



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Química
Departamento de Tecnologia de Polímeros

**ANÁLISE DA DIFERENÇA DE COR ENTRE EXEMPLARES DE
CORES MUNSELL**

Patrícia Padilha Nunes Morenval

Prof. Dr. Edison Bittencourt

Orientador

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Campinas – São Paulo

Dezembro de 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M816a Morenval, Patrícia Padilha Nunes
Análise da diferença de cor entre exemplares de cores
Munsell / Patrícia Padilha Nunes Morenval.--Campinas, SP:
[s.n.], 2007.

Orientador: Edison Bittencourt.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Cor na indústria. 2. Cores - análise. I. Bittencourt,
Edison. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Analysis of color difference among Munsell colors charts.

Palavras-chave em Inglês: Color difference, CMC, Munsell color chart.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais.

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: Elizabeth Fátima de Souza e Zaida Jova Aguila.

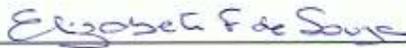
Data da defesa: 10/12/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edison Bittencourt



Prof. Dra. Elizabeth Fátima de Souza



Dra. Zaida Jova Aguila

Esta versão corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por
Patricia Padilha Nunes Morenval e aprovada pela banca examinadora em 10 de
Dezembro de 2007.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edison Bittencourt', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Prof. Dr. Edison Bittencourt

DEDICATÓRIA

À Deus, por me conceder o privilégio de estar me enriquecendo de conhecimentos cada dia mais e mais.

Ao meu amado Lionel, pelo seu amor, carinho, paciência e por sempre me incentivar em todos os momentos, inclusive os mais difíceis.

Aos meus queridos pais, Ariovaldo e Rosângela, a minha irmã Daniela e ao meu irmão Lucas, pelo apoio e por acreditarem em mim em todas as fases da minha vida.

A minha avó Odete e tia Karina, pela harmonia do nosso convívio e pela sensação de poder contar sempre com vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Edison Bittencourt, pela paciência, sabedoria, orientação e pelos bons momentos que passamos trocando informações e mensagens pelo computador.

Ao Paulo Lorenz Pereira, pessoa incrível que em todos os momentos que precisei dos seus conhecimentos me ajudou prontamente.

À família Fatarelli, pela utilização do espectrofotômetro, pelo conhecimento e pelas boas risadas.

Cláudia Feitosa Santana, Romildo Guerrante, Rafaela Di Sabato Guerrante, Zaida Jova Aguila, Rose Rader, Virgínia Giacon, Gerson Almeida, Virgínia Teles, Marcos Luiz Ziravello Quindici, Jovimária Pereira de Melo, Simone Panis Sato, Patrícia Ruani Pacanhela e Angélica Luiz.

A todos que direta, ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Amo a liberdade, por isso, deixo as coisas que amo livres.

Se elas voltarem é porque as conquistei.

Se não voltarem, é porque nunca as possuí.”

John Lennon

RESUMO

Padrões de cores Munsell são muito utilizados como referência de cor em diversos campos da ciência. O presente estudo partiu da dificuldade do ajuste de cores na indústria de tintas, o que constitui um problema técnico, pois os profissionais que se relacionam com os clientes e os próprios clientes desconhecem as dificuldades de reproduzir as cores.

Neste estudo, analisaram-se as diferenças de cores Munsell de mesma notação, mas adquiridas em diferentes datas. Entre os exemplares Munsell analisados estão: dois livros do *The Munsell Book of Colors*, o primeiro adquirido em janeiro de 2005, e o segundo, em dezembro de 2006, folhas Munsell adquiridas em setembro de 2004 e duas cartelas *Munsell Neutral Value Scale*, ambas adquiridas em dezembro de 2006. Todos os padrões analisados apresentavam o acabamento brilhante e foram adquiridos do mesmo fornecedor. Foi medida a diferença de cor através do espectrofotômetro Datacolor, em vinte cores e a análise visual foi realizada na cabine de luz BYK Gardner.

Para aproximadamente 70% das amostras de cores Munsell analisadas, existe uma diferença de cor perceptível entre aquelas de mesma especificação. Os valores encontrados não tiveram constância de resultados, pois amostras mais antigas apresentaram valores de diferença de cor menores que amostras mais novas. Recomenda-se aos usuários de cores Munsell façam uma avaliação da cor de suas amostras para controlar o estado do seu exemplar.

Concluiu-se que o Munsell têm variação entre as amostras de cores produzidas, e que essa variação pode interferir na análise do controle de qualidade de cor na indústria. As causas destas variações nos atributos da cor Munsell são desconhecidas, mas sabemos que o impacto no cliente que recebe a cor é grande, pois não se sabe se a cor que está sendo utilizada confere com as especificações, podendo até gerar conflitos se as partes interessadas não entrarem em acordo.

ABSTRACT

Munsell color charts are widely used as color reference in many science fields. This study was motivated by the difficult to match colors in the industry of paints, what constitute a technical problem, due to the fact that professionals that work with customers and customers don't know the difficulties of reproducing colors.

In this work, we measured Munsell color differences with the same notation, but bought in different dates. Among them are; two "The Munsell Book of Colors", the first one was bought in January 2005, the second one in December 2006, Munsell sheets bought in September 2004 and two "Munsell Neutral Value Scale" charts, which were bought in December 2006. All colors analyzed were in glossy finish and were bought from the same supplier. The color difference was measured by a Datacolor spectrophotometer in twenty colors and the visual analyze was done in a BYK Gardner light booth.

As a result we found that for more than 70% of Munsell colors samples, there are a perceptive color difference among the ones which has the same specification. The obtained values show no constancy in the results, due to the fact that old samples had smaller results than the new ones. Is recommended to users of Munsell to do a color analyze in their samples, in order to estipulate the tolerance and to control the color.

This work concludes that Munsell have colors variations which can interfere in the quality color control of industries. The causes of color variations are unknown, but the impact in customers who receives the color is high, which can cause conflict if both parts do not find a compromise.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Conceitos da Colorimetria.....	3
2.1.1 Fontes de luz e Iluminantes.....	3
2.1.2 Objeto.....	4
2.1.3 Observador.....	5
2.2 Atributos da Cor.....	7
2.2.1 Matiz.....	7
2.2.2 Luminosidade.....	7
2.2.3 Saturação.....	7
2.3 Metameria.....	8
2.4 Munsell.....	8
2.4.1 Histórico.....	8
2.4.2 Nomenclatura do sistema – Descrição e conceituação.....	11
2.5 Espaços e sistemas de cores.....	13
2.5.1 CIE.....	13
2.5.2 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ ou CIELAB.....	16

2.5.3 CIEL*, C*, h*.....	18
2.5.4 Sistema de Tolerância CMC.....	20
CAPÍTULO III.....	24
3. PARTE EXPERIMENTAL.....	24
3.1 Material.....	24
3.2 Equipamentos Utilizados.....	27
3.2.1 Espectrofotômetro.....	27
3.2.2 Cabine de Luz.....	28
3.3 Roteiro.....	29
3.3.1 Seleção das amostras.....	29
3.3.2 Limpeza e cuidados especiais com a amostra.....	31
3.3.3 Calibração do espectrofotômetro.....	31
3.3.4 Procedimento.....	31
3.3.4.1 Espectrofotômetro.....	31
3.3.4.2 Cabine de luz.....	32
CAPÍTULO IV.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 Preto N1	36
4.2 Cinza N6.5	38
4.3 Branco N9.5	40
4.4 Vinho M.5R 2/6	42
4.5 Vermelho M.5R 4/14.....	44
4.6 Amarelo M.5Y 8/12.....	46
4.7 Verde M.2.5G 3/4.....	48
4.8 Azul M.2.5PB 8/4.....	50

