

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

SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO O
ESPECTROFOTÔMETRO – INDÚSTRIA GRÁFICA

THIAGO GETNERSKI

BLUMENAU
2018

THIAGO GETNERSKI

**SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO O
ESPECTROFOTÔMETRO – INDÚSTRIA GRÁFICA**

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. Dalton Solano dos Reis, Mestre - Orientador

**BLUMENAU
2018**

SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CORES UTILIZANDO O ESPECTROFOTÔMETRO – INDÚSTRIA GRÁFICA

Por

THIAGO GETNERSKI

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. Dalton Solano dos Reis, Mestre – Orientador, FURB

Membro: _____
Prof(a). Andreza Sartori, Doutora – FURB

Membro: _____
Prof. Aurélio Faustino Hoppe, Mestre – FURB

Blumenau, 12 de Julho de 2018

Dedico este trabalho à minha esposa, a todos os meus familiares e amigos, aos meus professores e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho e da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido saúde, força e disposição para a realização deste trabalho.

À minha esposa Rafaela Luize Pereira Getnerski, que não mediu esforços para me apoiar e incentivar nesta jornada.

À minha família e aos meus amigos, por se fazerem presentes e estarem dispostos a ajudar quando necessário.

Ao meu orientador Dalton Solano dos Reis, que auxiliou e conduziu a realização deste trabalho.

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.

John Ruskin

RESUMO

A indústria gráfica vive em constante desenvolvimento e evolução, buscando sempre a inovação e o uso de novas tecnologias e ferramentas, a fim de atender a necessidade de seus clientes e, direta ou indiretamente, dos consumidores que estão cada vez mais exigentes. Em relação aos mecanismos para medição de cores, este se torna cada vez mais essencial considerando que a cor vem ganhando espaço e importância nas indústrias, e que as deficiências encontradas no campo visual podem ser anuladas com a medição da cor nos processos gráficos. Desta forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software 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. O software foi implementado utilizando 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 permite ao usuário fazer a leitura da cor de referência, assim como as suas informações colorimétricas nos modelos de cor LAB, RGB e CMYK. 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. Para efeitos de comparação são feitos também os cálculos CIE76 e CIE94. Pode-se salvar a comparação feita em um banco de dados que alimentam o histórico do software. Quando necessário o usuário pode limpar todos os dados de leitura da tela e após feita a primeira leitura o software habilita a opção salvar cor, abrindo uma tela de cadastro. Os resultados obtidos nos testes de usabilidade demonstraram que o software desenvolvido é de fácil acesso e manuseio, bem como atende as exigências do mercado atual.

Palavras-chave: Indústria gráfica. Medição de cores. Espectrofotômetro. Software.

ABSTRACT

This work presents the development of a color measurement software that communicates directly with the spectrophotometer for reflectance data of a color measurement sample, by calculating the numeric color values. The software was implemented by using the Microsoft Visual Studio IDE Community 2017, in conjunction with the C# programming language. To store and manipulate data was used the MySQL database and modeled using the MySQL Workbench tool 6.3. For the communication with the spectrophotometer the i1Pro_SDK_ 4.2 was used, which is a library developed by X-Rite Inc., making the interface with the i1Pro2. The software allows the user to read the reference color, as well as its colorimetric color models information LAB, RGB and CMYK. The software search in the database the closest Pantone, showing the name of the Pantone, the Euclidean distance to the color Pantone and the CIEDE2000 between both colors. For comparison, it was also made the CIE76 and CIE94 calculations. At is possible to save the comparison made in a database wich will feed the software history. When necessary, the user can clear all read data from the screen and, after the first read, the software enables to save the color, opening a registration screen. The results obtained in the usability tests have shown that the software developed have easy access and handling, as well as meets the requirements of the current market.

Key-words: Graphic industry. Color measurement. Spectrophotometer. Software.

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 dos modelos de cor RGB e CIE LAB.....	24
Figura 10 - Tela de medição de cor e tela para buscar cor.....	26
Figura 11 - Tela de representação da densidade da cor.....	26
Figura 12 - Diagrama de Casos de Uso.....	28
Figura 13 - Diagrama de Classe.....	29
Figura 14 - Diagrama de atividade.....	30
Figura 15 - Interface do software.....	36
Figura 16 - Manual de instruções de calibração do espectrofotômetro.....	37
Figura 17 - Seleção e calibração do dispositivo.....	37
Figura 18- Funcionalidade do software.....	38
Figura 19 - Cadastro de cor.....	38
Figura 20 - Usuário testando o software.....	50
Figura 21 - Usuário testando o software.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos funcionais	27
Quadro 2 - Requisitos não funcionais	27
Quadro 3 - Código do construtor da classe <code>I1SharpModel</code>	31
Quadro 4 - Código do método <code>Calibrate</code> da classe <code>I1Pro</code>	32
Quadro 5 - Código do método <code>GetSample</code> da classe <code>I1Pro</code>	32
Quadro 6 - Código do método <code>device_ButtonPressed</code> da classe <code>I1Pro</code>	32
Quadro 7 - Código do método <code>LabToRgb</code> da classe <code>Conversao</code>	33
Quadro 8 - Código do método <code>RGBToCMYK</code> da classe <code>Conversao</code>	34
Quadro 9 - Código do método <code>DeltaE2000</code> da classe <code>DeltaE00</code>	35
Quadro 10 - Comparativo com os trabalhos correlatos	39
Quadro 11 - Perfil do usuário	48
Quadro 12 - Lista de tarefas	48
Quadro 13 - Questionário de avaliação do software.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de ponderação da fórmula CIE94	21
Tabela 2 - Comparativo de medição de cores	39
Tabela 3 - Perfil dos usuários	41
Tabela 4 - Lista de tarefas.....	42
Tabela 5 - Questionário de avaliação do software.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API – Application Programming Interface

CIE – Commission International de I clairage

CMYK – Cyan, Magenta, Yellow e Black

LCH – Lightness, Chroma e Hue

HSV – Hue, Saturation e Value

ISO – International Organization for Standardization

RF – Requisitos Funcionais

RGB – Red, Green e Blue

RNF – Requisitos Não Funcionais

UML – Unified Modeling Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 ESTRUTURA.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
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 espectrofotômetros por refletância	24
2.5.2 Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro	25
2.5.3 Tucanna Printcontrol Pro	26
3 DESENVOLVIMENTO	27
3.1 REQUISITOS	27
3.2 ESPECIFICAÇÃO	27
3.2.1 Diagrama de casos de uso	28
3.2.2 Diagrama de classes	29
3.2.3 Diagrama de atividades	30
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	31
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	31
3.3.2 Operacionalidade da implementação	36
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
3.4.1 Comparativo de medição de cores	39
3.4.2 Teste de usabilidade	40
4 CONCLUSÕES	44
4.1 EXTENSÕES	44
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE TESTES.....	49
APÊNDICE B - UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE.....	51

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 às 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, este trabalho apresenta um software 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) possuir comunicação serial com o espectrofotômetro X-Rite i1Pro 2;
- b) criar uma representação gráfica da cor lida;
- c) calcular a distância euclidiana utilizando o CIEDE2000;
- 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):

