos da mesma cor são ligados em paralelo e o tipo de fotodiodo que o dispositivo usa durante a operação é selecionável através de seus pinos. Os fotodiodos são de 120 μm x 120 μm de tamanho.

O diagrama funcional do sensor é representado na Figura 7.

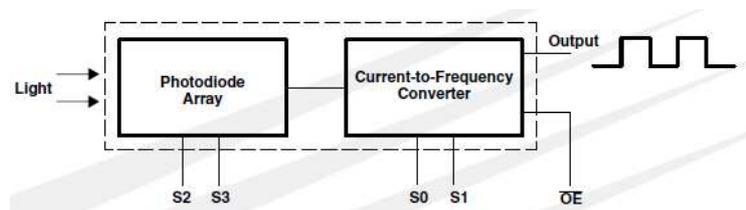


Figura 7. Diagrama funcional do sensor TCS230 da empresa TAOS. Fonte (TAOS, 2008).

O sensor TCS230 foi escolhido devido às características típicas de respostas às entradas de leitura, que permitem varrer o espectro de comprimentos de onda em que a pesquisa se concentra e como exibe a Figura 8, devido ao seu baixo custo e possibilidade de conexão direta ao microcontrolador escolhido no projeto.

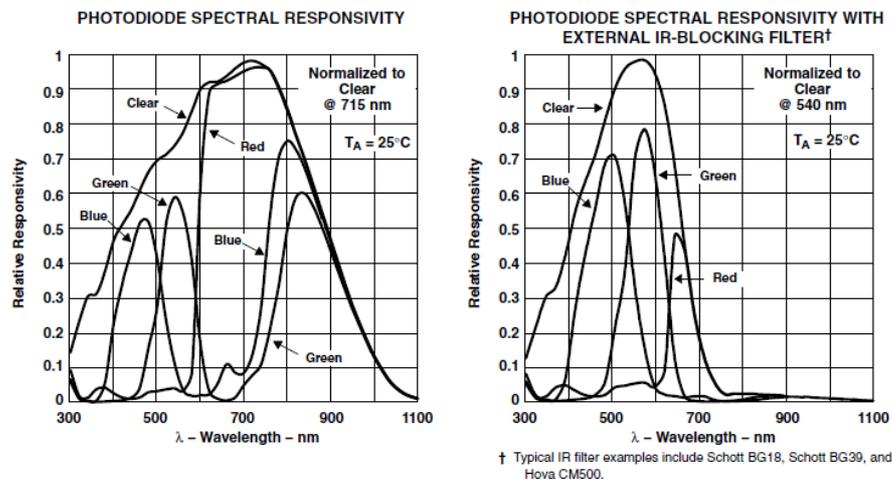


Figura 8. Curvas de respostas típicas do sensor TCS230 da empresa TAOS e compatíveis com o projeto proposto. Fonte (TAOS, 2008).

Devido às dimensões do sensor, construído em encapsulamento SMD (*surface mount devices*) foi necessária a adaptação do sensor por sobre uma placa padrão, de modo a permitir sua inserção na matriz de contatos (*proto-board*) – (Figura 9).

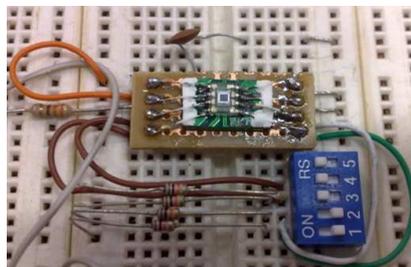


Figura 9. Adaptação para o uso do sensor TCS230 no *proto-board*. Fonte: Construída pelos autores.

Central de processamento, *display* e fonte de alimentação

A montagem em *proto-board* da central de processamento tomou como base o uso do microcontrolador da família 8051, de fabricação da ATMEL, modelo AT89S8253, que possui uma memória para programação interna de 12 Kbytes *Flash*.