4.9 Azul M.2.5PB 4/10.....	52
CAPÍTULO V.....	54
5. CONCLUSÕES.....	54
6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
7. REFERÊNCIAS.....	56
ANEXO I: TICKET DE CALIBRAÇÃO.....	60
ANEXO II: TESTE FARNSWORTH MUNSELL	61
APÊNDICE.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Albert Henry Munsell (http://en.wikipedia.org)	9
Figura 2: Sistema de cor Munsell representado em três dimensões: matiz, luminosidade e saturação (http://www.voiceofcolor.com).....	11
Figura 3: Representação dos dois livros Munsell abertos com o círculo de matizes na extremidade e a escala de cinzas no centro (GNECCO, Celso, 1999).....	12
Figura 4: Diagrama de cromaticidade x,y do CIE 1931 (www.wikipedia.com).....	14
Figura 5: Diagrama do sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$ (www.colorsystem.com).....	17
Figura 6: Diagrama de tolerância CMC com os elipsóides, definidos por matiz, luminosidade e saturação (www.efg2.com).....	20
Figura 7: Elipsóide do sistema CMC representado em três dimensões: matiz, luminosidade e saturação (modificacado de Alain Chrisment Color & Colorometry, Paris 1998).....	21
Figura 8: Livro <i>The Munsell Book of Color</i> e seus chips.....	25
Figuras 9 e 10: Embalagem recebida e o adesivo com informações de data de fabricação, validade e número de lote do Livro <i>The Munsell Book of Color</i>	26
Figura 11: Folha Munsell.....	26
Figura 12: Etiqueta de identificação colocada na parte de trás da folha Munsell escrita a mão.....	26
Figura 13: Cartela <i>Munsell Neutral Value Scale</i>	27
Figura 14: Espectrofotômetro Datacolor modelo <i>Spectralflash</i> [®] SF350X.....	28
Figura 15: Cabine de luz BYK Gardner modelo Byko-spectra.....	29
Figura 16: Curva espectral da cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2.....	37
Figura 17: Curva espectral da cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	39

Figura 18: Curva espectral da cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	41
Figura 19. Curva espectral da cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2.....	43
Figura 20: Curva espectral da cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2.....	45
Figura 21: Curva espectral da cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	47
Figura 22. Curva espectral da cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2.....	49
Figura 23: Curva espectral da cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2.....	51
Figura 24: Teste de acuidade visual Farnsworth Munsell 100	61
Figura 25: Curva espectral da cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	64
Figura 26: Curva espectral da cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	66
Figura 27: Curva espectral da cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	68
Figura 28: Curva espectral da cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2.....	69
Figura 29: Curva espectral da cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2	70
Figura 30: Curva espectral da cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2.....	72
Figura 31: Curva espectral da cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2.....	73
Figura 32: Curva espectral da cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2.....	74
Figura 33: Curva espectral da cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	76
Figura 34: Curva espectral da cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2.....	77
Figura 35: Curva espectral da cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2.....	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Cores Munsell analisadas separadas por notação e a fonte da qual foi medida.....	30
Tabela 2: Esquema de classificação para diferenças de cores para análise visual segundo ISO 3668.....	32
Tabela 3: Resultados de ΔE_{CMC} na cor preto N1 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: L2, C1 e C2.....	36
Tabela 4: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2.....	36
Tabela 5: Resultados da análise visual na cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2.....	36
Tabela 6: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N6.5 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	38
Tabela 7: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	38
Tabela 8: Resultados da análise visual na cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	38
Tabela 9: Resultados de ΔE_{CMC} na cor branco N9.5 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	40
Tabela 10. Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	40
Tabela 11. Resultados da análise visual na cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	41
Tabela 12: Resultados de ΔE_{CMC} na cor vinho M.5R 2/6 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	42
Tabela 13: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2.....	42

Tabela 14: Resultados da análise visual na cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2.....	43
Tabela 15: Resultados de ΔE_{CMC} na cor vermelho M.5R 4/14 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	44
Tabela 16: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2.....	44
Tabela 17: Resultados da análise visual na cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2.....	45
Tabela 18: Resultados de ΔE_{CMC} na cor amarelo M.5Y 8/12 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	46
Tabela 19: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	46
Tabela 20: Resultados da análise visual na cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	47
Tabela 21: Resultados de ΔE_{CMC} na cor verde M.2.5G 3/4 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	48
Tabela 22: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2.....	49
Tabela 23: Resultados da análise visual na cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2.....	49
Tabela 24: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.2.5PB 8/4 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	50
Tabela 25: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2.....	51
Tabela 26: Resultados da análise visual na cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2.....	51
Tabela 27: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.2.5PB 4/10 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	52

Tabela 28: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor azul M.2.5PB 4/10 nas amostras: Folha e L2.....	52
Tabela 29: Resultados da análise visual na cor azul M.2.5PB 4/10 nas amostras: Folha e L2.....	52
Tabela 30: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N3.5 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	64
Tabela 31: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	64
Tabela 32: Resultados da análise visual na cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	64
Tabela 33: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N5 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	65
Tabela 34: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	66
Tabela 35: Resultados da análise visual na cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	66
Tabela 36: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N8 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	67
Tabela 37: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	67
Tabela 38: Resultados da análise visual na cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.....	67
Tabela 39: Resultados de ΔE_{CMC} na cor marrom M.10R 3/6 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	68
Tabela 40: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2.....	68
Tabela 41: Resultados da análise visual na cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2.....	69

Tabela 42: Resultados de ΔE_{CMC} na cor marrom M.2.5YR 2/4 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	69
Tabela 43: Resultados <i>CIEL*C*h*</i> na cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2.....	70
Tabela 44: Resultados da análise visual na cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2.....	70
Tabela 45: Resultados de ΔE_{CMC} na cor laranja M.2.5YR 6/14 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	71
Tabela 46: Resultados <i>CIEL*C*h*</i> na cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2.....	71
Tabela 47: Resultados da análise visual na cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2.....	71
Tabela 48: Resultados de ΔE_{CMC} na cor sândalo M.7.5YR 6/2 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	72
Tabela 49: Resultados <i>CIEL*C*h*</i> na cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2.....	72
Tabela 50: Resultados da análise visual na cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2.....	73
Tabela 51: Resultados de ΔE_{CMC} na cor creme M.10YR 7/6 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	73
Tabela 52: Resultados <i>CIEL*C*h*</i> na cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2.....	74
Tabela 53: Resultados da análise visual na cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2.....	74
Tabela 54: Resultados de ΔE_{CMC} na cor amarelo M.2.5Y 8/12 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2.....	75
Tabela 55: Resultados <i>CIEL*C*h*</i> na cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	75

Tabela 56: Resultados da análise visual na cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.....	75
Tabela 57: Resultados de ΔE_{CMC} na cor verde M.10GY 6/6 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	76
Tabela 58: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2.....	76
Tabela 59: Resultados da análise visual na cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2.....	77
Tabela 60: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.7.5PB 3/8 com relação de (<i>l:c</i>) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2.....	77
Tabela 61: Resultados <i>CIEL</i> * <i>C</i> * <i>h</i> * na cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2.....	78
Tabela 62: Resultados da análise visual na cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2.....	78

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de comunicação pelas cores é muito antiga. O primeiro estudioso a organizar um sistema de classificação de cores consistente foi o artista e professor de artes norte-americano Albert Henry Munsell, que, em 1915, ordenou chips coloridos de maneira lógica, criando assim um dos sistemas de organização de cores mais utilizados até o presente, *The Atlas of the Munsell System*. Em 1929, esta obra foi substituída pelo *The Munsell Book of Color*, baseado no seu trabalho anterior e contendo extensões em todas as escalas.

Cartelas ou livros de cores são amplamente utilizados em âmbitos distintos, incluindo: gestão da cor (caracterização, calibração, imagem digital); arte da impressão; arquitetura (doméstica e decoração); indústria (igualação da cor, desenho, inspeção); ciência; artes plásticas; moda. Um de seus usos mais importantes é o de guia de referência para orientar a seleção da cor, além de ser utilizado como indicador de controle de qualidade.

Os chips (denominação utilizada no setor de cores para pequenas amostras de cores) de uma cartela ou livro de cores podem passar por variações em sua cor de referência, dependendo da data de fabricação; as horas de uso; condições de armazenamento; condições de manuseio e estado de conservação. Por essa razão, ainda que sejam utilizadas as mesmas cartelas ou livros de referência, pode acontecer que uma determinada especificação de cor corresponda a amostras cuja cor real não seja idêntica, dependendo da coleção e até mesmo do prazo de validade. Desta maneira, existe uma incerteza na definição da cor associada à maneira de utilizar ou armazenar exemplares de cores.

As cores Munsell são muito utilizadas como referência de cor em diversos campos da ciência, porém, informações fundamentais como a data de validade e condições de armazenamento das amostras de cores, não é informada ao consumidor. O presente estudo partiu da dificuldade do acerto de cores na

indústria de tintas, que quase sempre é problemático, pois os profissionais que se relacionam com os clientes e os próprios clientes desconhecem as dificuldades de reproduzir as cores. Outro agravante é a falta de treinamento das pessoas que fazem à análise de cor, sendo que no Brasil grande parte das empresas realiza a aprovação de cor visualmente.