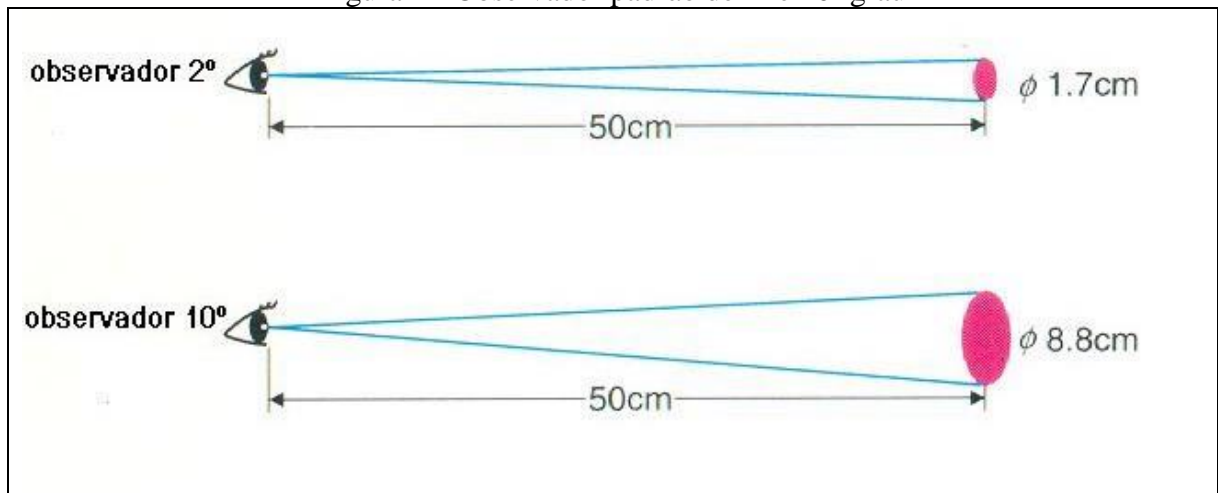
A década de 70 desse século foi dominada pelas abordagens voltadas às aplicações na arquitetura, nas artes gráficas, na publicidade, no design, na moda, etc., fato que foi facilitado tanto pelo desenvolvimento das técnicas de reprodução, quanto pelo momento de revolução cultural pós-68. Na década de 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 Comissão Internacional de Iluminação (CIE), 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. Destaca-se aqui que o observador padrão representa a sensibilidade do olho humano com a mistura das três cores primárias. A padronização do campo visual do observador significa a escolha de duas áreas distintas da retina: a parte central, onde praticamente só há cones, e a parte geral, que inclui uma área onde há bastões, sendo os cones responsáveis pela visão em cores e o bastões responsáveis pela visão em preto e branco. Para materializa-la, toma-se um ângulo de 2° (fóvea) ou de 10° (geral). 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. E 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).

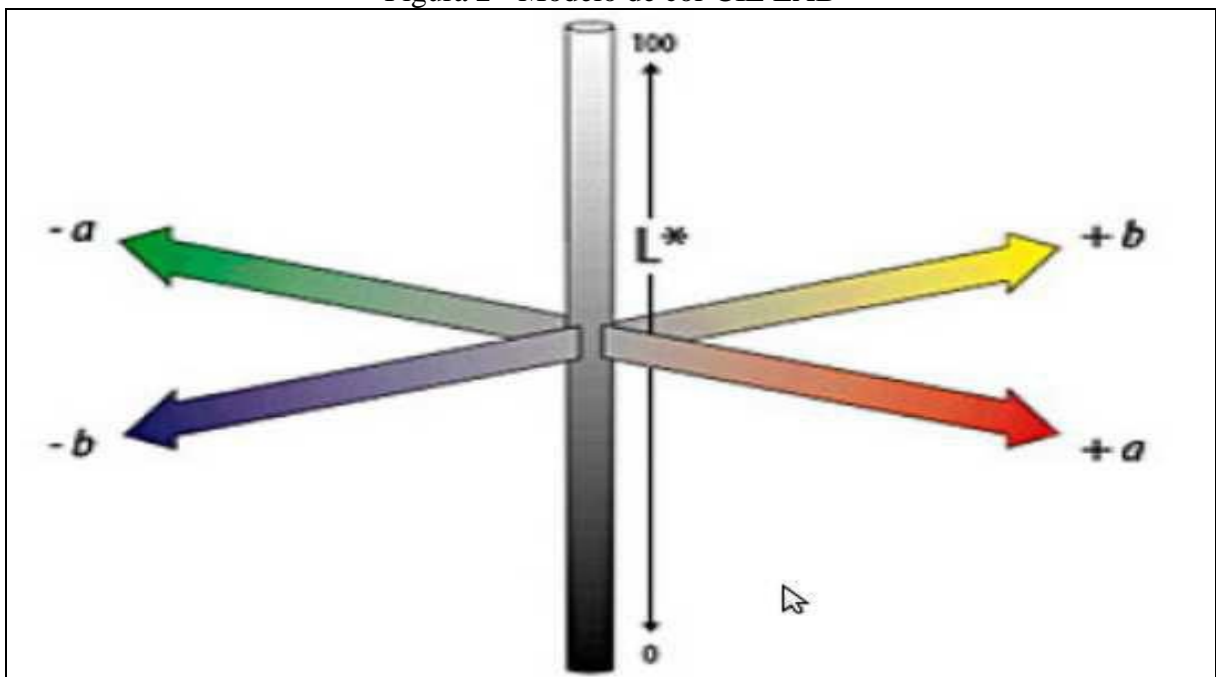
Conforme Régula (2004, p. 28), o espectrofotômetro é o aparelho capaz de medir as cores. Ele é definido como “[...] equipamento que mede a transmitância e refletância de uma

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, p. 1), “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”. A Figura 2 representa o modelo de cor CIE LAB.

Figura 2 - Modelo de cor CIE LAB

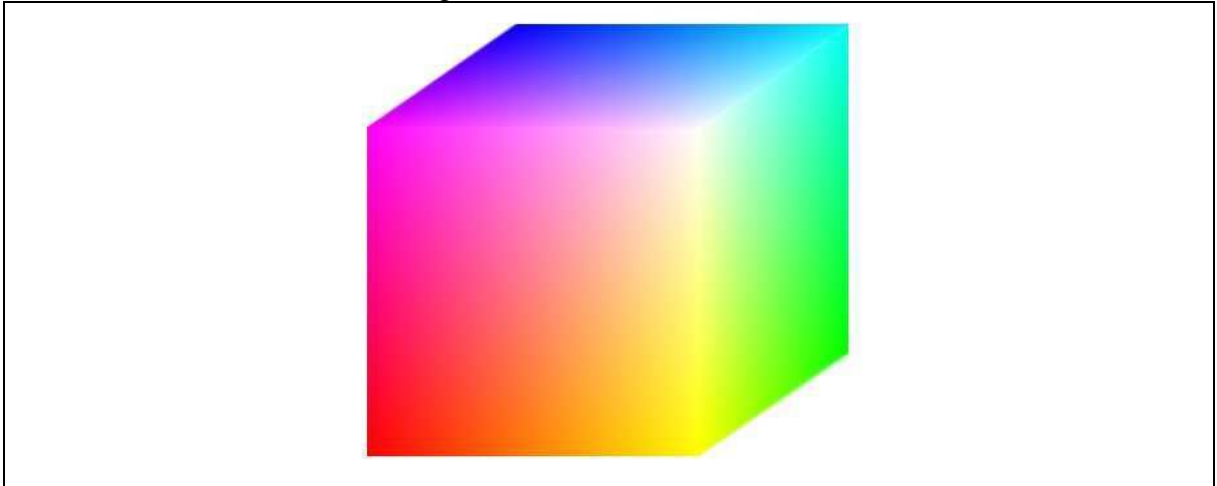


Fonte: Leite (2006, p. 22).

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.

