

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO**

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:**  
**SUBTÍTULO (SE HOUVER)**

**NOME DO AUTOR**

**BLUMENAU**  
**2017**

**NOME DO AUTOR**

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:**

**SUBTÍTULO (SE HOUVER)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação - Orientador

**BLUMENAU  
2017**

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:**  
**SUBTÍTULO (SE HOUVER)**

Por

**NOME DO AUTOR**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado  
para obtenção dos créditos na disciplina de  
Trabalho de Conclusão de Curso II pela banca  
examinadora formada por:

Presidente: \_\_\_\_\_  
Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação – Orientador, FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação – FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof(a). Nome do(a) Professor(a), Titulação – FURB

Blumenau, dia de mês de ano [data da apresentação]

Dedico este trabalho ... [Geralmente um texto pouco extenso, onde o autor homenageia ou dedica o trabalho a alguém. Colocar a partir do meio da página.]

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus...

À minha família...

Aos meus amigos...

Ao meu orientador...

[Colocar menções a quem tenha contribuído, de alguma forma, para a realização do trabalho.]

[Epígrafe: frase que o estudante considera significativa para sua vida ou para o contexto do trabalho. Colocar a partir do meio da página.]

[Autor da Epígrafe]

## RESUMO

O resumo é uma apresentação concisa dos pontos relevantes de um texto. Informa suficientemente ao leitor, para que este possa decidir sobre a conveniência da leitura do texto inteiro. Deve conter OBRIGATORIAMENTE o **OBJETIVO, METODOLOGIA, RESULTADOS e CONCLUSÕES**. O resumo deve conter de 150 a 500 palavras e deve ser composto de uma sequência corrente de frases concisas e não de uma enumeração de tópicos. O resumo deve ser escrito em um único texto corrido (sem parágrafos). Deve-se usar a terceira pessoa do singular e verbo na voz ativa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Palavras-chave: Ciência da computação. Monografia. Resumo. Formato.

[Palavras-chave são separadas por ponto, com a primeira letra maiúscula. Caso uma palavra-chave seja composta por mais de uma palavra, somente a primeira deve ser escrita com letra maiúscula, sendo que as demais iniciam com letra minúscula, desde que não sejam nomes próprios.]

## **ABSTRACT**

*Abstract* é o resumo traduzido para o inglês. *Abstract* vem em uma nova folha, logo após o resumo. Escrever com letra normal (sem itálico).

Key-words: Computer science. Monograph. Abstract. Format.

[*Key-words* são separadas por ponto, com a primeira letra maiúscula. Caso uma *key-word* seja composta por mais de uma palavra, somente a primeira deve ser escrita com letra maiúscula, sendo que as demais iniciam com letra minúscula, desde que não sejam nomes próprios.]



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Observador padrão de 2° e 10° grau.....                       | 16 |
| Figura 2 - Modelo de cor CIE LAB.....                                    | 18 |
| Figura 3 - Modelo de cor RGB.....  | 19 |
| Figura 4 - Modelo de cor CMYK.....                                       | 19 |
| Figura 5 - Sistema de cor Pantone.....                                   | 20 |
| Figura 6 - Fórmula CIE76.....  | 21 |
| Figura 7 - Fórmula CIE94.....  | 21 |
| Figura 8 - Fórmula CIEDE2000.....  | 23 |
| Figura 9 - Representação do modelo de cor RGB.....                       | 25 |
| Figura 10 - Representação do modelo de cor CIE LAB.....                  | 25 |
| Figura 11 - Tela de medição de cor.....                                  | 27 |
| Figura 12 - Tela para buscar cor.....                                    | 27 |
| Figura 13 - Tela de representação da densidade da cor.....               | 28 |
| Figura 14 - Diagrama de Casos de Uso.....                                | 30 |
| Figura 15 – Diagrama de Classe.....                                      | 31 |
| Figura 16 - Diagrama de atividade.....                                   | 32 |
| Figura 17 - Interface do software.....                                   | 38 |
| Figura 18 - Manual de instruções de calibração do espectrofotômetro..... | 39 |
| Figura 19 - Seleção e calibração do dispositivo.....                     | 39 |
| Figura 20- Funcionalidade do software.....                               | 40 |
| Figura 21 - Cadastro de cor.....   | 40 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Requisitos funcionais .....   | 29 |
| Quadro 2 - Requisitos não funcionais .....   | 29 |
| Quadro 3 - Código do construtor da classe <code>I1SharpModel</code> .....                        | 33 |
| Quadro 4 - Código do método <code>Calibrate</code> da classe <code>I1Pro</code> .....            | 34 |
| Quadro 5 - Código do método <code>GetSample</code> da classe <code>I1Pro</code> .....            | 34 |
| Quadro 6 - Código do método <code>device_ButtonPressed</code> da classe <code>I1Pro</code> ..... | 34 |
| Quadro 7 - Código do método <code>LabToRgb</code> da classe <code>Conversao</code> .....         | 35 |
| Quadro 8 - Código do método <code>RGBToCMYK</code> da classe <code>Conversao</code> .....        | 36 |
| Quadro 9 - Código do método <code>DeltaE2000</code> da classe <code>DeltaE00</code> .....        | 37 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Fatores de ponderação da fórmula CIE94 ..... | 21 |
|---|----|

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

[Deve conter as abreviaturas e siglas utilizadas mais de uma vez ao longo do texto em ordem alfabética. A seguir estão dois exemplos de forma de apresentação.]

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

API – Application Programming Interface

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1 OBJETIVOS.....   | 14        |
| 1.2 ESTRUTURA.....   | 14        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>   | <b>15</b> |
| 2.1 COLORIMETRIA APLICADA A PROCESSOS GRÁFICOS .....   | 15        |
| 2.2 ESPECTROFOTÔMETRO COMO FERRAMENTA DE MEDIÇÃO DE CORES .....  | 17        |
| 2.3 SISTEMAS DE CORES LAB, RGB, CMYK E PANTONE .....   | 18        |
| 2.4 FÓRMULAS CIE76, CIE94 E CIEDE2000 .....  | 20        |
| 2.5 TRABALHOS CORRELATOS .....   | 24        |
| 2.5.1 Protótipo de visualizador para modelos de cor para medição de objetos em<br>espectrofotômetros por refletância .....   | 24        |
| 2.5.2 Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro .....   | 26        |
| 2.5.3 Tucanna Printcontrol Pro .....   | 28        |
| <b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>  | <b>29</b> |
| 3.1 REQUISITOS.....  | 29        |
| 3.2 ESPECIFICAÇÃO .....  | 29        |
| 3.2.1 Diagrama de casos de uso .....   | 30        |
| 3.2.2 Diagrama de classes .....  | 31        |
| 3.2.3 Diagrama de atividades .....   | 32        |
| 3.3 IMPLEMENTAÇÃO .....  | 33        |
| 3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....   | 33        |
| 3.3.2 Operacionalidade da implementação .....  | 38        |
| 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....   | 40        |
| <b>4 CONCLUSÕES.....</b>   | <b>41</b> |
| 4.1 EXTENSÕES .....  | 41        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>42</b> |
| <b>APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS FORMATOS DAS APRESENTAÇÕES DOS<br/>TRABALHOS .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>ANEXO A – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE CONTAGEM DE CITAÇÕES DE<br/>AUTORES POR SEMESTRE NOS TRABALHOS DE CONCLUSÕES<br/>REALIZADOS NO CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.....</b> | <b>45</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A sensação da cor é gerada quando a energia radiante (luz) adentra o olho de um observador, diretamente ou com a modificação de algum objeto. A cor que se vê varia de acordo com a distribuição espectral da fonte de luz e o que foi visto anteriormente pelo observador; de outras cores no campo de visão; da quantidade de luz recebida; do que o indivíduo pretende ver e também da cor dos olhos do observador (DANGER, 1973, p. 17).

Segundo Ambrose et al. (2009, p. 11), “A cor é um dos primeiros elementos que registramos quando vemos algo pela primeira vez (...). Uma ferramenta que pode ser utilizada para chamar a atenção”. Por isso a utilização das cores se tornou um recurso da publicidade e propaganda. O uso mais forte da cor é encontrado frequentemente quando alguém está tentando vender alguma coisa. Quando se pensa em uma marca famosa, automaticamente se pensa na cor ou cores que a identificam (FRASER et al. 2007, p. 12).

O que antigamente era raridade a ser buscada e valorizada como bem precioso, as figuras e ilustrações foram ocupando cada vez mais espaço na mídia, imprensa, livros, revistas, jornais, embalagens de produtos, entre outros. Considerando a importância do uso das cores, o fabricante deve identificar as cores de que as pessoas gostam, as tendências, as sensações e emoções que as cores proporcionam e a questão cultural relacionada ao uso destas (COLLARO, 2009, p. 17).

Régula (2004, p. 28), aponta que coloristas e demais profissionais da área de controle de qualidade avaliam a cor visualmente. No entanto, devido as exigências crescentes dos consumidores, a utilização de instrumentos de medição de cor está ganhando espaço e importância nas indústrias, já que as deficiências no campo natural do avaliador visual podem ser anuladas pela medição da cor. O espectrofotômetro é um equipamento que mede a transmitância (diferença entre a luz transmitida e absorvida, ou seja, é a quantidade de luz que atravessa uma amostra) e refletância (quantidade de luz que reflete da superfície de uma amostra) de uma superfície ou amostra em função do comprimento de onda.

Diante do acima exposto, o trabalho tem como meta implementar um sistema de medição de cores que se comunique com o espectrofotômetro, por comunicação serial, a fim de obter dados de refletância de uma amostra de cor medida, calculando os valores numéricos da cor.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é implementar um sistema de medição de cores que se comunique diretamente com o espectrofotômetro para obter os dados de refletância de uma amostra de cor medida, calculando os valores numéricos da cor.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) implementar o protocolo de comunicação com o espectrofotômetro X-Rite i1Pro 2;
- b) criar uma representação gráfica da cor lida;
- c) calcular a distância euclidiana utilizando o DeltaE2000;
- d) desenvolver uma base de dados com as cores e valores medidos.

## 1.2 ESTRUTURA

A estrutura deste trabalho é composta por quatro capítulos. O primeiro apresenta uma introdução sobre o tema proposto. O segundo contém o embasamento teórico sobre o assunto abordado e são apresentados os trabalhos correlatos. O terceiro expõe informações sobre o desenvolvimento do software, bem como requisitos, especificação, implementação e análise de resultados. Por fim, no quarto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e possíveis extensões.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são descritos os assuntos que fundamentam o estudo realizado neste trabalho. Na seção 2.1 é apresentado o evento Colorimetria Aplicada a Processos Gráficos. A seção 2.2 é dedicada ao Espectrofotômetro Como Ferramenta de Medição de Cores. Na seção 2.3 têm-se os Sistemas de Cores LAB, RGB, CMYK e Pantone. A seção 2.4 apresenta as Fórmulas CIE76, CIE94 e CIEDE2000. Por fim, a seção 2.5 traz os Trabalhos Correlatos.

### 2.1 COLORIMETRIA APLICADA A PROCESSOS GRÁFICOS

Os três componentes que participam no processo da percepção visual da cor são: a fonte iluminante, o objeto observado e o olho humano, que conduz as informações captadas ao cérebro. Uma informação cromática, percebida e denominada, por exemplo, como branco, preto, amarelo, vermelho etc., é dependente não apenas do objeto observado, mas do tipo de iluminação e das propriedades de nossos olhos. Se for mudado apenas um dos componentes, haverá uma alteração da impressão cromática (FERNANDES, 2002, p. 4).