O *display* adotado é o LM016L de 2 linhas x 16 caracteres cada para a correta visualização das mensagens programadas para a interface com o usuário.

Com a instalação da sonda sensora, o *display* e os demais periféricos para a fonte de alimentação e estabilização, ao hardware básico do microcontrolador, que compreende o

circuito de *clock* e *reset*, necessários para obter-se o correto funcionamento do sistema, a montagem final assumiu o aspecto apresentado na Figura 10:

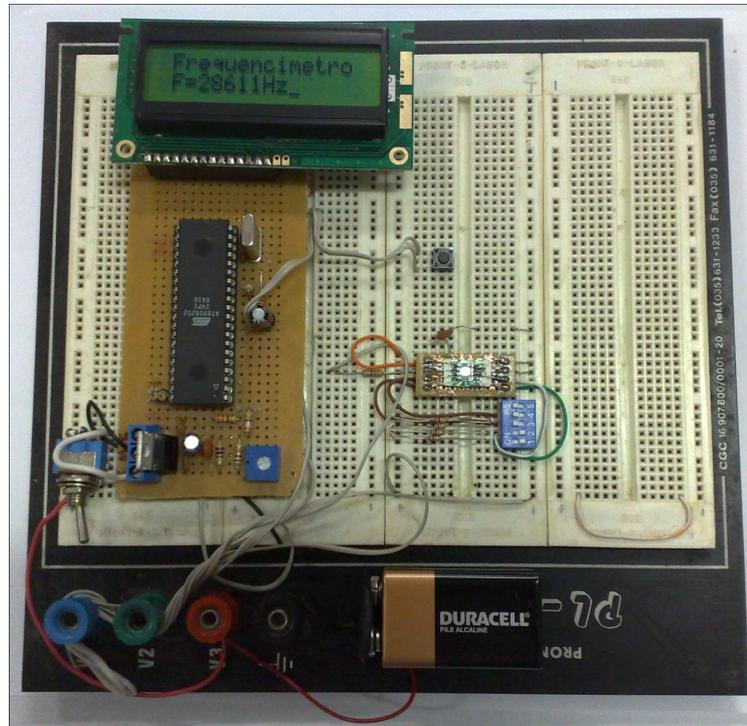


Figura 10. Montagem completa do protótipo na matriz de contatos *protoboard* e placas padrão. Fonte: Construída pelos autores.

Programação do *Firmware*

A programação do *firmware*, ou programa interno da pastilha do *chip* do microcontrolador, foi realizada com o uso de duas diferentes ferramentas de programação, sendo a primeira para a programação Bascon (2011) e a segunda para a compilação e a programação do *firmware* Atmel (2011). A linguagem de programação adotada para este desenvolvimento foi o *Basic* para a edição em linguagem de alto nível e um compilador de *Basic* para Hexadecimal e de Hexadecimal para binário. O código binário na sequência é transferido ao chip por meio de uma EPU (*Electronic Programming Unit*) de gravação *in circuit*.

O editor *Basic* utilizado foi: BASCON versão 2.0.12.0 (Figura 11a) e o compilador utilizado foi: AVR - SPI Flash programmer 3.7 (Figura 11b);

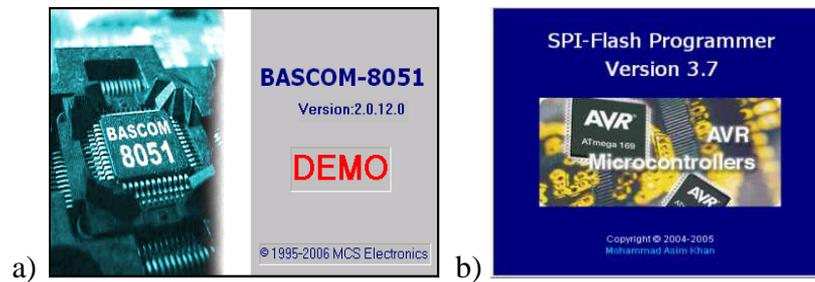


Figura 11. Editor de linguagem de programação (a) para o *chip* atmel AT89S8253 e o compilador de transferência (b) utilizados na pesquisa. Fonte: (Bascom, 2011); (Atmel, 2011).