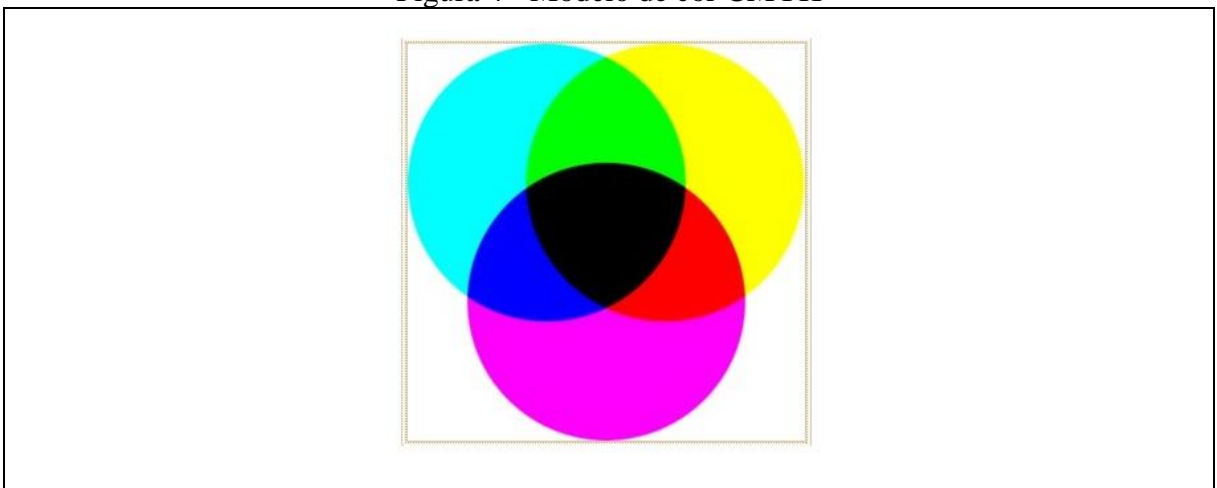
Figura 3 - Modelo de cor RGB



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: Wikipédia (2017).

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: Pantone (2018).

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 ΔE (LORENZO; 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: Lorenso e 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 KL, K1 e K2, dependem da área de aplicação, conforme Tabela 1 (LORENZO; 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:

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

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

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

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

$$\Delta b = b_2 - b_1$$

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

Fonte: Lorenso e Ridolfi (2012, p. 36).

Tabela 1 - Fatores de ponderação da fórmula CIE94

	Artes Gráficas	Têxteis
KL	1	2
K1	0.045	0.048
K2	0.015	0.014

Fonte: Lorenso e 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 (LORENZO; RIDOLFI, 2012, p. 37/38). A fórmula CIEDE2000 é descrita matematicamente da seguinte forma, conforme Lorenzo e 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 CIEDE2000 está descrita na Figura 8.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$S_C = 1 + 0.045 C'$$

$$S_H = 1 + 0.015 C' T$$

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

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

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

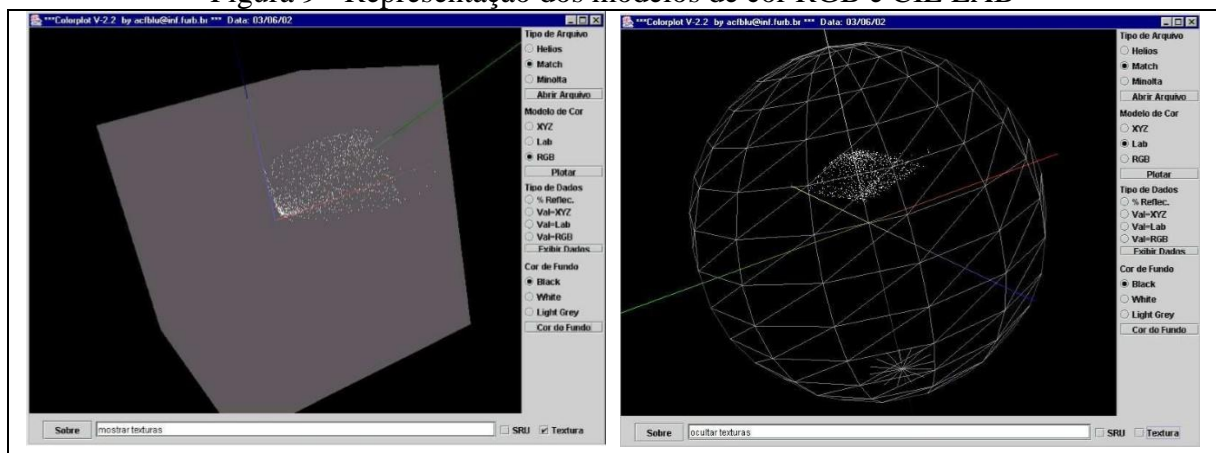
A seguir são apresentados três trabalhos correlatos com características semelhantes aos principais objetivos do trabalho desenvolvido. Na seção 2.5.1 é descrito um protótipo de visualizador para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por refletância (FERNANDES, 2002). A seção 2.5.2 descreve um sistema para medição de cores utilizando o espectrofotômetro (BERTOLINI, 2010). Já na seção 2.5.3 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) e Commission Internationale L'Eclairage LAB (CIE LAB), conforme Figura 9, e também o modelo de cor XYZ.

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 dos modelos de cor RGB e 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

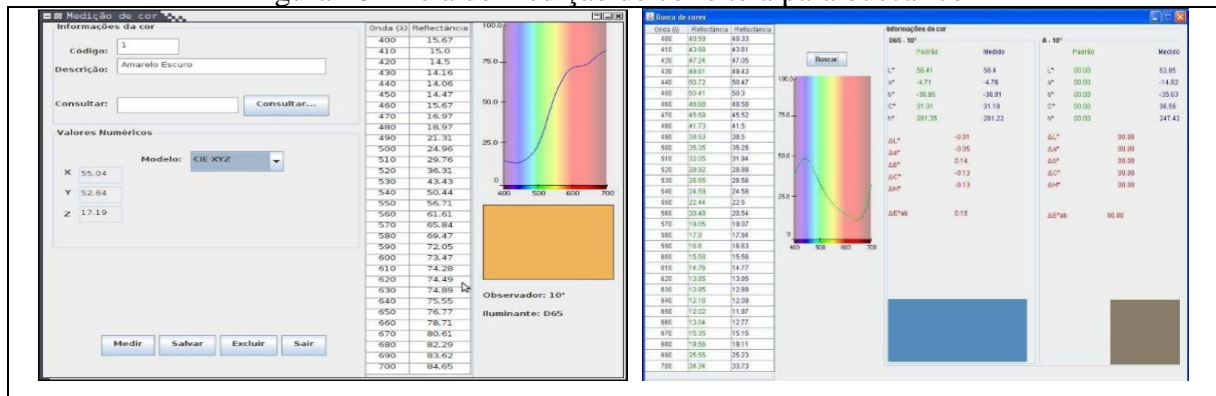
Bertolini (2010) descreve seu trabalho como um sistema para medição de cores que funciona em conjunto com o espectrofotômetro Minolta CM-2500d, que por sua vez mede a refletância de uma superfície ou uma amostra através de seu comprimento de onda. O sistema se comunica como o espectrofotômetro por comunicação 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 10.

A função buscar cor, ilustrada na Figura 10, 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 10 - Tela de medição de cor e tela para buscar cor



Fonte: Bertolini (2010, p. 67 e 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 11) 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: Inglês, Alemão, Frances, Espanhol, Italiano, Português, Chinês e Japonês.

Figura 11 - Tela de representação da densidade da cor



Fonte: Tucanna (2016).

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 12.

Quadro 1 - Requisitos funcionais

Requisitos funcionais (RF)	Casos de uso (UC)
RF01: O sistema deve permitir selecionar o espectrofotômetro	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.