O século XX é considerado por muitos como o "século das imagens", e teve início influenciado pelos estudos culturais do século anterior. Foi marcado pelo desenvolvimento de sistemas de mensuração, catalogação e notação de cores, principalmente com Albert Henry Munsell, Wilhelm Ostwald e Faber Birren e, em meados do mesmo século, por vários tratados de cores para aplicação às tecnologias da imagem, como cinema, artes gráficas, televisão e fotografia, direcionados às técnicas de captação, medição e reprodução da cor, colorimetria, fotometria e espectrometria (GUIMARÃES, 2003, p. 19). Segundo Guimarães (2003, p. 19/20):

A década de 70 desse século foi dominada pelas abordagens voltadas às aplicações na arquitetura, nas artes gráficas, na publicidade, no design, na moda, etc., fato que foi facilitado tanto pelo desenvolvimento das técnicas de reprodução, quanto pelo momento de revolução cultural pós-68. Na década de 80, o colorido do mundo do design já havia sido assimilado e todos os esforços se voltaram para a sistematização daquela profusão cromática por meio da produção de guias e manuais para a utilização das cores. Com a informatização dos meios de produção de imagens na década de 90, a cor foi tratada como valor numérico (tanto nos estudos de tecnologias digitais, como em computer art). A facilidade e o imediatismo na substituição de uma cor por outra levaram o produtor da informação a uma atividade empírica, sem reflexão, às vezes delegando a escolha das cores à programação randômica.

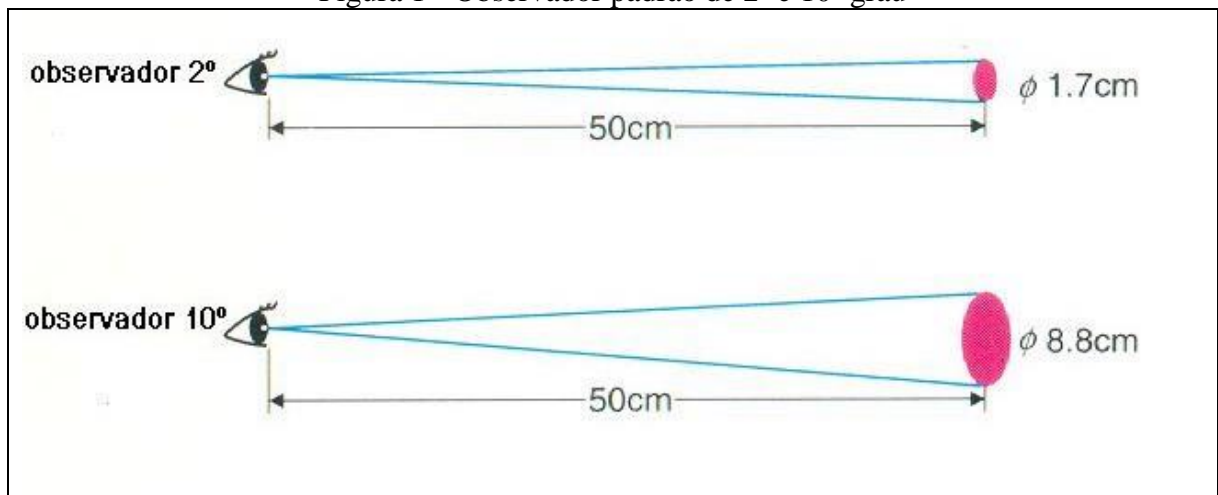
A colorimetria trata das relações entre as luzes emitidas/refletidas e as quantificações de sua percepção entre os seres humanos. De acordo com Oliveira (2006, p. 23), “refere-se a ciência e a tecnologia usada para quantificar e descrever (pela ajuda de modelos matemáticos) as percepções humanas da cor”. É uma ciência baseada em métodos e métricas empíricos,



verificáveis e possíveis de serem repetidos a qualquer tempo e local, desde que sob as mesmas condições, sendo que sua abrangência baseia-se na relação entre o estímulo de luz e a sensação provocada pelos seres humanos (MORTARA, 2015, p. 19).

Dentre os sistemas para descrever a cor, tem-se a CIE (Comissão Internacional de Iluminação), diferente dos outros pela padronização dos iluminantes e observadores. O Sistema CIE, que surgiu em 1931, criou o observador padrão de 2° grau (Figura 1), e os iluminantes A, B e C. Em 1964 a CIE criou o observador padrão de 10° grau (Figura 1), e os iluminantes da família D. E por fim, em 1976, a CIE definiu o espaço CIE LAB, em termos e coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , e o espaço CIELUV, em termos de coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $u^*$  e  $v^*$  (OLIVEIRA, 2006, p. 23).

Figura 1 - Observador padrão de 2° e 10° grau



Fonte: Minolta (2007, p. 54).

A existência de sistemas para descrever a cor tornou-se de suma importância, pois em um mercado tão competitivo, a cor é utilizada como ferramenta para chamar a atenção do consumidor, despertando sua curiosidade. Para Crepaldi (2006, p. 2), “no campo da comunicação, a cor tem uma função bem definida e específica de ajudar na clareza da mensagem a ser transmitida”. No entanto, a preferência por cores muda constantemente, de acordo com a moda, situação econômica, entre outros. Crepaldi (2006, p. 2), acrescenta ainda que “a escolha da cor é influenciada pelo clima vivido pelo consumidor e um bom publicitário deve saber utilizar as cores de acordo com suas características, inserindo a cor no meio ambiente”.

No segmento alimentício, por exemplo:

a cor que mais bem se adapta aos produtos alimentícios é a que lhe confere um caráter excitante, estimulante. Isso marcará o produto, tornando-o facilmente distinguível entre outros da mesma espécie e predispondo o comprador em potencial a adquiri-lo na hora em que tiver necessidade. (FARINA, 1986, p. 185).

A embalagem, por ser um elemento motivador da compra, deve estar de acordo com as condições mercadológicas do produto; ela deve ter um apelo motivacional para atingir as necessidades do consumidor, tendo como função fixar a imagem do produto no mercado. É por isso que as empresas pesquisam e estudam para desenvolver modelos criativos que se diferencie da concorrência (CREPALDI, 2006, p. 5).

O processo da indústria gráfica é de fluxo de produção intermitente. A outra peculiaridade desta indústria é que, se torna impossível o estabelecimento de padronizações ao longo dos processos envolvidos na produção. Os pedidos na indústria gráfica são geralmente de baixas quantidades e quase sempre personalizados, onde cada produto é destinado a um cliente diferente e com especificações únicas. Parece ser essencial que o fornecedor de serviços e produtos gráficos compreenda em cada trabalho de cada cliente quais requisitos são exigidos (MORTARA, 2016).

Sendo assim, durante o fluxo da produção gráfica, a avaliação da aparência da arte destinada à impressão é crucial para o controle do processo.

## 2.2 ESPECTROFOTÔMETRO COMO FERRAMENTA DE MEDIÇÃO DE CORES

A espectrofotometria é a ciência que estuda a análise quantitativa das radiações com relação à sua composição espectral, baseando-se na relação entre a intensidade de luz sobre uma superfície e sobre a curva espectral resultante da mesma luz refletida de volta ao detector do aparelho de medição utilizado (LEÃO, 2005, p. 49). Leite (2006, p. 24) aponta que “uma cor só pode ser medida por instrumentos especializados. Estes instrumentos possuem sensores responsáveis por medir a luz refletida ou a transmitida [...]. Dentre alguns instrumentos especializados temos o colorímetro e o espectrofotômetro”.

Os sensores utilizados nestes aparelhos são contadores de fótons com filtros de valores espectrais conhecidos, e a diferença entre eles é a quantidade de filtros que utilizam e a sensibilidade de seus sensores (LEÃO, 2005, p. 46).

Conforme Régula (2004, p. 28), o espectrofotômetro é o aparelho capaz de medir as cores. Ele é definido como “[...] equipamento que mede a transmitância e refletância de uma superfície ou amostra em função do comprimento de onda”. Ou seja, é um aparelho que apresenta a curva de refletância de uma amostra em função do comprimento de onda. O seu princípio de funcionamento, é uma luz policromática e difusa que ilumina a amostra e passa por um prisma ou por uma grade e sofre uma difração. Assim, os componentes monocromáticos atingem detectores espectrais, cada um localizado no ponto correspondente ao seu comprimento de onda. Cada um desses detectores manda, para um processador de

sinais, o sinal correspondente à energia relativa recebida e o fator de refletância é, então, registrado e apresentado em forma de gráfico (SILVA, 2004, p. 23).

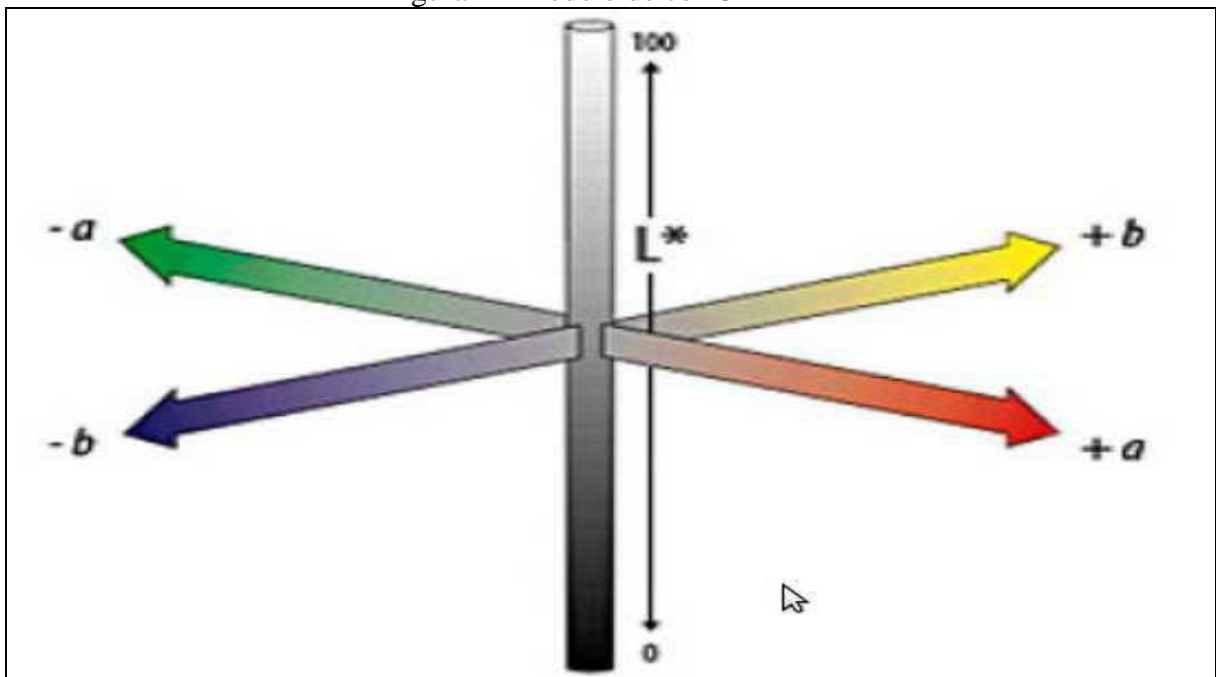
### 2.3 SISTEMAS DE CORES LAB, RGB, CMYK E PANTONE

O CIE LAB é o sistema de cor que chega mais próximo a conseguir reproduzir todas as cores existentes no espectro visível e também é o principal espaço de cor puramente matemático e, portanto, independente de dispositivos. Fruto de pesquisas da Commission Internationale L'Eclairage, daí o CIE da sigla, este espaço de cor trabalha com três canais diferentes (SAMPAIO, 2009). Segundo Sampaio (2009):

O canal L (que varia de 0-preto a 100-branco), que guarda as informações de luminosidade de uma cena, e os canais a e b comportam a informação de cor. Em a, valores positivos indicam magenta e negativos verde, enquanto em b, valores positivos indicam azul e negativos amarelo.