Neste trabalho analisamos o problema das variações de cores Munsell em diferentes exemplares impressos. Não se exclui a incidência de causas como o envelhecimento e o uso. O problema é um pouco mais grave, considerando que se trata de referência de cores, os quais são utilizados como guia para especificar a cor, mediante os atributos de: matiz, luminosidade e saturação.

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho é avaliar as diferenças de cor existentes entre amostras de cores Munsell de mesma especificação, mas pertencentes a exemplares distintos, pelos seguintes recursos:

- Espectrofotômetro
 - medição dos valores $CIE L^*C^*h^*$ (sistema de cores), para determinar as diferenças de cor entre amostras Munsell;
 - avaliação de qual atributo da cor (luminosidade, saturação, matiz) tem maior variação;
 - avaliação de metameria através da análise de curvas espectrais entre as amostras Munsell.
- Análise visual em cabine de luz
 - avaliar se as diferenças de cores resultantes da análise do espectrofotômetro são perceptíveis visualmente;
 - avaliar se é perceptível visualmente a metameria, quando existente.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos da Colorimetria

A cor pode ter vários significados, mas segundo Billmeyer, e nessa dissertação vamos adotar o seu conceito, a cor é muito mais que algo físico, a cor é o que vemos e o resultado da modificação física da luz causada pelos pigmentos quando detectados pelo olho humano (chamado processo de resposta), e interpretado pelo cérebro (chamado de processo perceptual, na qual introduz a psicologia).

O processo perceptual da cor ocorre da seguinte maneira: a luz, ao atravessar os meios ópticos oculares, excita células fotossensíveis que se encontram na retina que, por sua vez, iniciam o processo de codificação da informação presente nesses raios luminosos até que, após extenso processamento em vários níveis do sistema nervoso, ocorre a percepção da cor (Feitosa-Santana et al., 2006).

A luz que emerge de um corpo depende da luz que nele incide. A cor de um corpo pode ser modificada em função do tipo de luz que nele incide. Costuma-se definir a cor natural de um corpo como aquela que ele apresenta quando iluminado por todo o espectro visível.

Para que visualizemos as cores, faz-se necessário que haja a presença de três componentes simultaneamente: fonte de luz, objeto e observador.

2.1.1 Fontes de luz e Iluminantes

Uma fonte de luz é uma emissão física da radiação, exemplo: vela, lâmpada ou a luz do sol que gera a luz utilizada para avaliação visual da cor. Para

cada fonte de luz, o valor da energia relativa (força) nos indica qual a quantidade de energia presente em um comprimento de onda particular.

O iluminante representa a fonte de luz através de uma descrição numérica (energia da fonte de luz em função do comprimento de onda visível) e é utilizado na análise instrumental da cor.

A CIE (*Commission Internationale de L'Eclairage*) codificou a distribuição espectral de diferentes tipos de luz branca e os chamou de “iluminantes”. Os iluminantes CIE mais comuns são:

- A, que representa a fonte de luz incandescente ou a de tungstênio, que pode ser encontrada nas nossas casas (temperatura de cor de 2856K);
- F2, que representa o espectro da maioria das lâmpadas fluorescentes brancas e frias, que pode ser encontrada em escritórios (temperatura de cor de 4100K);
- D65 é a mais comumente utilizada e conhecida como “o iluminante do dia” (temperatura de cor de 6504K);
- C, que tem uma histórica representação, representa a média da luz diurna do norte (temperatura de cor de 6774K);
- TL84, fluorescente de pequena faixa de espectro, pode ser encontrada em escritórios ou em lojas na Europa (temperatura de cor de 4100K). É comum a sua utilização para verificar a existência de metameria.

A menos que se tenha uma indicação diferente, o iluminante mais utilizado e recomendado atualmente é o D65.

2.1.2 Objeto

Quando a radiação de uma fonte luminosa atinge um objeto, a luz é modificada basicamente devido a dois fatores: os atributos geométricos e os atributos cromáticos.

Os atributos geométricos estão relacionados com a constituição do objeto, ou seja, dependem da matéria, do brilho, da transparência e da rugosidade do

objeto. Essas características definem se o objeto é opaco, opaco metálico, translúcido ou transparente.

Os atributos cromáticos estão relacionados com pigmentos e corantes, que, seletivamente, absorvem alguns comprimentos de onda, enquanto refletem ou transmitem outros. Se olharmos para um objeto qualquer e vemos a cor amarela, podemos concluir que, de todos os comprimentos de onda de uma luz branca incidente sobre o objeto, somente o comprimento de onda da luz amarela está sendo refletido, os demais são absorvidos.

A quantidade de luz refletida ou transmitida por um objeto pode ser quantificada por meio de instrumentos, tais como os densitômetros de luz que medem a densidade de radiação, por espectrofotômetros, que medem a quantidade de energia refletida ou transmitida a cada comprimento de onda. Esta medida de energia espectral ou curva espectrofotométrica nos permite identificar a cor característica ao corpo.

2.1.3 Observador

Não tão simples de se explicar como os dois primeiros elementos, também foi possível quantificar o observador. Para se entender melhor, vamos verificar o seguinte experimento realizado por volta de 1920. Um fator importante no mecanismo de percepção do olho humano pode estar relacionado com a luminosidade, ou seja, a eficiência de nossos olhos em converter os diferentes comprimentos de onda da luz em sensações de intensidade luminosa. Para se obter os valores numéricos dessa percepção, foi realizado um experimento com 52 observadores que deveriam ajustar a intensidade luminosa de várias fontes de luz, de diferentes comprimentos de onda, até que todas apresentassem igual luminosidade. Os resultados dessa investigação foram adotados pela CIE em 1924 como uma função de luminosidade padrão do olho humano, e também possibilitou concluir que vemos a porção verde amarelada do espectro muito mais facilmente do que em qualquer outra faixa.

Esses experimentos foram realizados para determinação do observador padrão somente utilizando a fóvea, o que cobre um ângulo de 2° de visão. Por outro lado, tem um grande número de aplicações que utiliza um ângulo da visão muito maior. A CIE encorajou experimentos, e durante os anos 50, Stiles, do *National Physical Laboratory* na Inglaterra, conduziu ensaios pilotos nos quais foram determinados para 10 observadores funções de ajustes de cores para ângulos de visão de 2° e 10°. O comitê da CIE concluiu que para a colorimetria prática, o observador padrão de 1931 era válido para pequenos campos de ajustes de cores, enquanto para áreas maiores, a pesquisa deveria continuar (Wyszecki, 1982 apud Berns, 2000).

Stiles e Burch mediram funções de igualação de cores para 49 observadores com um ângulo de 10° de visão (Stiles, 1959, apud Berns, 2000). Speranskaya (1959) mediu funções de igualação de cores também com um ângulo de visão de 10°. A CIE com os dois dados e alguns ajustes, lançou o 1964 CIE *supplementary standard observer* (Wyszecki 1982, CIE 15.2, Trenoza 1998 apud Berns, 2000). Normalmente referem-se a esse observador como: observador padrão 1964 ou observador 10°.

Observador 10° CIE 1964, possui foco na retina, enquanto que o CIE 1931 2° foco sobre a fóvea do olho. Em 10° temos a melhor correlação com a média visual, típica de relações comerciais. O campo visual de 10° aproxima-se mais do olho humano, porque, além de captar as diferenças de cor proporcionadas pelas células do tipo cone concentrada na zona foveal do olho, capta também as diferenças de luminosidade que são proporcionais pelas células do tipo bastonetes espalhadas sobre a retina, as quais são não levadas em conta no observador de 2°.

O observador de 1964 é recomendado para campo de observação maior que aproximadamente 4°.

2.2 Atributos da Cor

2.2.1 Matiz

Atributo de percepção da cor na qual uma cor é considerada vermelha, laranja, amarela, verde, azul, púrpura ou intermediária entre pares adjacentes destes, considerando um anel fechado (vermelho e púrpura sendo pares adjacentes). As cores neutras são consideradas sem matiz e são chamadas de acromáticas.

Em inglês, o matiz é definido pelo termo “*hue*” e muitas vezes simbolizado pela letra “H”.

2.2.2 Luminosidade

Atributo de percepção visual na qual um corpo não luminoso é considerado refletir mais ou menos luz. Cores claras refletem mais luz e cores escuras refletem menos luz.

Em inglês, a luminosidade é definida pelo termo “*lightness*” e muitas vezes simbolizado pela letra “L”.

2.2.3 Saturação

Atributo de percepção visual, produzido por um objeto colorido que caracteriza a quantidade da cor, indicando a proporção em que ela está misturada com branco, preto ou cinza. Quando uma cor não está misturada com outra acromática, ela é considerada saturada, caso contrário, ela pode ser pálida ou acinzentada.