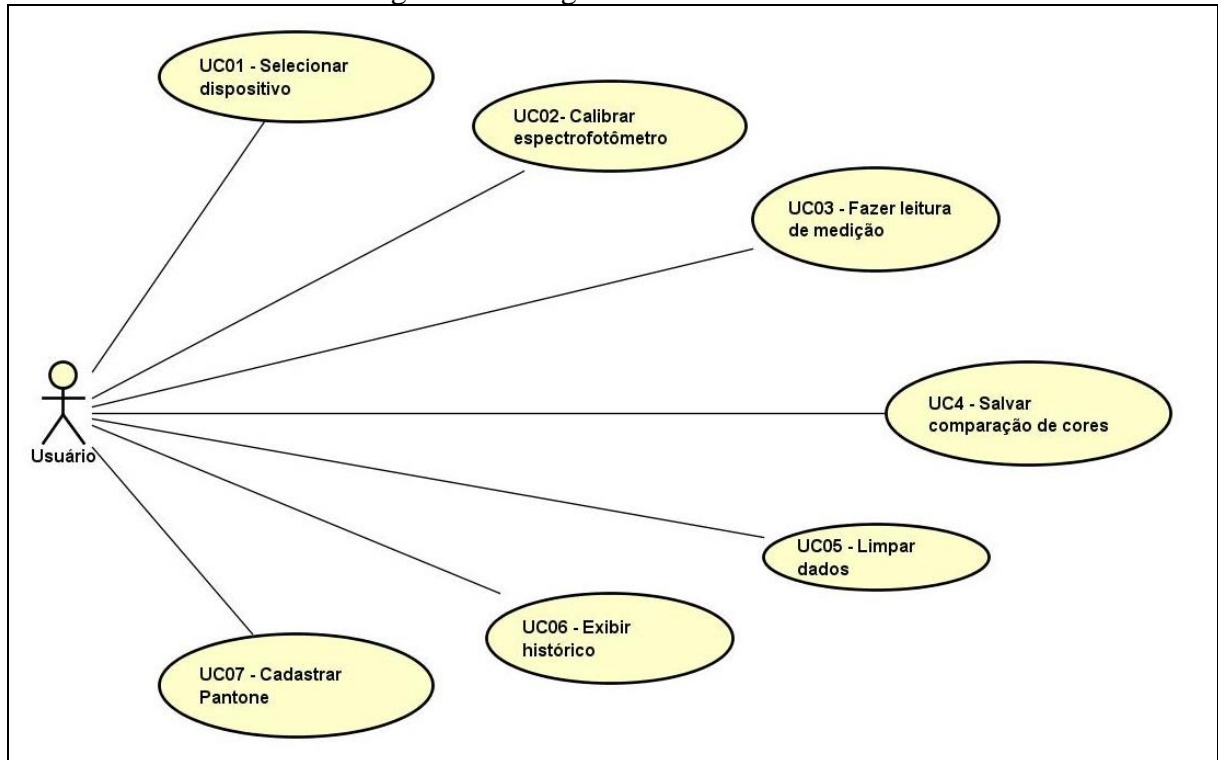
3.2 ESPECIFICAÇÃO

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

Figura 12 - Diagrama de Casos de Uso



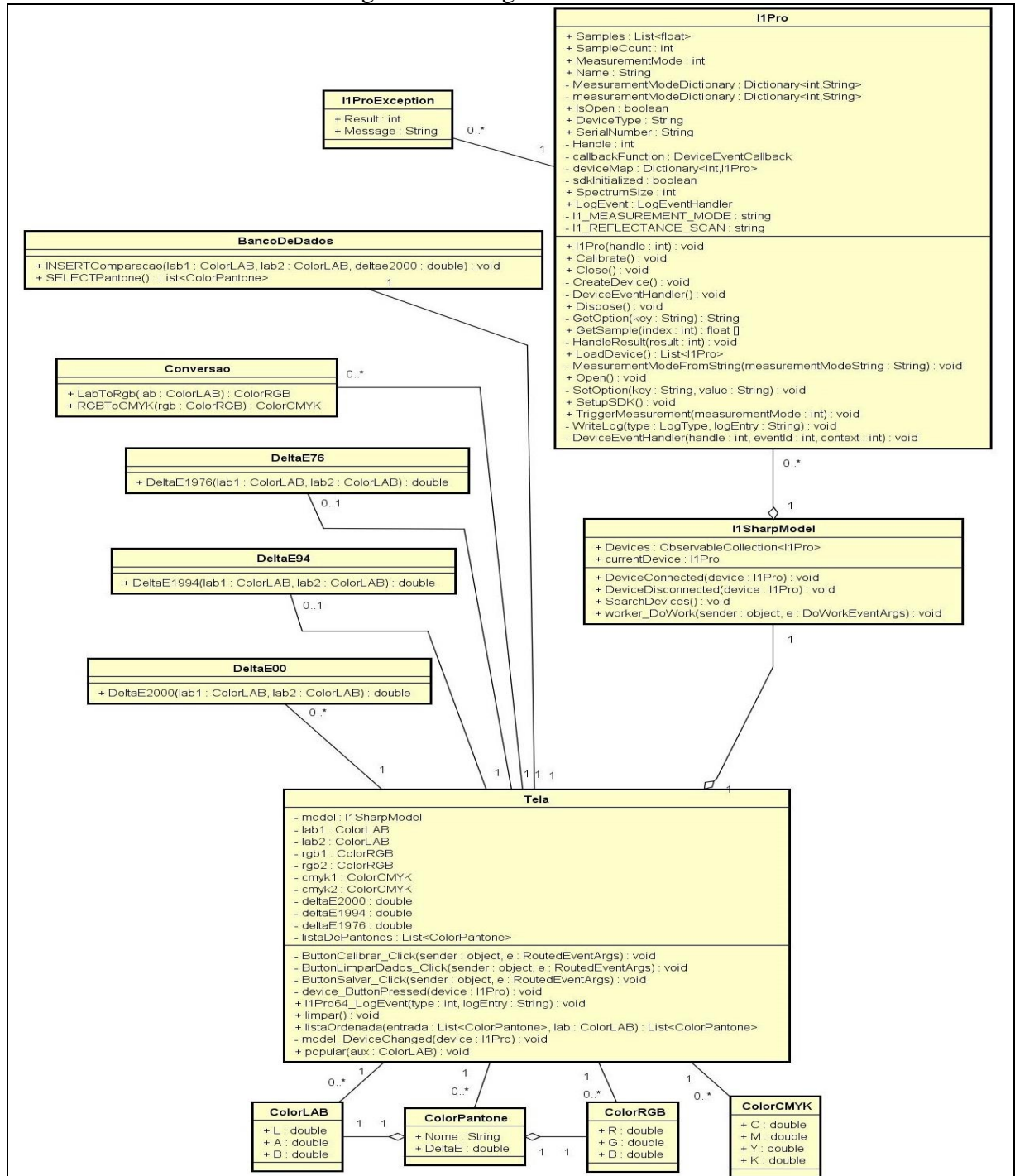
Fonte: elaborado pelo autor.

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

Figura 13 - 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`.