A Figura 2 representa o modelo de cor CIE LAB:

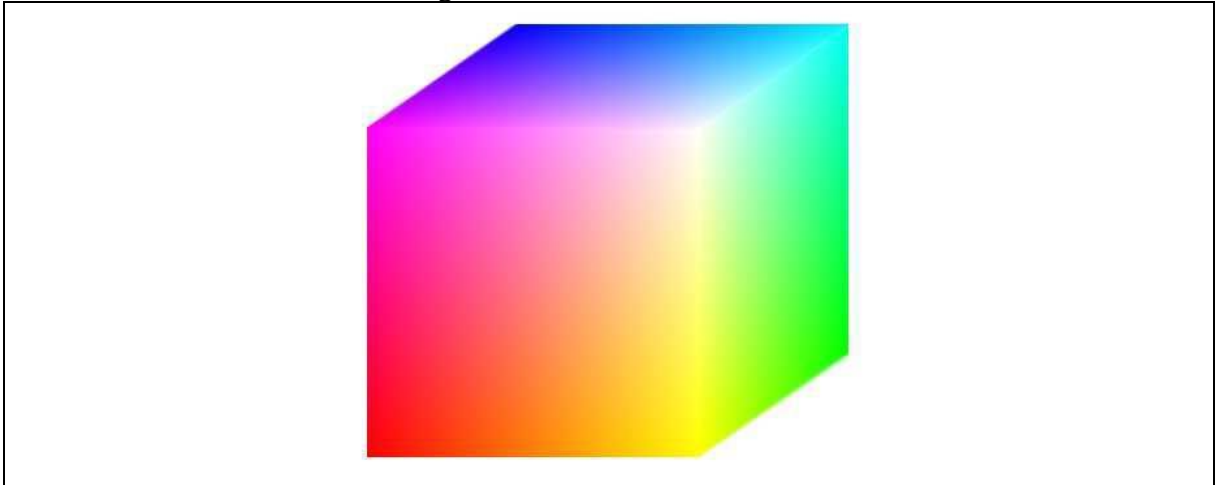
Figura 2 - Modelo de cor CIE LAB



Fonte: Leite (2006, p. 22).

RGB é o sistema de cores usado em objetos que emitem luz, como por exemplo monitores, celulares, televisores e eletrônicos em geral. A sigla representa as iniciais de três cores em inglês: Red, Green e Blue. Se mesclarmos as três cores obteremos mais luz, chegando ao branco, mais se as sobrepormos, de duas em duas, teremos as cores primárias como resultado que são magenta, amarelo e ciano (SENNO, 2017). A Figura 3 representa o modelo de cor RGB:

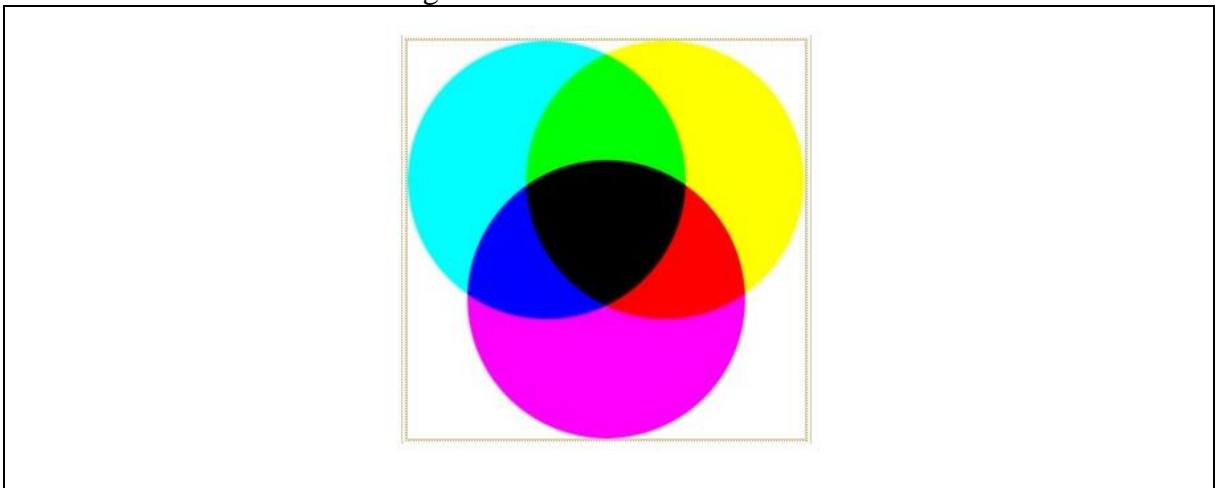
Figura 3 - Modelo de cor RGB



Fonte: Schoten (2010).

CMYK é cor pigmento, escala de cores utilizadas principalmente pela indústria gráfica nos materiais impressos como jornais, revistas, embalagens, etc. A sigla corresponde as cores ciano, magenta, yellow e key (black). É um padrão subtrativo, composto por pigmentos sólidos que quando se sobrepõem, ficam cada vez mais escuros. As tonalidades podem formar uma possibilidade enorme de nuances e a impressão em CMYK é chamada de cromia, e é preciso definir o percentual de cada uma das quatro cores para a composição de uma tonalidade (SENNO, 2017). A Figura 4 representa o modelo de cor CMYK:

Figura 4 - Modelo de cor CMYK



Fonte: site fperrotti.

Pantone é um sistema de cor largamente utilizado na indústria gráfica, sendo um sistema numérico para identificar as cores com alta regularidade e padrão na produção, pois as cores não ficam sujeitas à subjetividade humana. É um sistema de comunicação de cor sólida baseado na combinação visual de cores individuais pré-misturadas. O Pantone é uma série de livros com milhares de cores impressas ao lado de fórmulas para misturar essas cores (BLOG PRINTI, 2013).

Por ser composto por um único pigmento de cor, garante uma maior fidelidade nos impressos gráficos. O sistema Pantone é conhecido como a linguagem padrão de cores e é utilizado na indústria gráfica para atingir a cor exata, pois os projetistas podem ter certeza de que sua saída irá corresponder às suas expectativas (BLOG PRINTI, 2013). A Figura 5 representa o sistema de cor Pantone:

Figura 5 - Sistema de cor Pantone



Fonte: site Pantone.

## 2.4 FÓRMULAS CIE76, CIE94 E CIEDE2000

O espaço CIELAB foi desenvolvido no ano de 1976, e era a melhor referência para medir pequenas diferenças de cores e a distância euclidiana entre duas coordenadas neste espaço. Esta fórmula foi oficialmente padronizada e ficou conhecida com CIE76 ou DeltaE  $\Delta E$  (RIDOLFI, 2012, p. 35). A fórmula CIE76 é definida conforme Figura 6:

Figura 6 - Fórmula CIE76

$$\Delta E_{76} = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

Fonte: Ridolfi (2012, p. 36).

Nos anos seguintes, novas pesquisas geraram mais dados empíricos que melhor caracterizaram a percepção do olho humano, o que resultou em propostas de ajustes da fórmula CIE76. Esta fórmula foi revista, o que resultou no padrão CIE94, descrito na Figura 7, sendo que os fatores de ponderação  $K_L$ ,  $K_1$  e  $K_2$ , dependem da área de aplicação, conforme Tabela 1 (RIDOLFI, 2012, p. 36).

Figura 7 - Fórmula CIE94

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{K_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}}{1 + K_1 C_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}}{1 + K_2 C_1}\right)^2}$$

onde:

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

$$C_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad i = 1, 2$$

$$\Delta C_{ab} = C_2 - C_1$$

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

$$\Delta b = b_2 - b_1$$

$$\Delta H_{ab} = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 - \Delta C_{ab}^2}$$

Fonte: Ridolfi (2012, p. 36).

Tabela 1 - Fatores de ponderação da fórmula CIE94

|       | Artes Gráficas | Têxteis |
|-------|----------------|---------|
| $K_L$ | 1              | 2       |
| $K_1$ | 0.045          | 0.048   |
| $K_2$ | 0.015          | 0.014   |

Fonte: Ridolfi (2012, p. 37).

No ano de 1998, a CIE criou um comitê técnico objetivando a criação de uma fórmula de diferença de cores que fosse mais confiável e genérica do que as fórmulas já existentes. O

desenvolvimento da nova fórmula teve como base a consolidação dos diferentes conjuntos de dados de diferenças perceptuais de cores. A fórmula CIEDE2000 foi padronizada pelo CIE no ano de 2002, sendo considerada a fórmula mais avançada para aferição de diferenças de cores (RIDOLFI, 2012, p. 37/38). A fórmula CIEDE2000 é descrita matematicamente da seguinte forma, conforme Ridolf (2012, p. 38):

Sejam  $c_1 = (L_1, a_1, b_1)$  e  $c_2 = (L_2, a_2, b_2)$  coordenadas no espaço de cores CIELAB, onde  $\|c_2 - c_1\| \leq D_0$ , para um  $D_0$  pequeno.  $\Delta E_{2k}(c_1, c_2)$  é a equação que define a fórmula de diferença perceptual de cores CIEDE2000 e  $D_0$  é a maior diferença dentre cores onde a equação pode ser aplicada.

A norma ISO 11664-6: 2014 especifica o método de cálculo de diferenças de cores de acordo com a fórmula do CIEDE2000. A norma ISO 11664-6: 2014 é aplicável aos valores de entrada das coordenadas CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  calculadas de acordo com a norma ISO 11664-4: 2008 (E). A ISO 11664-6: 2014 pode ser usada para especificar a diferença de cor entre dois estímulos de cor percebidos como pertencentes à reflexão ou transmissão de objetos.

A fórmula do CIEDE200 está descrita na Figura 8 - Fórmula CIEDE2000.

Figura 8 - Fórmula CIEDE2000

$$\Delta E_{2k}(c_1, c_2) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{S_C} \frac{\Delta H'}{S_H}}$$

onde:

$$\Delta L' = L_2 - L_1$$

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

$$C = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$C_i^* = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad i = 1, 2$$

$$a_i' = a_i + \frac{a_i}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{C^*}{C^* + 25^7}} \right) \quad i = 1, 2$$

$$C_i' = \sqrt{a_i'^2 + b_i^2} \quad i = 1, 2$$

$$\Delta C' = C_2' - C_1' \quad i = 1, 2$$

$$C' = \frac{C_1' + C_2'}{2}$$

$$h_i' = \tan^{-1} \left( \frac{b_i}{a_i'} \right) \quad i = 1, 2$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h_2' - h_1' & \|h_1' - h_2'\| \leq \pi \\ h_2' - h_1' + 2\pi & \|h_1' - h_2'\| > \pi, h_2' \leq h_1' \\ h_2' - h_1' - 2\pi & \|h_1' - h_2'\| > \pi, h_2' > h_1' \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'} \sin \left( \frac{\Delta h'}{2} \right)$$

$$H' = \begin{cases} (h_2' - h_1' + 2\pi)/2 & \|h_1' - h_2'\| > \pi \\ (h_2' - h_1')/2 & \|h_1' - h_2'\| \leq \pi \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(H' - \pi/6) + 0.24(2H') + \\ + 0.32 \cos(3H' + \pi/30) - 0.20 \cos(4H' - 21\pi/60)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(L - 50)^2}{\sqrt{20 + (L - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045 C'$$

$$S_H = 1 + 0.015 \bar{C}' T$$

$$H'_{deg} = \frac{180 H'}{\pi}$$

$$R_T = 2\sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{C'^7 + 25^7}} \sin \left[ \frac{\pi}{6} \exp \left( - \left[ \frac{H'_{deg} - 275}{25} \right]^2 \right) \right]$$