Fase 2 - Testes e Validação do Protótipo

Coleta dos dados e Processamento Estatístico

Após os testes iniciais de funcionamento do protótipo, foram realizadas as medições de seis cores pré-selecionadas do padrão PANTONE RGB e, cada uma das medições foi realizada com um total de 20 repetições de um grupo de 3 medidas para cada uma das seis cores, totalizando 360 leituras de resultados do *display* do equipamento, somente com a leitura das frequências correspondentes à composição da cor alvo, o que permitiu a construção da tabela 1, que tem os valores de frequências medidas para cada uma das componentes, antes da conversão para o padrão RGB, para cada uma das seis cores adotadas para teste.

Tabela 1: Medições efetuadas para a validação do protótipo.

Medida/canal	FREQUÊNCIA CORES ESCOLHIDAS DO PADRÃO PARA A VALIDAÇÃO PARA CADA UM DOS CANAIS (RGB) DO SENSOR – (Valores em Hz).																	
	1 - Branco			2 - Laranja			3 - Azul			4 - Vermelho			5 - Verde			6 - Preto		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	250	250	250	255	164	138	0	159	218	224	0	52	0	121	52	30	30	30
2	2132	2236	2680	2994	1777	1375	748	1189	2186	1948	708	650	631	892	837	384	434	486
3	1974	2264	2728	2878	1810	1440	731	1222	2238	1985	721	678	675	904	886	436	470	505
4	2195	2277	2698	3052	1853	1426	758	1248	2204	1953	731	665	621	909	871	409	468	507
5	2131	2285	2721	3028	1818	1435	767	1220	2210	1952	692	666	620	892	875	402	461	509
6	2082	2276	2675	2957	1825	1428	742	1226	2260	1938	713	677	624	908	885	407	466	517
7	2107	2281	2789	3026	1856	1586	753	1239	2331	1953	731	716	626	916	909	406	468	521
8	2097	2286	2760	2996	1859	1480	748	1249	2278	1926	743	705	614	929	905	404	478	520
9	2121	2349	2748	3033	1919	1464	779	1297	2250	2103	846	694	679	989	895	436	496	513
10	2209	2336	2700	3116	1931	1444	792	1279	2254	1946	755	684	592	928	888	384	471	514
	2001	2301	2699	2816	1828	1475	659	1217	2271	1771	709	697	554	902	898	376	464	516

11	2019	2263	2738	2888	1832	1472	706	1223	2278	1852	752	711	593	925	911	392	470	517
12	2069	2295	2727	2958	1866	1495	722	1277	2271	1934	816	718	636	969	916	409	488	520
13	2099	2295	2724	3009	1893	1492	753	1265	2283	1943	765	722	643	932	916	423	479	521
14	2167	2336	2715	3105	1848	1475	814	1215	2278	2054	720	705	703	938	908	445	462	522
15	2237	2274	2711	3166	1786	1474	793	1188	2259	2128	648	693	717	847	890	452	441	515
16	2232	2206	2705	3143	1728	1448	827	1160	2219	2060	615	689	692	836	888	437	438	512
17	2124	2178	2710	2981	1805	1447	740	1250	2232	1913	755	666	618	923	882	405	469	509
18	2087	2294	2711	2972	1869	1457	743	1242	2262	1921	753	678	625	917	887	407	464	513
19	2088	2285	2688	2963	1858	1452	736	1246	2239	1894	745	676	612	924	881	401	465	509
20	2070	2282	2690	2939	1884	1436	725	1259	2230	1906	771	675	625	939	877	413	480	510

Fonte: Desenvolvida pelos autores.