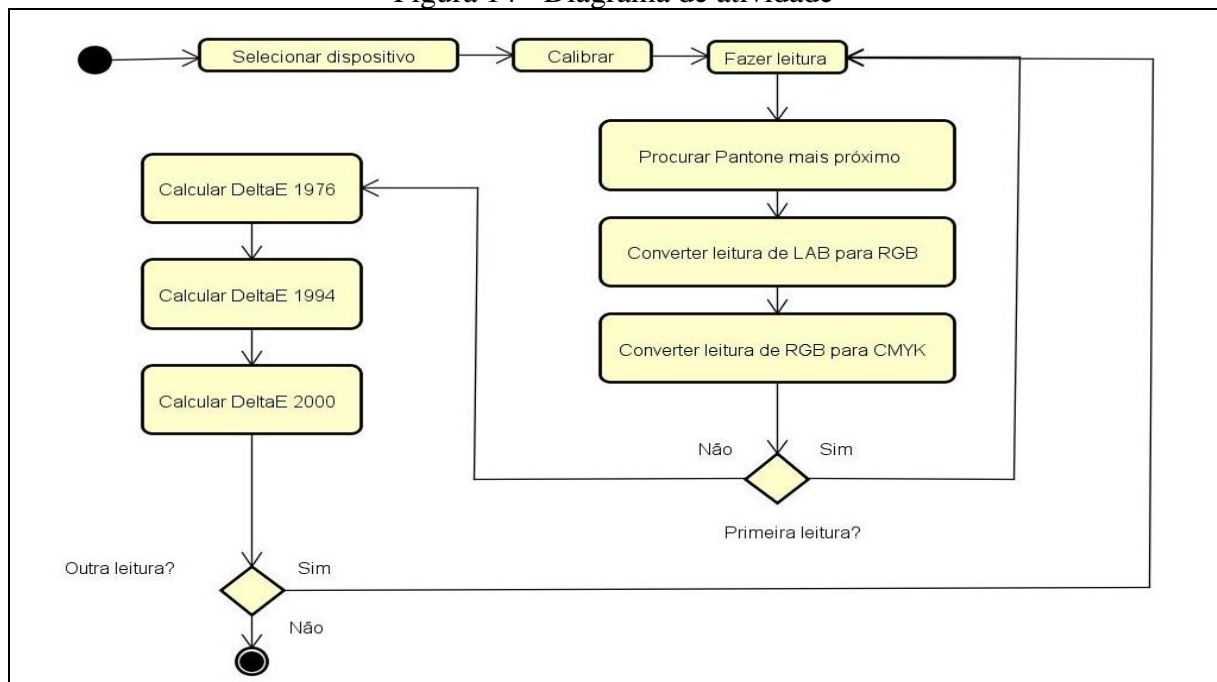
A classe `BancoDeDados` manipula as conexões e acessos ao banco de dados, com métodos de inserção e consulta. As classes `ColorRGB`, `ColorCMYK`, `ColorLAB` e `ColorPantone` representam os modelos de cores que o software suporta. A classe `Conversão` possui métodos para conversão entre modelos de cor, 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 14 pode-se observar o diagrama de atividades, ilustrando de forma sucinta o fluxo principal do software.

Figura 14 - 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 CIE1976, CIE1994 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 14, 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 *I1Pro64_DeviceConnected* responsável por adicionar dispositivos a lista conectados, e na linha 5 *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<I1Pro>();</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 public void Calibrate(MeasurementModeType measurementMode =
2 MeasurementModeType.eReflectanceScan)
3 {
4     MeasurementMode = measurementMode;
5     Result result = I1_Calibrate(Handle);
6     HandleResult(result);
7     WriteLog(LogType.eNormal, "Dispositivo calibrado");
8 }

```

Fonte: elaborado pelo autor.

Depois de o 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 public float[] GetSample(int index = 0)
2 {
3     float[] color = new float[SpectrumSize];
4     Result result2 = I1_GetTriStimulus(Handle, color, 0);
5     HandleResult(result2);
6
6     return color;
7 }

```

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 6 - Código do método device_ButtonPressed da classe I1Pro

```

1 private void device_ButtonPressed(I1Pro device)
2 {
3     try
4     {
5         model.CurrentDevice.TriggerMeasurement
6         (I1Pro.MeasurementModeType.eReflectanceScan);
7         this.Dispatcher.BeginInvoke((Action) (() =>
8         {
9             Medicao = model.CurrentDevice.Samples;
10            var firstElement = Medicao[0];
11            ColorLAB aux = new ColorLAB(firstElement[0],
12            firstElement[1], firstElement[2]);
13            popular(aux);
14        }));
15    }
16    catch (Exception ex)
17    {
18        MessageBox.Show(ex.Message, "Erro durante a medição",
19        MessageBoxButton.OK, MessageBoxImage.Error);
20    }
21 }

```

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 7 - Código do método LabToRgb da classe Conversao

```

1 public static ColorRGB LabToRgb(ColorLAB lab)
2 {
3     double y = (lab.L + 16) / 116;
4     double x = lab.A / 500 + y;
5     double z = y - lab.B / 200;
6     double r, g, b;
7
8     x = 0.95047 * ((x * x * x > 0.008856) ? x * x * x : (x - 16 /
9     116) / 7.787);
10    y = 1.00000 * ((y * y * y > 0.008856) ? y * y * y : (y - 16 /
11    116) / 7.787);
12    z = 1.08883 * ((z * z * z > 0.008856) ? z * z * z : (z - 16 /
13    116) / 7.787);
14
15    r = x * 3.2406 + y * -1.5372 + z * -0.4986;
16    g = x * -0.9689 + y * 1.8758 + z * 0.0415;
17    b = x * 0.0557 + y * -0.2040 + z * 1.0570;
18
19    r = (r > 0.0031308) ? (1.055 * Math.Pow(r, 1 / 2.4) - 0.055) :
20    12.92 * r;
21    g = (g > 0.0031308) ? (1.055 * Math.Pow(g, 1 / 2.4) - 0.055) :
22    12.92 * g;
23    b = (b > 0.0031308) ? (1.055 * Math.Pow(b, 1 / 2.4) - 0.055) :
24    12.92 * b;
25
26    ColorRGB retorno = new ColorRGB(Math.Max(0, Math.Min(1, r)) *
27    255,
28                                     Math.Max(0, Math.Min(1, g)) *
29    255,
30                                     Math.Max(0, Math.Min(1, b)) *
31    255);
32
33    return retorno;
34 }

```

Fonte: adaptada de EasyRGB (2018).

Nas linhas 7 a 9 as variáveis x , y e z correspondem a conversão do modelo de cor LAB para o modelo XYZ, modelo este que serve como intermediário para a realização da conversão do modelo de cor LAB para o modelo RGB. Nas linhas 10 a 12 as variáveis r , g e b correspondem a conversão do modelo de cor XYZ para o modelo RGB, sendo apresentado ao usuário os dados da conversão e utilizado na representação gráfica da cor no software. O resultado desta conversão é utilizado para realizar a conversão do modelo de cor RGB para o modelo CMYK, conforme Quadro 8.