## 2.5 TRABALHOS CORRELATOS

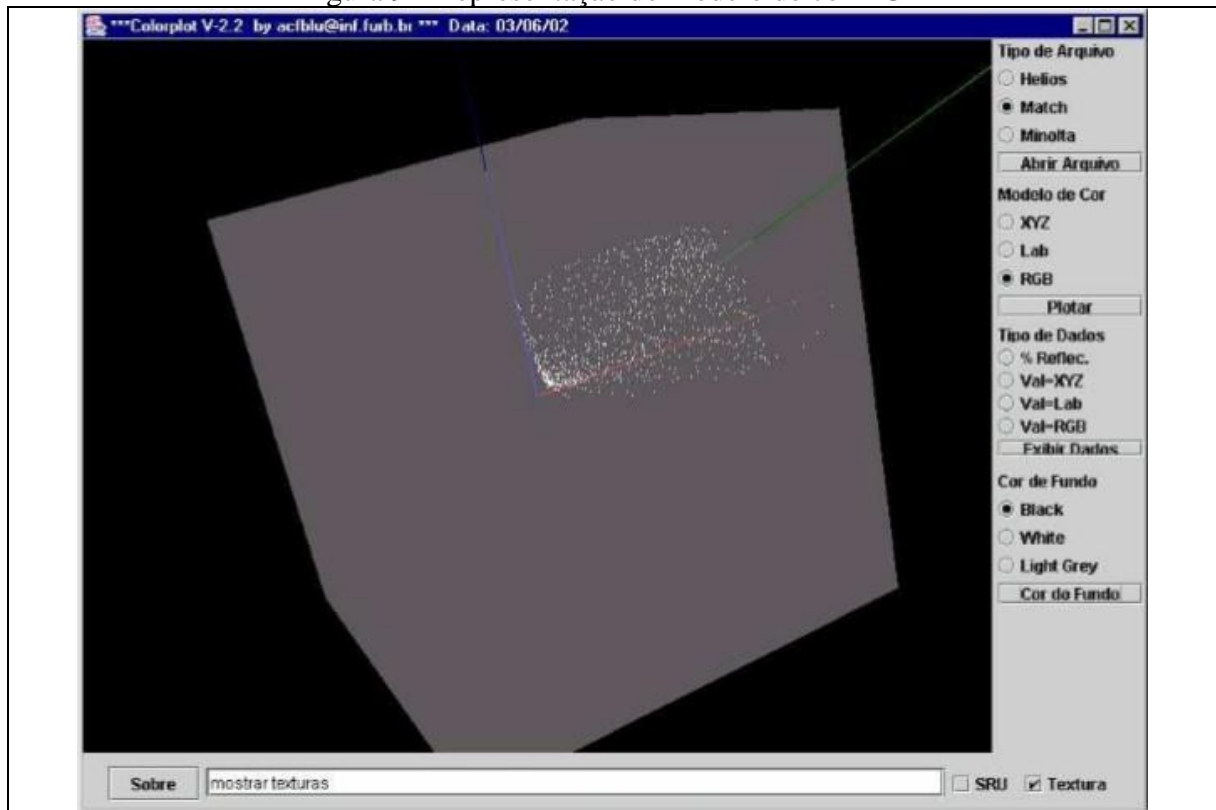
A seguir são apresentados três trabalhos correlatos com características semelhantes aos principais objetivos do trabalho desenvolvido. Na seção 2.4.1 é descrito um protótipo de visualizador para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por refletância (FERNANDES, 2002). A seção 2.4.2 descreve um sistema para medição de cores utilizando o espectrofotômetro (BERTOLINI, 2010). Já na seção 2.4.3 é descrito o software Tucanna PrintControl Pro (TUCANNA, 2016).

### 2.5.1 Protótipo de visualizador para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por refletância

Fernandes (2002) programou um protótipo para visualização de amostra de cores, assim como a determinação da diferença entre as mesmas. Este protótipo implementou um algoritmo para a leitura de arquivos com medições de refletância de um objeto em várias extensões, exportadas por um espectrofotômetro. O algoritmo utilizado neste protótipo tem a capacidade de leitura de arquivos de texto de três marcas de espectrofotômetros, sendo Hélios, Minolta e Match. Através das informações lidas pelos arquivos, tem-se a representação em um sistema tridimensional, da visualização dos modelos de cores e os valores numéricos dos mesmos. O protótipo visualiza os modelos de cores Red, Green e Blue (RGB), conforme Figura 9, XYZ e Commission Internationale L'Eclairage LAB (CIE LAB), conforme Figura 10.

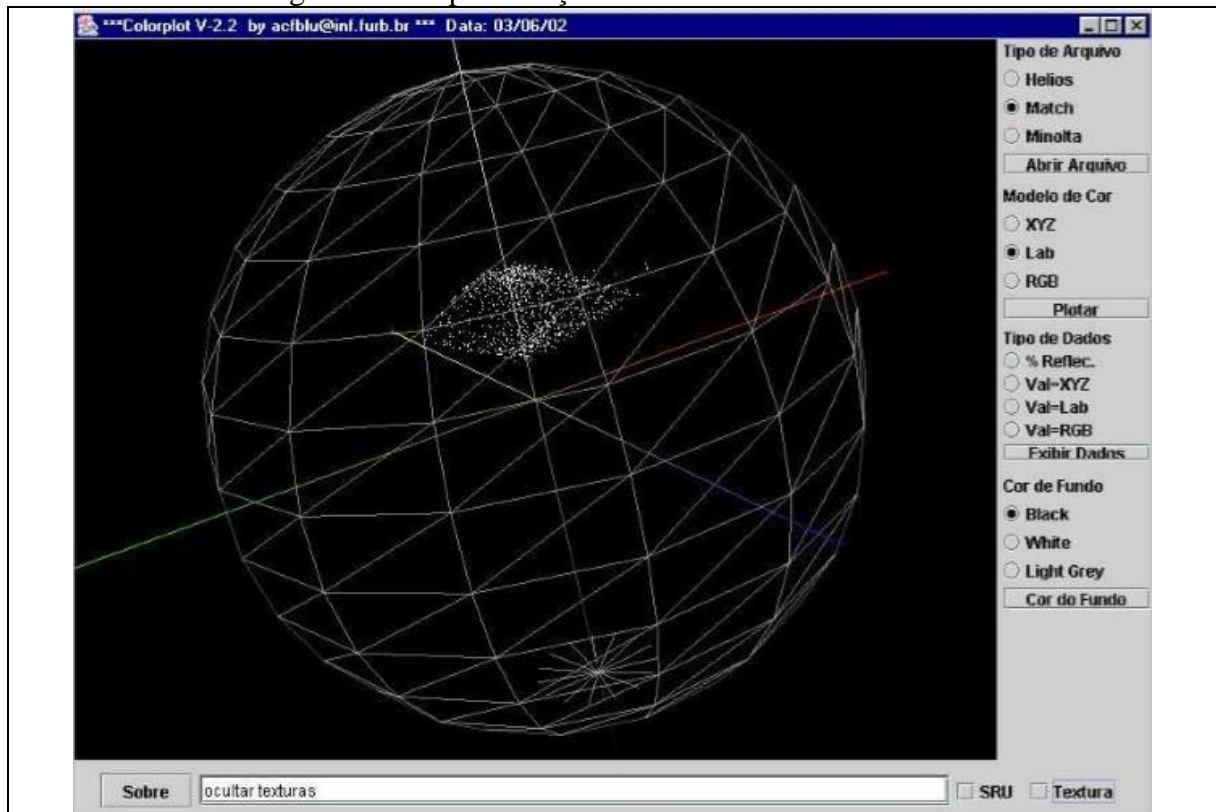
Para a implementação do protótipo a linguagem de programação utilizada foi JAVA-JVM-1.4.0, com o adicional da Application Programming Interface (API) Java 3D da Sun Microsystems no ambiente Jcreator PRO version 2.00 da Xinox Software.

Figura 9 - Representação do modelo de cor RGB



Fonte: Fernandes (2002, p. 61).

Figura 10 - Representação do modelo de cor CIE LAB



Fonte: Fernandes (2002, p. 61).

Fernandes (2002, p. 63), destacou os resultados do trabalho como alcançados. O protótipo apresentou os resultados desejados num ambiente tridimensional, apresentando resultados numéricos semelhantes ao de softwares comerciais existentes no mercado.

### 2.5.2 Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro

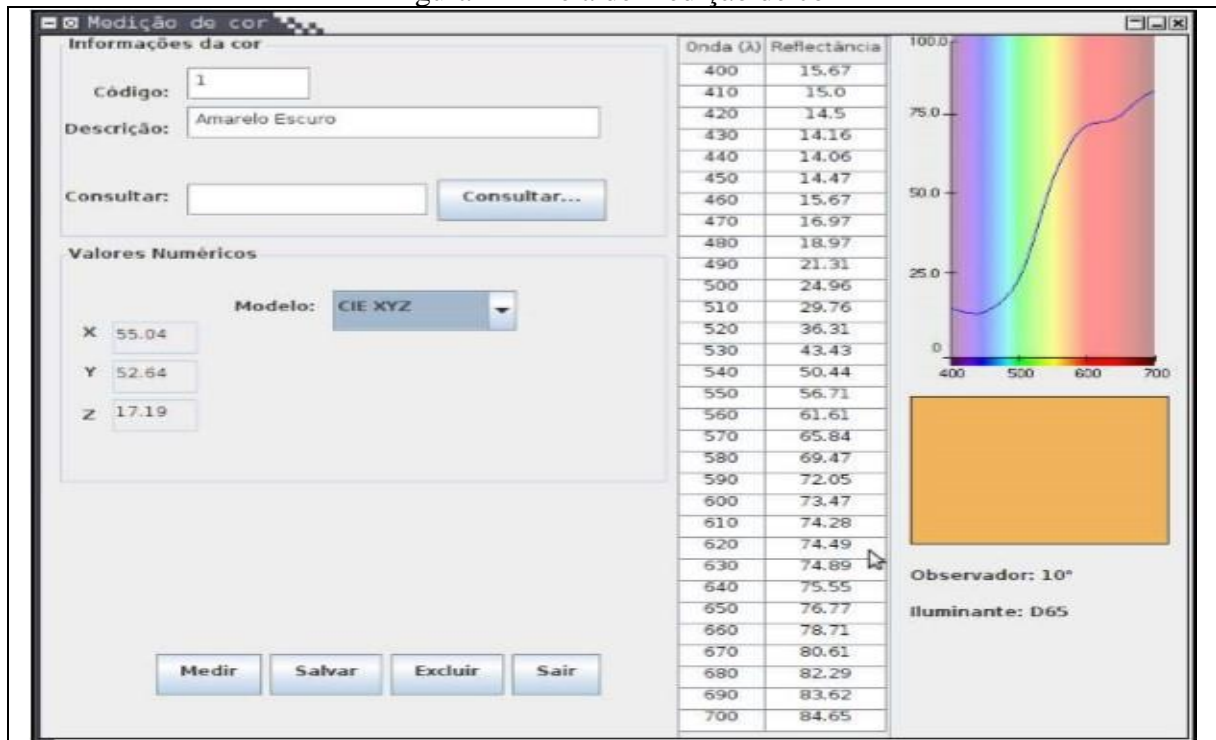
Bertolini (2010) descreve seu trabalho como um sistema para medição de cores que funciona em conjunto com o espectrofotômetro Minolta CM-2500d, que por sua vez mede a refletância de uma superfície ou uma amostra através de seu comprimento de onda. O sistema se comunica como o espectrofotômetro por comunicação serial, possibilitando a representação na tela do computador no formato RGB entre outros formatos, permitindo que o usuário possa converter entre outros formatos de cores conhecidos, buscar cores parecidas e exportar os valores das cores medidas.

Inicialmente deve-se fazer a calibração do espectrofotômetro para que o mesmo possa estabelecer uma condição estável e conhecida. Os métodos de calibração são white (medição de uma amostra de cor branca disponibilizada pelo fabricante do espectrofotômetro) e a medição zero que consiste em medir nenhuma cor (preto).

Após a calibração pode-se fazer a leitura dos dados de refletância do espectrofotômetro para posteriormente serem calculados os modelos de cores. Os modelos de cores suportados pelo sistema são modelo RGB, modelo CIE XYZ, modelo CIE LAB, modelo CIE Lightness Chroma Hue (LCH), modelo Cyan, Magenta, Yellow e Black (CMYK), modelo Hue, Saturation e Value (HSV) e modelo Hexadecimal. Com o término dos cálculos a tela de medição de cor é gerada com informações importantes sobre a leitura como: visualização da cor que foi lida, valores numéricos calculados e possibilita a gravação, exclusão e consulta dos dados, conforme Figura 11 e Figura 10.