Após terem sido efetuadas as medições para o preenchimento da planilha foram feitos os cálculos no EXCEL por meio do módulo de análise de dados com o uso de estatística descritiva, as médias e os respectivos erros percentuais das medidas, considerando cada uma das cores e para cada uma de suas frequências componentes para os canais RGB (*Red, Green and Blue*) do *hardware* sensor.

Estes valores, posteriormente, no andamento da pesquisa, serão convertidos para valores entre 0 e 255 para comparação com o padrão PANTONE RGB.

Os resultados obtidos para o processamento estatístico dos dados são apresentados na tabela 2:

Tabela 2: Valores obtidos do processamento estatístico dos dados.

<i>COR</i>	<i>COMPONENTE E CANAL DE MEDIDA</i>	<i>Média do canal</i>	<i>Erro Percentual (%)</i>
Cor 1 - Branco	R	2111,00	16,760
	G	2282,26	9,145
	B	2717,74	6,233
Cor 2 - Laranja	R	3001,37	20,868
	G	1845,68	10,794
	B	1464,53	8,265
Cor 3 - Azul	R	752,00	8,914
	G	1238,00	7,415

Cor 4 - Vermelho	B	2255,11	6,924
	R	735,84	11,856
	G	735,84	11,856
Cor 5 - Verde	B	690,26	4,237
	R	635,21	9,436
	G	917,21	8,034
Cor 6 - Preto	B	893,05	3,232
	R	412,84	4,681
	G	468,32	3,118
	B	514,21	1,189

Nota: As tarjas cinza destacam os valores de erro máximo e erro mínimo obtidos.

Desta Tabela 2, podemos obter os valores do erro máximo, mínimo e médio (Tabela 3) para a validação do protótipo desenvolvido.

Tabela 3: Valores máximo, mínimo e médio do erro percentual do equipamento desenvolvido.

<i>ERRO PERCENTUAL</i>	<i>Valores Obtidos: (%)</i>
Máximo	20,868
Mínimo	1,189
Médio	8,498
Médio do canal de leitura R	12,086
Médio do canal de leitura G	9,360
Médio do canal de leitura B	5,778

Nota: O destaque cinza é do valor médio do erro do equipamento construído.

Comentários e Conclusões

A revisão da literatura realizada durante esta pesquisa e os resultados obtidos na análise estatística para os erros padrão das médias e dos erros percentuais das medidas executadas, são importantes para demonstrar que o protótipo construído segundo as indicações das referências de Rueda et al. (2005), Santos (2006), Nicolosi (2002) e Nicolosi (2007) permite

efetuar a leitura das cores segundo as indicações das referências Gattass (2002), Cunha, Dantas e Moraes (2006). Desta forma, podemos inicialmente concluir que o projeto permitiu o estudo mais aprofundado da composição das cores como proposto e verificado por Goldstein (2003), Matias (2010) e Santos (2010), assim como o desenvolvimento de um hardware, ainda protótipo, que reproduz eletronicamente o mecanismo de funcionamento dos fotorreceptores do olho humano segundo as bases fornecidas por (Nicolosi, 2007) e (Nicolosi, 2002). Isto permitiu travar conhecimento com os modelos tricromáticos propostos por Gattass (2010) e, foram realizados os experimentos com as três cores primárias como geradoras das demais no modelo RGB como indicam Cunha, Dantas e Moraes (2006).

A sonda de cor, construída por meio de sensores como sugere Rueda et al. (2005), com características determinadas pela referência (TAOS, 2008), respondeu de maneira coerente e permitiu que o protótipo microcontrolado efetuasse medidas bem consistentes, que foram avaliadas com o uso de estatística descritiva, mesmo que em um dos casos, que foi isolado, em que numa das medidas efetuadas para a cor laranja, no canal R, o erro percentual tenha chegado ao valor de 20,868%. Destaca-se o fato que, o sistema é dependente, para um melhor funcionamento, de um ambiente controlado, com fornecimento de energia livre de oscilações e iluminação em níveis constantes.