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 +
9 6103515625)));
10    double ai1 = (1 + G) * lab1.A;
11    double ai2 = (1 + G) * lab2.A;
12    double ci1 = Math.Sqrt(ai1 * ai1 + lab1.B * lab1.B);
13    double ci2 = Math.Sqrt(ai2 * ai2 + lab2.B * lab2.B);
14    double hi1 = ((Math.Atan2(lab1.B, ai1) / Math.PI * 180) + 360) %
15 360d;
16    double hi2 = ((Math.Atan2(lab2.B, ai2) / Math.PI * 180) + 360) %
17 360d;
18    double deltaL = lab2.L - lab1.L;
19    double deltaC = ci2 - ci1;
20    double deltaHBarra = Math.Abs(hi1 - hi2);
21    double deltaHAux;
22    if (ci1 * ci2 == 0) deltaHAux = 0;
23    else
24    {
25        if (deltaHBarra <= 180d)
26        {
27            deltaHAux = hi2 - hi1;
28        }
29        else if (deltaHBarra > 180d && hi2 <= hi1)
30        {
31            deltaHAux = hi2 - hi1 + 360.0;
32        }
33        else
34        {
35            deltaHAux = hi2 - hi1 - 360.0;
36        }
37    }
38    double deltaH = 2 * Math.Sqrt(ci1 * ci2) * Math.Sin((deltaHAux /
39 2) * Math.PI / 180);
40    double LMedia = (lab1.L + lab2.L) / 2d;
41    double CMedia = (ci1 + ci2) / 2d;
42    double hMediaAux;
43    if (ci1 * ci2 == 0) hMediaAux = 0;
44    else
45    {
46        if (deltaHBarra <= 180d)
47        {
48            hMediaAux = (hi1 + hi2) / 2;
49        }
50        else if (deltaHBarra > 180d && (hi1 + hi2) < 360d)
51        {
52            hMediaAux = (hi1 + hi2 + 360d) / 2;
53        }
54        else
55        {
56            hMediaAux = (hi1 + hi2 - 360d) / 2;
57        }
58    }
59    double T = 1
60    - .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 Sl = 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_Sl = deltaL / (Sl * 1);
74     double deltaC_kc_Sc = deltaC / (Sc * 1);
75     double deltaH_kh_Sh = deltaH / (Sh * 1);
76     double deltaE00 = Math.Sqrt(deltaL_kl_Sl * deltaL_kl_Sl
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 }