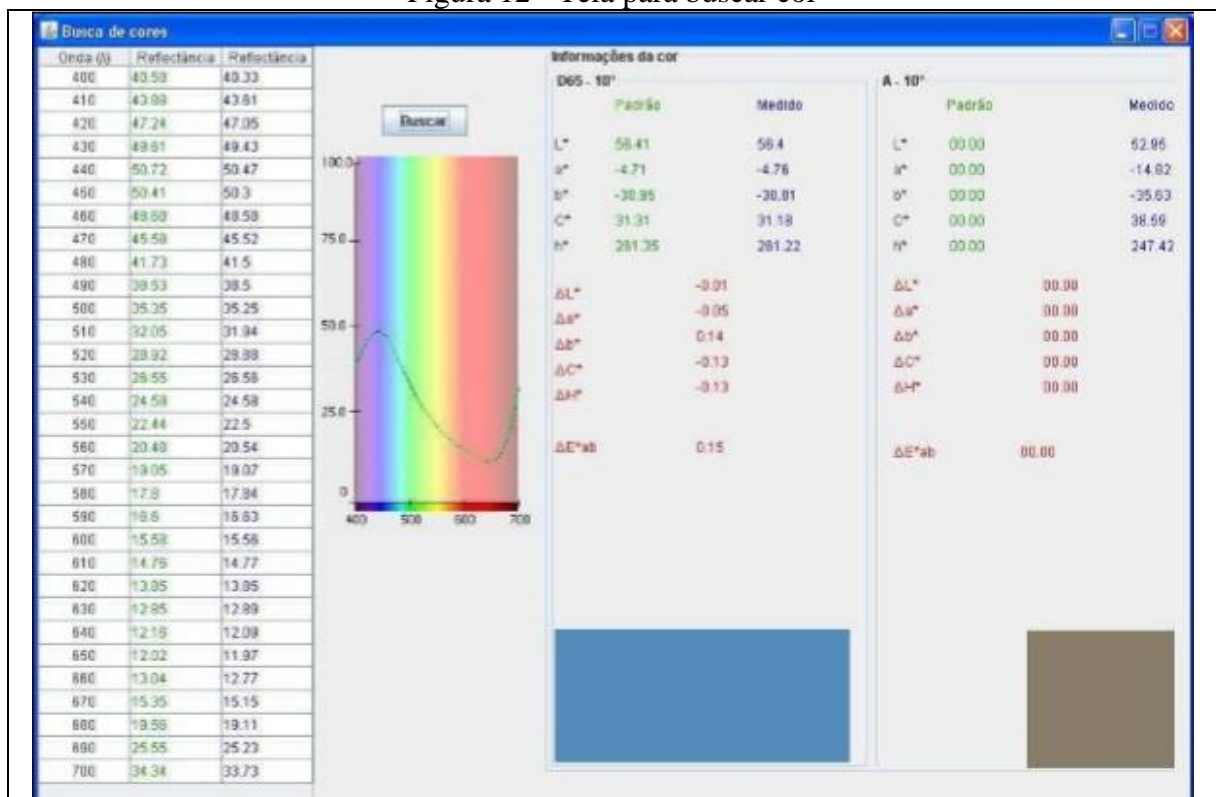
A função buscar cor, ilustrada na Figura 12, possibilita ao usuário procurar cores semelhantes na base de dados. A diferença entre as cores é calculada utilizando CIE76. O sistema possibilita a exportação das cores juntamente com seus modelos calculados para arquivos texto externos. O autor salienta que o sistema alcançou os resultados desejados, com a comunicação com o espectrofotômetro e os valores numéricos calculados próximos ao de sistemas comerciais.

Figura 11 - Tela de medição de cor



Fonte: Bertolini (2010, p. 67).

Figura 12 - Tela para buscar cor



Fonte: Bertolini (2010, p. 69).

### 2.5.3 Tucanna Printcontrol Pro

Tucanna PrintControl Pro é um software proprietário desenvolvido pela empresa Tucanna e destinado a indústria gráfica (TUCANNA, 2016). Com suporte para sistema operacional Windows (TUCANNA PRINTCONTROL 2.7), permite a comunicação com o espectrofotômetro X-Rite i1 Pro ou i1 Pro2, facilitando a medição de cores.

Possui a visualização da cor medida, além de banco de dados para salvar, visualizar e comparar com cores já salvas. Entre as principais características do Tucanna PrintControlPro, destaca-se que ele permite medir a densidade da cor (Figura 13) e seus valores colorimétricos, como cálculo de diferença de cor, coordenadas da cor no espaço de cor CIE LAB, Delta E, correspondentes visuais para diferentes iluminantes, entre outros. O software permite converter as cores para modelos de cores diferentes e possui suporte para as linguagens: Ingles, Alemão, Frances, Espanhol, Italiano, Portugues, Chines e Japones.

Figura 13 - Tela de representação da densidade da cor



Fonte: Bertolini (2010, p. 69).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do software. A seção 3.1 apresenta os requisitos funcionais e não funcionais do software desenvolvido. A seção 3.2 é dedicada à especificação do projeto, contendo o diagrama de casos de uso, diagrama de classes e diagrama de atividades. Na seção 3.3 está descrita a implementação das principais partes da aplicação, assim como as ferramentas utilizadas e a operacionalidade da aplicação. Por fim, na seção 3.4 são apresentados os testes realizados e os resultados obtidos.

#### 3.1 REQUISITOS

O Software a ser desenvolvido atenderá Requisitos Funcionais (RF) e Requisitos Não Funcionais (RNF), apresentados no Quadro 1 e Quadro 2, respectivamente. Os requisitos são mapeados com os casos de uso ilustrados na Figura 11.

Quadro 1 - Requisitos funcionais

| Requisitos funcionais (RF)  | Casos de uso (UC) |
|---|-------------------|
| RF01: O sistema deve permitir selecionar o dispositivo  | UC01              |
| RF02: O sistema deve permitir calibrar o espectrofotômetro                                      | UC02              |
| RF03: O sistema deve permitir que o usuário possa fazer leitura de medição                      | UC03              |
| RF04: O sistema deve permitir que o usuário possa salvar a comparação de cores na base de dados | UC04              |
| RF05: O sistema deve permitir limpar os dados   | UC05              |
| RF06: O sistema deve permitir exibir o histórico  | UC06              |
| RF07: O sistema deve permitir cadastrar cores Pantone   | UC07              |

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Requisitos não funcionais

| Requisitos não funcionais (RNF)  |
|--|
| RNF01: possuir comunicação serial com o espectrofotômetro X-Rite i1Pro 2                             |
| RNF02: ser implementado em C#, utilizando o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Community 2017 |
| RNF03: possuir uma base de dados MySQL   |
| RNF04: sistema operacional Windows 7   |

Fonte: elaborado pelo autor.

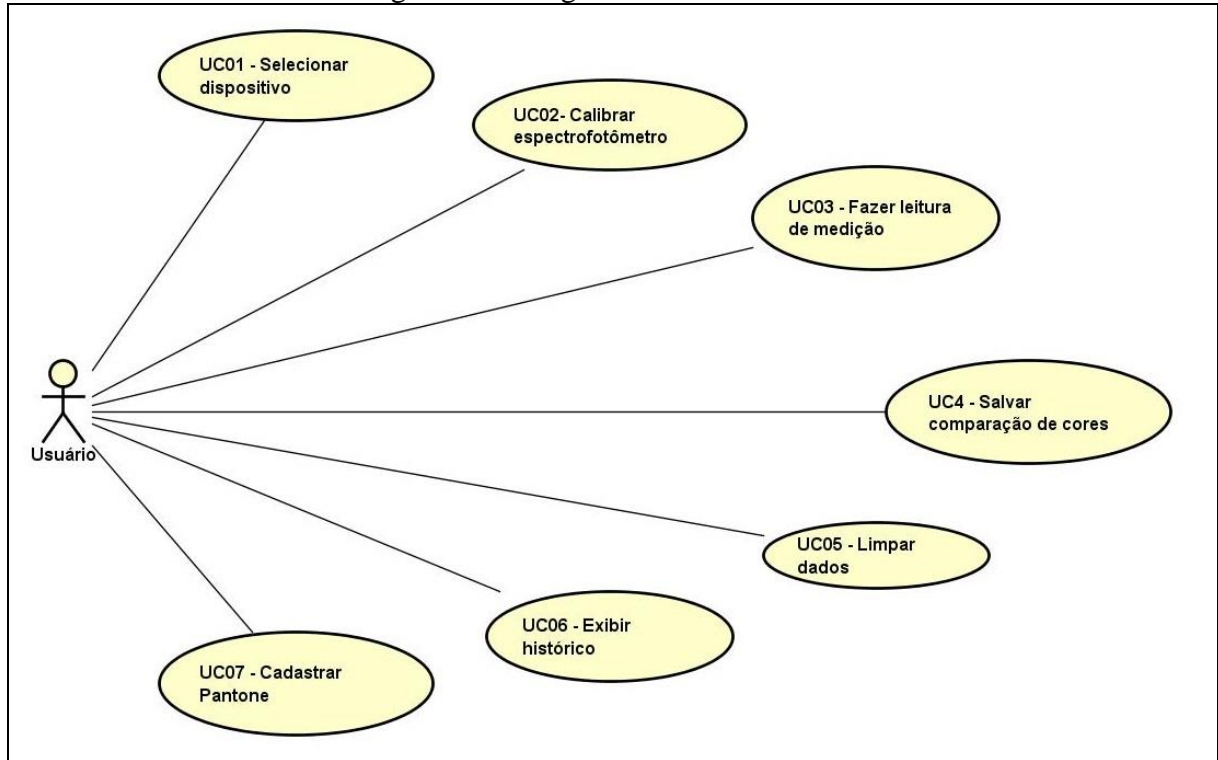
#### 3.2 ESPECIFICAÇÃO

Para o entendimento das funcionalidades e arquitetura do software, foram desenvolvidos diagramas seguindo o padrão Unified Modeling Language (UML), utilizando a ferramenta Astah Community para o diagrama de casos de uso, classes e atividades.

### 3.2.1 Diagrama de casos de uso

A Figura 14 apresenta o diagrama de casos de uso (UC) do software desenvolvido, com as funções que o Usuário pode realizar.

Figura 14 - Diagrama de Casos de Uso



Fonte: elaborado pelo autor.