Foi possível verificar, que o erro médio do dispositivo é aceitável e está no valor de 8,498% e, os valores que, eventualmente, ultrapassam as médias foram aqueles das leituras das cores mais claras, sendo que, para as cores mais escuras, o erro caiu bruscamente ficando entre valores de 1,189% até 9,436%. Este fato é relevante e deve sempre ser considerado pelos usuários quando da definição da eventual aplicação pretendida para o dispositivo. Maiores aprimoramentos deverão ser incorporados, no futuro, ao protótipo para que este possa ter seu desempenho mais apurado, com menores erros, para as cores mais claras.

O investimento para a construção do protótipo foi próximo a US\$ 100,00 (Cem dólares) o que corrobora o sucesso da proposta de se desenvolver um produto de baixo custo e vai de encontro às afirmações de Nicolosi (2007) e Nicolosi (2002).

Finalizando, os autores entendem que, com este estudo e frente aos resultados obtidos, pode-se observar que é viável a utilização de sistemas digitais com o uso de sensores eletrônicos para a produção de dispositivos eletrônicos para a automação de processos em substituição aos sistemas convencionais e humanos, o que também vai de encontro a afirmação de Cattani (1999), identificando cores em tempo real, auxiliando na sua correta

identificação, fornecendo informações relativamente confiáveis para o processo de tomada de decisão dentro de estruturas e sistemas que demandem a correta identificação de cores em processos produtivos.

Agradecimento

Os autores agradecem ao **CNPq** (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento a presente pesquisa por intermédio de bolsa **PIBIC** (Programa Nacional de Bolsa de Iniciação Científica).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATMEL. SPI Flash Programmer. Disponível em: <<http://www2.atmel.com>> Acesso em 10/03/2011.

BASCOM. Software MCS BASCOM 8051. Disponível em: <http://www.mcselec.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=98&Itemid=54> Acesso em 10/03/2011.

CATTANI, Antonio David. Trabalho e tecnologia: dicionário crítico. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes; Ed. da UFRGS, 1999.

CUNHA, D. C. F. A.; DANTAS, A. M.; HOKOÇ, J. N.; MORAES, A. M. M; MORAES JUNIOR, H. V. de. Estudo eletrorretinográfico de visão cromática. Arq. Bras. Oftalmol., São Paulo, v. 69, n. 6, Dec. 2006.

GATTASS, M. Introdução a cor. Disponível em: < http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/cg/pdf/02_Cor.pdf > Acesso em 10/08/2010.

GOLDSTEIN, E. B. *Sensation and Perception*. Wadsworth Publishing. Chapter 6, 2003.

MATIAS, A. Entender a Cor I. Disponível em: <<http://www.focusfoto.com.br/downloads/Entendendo.a.Cor.pdf>> Acesso em 10/08/2010.

MOORE, G. *Cramming more components onto integrated circuits*. *Electronics*, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

NICOLOSI, D.E.C. Laboratório de Microcontroladores família 8051. Érica. 2002.

NICOLOSI, D.E.C. Microcontrolador 8051 Detalhado. Érica. 2007.

RUEDA, T.C., SANTOS, L.M.S., RABELO, G.F. Controle Automático do Nível de Poeira Baseado em Microcontrolador. UFLA - Universidade Federal de Lavras, 2005. Disponível em: <<http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v5.1/art08.pdf>> Acesso em 10/08/2010.

SANTOS, W. Grandes Cientistas - Isaac Newton. Física para vestibulares. Disponível em: <<http://nautilus.fis.uc.pt/cec/lar/sara/doc/teoria.pdf>> Acesso em 10/08/2010.

TAOS. TCS230 - *PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER* – *Datasheet. Texas Advanced Optoelectronic Solutions*, 2008. Disponível em <<http://www.bonavolta.ch/hobby/files/TCS230.pdf>> Acesso em 10/12/2010.