Em inglês, a saturação é definida pelo termo “*chroma*” e muitas vezes simbolizado pela letra “C”.

2.3 Metameria

Um dos principais aspectos da tecnologia da cor é o metamerismo, pois podemos obter a mesma resposta visual, sem utilizar os mesmos corantes ou pigmentos da cor de referência.

É o fenômeno, segundo o qual duas cores ou misturas são equilibradas em certos iluminantes ou observadores e em outros não, sofrendo mutações de cor quando exposta a mudança dos iluminantes ou observadores.

Quando um par de amostras tem curvas espectrais de refletância diferentes, mas possuem as mesmas coordenadas de cores são chamados de “pares metaméricos” ou “objetos metaméricos”. Se com a mudança de iluminante, o par de amostras não exibir uma igualação de cor, logo são ditos que exibem o chamado “*illuminant metamerism*”. Se, além disso, mudamos de observador e o par de amostras não apresentarem a igualação da cor, dizemos que o par de amostras exibe o “*observer metamerism*” (Berns, 2000).

2.4 Munsell

2.4.1 Histórico

Albert Henry Munsell nasceu no dia 6 de janeiro de 1858, em Boston, no estado de Massachusetts, teve sua formação primária e secundária em escolas públicas. Seus estudos em arte tiveram início aos 16 anos, na *Massachusetts State Normal Art School* (MNAS), a *Massachusetts College of Art* dos dias atuais. O interesse de Munsell pela cor ocorreu um pouco antes de deixar sua terra natal, em 1879, quando começou a ler um texto que havia sido recentemente publicado na

Modern Chromatics with Application to Art and Industry, do físico Ogden Rood da *Columbia University* (Landa, 2004; Landa & Fairchild, 2005).

Munsell percebeu que as caracterizações das cores como, por exemplo, “topázio amarelo”, “vermelho indiano”, não eram suficientes para a obtenção das cores desejadas, seja para uma pintura ou para a fabricação de um pigmento. Sua pesquisa nessa área intensificou-se nas férias de verão de 1898, quando ensinava composição de cores para seus alunos. Desde então ele começou a trabalhar com especificações de cores localizadas em modelos tridimensionais (Munsell, 1946).

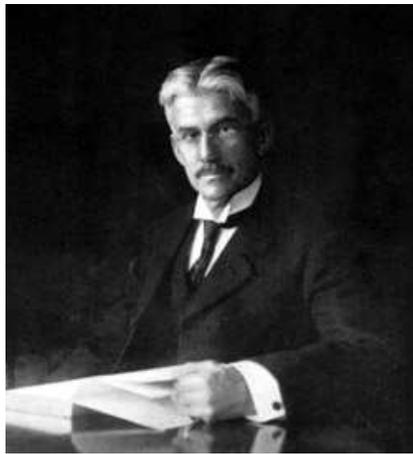


Figura 1: Albert Henry Munsell (<http://en.wikipedia.org>).

Depois de anos de estudos e pesquisas, em 1905, publicou a primeira edição de *A Color Notation*, no qual descreveu o seu sistema de cores em 67 páginas. Esse sistema, tridimensional, foi composto pelas coordenadas “*hue*” (H), “*value*” (V) e “*chroma*” (C), termos que, na língua portuguesa, significam matiz, luminosidade e saturação.

Anos mais tarde, em 1915, após diversas viagens, principalmente, pela Europa, para a divulgação de seu sistema de cores, publicou o *Atlas of the Munsell Color System*. Nessa mesma época, sua saúde ficou bastante fragilizada.

Em 1917, foi criada a empresa *Munsell Color Company* com a finalidade de comercializar suas diversas cartelas de cores e outros produtos sob a direção de seu filho, Alexander Ector Orr Munsell. Albert Henry Munsell morreu no ano

seguinte, no dia 28 de junho de 1918, aos 60 anos (Landa, 2004; Landa & Fairchild, 2005).

A Grammar of Color foi publicado postumamente, em 1921 e, nesse mesmo ano, Dorothy Nickerson (1900-1985), iniciou sua carreira profissional como secretária e assistente de laboratório de A. E. O. Munsell. Nickerson teve uma grande influência nas aplicações comerciais do sistema desenvolvido por Munsell, muitas publicações sobre o sistema, e intenso envolvimento com o Comitê de Colorimetria da *Optical Society of America* (OSA) (Landa, 2004; Landa & Fairchild, 2005).

O *Atlas of the Munsell Color System* foi substituído em 1929, pelo *The Munsell Book of Color*. Desde então, o sistema teve várias revisões e, nos anos 40, o Comitê de Colorimetria da OSA juntamente com as contribuições de Nickerson, publicaram o *Renotation Munsell*, baseado em um espaço visual um pouco mais abrangente, com observações visuais em mais de trezentos mil pontos. Atualmente são comercializados diversos tipos de livros e cartelas Munsell: *Munsell Book of Color (Glossy Edition, Matte Edition)*, *Munsell Book of Color (Nearly Neutrals Edition)*, *Neutral Value Scale (Glossy Finish and Matte Finish)*, *Munsell Sheets (Glossy Finish, Matte Finish and Nearly Neutral)* (Brainard, 2003; Landa & Fairchild, 2005).

Em 1983, Munsell recebeu uma homenagem com a criação do laboratório *Munsell Color Science Laboratory* (MCSL), uma das unidades de pesquisa do *Chester F. Carlson Center for Imaging Science, Rochester Institute Technology* (RIT) (Rochester, NY). O MCSL foi criado com a doação feita por A. E. O. Munsell dos fundos adquiridos com a venda da *Munsell Color Company*. Atualmente, o MCSL é um centro de pesquisa multidisciplinar e, no campo da ciência da cor, seus estudos são direcionados às várias áreas onde seu entendimento é imprescindível: as neurociências, a química, a física, a têxtil, entre outras (Landa & Fairchild, 2005).

2.4.2 Nomenclatura do sistema – Descrição e conceituação

O sistema de cores Munsell é constituído de escalas numéricas com três atributos, chamados de matiz “*hue*” (H), luminosidade “*value*” (V) e saturação “*chroma*” (C), que se escreve como H V/C, fórmula conhecida como “notação Munsell” (Valencia & Millán, 2005).

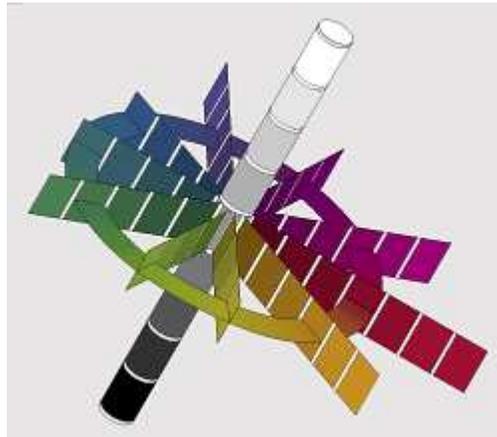


Figura 2: Sistema de cor Munsell representado em três dimensões: matiz, luminosidade e saturação (<http://www.voiceofcolor.com>).

O matiz é tecnicamente o que distingue uma cor de outra em um objeto ou uma superfície. A qualidade nas quais as cores de igual luminosidade e saturação diferem entre si. O sistema Munsell possui cinco famílias de matizes principais, na qual são arranjadas em intervalos iguais sobre um círculo de matizes: vermelho (R), amarelo (Y), verde (G), azul (B) e púrpura (P). Na metade de cada uma desses matizes principais são colocados cinco matizes intermediários: vermelho amarelado (YR), amarelo esverdeado (GY), verde azulado (BG), azul púrpura (PB) e púrpura avermelhado (RP).

No caso do matiz, o círculo de cores do sistema é dividido em 100 partes iguais identificadas no círculo externo, H variando de 0 a 100. Por exemplo, os matizes vermelhos (R), encontram-se entre $0 \leq H \leq 10$ (Feitosa-Santana et al., 2006).

Atualmente, a versão comercial de *The Munsell Book of Color* contém 40 cartelas com 40 matizes constantes (H), distribuídas em dois volumes. Se abrirmos os dois volumes e os colocarmos de pé, unidos pelos dorsos, teremos a visualização do círculo de matizes.