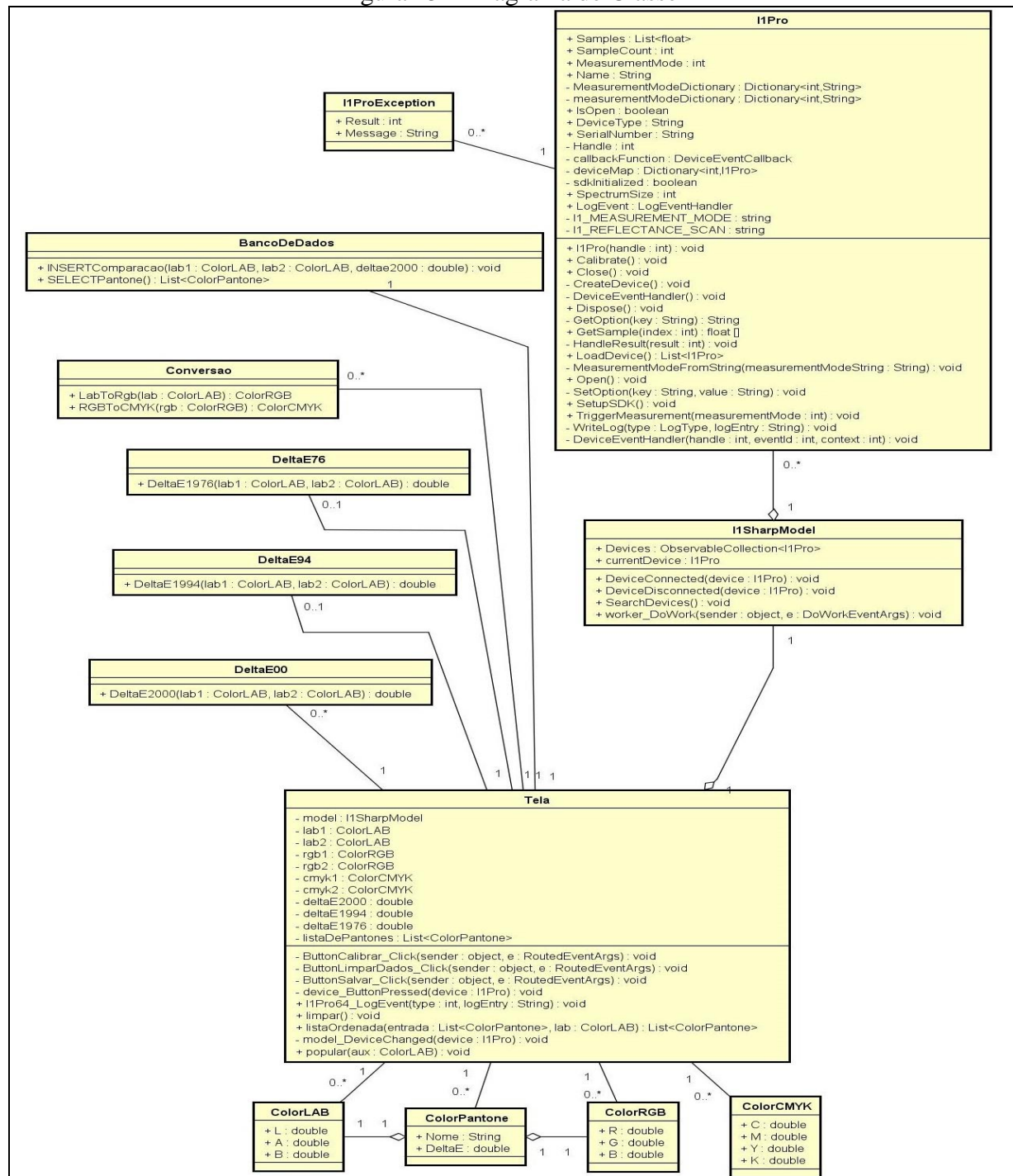
No caso de uso UC01 - Selecionar dispositivo o usuário pode escolher o dispositivo que deseja conectar. No caso de uso UC02 - Calibrar espectrofotômetro o usuário deve deixar o suporte do espectrofotômetro preparado para fazer a calibração do branco, após deve clicar no botão calibrar existente no software. No caso de uso UC03 - Fazer leitura de medição o usuário deve retirar o espectrofotômetro do suporte e posicionar sobre a cor que deseja fazer a leitura e então pressionar o botão do dispositivo. O caso de uso UC04 - Salvar comparação de cores permite ao usuário salvar na base de dados a comparação das leituras com as informações das cores lidas. O caso de uso UC05 - Limpar dados possibilita ao usuário limpar as leituras realizadas e apresentadas na tela que não deseja salvar na base de dados. No caso de uso UC06 - Exibir histórico é apresentado o histórico das últimas comparações salvas. Já o caso de uso UC07 - Cadastrar Pantone permite ao usuário cadastrar na base de dados novas cores Pantone.



### 3.2.2 Diagrama de classes

Na Figura 15 é apresentado o diagrama de classes que descreve a estrutura do software, apresentando suas classes, atributos, operações e as relações entre os objetos.

Figura 15 – Diagrama de Classe



Fonte: elaborado pelo autor.

A classe `Tela` é responsável por inicializar os componentes gráficos da interface com o usuário, e cria uma instância de `I1SharpModel` que é uma classe modelo de `I1Pro`. A classe `I1SharpModel` obtém os métodos que manipulam as funcionalidades da classe `I1Pro`, como



adicionar um novo dispositivo a lista de conectados, alterar o dispositivo ativo, remover um dispositivo desconectado da lista.

A classe `I1Pro` manipula atributos, métodos e eventos do dispositivo. Esta classe possui métodos que retornam as informações do dispositivo, como versão do SDK, nome do dispositivo, entre outros, nesta classe é definido o método de medição que o dispositivo irá usar, possui também método de calibração, criação e exclusão do dispositivo. A classe `I1ProException` trata as exceções criadas pela classe `I1Pro`.

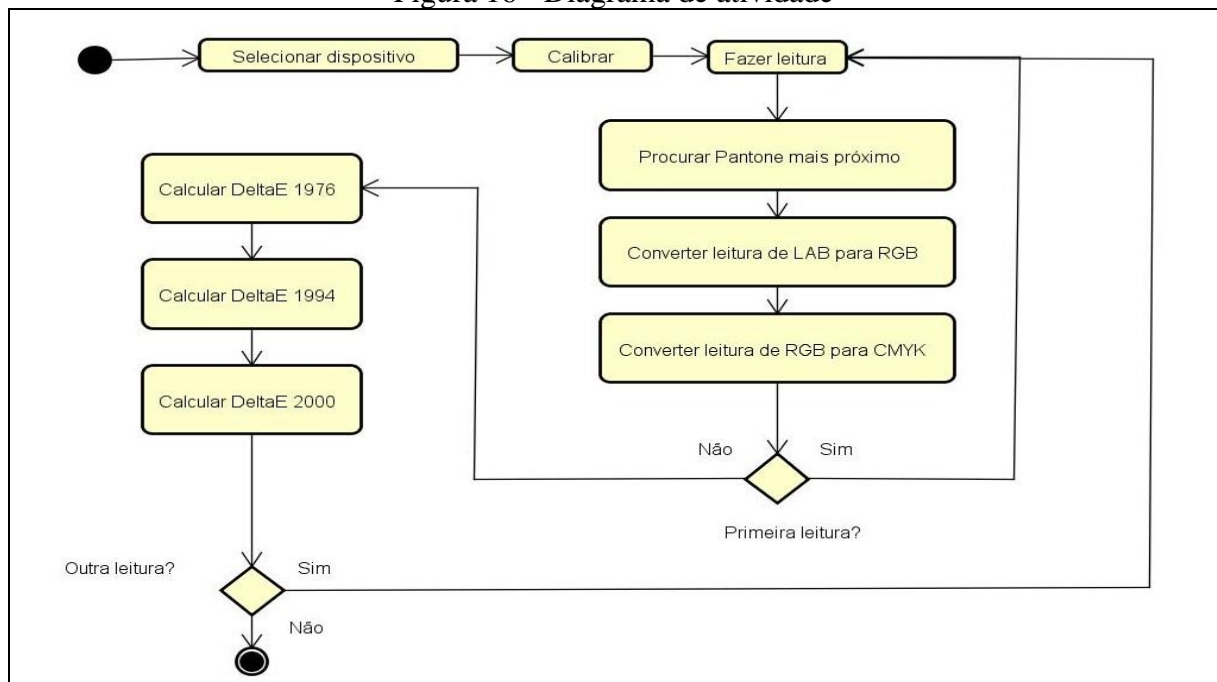
A classe `BancoDeDados` manipula as conexões e acessos ao banco de dados, com métodos de inserção e consulta. As classes `ColorRGB`, `ColorCMYK`, `ColorLAB` e `ColorPantone` representam os modelos de cores que o software suporta. A classe `Conversão` possui métodos para conversão entre modelos de cor, como conversão do modelo de cor LAB para RGB e do modelo RGB para CMYK.

As classes `DeltaE76`, `DeltaE94` e `DeltaE00`, possuem atributos e métodos que são responsáveis por fazer o cálculo da distância euclidiana entre duas cores.

### 3.2.3 Diagrama de atividades

Na Figura 16 pode-se observar o diagrama de atividades, ilustrando de forma sucinta o fluxo principal do software.

Figura 16 - Diagrama de atividade



Fonte: elaborado pelo autor.

Inicialmente, é necessário fazer a seleção de um dispositivo conectado e em seguida a calibração do mesmo, então se inicia o loop principal da aplicação, para cada leitura o

software irá procurar o Pantone mais próximo e realizar conversões entre os modelos de cor LAB para RGB, e RGB para CMYK. Após se obter duas leituras o software faz os cálculos da distância euclidiana utilizando as fórmulas CIEDE1976, CIEDE1994 e CIEDE2000, caso tenha uma nova leitura o loop se repete.

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo são apresentadas na seção 3.3.1 as técnicas e ferramentas utilizadas na implementação do software, e na seção 3.3.2 a operacionalidade da implementação.

#### 3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

Para implementar o trabalho proposto utilizou-se a IDE Microsoft Visual Studio Community 2017, em conjunto com a linguagem de programação C#. Para armazenar e manipular dados foi utilizado o banco de dados MySQL e modelado utilizando a ferramenta MySQL Workbench 6.3. Já para a comunicação com o espectrofotômetro foi utilizado o `i1Pro_SDK_4.2`, que é uma biblioteca desenvolvida pela X-Rite Inc, que faz a interface com o `i1Pro2`.

O software é acessado através de um arquivo executável disponibilizado aos usuários. Conforme descrito na Figura 16, inicialmente o usuário deve selecionar o espectrofotômetro, que deve estar conectado a porta USB do computador. No Quadro 3 é descrito o construtor da classe `I1SharpModel` e na linha 3 é criado uma instância de `ObservableCollection`, que é uma coleção de dispositivos e possui mecanismos de notificação quando a coleção é modificada. A classe `I1SharpModel` possui duas chamadas de métodos do SDK, na linha 4 `I1Pro.DeviceConnected += I1Pro64_DeviceConnected` responsável por adicionar dispositivos a lista conectados, e na linha 5 `I1Pro.DeviceDisconnected += I1Pro64_DeviceDisconnected` para remover dispositivos da lista.

Quadro 3 - Código do construtor da classe `I1SharpModel`

|   |  |
|---|--|
| 1 | <code>public I1SharpModel()</code>                                       |
| 2 | <code>{</code>   |
| 3 | <code>    Devices = new ObservableCollection&lt;I1Pro&gt;();</code>      |
| 4 | <code>    I1Pro.DeviceConnected += I1Pro64_DeviceConnected;</code>       |
| 5 | <code>    I1Pro.DeviceDisconnected += I1Pro64_DeviceDisconnected;</code> |
| 6 | <code>}</code>   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Posteriormente, deve-se realizar a calibração do espectrofotômetro que garante que se possa obter uma referência colorimétrica para executar a medição de amostras de cor. No Quadro 4 é apresentado o método de calibração do dispositivo, através desse método é configurado o tipo de leitura utilizado `eReflectanceScan`. Em caso de sucesso é apresentada a mensagem de dispositivo calibrado.

Quadro 4 - Código do método `Calibrate` da classe `I1Pro`

|   |  |
|---|--|
| 1 | <code>public void Calibrate(MeasurementModeType measurementMode =</code> |
| 2 | <code>MeasurementModeType.eReflectanceScan)</code>                       |
| 3 | <code>{</code>   |
| 4 | <code>    MeasurementMode = measurementMode;</code>                      |
| 5 | <code>    Result result = I1_Calibrate(Handle);</code>                   |
| 6 | <code>    HandleResult(result);</code>                                   |
| 7 | <code>    WriteLog(LogType.eNormal, "Dispositivo calibrado");</code>     |
| 8 | <code>}</code>   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Depois do dispositivo ser calibrado com sucesso, o usuário pode fazer uma leitura, através dessa ação o software irá obter uma matriz espectral conforme Quadro 5. A partir desse dado são filtrados os campos necessários para a composição da cor, ilustrado no Quadro 6.