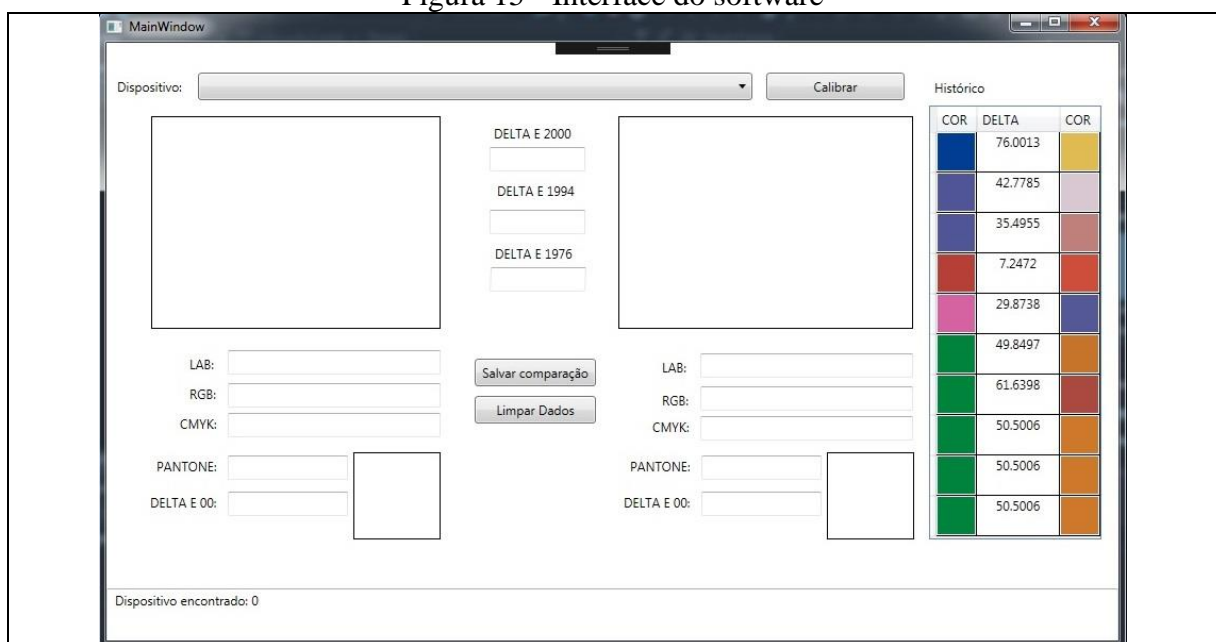
```

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2 Operacionalidade da implementação

Esta 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 inicial do software está apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Interface do software



Fonte: elaborado pelo autor.

Após iniciado 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 16. 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 16 - Manual de instruções de calibração do espectrofotômetro



Fonte: Instruments PCE (2015).

Assim que o dispositivo estiver devidamente conectado, deve-se selecioná-lo no box Dispositivo, e em seguida clicar no botão Calibrar, conforme Figura 17.

Figura 17 - 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 18 (1), assim como as suas informações colorimétricas nos modelos de cor LAB, RGB e CMYK, Figura 18 (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 18 (3). As leituras subsequentes serão mostradas na direita do software com as mesmas informações da cor de referência, Figura 18 (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 18 (5). Com essas informações, pode-se salvar a comparação feita clicando no botão Salvar comparação, Figura 18 (6). Os dados são salvos no banco de dados e alimentam o histórico que fica na parte direita do

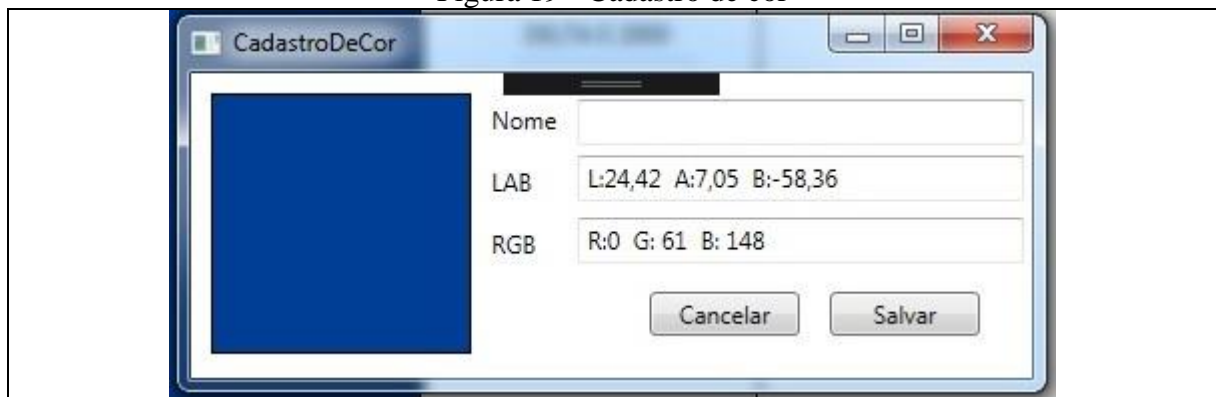
software, com as representações gráficas das cores e o CIEDE2000 entre elas. Quando necessário o usuário pode limpar todos os dados de leitura da tela utilizando o botão *Limpar Dados*, Figura 18 (7). Após feita a primeira leitura o software habilita o botão *Salvar cor*, Figura 18 (8), e ao clicar ele abrirá uma tela de cadastro de cor que serve para criar cores personalizadas a partir da leitura feita, conforme Figura 19.

Figura 18- Funcionalidade do software



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 19 - Cadastro de cor



Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os experimentos realizados para validar se o software cumpriu seus objetivos. A seção 3.4.1 apresenta um comparativo de medição de cores e um comparativo com os trabalhos correlatos relacionados anteriormente, e a seção 3.4.2 apresenta o teste de usabilidade.

3.4.1 Comparativo de medição de cores

O software objeto deste trabalho, utilizando a fórmula do CIEDE2000, foi comparado com cinco amostras de cores referidas na tabela existente no artigo The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations, de Sharma, Wu e Dalal (2004), conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo de medição de cores

Amostras		Coordenas do espaço Lab			Resultados	
					CIEDE2000	
Par		L	a	b	Sharma, Wu e Dalal (2004)	Software
1	1	50.0000	2.6772	-79.7751	2.0425	2.0425
	2	50.0000	0.0000	-82.7485		
2	1	50.0000	-1.3802	-84.2814	1.0000	1.0000
	2	50.0000	0.0000	-82.7485		
3	1	50.0000	2.5000	0.0000	27.1492	27.1496
	2	73.0000	25.0000	-18.0000		
4	1	60.2574	-34.0099	36.2677	1.2644	1.2644
	2	60.4626	-34.1751	39.4387		
5	1	2.0776	0.0795	-1.1350	0.9082	0.9082
	2	0.9033	-0.0636	-0.5514		

Fonte: elaborado pelo autor.

Pelo comparativo acima exposto, o software desenvolvido apresentou resultados satisfatórios, considerando que quatro dos valores de saída são idênticos e um apresentou diferença insignificante, incapaz de acarretar a mudança da cor. O software desenvolvido também foi comparado com os trabalhos correlatos apresentados na seção 2.5, conforme Quadro 10.

Quadro 10 - Comparativo com os trabalhos correlatos

Trabalhos	Bertolini (2010)	Fernandes (2002)	Tucanna (2016)	Este Software
Características				
Cálculo de diferença de cor utilizado	CIE76	CIE76	CIEDE2000	CIEDE2000, CIE94 e CIE76
Comunicação com espectrofotômetro	X	X	X	X
Mais opções de observadores	X		X	
Representação gráfica da cor	X	X	X	X
Permite trabalhar com outros modelos de cor	X	X	X	X

Permite trabalhar com outros iluminantes	X		X	
Plataforma utilizada	Java	Java	Não informado	C#

Fonte: elaborado pelo autor.

Os trabalhos correlatos apresentados, assim como este trabalho, tratam-se de sistemas para medição de cores. Conforme análise apresentada no Quadro 10, pode-se perceber que o Tucanna utiliza a fórmula CIEDE2000 para o cálculo de distância entre dois pontos no espaço de cor Lab, enquanto os outros utilizam CIE76. Já este software utiliza as fórmulas CIEDE2000, CIE94 e CIE76. Outra característica semelhante dos trabalhos correlatos com este software é a comunicação com espectrofotômetro, que é o responsável pela captação dos dados de refletância de uma amostra, a fim de se obter valores numéricos de representação da cor.

Bertolini (2010) e Tucanna trabalham com os observadores padrão CIE 1931 (2°) e CIE 1964 (10°), que foram definidos e possuem seus valores espectrais para cada comprimento de onda. Como a sensibilidade da cor nos olhos muda de acordo com o ângulo de visão, o observador definido em 1931 utiliza um campo de visão de 2° para visualização do objeto, sendo recomendado para ângulos de visualização de objetos de 1° até 4°. Já o observador definido em 1964 usa um campo de visão de 10°, que é considerado mais representativo em relação à percepção de cor do olho humano, e deve ser utilizado para visualização de ângulos com mais de 4°.

Fernandes (2002) utiliza apenas o observador padrão de 10°, enquanto este software utiliza o observador padrão de 2°. Ainda, todos possuem a representação gráfica da cor que foi lida, assim como permitem trabalhar com outros modelos de cores, como modelo LAB, RGB, CMYK, entre outros.

3.4.2 Teste de usabilidade

O teste de usabilidade foi realizado com três usuários/participantes, todos com experiência na área, colaboradores da empresa Clicheria Blumenau Ltda. Cada usuário esteve sujeito a um questionário de perfil, uma lista de tarefas e um questionário de avaliação do software. Os questionários e a lista de tarefas estão disponíveis no Apêndice A. Na realização dos testes, foi disponibilizado aos usuários o espectrofotômetro para utilização do software.

Primeiramente, foi apresentada uma breve explicação sobre o objetivo do software, aplicando o questionário de perfil. Na sequência, os usuários foram motivados a realizar nove atividades descritas na lista de tarefas. Foi colocada uma pergunta aberta para que o usuário

descrevesse se encontrou alguma dificuldade na realização das tarefas. Após a realização das tarefas os participantes foram convidados a responder o questionário de avaliação do software. O questionário foi composto por cinco perguntas com o objetivo de validar se o software é de fácil utilização e se está de acordo com as expectativas do mercado.

A primeira análise foi realizada através das respostas obtidas no questionário de perfil de usuário. A Tabela 3 apresenta o resultado dos questionários de perfil que foram respondidos pelos participantes.

Tabela 3 - Perfil dos usuários

Sexo	66,7% masculino 33,3% feminino
Idade	23 24 29
Profissão	Técnico em informática Gerenciamento de cores Editora gráfica
Você possui experiência na área?	100% Sim 0% Não

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3 é possível visualizar que os participantes são em sua maioria do sexo masculino, com idade entre 23 e 29 anos e atuam direta ou indiretamente na área objeto do estudo. A segunda análise foi realizada através das respostas obtidas na lista de tarefas que os participantes foram orientados a executar no software, sendo que a Tabela 4 apresenta o resultado da lista de tarefas.

Tabela 4 - Lista de tarefas

Conectar o espectrofotômetro. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Seleção do dispositivo. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Calibração do dispositivo. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Fazer a primeira leitura. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Visualizar os valores da leitura. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Fazer a segunda leitura. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Salvar comparação. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Salvar cor. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Limpar dados. A tarefa foi executada?	100% Sim 0% Não
Se você encontrou alguma dificuldade nos passos anteriores, descreva aqui.	Não, bem simplificado. Não encontrada.