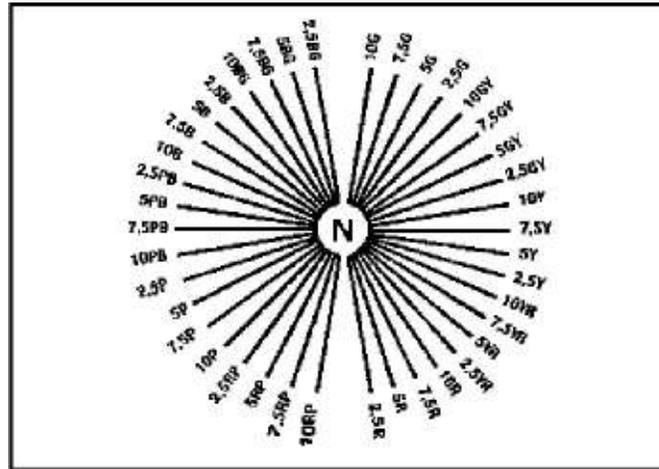


Figura 3: Representação dos dois livros Munsell abertos com o círculo de matizes na extremidade e a escala de cinzas no centro (GNECCO, Celso, 1999).

Dentro do sistema Munsell o eixo vertical denominado N (de neutro, pois não há influência de nenhuma cor), representa o *value* (V) na qual temos a escala de luminosidade que varia do preto puro (V=0) até o branco (V=10), localizados respectivamente no extremo inferior e superior da escala. Nesta escala as cartelas são apresentadas com a reflectância que cada cor exibe. O termo *value* é definido como “*the lightness of a color*”, na tradução para a língua portuguesa: a luminosidade de uma cor. A qualidade pela qual nós distinguimos uma cor clara de uma escura; a escala acromática, que não faz parte do espectro visível; escala de cinzas; escala neutra (Munsell, 1946).

Saturação, atributo de percepção visual, produzido por um objeto colorido que indica a proporção em que está misturada com branco, preto ou cinza. Quando uma cor está misturada com outra acromática, ela pode ser pálida ou acinzentada, caso contrário, ela é considerada saturada. No sistema Munsell a saturação (C), é determinada pelo afastamento em relação ao eixo vertical, mostrando que quanto

mais distante se encontra uma cor do eixo vertical, maior o seu grau de saturação (Feitosa-Santana et al., 2006).

Quando foi elaborado, o sistema propunha que as cores fossem arranjadas de forma que duas cores vizinhas tivessem a mesma magnitude de diferença perceptual, ou seja, que a distância entre elas correspondesse à medida de uma diferença apenas perceptível. Tal finalidade não foi alcançada pelo sistema, mas a eficiência do sistema Munsell na especificação de cores é comprovada pelo fato de continuar sendo utilizado por diversas indústrias ao longo de mais de um século. Ainda hoje, continua sendo o mais conhecido sistema de aparência de cores (Birch, 2001; Brainard, 2003; Feitosa-Satana et al., 2006).

2.5 Espaços e sistemas de cores

2.5.1 CIE

Localizada em Viena na Áustria, a Comissão Internacional de Iluminação, conhecida como CIE, por causa do nome francês *Commission Internationale de L'Eclairage* é uma autoridade internacional em luz, iluminação, cor e espaço de cores. O espaço de cores CIE 1931 determina a sistematização das funções de misturas de cores necessárias para um observador padrão dentro de um campo visual de 2°, em condições específicas de iluminação.

A construção do espaço de cores CIE foi realizada com a utilização da equiparação cromática. Nessa técnica, é apresentado ao observador um campo circular bipartido, com um dos lados iluminado por uma luz monocromática e a outra metade sendo iluminada simultaneamente por três diferentes luzes que, em geral, correspondem às primárias vermelho, verde e azul. O objetivo do observador é ajustar a intensidade de cada uma das três primárias até que as duas metades do círculo sejam percebidas como iguais. Os três de valores passam a representar a cor monocromática que foi testada. O experimento foi realizado em intervalos de aproximadamente 4 nm (Rodrigues, 2003 apud Feitosa, 2006).

O sistema de cores CIE 1931 (XYZ) é conhecido pelo seu diagrama de cromaticidade. A percentagem relativa de cada uma das cores, teoricamente primárias, vermelho, verde e azul, pode ser identificada utilizando-se um valor matemático derivado do gráfico sobre o diagrama de cromaticidade com um ponto cromático.

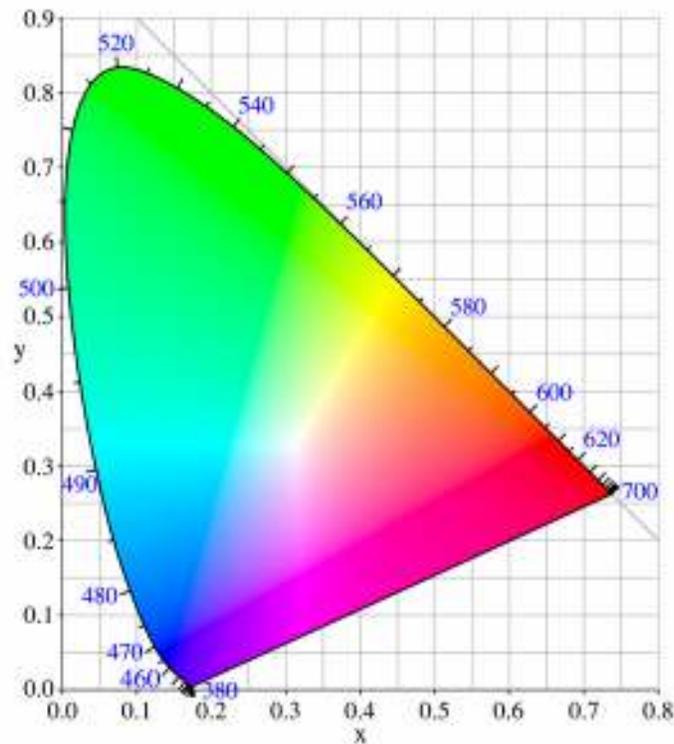


Figura 4: Diagrama de cromaticidade x,y do CIE 1931 (www.wikipedia.com).

No diagrama estão representadas não apenas as cores puras ou monocromáticas como, também, as misturas delas para cada coordenada cromática. As coordenadas para as cores puras são representadas no locus espectral, o qual ocupa mais de dois terços da borda do diagrama, correspondendo aos comprimentos de onda entre 380 nm e 780 nm. O branco, por sua vez, está localizado em sua porção mais central ($x = 0,33$; $y = 0,33$) e a sua determinação resulta da combinação dos três comprimentos de onda adotados como primários, 700 nm, 546,1 nm e 435,8 nm (Feitosa, 2006).

No sistema, X, Y e Z representam cada um dos valores absolutos da

mistura de cores das três primárias necessárias para a equiparação com cada uma das cores espectrais. Os valores de x , y e z representam as coordenadas de cromaticidade e são obtidas pelas fórmulas: $x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$ e $z = Z/(X+Y+Z)$. Na representação gráfica do diagrama, as informações são representadas em x , y e Y . As coordenadas x e y são os coeficientes correspondentes às quantidades relativas de dois das três primárias e a da terceira, z , é obtida por diferença, uma vez que $x + y + z = 1$, ou seja, $z = 1 - x - y$. Estas três coordenadas correspondem às proporções de cada uma das três primárias para constituir cada cor espectral. Desta forma, as cores têm informações nas três dimensões, enquanto o branco e o preto estão apenas no eixo Y que representa o nível de luminância expresso em cd/m^2 (candela por metro quadrado) (Kaiser & Boynton, 1996 apud Feitosa, 2006).

A partir do ponto cromático, o comprimento de onda predominante e a sua pureza podem ser determinados. Todas as cores possíveis e visíveis pelo ser humano podem ser designadas no diagrama de cromaticidade, sejam elas emitidas, transmitidas, ou refletidas. Dessa forma o sistema CIE pode ser coordenado, e interagir com todos os outros sistemas de designação de cores. Para especificarmos a cromaticidade de uma cor no sistema CIE, faz-se necessário, em primeiro lugar, medirmos os valores espectrofotométricos de reflexão, emissão ou transmissão de cada comprimento de onda.

Como não se tem ainda um sistema que reproduza fielmente a percepção de cores humana e sua respectiva representação, o diagrama de cromaticidade CIE 1931 e suas modificações, ainda são muito utilizados em diversas áreas na qual a medição de cores é fundamental.

O sistema CIE apresenta algumas limitações que hoje são mais conhecidas, entre elas:

- a situação hipotética de iluminação que não representa as situações cotidianas de percepção das cores;
- não representar fielmente o sistema da visão de cores humana (Kaiser & Boynton, 1996 apud Feitosa, 2006);
- não indicar de uma forma direta uma estimativa de diferença de cor.