Quadro 5 - Código do método `GetSample` da classe `I1Pro`

|   |  |
|---|--|
| 1 | <code>public float[] GetSample(int index = 0)</code>                   |
| 2 | <code>{</code>   |
| 3 | <code>    float[] color = new float[SpectrumSize];</code>              |
| 4 | <code>    Result result2 = I1_GetTriStimulus(Handle, color, 0);</code> |
| 5 | <code>    HandleResult(result2);</code>                                |
| 6 | <code>    return color;</code>   |
| 7 | <code>}</code>   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 6 - Código do método `device_ButtonPressed` da classe `I1Pro`

|    |  |
|----|--|
| 1  | <code>private void device_ButtonPressed(I1Pro device)</code>               |
| 2  | <code>{</code>   |
| 3  | <code>    try</code>   |
| 4  | <code>    {</code>   |
| 5  | <code>        model.CurrentDevice.TriggerMeasurement</code>                |
| 6  | <code>        (I1Pro.MeasurementModeType.eReflectanceScan);</code>         |
| 7  | <code>        this.Dispatcher.BeginInvoke((Action) (() =&gt;</code>        |
| 8  | <code>        {</code>   |
| 9  | <code>            Medicao = model.CurrentDevice.Samples;</code>            |
| 10 | <code>            var firstElement = Medicao[0];</code>                    |
| 11 | <code>            ColorLAB aux = new ColorLAB(firstElement[0],</code>      |
| 12 | <code>            firstElement[1], firstElement[2]);</code>                |
| 13 | <code>            popular(aux);</code>                                     |
| 14 | <code>        }));</code>  |
| 15 | <code>    } catch (Exception ex)</code>                                    |
| 16 | <code>    {</code>   |
| 17 | <code>        MessageBox.Show(ex.Message, "Erro durante a medição",</code> |
| 18 | <code>        MessageBoxButton.OK, MessageBoxImage.Error);</code>          |
| 19 | <code>    }</code>   |

Fonte: elaborado pelo autor.

Feita a leitura o software obtém um objeto da classe `ColorLAB`, conforme Quadro 6, linha 10, que contém as coordenadas do espaço de cor LAB, que é utilizado posteriormente para realizar conversões de cores para os modelos RGB e CMYK. A implementação da conversão do modelo de cor LAB para RGB está descrita no Quadro 7



**Quadro 8 - Código do método RGBToCMYK da classe Conversao**

|   |   |
|---|---|
| 1 | public static ColorCMYK RGBToCMYK(ColorRGB rgb)                 |
| 2 | {   |
| 3 | double k = Math.Min(1.0 - rgb.R / 255.0, Math.Min(1.0 - rgb.G / |
| 4 | 255.0, 1.0 - rgb.B / 255.0));                                   |
| 5 | double c = (1.0 - (rgb.R / 255.0) - k) / (1.0 - k);             |
| 6 | double m = (1.0 - (rgb.G / 255.0) - k) / (1.0 - k);             |
| 7 | double y = (1.0 - (rgb.B / 255.0) - k) / (1.0 - k);             |
| 8 | return new ColorCMYK(c, m, y, k);                               |
| 9 | }   |

Fonte: adaptada de EasyRGB (2018).

Feitas as conversões o software faz um `Select` no banco de dados para preencher uma lista com os Pantones cadastrados e realiza o cálculo do CIEDE2000 com todas as cores para achar a cor Pantone com a menor distância euclidiana. A implementação do CIEDE2000 está descrita no Quadro 9, conforme Figura 8.

Quadro 9 - Código do método DeltaE2000 da classe DeltaE00

```

1 public static double DeltaE2000(ColorLAB lab1, ColorLAB lab2)
2 {
3     double c1 = Math.Sqrt(lab1.A * lab1.A + lab1.B * lab1.B);
4     double c2 = Math.Sqrt(lab2.A * lab2.A + lab2.B * lab2.B);
5     double cab = (c1 + c2) / 2;
6     double cMediaAB = cab * cab * cab;
7     cMediaAB *= cMediaAB * cab;
8     double G = 0.5d * (1 - Math.Sqrt(cMediaAB / (cMediaAB +
6103515625))));
9     double ai1 = (1 + G) * lab1.A;
10    double ai2 = (1 + G) * lab2.A;
11    double ci1 = Math.Sqrt(ai1 * ai1 + lab1.B * lab1.B);
12    double ci2 = Math.Sqrt(ai2 * ai2 + lab2.B * lab2.B);
13    double hi1 = ((Math.Atan2(lab1.B, ai1) / Math.PI * 180) + 360) %
360d;
14    double hi2 = ((Math.Atan2(lab2.B, ai2) / Math.PI * 180) + 360) %
360d;
15    double deltaL = lab2.L - lab1.L;
16    double deltaC = ci2 - ci1;
17    double deltaHBarra = Math.Abs(hi1 - hi2);
18    double deltaHAux;
19    if (ci1 * ci2 == 0) deltaHAux = 0;
20    else
21    {
22        if (deltaHBarra <= 180d)
23        {
24            deltaHAux = hi2 - hi1;
25        }
26        else if (deltaHBarra > 180d && hi2 <= hi1)
27        {
28            deltaHAux = hi2 - hi1 + 360.0;
29        }
30        else
31        {
32            deltaHAux = hi2 - hi1 - 360.0;
33        }
34    }
35    double deltaH = 2 * Math.Sqrt(ci1 * ci2) * Math.Sin((deltaHAux /
2) * Math.PI / 180);
36    double LMedia = (lab1.L + lab2.L) / 2d;
37    double CMedia = (ci1 + ci2) / 2d;
38    double hMediaAux;
39    if (ci1 * ci2 == 0) hMediaAux = 0;
40    else
41    {
42        if (deltaHBarra <= 180d)
43        {
44            hMediaAux = (hi1 + hi2) / 2;
45        }
46        else if (deltaHBarra > 180d && (hi1 + hi2) < 360d)
47        {
48            hMediaAux = (hi1 + hi2 + 360d) / 2;
49        }
50        else
51        {
52            hMediaAux = (hi1 + hi2 - 360d) / 2;
53        }
54    }
55    double T = 1
56        - .17 * Math.Cos((hMediaAux - 30) * Math.PI / 180)

```

```

57         + .24 * Math.Cos((hMediaAux * 2) * Math.PI / 180)
58         + .32 * Math.Cos((hMediaAux * 3 + 6) * Math.PI / 180)
59         - .2 * Math.Cos((hMediaAux * 4 - 63) * Math.PI /
60 180);
61     double delta0Aux = (hMediaAux - 275) / (25);
62     delta0Aux *= delta0Aux;
63     double delta0 = 30 * Math.Exp(-delta0Aux);
64     double RcAux = (CMedia * CMedia * CMedia) * CMedia;
65     RcAux *= RcAux * CMedia;
66     double Rc = 2 * Math.Sqrt(RcAux / (RcAux + 6103515625));
67     double LMediaLinha = (LMedia - 50) * (LMedia - 50);
68     double S1 = 1 + ((.015d * LMediaLinha) / Math.Sqrt(20 +
69 LMediaLinha));
70     double Sc = 1 + .045d * CMedia;
71     double Sh = 1 + .015 * T * CMedia;
72     double Rt = -Math.Sin((2 * delta0) * Math.PI / 180) * Rc;
73     double deltaL_kl_S1 = deltaL / (S1 * 1);
74     double deltaC_kc_Sc = deltaC / (Sc * 1);
75     double deltaH_kh_Sh = deltaH / (Sh * 1);
76     double deltaE00 = Math.Sqrt(deltaL_kl_S1 * deltaL_kl_S1
77                                 + deltaC_kc_Sc * deltaC_kc_Sc
78                                 + deltaH_kh_Sh * deltaH_kh_Sh
79                                 + Rt * deltaC_kc_Sc * deltaH_kh_Sh
80                                 );
81     return deltaE00;
82 }

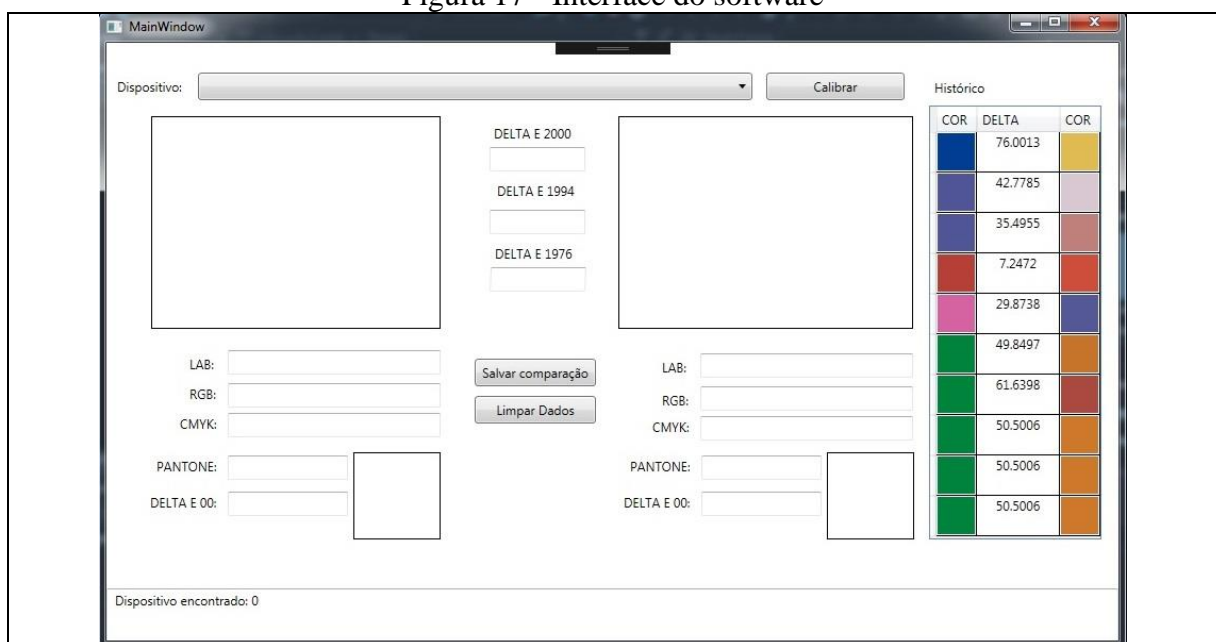
```

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3.2 Operacionalidade da implementação

Está subseção demonstra a operacionalidade do software em nível de usuário. Para isso, foi utilizado o sistema operacional Windows 7 em conjunto com Espectrofotômetro X-Rite I1 Pro2. A interface quando aberto o software está apresentada na Figura 17.

Figura 17 - Interface do software



Fonte: elaborado pelo autor.

Após aberto o software, caso o espectrofotômetro ainda não esteja conectado, deve-se conectá-lo na porta USB do computador. Conforme o manual de instruções do dispositivo, para a utilização do mesmo é necessário a realização dos passos mostrados na Figura 18. Uma vez calibrado o dispositivo, as luzes dos indicadores de estado ficam piscando na cor branca. Em caso de erro na calibração, as luzes indicadoras estarão na cor vermelha.

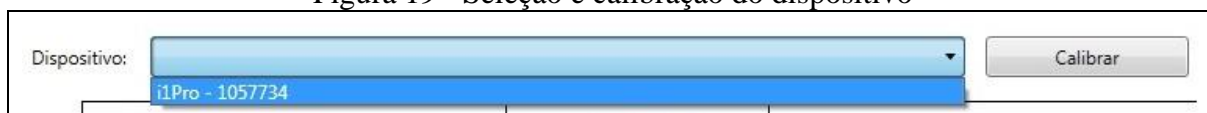
Figura 18 - Manual de instruções de calibração do espectrofotômetro



Fonte: Manual do usuário i1pro2.

Assim que o dispositivo estiver devidamente conectado, deve-se selecioná-lo no box dispositivo, e em seguida clicar no botão Calibrar, conforme Figura 19.

Figura 19 - Seleção e calibração do dispositivo



Fonte: elaborado pelo autor.