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir das tarefas listadas na Tabela 4 é possível visualizar que 100% das tarefas foram executadas pelos participantes sem dificuldades. Já terceira e última análise foi realizada através das respostas obtidas no questionário de avaliação do software. Este questionário, descrito na Tabela 5, teve como objetivo avaliar a usabilidade do software e verificar se o software atingiu as finalidades a qual é proposto.

Tabela 5 - Questionário de avaliação do software

A interface do software é agradável? Nota de 1 a 5	33,3% votaram 4 66,7% votaram 5
O software atende as exigências do mercado? Nota de 1 a 5	100% votaram 5
Você utilizaria este software?	100% Sim 0% Não
Você recomendaria este software para outras pessoas?	100% Sim 0% Não
Você encontrou dificuldades na utilização do software?	0% Sim 100% Não

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir das tarefas listadas na Tabela 5 é possível visualizar que a maioria, 66,7% dos participantes, deu nota máxima para a interface do software, sendo que 33,3% deu nota 4. Ademais, 100% deram nota máxima quando questionados se o software atende as exigências do mercado, bem como 100% dos participantes da pesquisa afirmaram que utilizariam o software e recomendariam a outras pessoas, não tendo eles encontrado dificuldades na utilização do mesmo.

Destaca-se que a pesquisa foi aplicada com os três colaboradores da empresa Clicheria Blumenau Ltda, os quais utilizam a tabela do já citado artigo The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations, de Sharma, Wu e Dalal (2004), salvo em uma planilha de cálculo, onde são colocados de forma manual as coordenadas do espaço LAB para calcular o CIEDE2000 das leituras realizadas nos processos gráficos desenvolvidos pela empresa. Assim, pela pesquisa aplicada e os resultados obtidos, tem-se que o software é de fácil manuseio e interpretação, além de eficaz ao objetivo proposto, atendendo as exigências do mercado atual e facilitando o trabalho dos usuários que ainda utilizam a tabela, além de fornecer outros dados relevantes além do CIEDE2000.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs a implementação de um software a ser utilizado em conjunto o espectrofotômetro X-Rite i1Pro 2, a fim de obter os dados de refletância de uma amostra de cor e calcular seus valores numéricos utilizando conceitos de colorimetria.

O sistema desenvolvido apresentou o resultado desejado, com a comunicação com o espectrofotômetro, estando os valores numéricos calculados iguais ou muito próximos de sistemas comerciais e da tabela encontrada no artigo *The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations*, de Sharma, Wu e Dalal (2004); a possibilidade da representação gráfica da cor lida e a visualização dos valores numéricos das amostras de cores nos diferentes modelos, bem como a conversão entre os modelos de cores (LAB, RGB e CMYK); a busca e visualização das diferenças entre as cores medidas; a criação de uma base de dados com as cores e valores medidos; e o grande diferencial deste trabalho, 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. Ainda, para efeitos de comparação são feitos também os cálculos CIE76 e CIE94.

O software foi implementado utilizando 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*. Desta forma, todas as necessidades que surgiram durante o desenvolvimento foram atendidas.

Este trabalho surgiu com o escopo de auxiliar nos processos gráficos de empresas do ramo, em especial da Empresa Clicheria Blumenau Ltda, com o controle da qualidade da cor, respeitando assim o gosto e as exigências dos clientes. Um software com esta funcionalidade se faz cada vez mais necessário no mercado atual e competitivo que vivemos, para que se minimize o trabalho do operador, tornando-o mais prático, fácil e rápido, tendo todas as cores Pantone no sistema, obtendo-se a cor exata medida pelo aparelho, sem a necessidade de ser escolhida visualmente pelo operador ou com o uso da tabela já citada. Como limitação o sistema não possui outros iluminantes e observadores.

4.1 EXTENSÕES

Como sugestões de extensões para o trabalho propõem-se:

- a) tornar o software compatível com outros modelos de espectrofotômetros;
- b) incluir outros iluminantes, observadores e permitir a conversão para outros modelos de cores, permitindo assim a expansão do software para outros ramos além da indústria gráfica;
- c) ampliar o software para o modelo web.

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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 19, 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: INTERCOM, 2006 p. 1-14.
- 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.
- LORENZO, Francesco Giovanni Gino; RIDOLFI, Maria. **Construção de Espaços de Cor Euclidianos e Perceptualmente Uniformes com base na fórmula CIEDE2000.** 2012. 93 f. Tese (Doutorado em Informática) – Programa de Pós-graduação em Informática do Departamento de Informática da PUC-RIO, Rio de Janeiro.
- INSTRUMENTS PCE. **Manual X-Rite i1 Pro 2 Colour Meters.** 2015. 14 f.
- MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to Instrumentation.** Japan: Minolta Co. Ltd., 2007. 59 p.

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 (Mestrado em Metrologia) – Curso de Pós Graduação em Metrologia da PUC-Rio, 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.

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.

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.

SHARMA, Gaurav; WENCHENG, Wu; DALAL, Edul N. **The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations**. 2004. 30 f.

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.

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**. 2018. Disponível em: <<http://www.colormangement.com/store/cid353/pid1707>>. Acesso em 29 de maio de 2017.

Wikipédia, A enciclopédia livre. **CMYK**. 2017. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/CMYK>>. Acesso em 25/06/2018.

APÊNDICE A - Questionário de testes

Neste apêndice constam o questionário de perfil do usuário, a lista de tarefas e o questionário de avaliação de usabilidade software (Quadro 11 a Quadro 13).

Quadro 11 - Perfil do usuário

PERFIL DO USUÁRIO	
Nome:	_____
Idade:	_____
Profissão:	_____
Sexo:	<input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Masculino
Profissão:	_____
Você possui experiência na área?	
	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 12 - Lista de tarefas

LISTA DE TAREFAS	
A seguir é apresentado uma lista com 09 tarefas que têm por objetivo avaliar o software desenvolvido, procure realizar as tarefas na sequencia estabelecida.	
Conectar o espectrofotômetro. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Seleção do dispositivo. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Calibração do dispositivo. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Fazer a primeira leitura. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Visualizar os valores da leitura. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Fazer a segunda leitura. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Salvar comparação. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Salvar cor. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Limpar dados. A tarefa foi executada?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Se você encontrou alguma dificuldade nos passos anteriores, descreva aqui.	

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 13 - Questionário de avaliação do software
QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO SOTWARE

A interface do software é agradável?

1 2 3 4 5

O software atende as exigências do mercado?

1 2 3 4 5

Você utilizaria este software?

Sim Não

Você recomendaria este software para outras pessoas?

Sim Não

Você encontrou dificuldades na utilização do software?

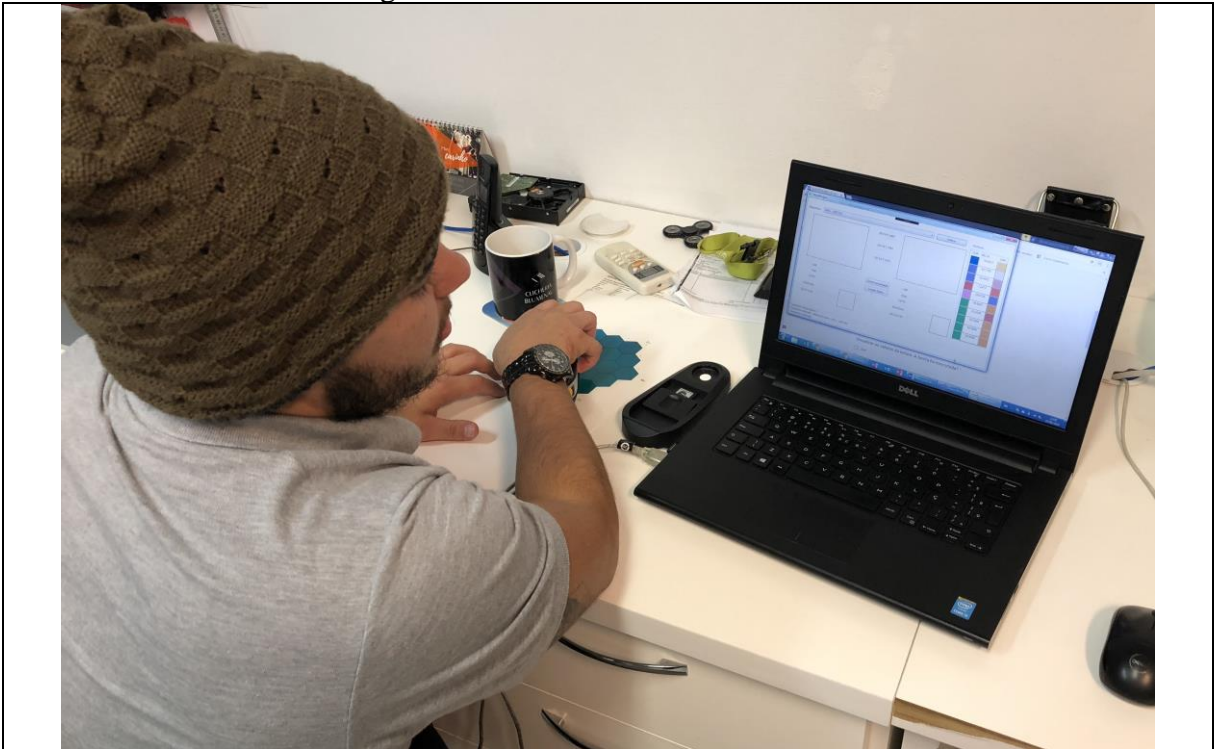
Sim Não

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE B - Utilização do software

A Figura 20 e a Figura 21 ilustram os usuários testando o software.

Figura 20 - Usuário testando o software



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 21 - Usuário testando o software



Fonte: elaborado pelo autor.