Nesse último item, seria desejável que a distância de cromaticidade correspondente no diagrama fosse correspondente a diferença entre duas cores. A idéia de medir a diferença entre duas cores foi criada por D.L. MacAdam, e resumida no conceito de Elipse de MacAdam. Baseado no trabalho de MacAdam, o espaço de cores CIE $L^*u^*v^*$ foi desenvolvido em 1960 e depois foi substituído pelo espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$, ambos foram designados a ter uma distância igual no sistema de cores correspondente a iguais diferenças de cor, como medido por MacAdam. Embora eles fossem uma melhora do sistema CIE 1931, eles não estão completamente livre de distorções (Berns, 2000; Fazenda, 2006).

2.5.2 CIE 1976 L^* , a^* , b^* ou CIELAB

Devido aos problemas de não-uniformidade do espaço CIE 1931, muitas pesquisas foram realizadas e novas transformações matemáticas foram propostas sobre os valores originais. Essas transformações basearam-se principalmente em uma nova teoria das cores oponentes, que serviu de base para a mais popular escala colorimétrica conhecida, o CIE $L^*a^*b^*$ ou CIELAB no qual os três eixos branco-preto (L^*), vermelho-verde (a^*) e amarelo-azul (b^*) indicam que a cor é percebida através de reações do olho a sensações de cores opostas (Fazenda, 2006).

Em CIELAB as diferenças de luminosidade, (ΔL^*), vermelho-verde, (Δa^*), e amarelo-azul, (Δb^*), entre a amostra e a referência são descritas pelo símbolo grego, Δ (delta), na qual representa a diferença.

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão} \quad (1)$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão} \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão} \quad (3)$$

A diferença de cor total entre duas amostras CIELAB é definida pela distância Euclidiana:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

Desde sua publicação em 1976, CIELAB foi extensivamente empregado no gerenciamento de aceitação de cor. Entretanto, a desejada uniformidade de percepção do espaço de cores do CIELAB não foi alcançada. Estudos mostraram que com o aumento da saturação de uma cor o CIELAB superestima gradualmente as magnitudes da saturação percebida e diferenças de matiz. O Espaço de cores CIELAB também é não-uniforme considerando o ângulo de matizes, embora a natureza específica da não-uniformidade ainda não tenha sido determinada em definitivo.

Espaço de cores CIE 1976 é aproximadamente uniforme para a percepção de pequenas diferenças de cor. Isto é, para amostras comparadas a um padrão, diferenças de cor (distâncias) em qualquer direção têm a mesma importância (peso). Então; a diferença de cor (ΔE^*) do CIE $L^*a^*b^*$ é uma combinação igualmente ponderada das diferenças de coordenadas (L^* , a^* , b^*).

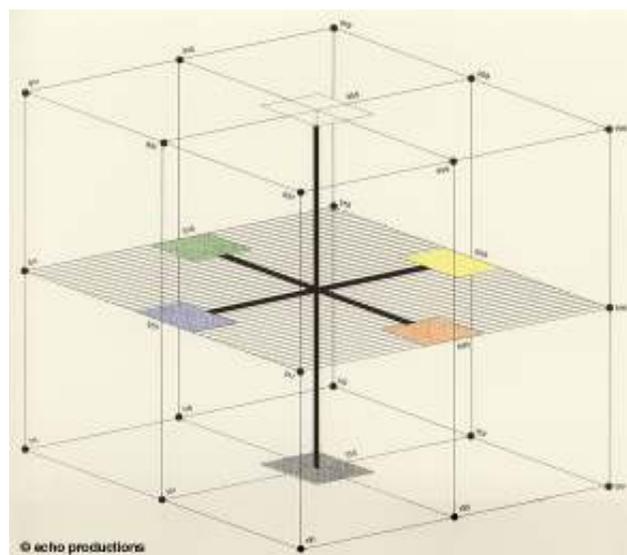


Figura 5: Diagrama do sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$ (www.colorsystm.com).

Diferentes tolerâncias numéricas devem ser aplicadas para diferentes padrões de cores, dependendo da sua localização no espaço de cores. Tolerâncias devem ser estabelecidas para cada uma das três coordenadas (luminosidade, saturação e matiz), que devem ser determinadas separadamente para cada cor de produto, na qual o processo usualmente requer a confecção de numerosas amostras.

Uma ressalva ao uso de CIE $L^*a^*b^*$ em sistemas de tolerância é que os volumes de aceitação retangulares não se conformam bem com a experiência visual. Um volume de aceitação visual (no espaço CIE 1976), tipicamente assume a forma de um elipsóide, cujo eixo menor alinha na direção da mudança do matiz. Desde que ambos os alinhamentos e formas do volume $L^*a^*b^*$ não coincidem bem com a experiência visual, cores próximas das fronteiras do volume podem ser calculadas como aceitáveis, embora inaceitáveis por julgamento visual.

O sistema CIELAB pode ser efetivamente empregado em critérios de aceitação de cores industriais. Entretanto, o estabelecimento de conjuntos de tolerância (potencialmente diferentes) para cada cor é uma limitação muito importante.

2.5.3 CIE L^* , C^* , h^*

As cores podem também serem descritas e localizadas no espaço de cores CIE 1976 usando o método de especificar suas coordenadas L^* , C^* , e h^* . Neste método, coordenadas L^* são as mesmas de $L^*a^*b^*$, enquanto que as coordenadas C^* e h^* são computadas das coordenadas a^* e b^* . A mesma cor está na mesma localização no espaço de cores, mas CIE $L^*a^*b^*$ e CIE $L^*C^*h^*$ são dois caminhos diferentes para descrever sua posição.

O espaço de cores CIE $L^*C^*h^*$ é tridimensional, com localização de cores usando coordenadas cilíndricas da seguinte forma:

L^* - a coordenada de luminosidade;

C^* - a coordenada de saturação, do termo em inglês *chroma*, a distância perpendicular do eixo de luminosidade;

h^* - o ângulo de matiz, do termo em inglês *hue*, expresso em graus, com 00 sendo a localização no eixo $+a^*$, continuando até 900 para o eixo $+b^*$, 1800 para $-a^*$, 2700 para $-b^*$, e voltando para 3600 = 00.

Muitos usuários do sistema CIE preferem o método $L^*C^*h^*$ de especificar uma cor, já que o conceito de matiz e saturação concorda bem com a experiência visual. No sistema CIE $L^*C^*h^*$ os seguintes termos são usados:

ΔC^* sendo a diferença de saturação

Δh^* sendo a diferença de ângulo de matiz

ΔH^* sendo a diferença métrica de matiz

A diferença métrica de matiz (ΔH^*) é a diferença de cor, devido a diferença do ângulo de matiz (Δh^*). ΔH^* é usado no cálculo da diferença de cor total, na qual todos os termos são diferenças métricas (não ângulos).

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão} \quad (5)$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab} - C^*_{ab} = (a^*_{amostra}{}^2 + b^*_{amostra}{}^2)^{1/2} - (a^*_{padrão}{}^2 + b^*_{padrão}{}^2)^{1/2} \quad (6)$$

$$\Delta H^*_{ab} = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2} \quad (7)$$

Diferenças de matiz são calculadas pela “sobra” uma vez que diferenças de luminosidade e saturação são subtraídas da diferença de cor total. ΔH^*_{ab} é dado como um valor positivo quando Δh_{ab} é positivo e determinado como um valor negativo quando Δh_{ab} é negativo. É também possível calcular ΔH^*_{ab} diretamente (Stockes 1992, Seve 1996 apud Berns, 2000).

A diferença de cor total é calculada em termos de diferenças de luminosidade, saturação e matiz:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2 + (\Delta H^*_{ab})^2]^{1/2} \quad (8)$$

O volume de aceitação CIE $L^*C^*h^*$ conforma-se melhor ao elipsóide de avaliação visual que no caso com CIE $L^*a^*b^*$. Os alinhamentos de volumes de aceitabilidade são tipicamente os mesmos embora as formas se difiram significativamente. Cores próximas das fronteiras do sólido $L^*C^*h^*$ são também frequentemente calculados como aceitáveis embora inaceitáveis quando julgados visualmente.