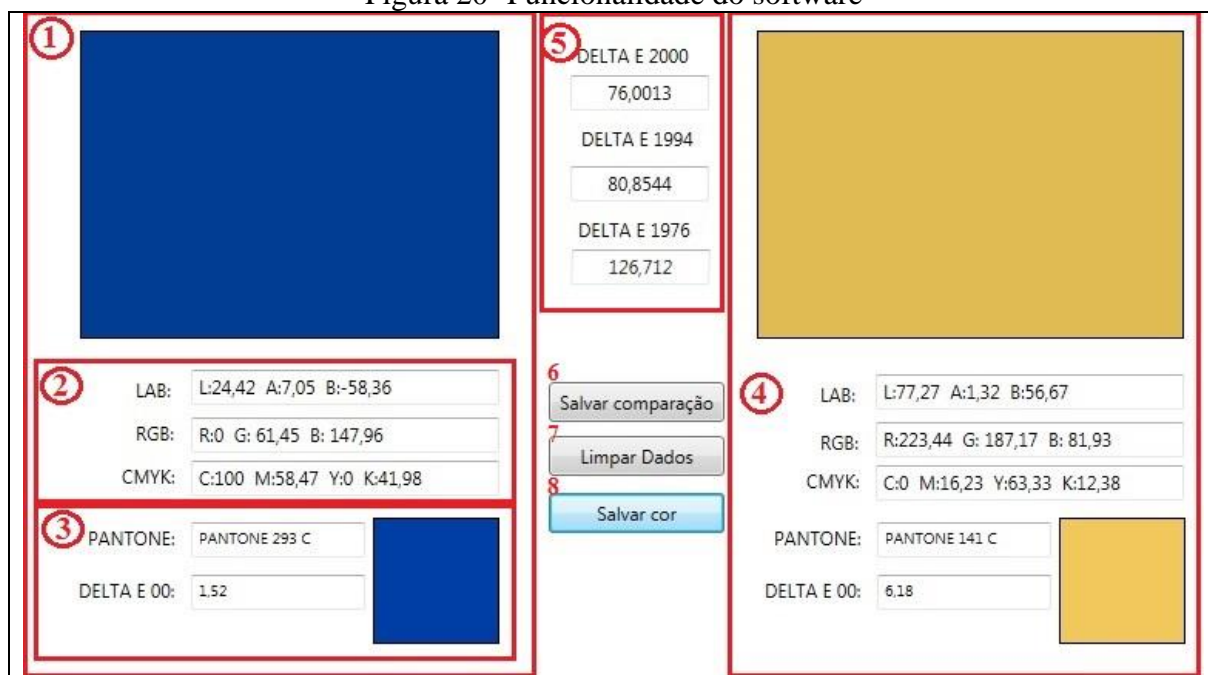
Com o dispositivo selecionado e calibrado o usuário pode fazer a leitura da cor de referência, a representação gráfica da cor de referência fica na parte esquerda do software, Figura 20 (1), assim como as suas informações colorimétricas nos modelos de cor LAB, RGB e CMYK, Figura 20 (2). A partir desse momento o software faz uma pesquisa no banco de dados procurando o Pantone mais próximo, apresentando o nome do Pantone, a distância euclidiana da cor lida para o Pantone e o CIEDE2000 entre ambas, Figura 20 (3). As leituras subsequentes serão mostradas na direita do software com as mesmas informações da cor de referência, Figura 20 (4).

Assim que ambos os lados estiverem com leituras, o software faz o cálculo do CIEDE2000 entre as duas cores, sendo que para efeitos de comparação são feitos também os cálculos CIE76 e CIE94, e são apresentados conforme Figura 20 (5). Com essas informações, pode-se salvar a comparação feita clicando no botão Salvar comparação, Figura 20 (6). Os dados são salvos no banco de dados e alimentam o histórico que fica na parte direita do



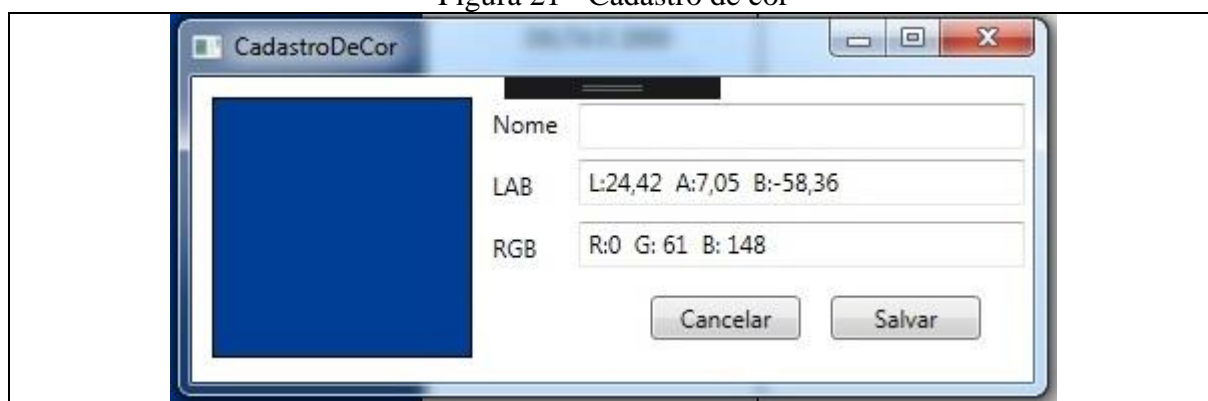
software, com as representações gráficas das cores e o CIEDE2000 entre elas. Quando necessário o usuário pode limpar todos os dados de leitura da tela utilizando o botão *Limpar Dados*, Figura 20 (7). Após feita a primeira leitura o software habilita o botão *Salvar cor*, Figura 20 (8), e ao clicar ele abrirá uma tela de cadastro de cor que serve para criar cores personalizadas a partir da leitura feita, conforme Figura 21.

Figura 20- Funcionalidade do software



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 21 - Cadastro de cor



Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

[Apresentar os casos de testes do software, destacando objetivo do teste, como foi realizada a coleta de dados e a apresentação dos resultados obtidos, preferencialmente em forma de gráficos ou tabelas, fazendo comentários sobre os mesmos.

Confrontar com os trabalhos correlatos apresentados na fundamentação teórica.]

## 4 CONCLUSÕES

[As conclusões devem refletir os principais resultados alcançados, realizando uma avaliação em relação aos objetivos previamente formulados. Deve-se deixar claro se os objetivos foram atendidos, se as ferramentas utilizadas foram adequadas e quais as principais contribuições do trabalho para o seu grupo de usuários ou para o desenvolvimento científico/tecnológico.]

[Deve-se também incluir aqui as principais vantagens do seu trabalho e limitações.]

### 4.1 EXTENSÕES

[Sugestões para trabalhos futuros.]

## REFERÊNCIAS

AMBROSE, Gavin; HARRIS, Paul. **Cor: A sensação produzida por raios de luz de diferentes comprimentos de onda, uma variedade particular desta**. Tradução de Francisco Araújo da Costa. Porto Alegre: Bookman, 2009.

BERTOLINI, Cristiano. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro**. 2010. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciência Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

BLOG PRINTI. **História, Conceitos e Aplicações da Escala Pantone**. 2013. Disponível em: <<https://www.printi.com.br/blog/historia-conceitos-e-aplicacoes-da-escala-pantone>>. Acesso em: 14/05/2018.

COLLARO, Antonio Celso. **Produção gráfica arte e técnica da mídia impressa**. São Paulo: Editora Pearson 2009.

CREPALDI, Lideli. **A influência das cores na decisão de compras: um estudo do comportamento do consumidor no ABC paulista**. XXIX Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação – UnB, 2006.

DANGER, Eric P. **A cor na comunicação**. Tradução de Ilza Marques de Sá. Rio de Janeiro: Fórum, 1973.

EASYRGB. **Color math and programming code examples**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://www.easyrgb.com/en/math.php>>. Acesso em 23/05/2018.

FARINA, Modesto. **Psicodinâmica das cores em comunicação**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1986.

FERNANDES, Antônio C. **Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância**. 2002. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

FRASER, Tom; BANKS, Adam. **O guia completo da cor**. Tradução de Renata Bottini, São Paulo: Senac São Paulo, 2007.

GUIMARÃES, Luciano. **As cores na mídia: a organização da cor-informação no jornalismo**. São Paulo: Annablume, 2003.

LEÃO, Alexandre C. **Gerenciamento de cores para imagens digitais**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Curso de Mestrado em Artes Visuais, Escola de Belas Artes, Belo Horizonte.

LEITE, Frederico N. **Calibração de dispositivos de cores utilizando uma câmera digital**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília.

MORTARA, Bruno. **Processos Gráficos e a NBR 15936-1: avaliação da consistência da colorimétrica**. 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo-USP, São Paulo.

MORTARA, Bruno. **Colorimetria aplicada a processos gráficos**. São Paulo: Senai, 2016.

OLIVEIRA, Danielle Ferreira de. **Confiabilidade Metrológica e Validação de Procedimentos Espectroradiométricos para Medição de Fontes Luminosas**. 2006. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós Graduação em Metrologia da PUC-Rio. Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação, Rio de Janeiro.

PANTONE. **Quais são outras maneiras de definir cores?** Disponível em: <<https://www.pantone.com/what-are-other-ways-to-define-color>>. Acesso em: 14/05/2018.

RÉGULA, Luiz M. **Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas no controle instrumental das cores**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Curso de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SAMPAIO, Luciano. **O que é espaço de cores?** Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/video/2481-o-que-e-espaco-de-cores-.htm>>. 2009. Acesso em 13/05/2018.

SENNO, Giuliano. **Desmembrando padrões de cores: RGB, CMYK e PANTONE**. 2017. Disponível em: <<http://labcom.com.br/blog/desmembrando-padroes-de-cores-rgb-cmyk-e-pantone>>. Acesso em 13/05/2018.

SILVA, Gutemberg Bruno da. **Colorimetria – Propagação de Erros e Cálculo da Incerteza de Medição nos Resultados Espectrofotométricos**. 2004. 92 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHOTEN, Theo. **Course RT2: image processing**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.cs.ru.nl/~ths/rt2/col/h2/colorcube.jpg>>. Acesso em 13/05/2018.

TUCANNA. **QualityControl advanced color measure + manage + store + export**. EUA: Tucanna Co. 2016.

TUCANNA PRINTCONTROL 2.7. **The Most Simple Way To Control All Of Your Printing Color**. Disponível em: <<http://www.colormanagement.com/store/cid353/pid1707>>. Acesso em 29 de maio de 2017.

**APÊNDICE A – Relação dos formatos das apresentações dos trabalhos**

[Elemento opcional. **Apêndices são textos elaborados pelo autor** a fim de complementar sua argumentação. Os apêndices são identificados por letras maiúsculas consecutivas, seguidas de um travessão e pelos respectivos títulos. Deverá haver no mínimo uma referência no texto anterior para cada apêndice.]

[Colocar sempre um preâmbulo no apêndice. Não colocar tabelas e ou ilustrações sem identificação no apêndice. Caso existirem, identifique-as através da legenda, seguindo a numeração normal do volume final (para as legendas). Caso existirem tabelas e ou ilustrações, sempre referenciá-las antes.]

## **ANEXO A – Representação gráfica de contagem de citações de autores por semestre nos trabalhos de conclusões realizados no Curso de Ciência da Computação**

[Elemento opcional. **Anexos são documentos não elaborados pelo autor**, que servem de fundamentação, comprovação ou ilustração, como mapas, leis, estatutos, entre outros. Os anexos são identificados por letras maiúsculas consecutivas, seguidas de um travessão e pelos respectivos títulos. Deverá haver no mínimo uma referência no texto anterior para cada anexo.]

[Colocar sempre um preâmbulo no anexo. Não colocar tabelas e ou ilustrações sem identificação no anexo. Caso existirem, identifique-as através da legenda, seguindo a numeração normal do volume final (para as legendas). Caso existirem tabelas e ou ilustrações, sempre referenciá-las antes.]