2.5.4 Sistema de Tolerância CMC

O Comitê de Medição de Cores da sociedade de corantes e coloristas da Inglaterra, CMC (*Colour Measurement Committee*), após várias pesquisas sobre aceitação de lotes de fabricação, determinou que as áreas de aceitabilidade de produtos coloridos não poderiam ser tratados como caixas de formato retangular, mas sim como figuras elipsoidais. A equação CMC, desenvolvida pelo comitê, permite ao usuário uma ampla variedade de tamanhos das elipses, objetivando a melhora na acuracidade dos lotes, com o que se considera aceitável. A dimensão da elipsóide representa a aceitação da cor e, automaticamente, varia em tamanho de acordo com a posição da cor no espaço de cores.

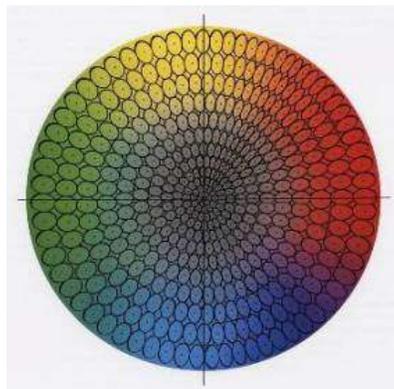


Figura 6: Diagrama de tolerância CMC com os elipsóides, definidos por matiz, luminosidade e saturação (www.efg2.com).

As tolerâncias contempladas no CMC foram obtidas através de modificações das usadas no CIE $L^*a^*b^*$, criando assim, uma condição de melhor percepção entre a comparação do desvio de cor visual versus o instrumental. Essas modificações estão descritas no AATCC (*American Association of Textiles Chemists and Colorists*) no método 173, chamado “*CMC: Calculation of small Color Differences for Acceptability*”.

O cálculo do CMC é baseado em um modelo de um elipsóide na qual, matematicamente, calcula as variações da tolerância da cor contemplando a luminosidade, saturação, e matiz. Os comprimentos dos semi-eixos de aceitabilidade SL , SC e SH são calculados baseados em valores $CIE L^*C^*h^*$, na qual define o formato do elipsóide.

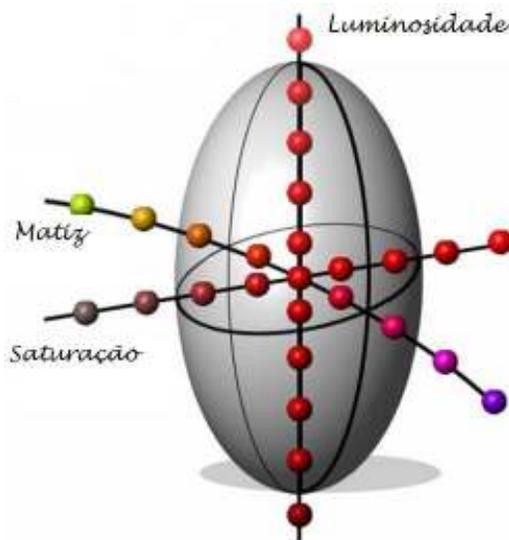


Figura 7: Elipsóide do sistema CMC representado em três dimensões: matiz, luminosidade e saturação (modificado de Alain Chrisment, *Color & Colorimetry*, Paris 1998).

Quando se utiliza a equação de diferença de cor por CMC deve-se decidir qual a relação entre a luminosidade e saturação ($l:c$) será aplicada, pois ela influencia no formato do elipsóide. As constantes l e c (luminosidade e saturação) devem ser definidas pelo usuário e deve-se pesar a importância de luminosidade e saturação relativa ao matiz (Berns, 2000). Normalmente, o olho humano tem maior

aceitação para mudanças de luminosidade na equação CMC do que para cor e saturação. Por recomendação da norma ASTM D 2244-05 (*Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*), uma relação de (1:1) entre claridade e saturação é indicada para estudos sobre cor e para percepção de diferença de cor, e deve ser utilizada para materiais que requerem tolerâncias bem críticas ou superfícies bem brilhantes, enquanto que uma relação de (2:1), na qual a diferença de luminosidade tem metade da importância da saturação e do matiz, é indicada para as áreas de têxtil. Para outras áreas na qual o CMC é utilizado, a empresa Datacolor (fabricante de espectrofotômetros), recomenda as seguintes relações de (*l:c*): gráfica – 1.5:1, plástico de 1.30 à 1.40 e automotiva – 1:1. Para amostras de pouco brilho, rugosidade, ou textura, podem ser usados valores intermediários entre (1:1) e (2:1). Em relações comerciais, a diferença de cor considerada aceitável é avaliada pela aplicação de um fator comercial (*cf*) para todas as dimensões das elipses, que, desta forma, torna a diferença maior ou menor conforme a aceitação visual.

Os semi-eixos *SL* (semi-eixo da luminosidade), *SC* (semi-eixo da saturação) e *SH* (semi-eixo do matiz), são utilizados para definir o tamanho e forma base do elipsóide. O *SL* é multiplicado pelo *l* e *SC* é multiplicado pelo *c* para definir o formato do elipsóide. Um fator comercial (*cf*) pode ser utilizado para as indústrias como um fator de aprovação. Se um fator comercial de 1 é utilizado, o elipsóide será definido como o seu tamanho original. Se o fator comercial for menor que 1 o elipsóide será menor do que o seu tamanho original.

$$SL = \frac{0.040975L^*}{1 + 0.01765L^*} \quad \text{para} \quad L^* > 16 \quad (09)$$

$$SL = 0.511 \quad \text{para} \quad L^* < 16 \quad (10)$$

$$SC = \frac{0.0638C^*}{1 + 0.0131C^*} + 0.638 \quad (11)$$

$$SH = (FT + 1 - F) SC \quad (12)$$

Na qual:

$$F = \sqrt{\frac{C^{*t}}{C^{*t} + 1900}} \quad (13)$$

$$T = 0.36 + \left| 0.4 \cos (35 + h) \right| \quad \text{para } h = 164^\circ \text{ ou } h > 345^\circ \quad (14)$$

$$T = 0.56 + \left| 0.2 \cos (168 + h) \right| \quad \text{para } 164^\circ < h < 345^\circ \quad (15)$$

L^* e C^* são calculados em CIE L^*C^*h .

Cálculos pelos métodos absolutos:

$$\Delta L_{cmc} = \frac{\Delta L^*}{ISL} \quad (16)$$

$$\Delta C_{cmc} = \frac{\Delta C^*}{cSC} \quad (17)$$

$$\Delta H_{cmc} = \frac{\Delta H^*}{SH} \quad (18)$$

Tolerâncias:

$$\Delta L^* = (\text{cf}) ISL$$

$$\Delta C^* = (\text{cf}) cSC$$

$$\Delta H^* = (\text{cf}) SH$$

O ΔE_{cmc} é o valor total da diferença de cor no sistema. Esse número é útil como um único número que indica a diferença de cor entre a amostra e o padrão. Devido ao método de cálculo, o ΔE_{cmc} permite a avaliação da aceitabilidade da cor sem levar em consideração a cor padrão, ou seja, dois vermelhos que tenham os valores de ΔE_{cmc} de 0.5 tem a mesma diferença visual de dois azuis que tenham

ΔE_{cmc} de 0.5. Como resultado um único valor de ΔE_{cmc} pode ser estabelecido para avaliar as diferenças de cores de todos os produtos na empresa.

$$\Delta E_{CMC(l.c)} = [(\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*_{ab}/cS_c)^2 + (\Delta H^*_{ab}/S_H)^2]^{1/2} \quad (19)$$

O CMC possui um método bem fácil para cálculo de tolerância para ΔL^* , ΔC^* e ΔH^* que é adequado para o padrão e leva em consideração onde a cor se localiza dentro do espaço de cores. Padrões que estão localizados dentro da faixa do azul escuro no espaço de cores terão uma tolerância bem menor quando comparado com aqueles que estão na região do amarelo pastel, pois os seres humanos podem perceber e irão rejeitar mais facilmente as pequenas diferenças de cores na região do azul escuro que na região do amarelo pastel. As linhas imaginárias que contornam os elipsóides são as tolerâncias.

CAPÍTULO III

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAL

As amostras analisadas foram todas adquiridas de um mesmo fornecedor, pois a fabricação e comercialização é feita com exclusividade. Desconhecemos os seguintes fatores com relação às amostras: método de preparação da superfície, aplicação e a espessura da camada.

Para a realização desse estudo foram analisadas as seguintes amostras de cores Munsell brilhantes:

- *The Munsell Book of Color*, adquirido em 01/2005 e com as seguintes informações especificadas no livro (adesivo na parte interna do livro): *NIST Date*

certified – 01/2005, *Data due* – 01/2007, *Serial number* – 55607040105. Para este estudo, os chips pertencentes a esse livro são referidos como livro 2 (L2);



Figura 8: Livro *The Munsell Book of Color* e seus chips.

- *The Munsell Book of Color*, adquirido em 12/2006. Data de fabricação ou validade do livro, não possuía, quando entramos em contato com o fornecedor questionando a falta de informações (mês de produção, data de validade, número do lote), o mesmo nos enviou um adesivo (como o do livro 2) pelo correio para ser colado nesse livro, com as seguintes informações: *Date certified* – 01/2007, *Data due* – 01/2009, *Serial number* – 55612480107. Antes das análises aqui descritas as amostras pertencentes a esse livro nunca haviam sido utilizadas. Para este estudo, os chips pertencentes a esse livro são referidos como livro 3 “L3”;



Figuras 9 e 10: Embalagem recebida e o adesivo com informações de data de fabricação, validade e número de lote do Livro *The Munsell Book of Color*.

- Folhas Munsell (*Munsell Sheets*) 21,6 cm x 27,9 cm, adquiridas em 09/2004. Essas amostras apresentavam somente a especificação da notação Munsell na parte de trás da folha em forma de adesivo, na qual a notação é escrita à mão, não sendo informada a data de fabricação nem a validade. Para medição da cor e avaliação visual, foi necessário cortar um pedaço da folha (5,5 cm x 5,5 cm), pois a amostra original é muito grande. Para este estudo, os pedaços de folhas pertencentes a esse livro são referidos como “folha”;



Figura 11: Folha Munsell e **Figura 12:** Etiqueta de identificação colada na parte de trás da folha Munsell escrita à mão.

- Cartela *Munsell Neutral Value Scale*, adquirida em 12/2006, simultaneamente com L3. Nessa cartela não tínhamos a informação da data de fabricação ou

validade. Antes das análises aqui descritas as amostras pertencentes a essa cartela nunca haviam sido utilizadas. Para este estudo, as tarjas dessa cartela são referidas como cartela 1 “C1”;



Figura 13: Cartela *Munsell Neutral Value Scale*.

- Cartela *Munsell Neutral Value Scale*, adquirida em 12/2006, simultaneamente com L3 e C1. Nessa cartela também não tínhamos a informação da data de fabricação ou validade. Antes das análises aqui descritas as amostras pertencentes a essa cartela nunca haviam sido utilizadas. Para este estudo, as tarjas dessa cartela são referidas como cartela 2 “C2”.

3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.2.1 Espectrofotômetro

Como instrumento de medição foi utilizado o espectrofotômetro Datacolor modelo “*Spectralflash*[®] SF350X”. O programa para medição das cores foi o “*DataColor Tools*”. O equipamento opera com uma geometria difusa, o flash se difunde na esfera e faz a captação a 8° com relação à amostra (d/8), e não possui filtro de UV. Para realizar as medições de cores o equipamento trabalha com dois

tamanhos de abertura de amostra (local onde a amostra de cor é colocada para medição dos valores): 30 mm e 6,5 mm.

O equipamento funciona com o microcontrolador *SP2000*, o qual faz a leitura da curva de reflectância a cada 1,5 nm, e as informações sobre as leituras são passadas a cada 10 nm, na faixa espectral de 360 nm à 780 nm. A cada faixa de 1,5 nm existe um fotodiodo, no total de 256 fotodiodos. A lâmpada interna do equipamento é a *Flash Xenon*.

Para o espectrofotômetro utilizado, conforme informação do fabricante, o erro de reprodutibilidade entre equipamentos é de no máximo 0.40 CIELAB.



Figura 14: Espectrofotômetro Datacolor modelo *Spectralflash*[®] *SF350X*.

3.2.2 Cabine de Luz

Foi utilizada uma cabine de luz da marca BYK Gardner, modelo Byko-espectra, propriedade da Clariant do Brasil, com número interno de equipamento: 59345. Esse equipamento atende as especificações da norma ASTM D1729 (*Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials*). Essa cabine possui quatro lâmpadas que representam; a luz do dia (D65), a luz incandescente (A) e a fluorescente (TL84) e

a luz ultravioleta. Essas lâmpadas são trocadas conforme utilização e recomendação do fabricante da cabine de luz. A cabine apresentava toda a sua superfície interna pintada internamente cor cinza, conforme adquirida.



Figura 15: Cabine de luz BYK Gardner modelo Byko-spectra.

3.3 ROTEIRO

3.3.1 Seleção das amostras

Para a seleção das amostras foi levado em consideração as cores que tem maior volume de comercialização no mercado nacional de tintas. As nomenclaturas das cores foram retiradas da norma ABNT NBR 6493 (Emprego de cores para identificação de tubulações) e da norma Petrobras, empresa de petróleo brasileiro, N-1219D (Cores). A Petrobras atualmente é responsável por um dos maiores volume de tintas no mercado nacional, e suas normas por serem revisadas com frequência, são consideradas como referência nacional, sendo utilizadas para outras empresas e para outros mercados além dos quais a Petrobras atua.

Foram selecionadas 20 amostras de cores em diversas fontes, contendo no total 63 amostras em acabamento brilhante.

Tabela 1: Cores Munsell analisadas, separadas por notação e a fonte na qual foi medida.

Cor	Notação	Fonte à ser medida					
		Folha	Munsell Neutro		Livro Munsell		
			C1	C2	L2	L3	
1	Preto	N 1	-	X	X	X	X
2	Cinza Escuro	N 3.5	X	X	X	X	X
3	Cinza Médio	N 5	X	X	X	X	X
4	Cinza Claro	N 6.5	X	X	X	X	X
5	Cinza Gelo	N 8	X	X	X	X	X
6	Branco	N 9.5	X	X	X	X	X
7	Vinho	M.5R 2/6	-	-	-	X	X
8	Vermelho Segurança	M.5R 4/14	X	-	-	X	X
9	Óxido de Ferro	M.10R 3/6	-	-	-	X	X
10	Marrom Canalizações	M.2.5YR 2/4	-	-	-	X	X
11	Alaranjado Segurança	M.2.5YR 6/14	-	-	-	X	X
12	Sândalo	M.7.5YR 6/2	-	-	-	X	X
13	Creme Canalizações	M. 10YR 7/6	-	-	-	X	X
14	Amarelo Petrobras	M.2.5Y 8/12	X	-	-	X	X
15	Amarelo Segurança	M. 5Y 8/12	X	-	-	X	X
16	Verde Segurança	M.10GY 6/6	-	-	-	X	X
17	Verde Emblema	M.2.5G 3/4	X	-	-	X	X
18	Azul Pastel	M.2.5PB 8/4	X	-	-	X	X
19	Azul Segurança	M.2.5PB 4/10	X	-	-	X	X
20	Azul Petrobras	M.7.5PB 3/8	-	-	-	X	X

Devido ao grande número de amostras, foi realizada uma seleção de cores para discussão dos resultados, na qual as cores em negrito serão discutidas no capítulo IV e as demais cores se encontram no apêndice I para consulta. Para todos

os ensaios, o último livro comprado, identificado como L3 foi considerado como referência.

Desse modo, podemos medir as diferenças de cor que apresentam as amostras Munsell, com igual especificação, mas pertencentes a diferentes exemplares Munsell.

3.3.2 Limpeza e cuidados especiais com a amostra

Antes da leitura de cor da referência e das amostras, foi verificado se existiam marcas ou ranhuras, bem como foi passada uma flanela macia para remoção de possível poeira. Durante a execução de todos os ensaios, os padrões foram manuseados com luvas cirúrgicas para evitar qualquer dano aos mesmos.

3.3.3 Calibração do espectrofotômetro

A empresa Colorz, responsável pela comercialização e manutenção dos espectrofotômetros da Datacolor no Brasil, realizou a calibração do equipamento, com as placas padrão (o ticket de calibração encontra-se no anexo I).

3.3.4 Procedimento

3.3.4.1 Espectrofotômetro

Todo o procedimento foi realizado em laboratório com temperatura controlada que variou de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Devido ao pequeno tamanho do chip (4 cm x 2 cm), foi realizada somente uma leitura para cada amostra.

As amostras e a referência apresentaram diferença de brilho entre elas, o que seria adequado é a medição desses valores para inserir esses dados no espectrofotômetro, dessa maneira seria possível trabalhar com medida de cores com compensação de brilho. O aparelho de medição de brilho possui uma abertura

para leitura de 3,5 cm x 1,7 cm, enquanto que, os chips analisados possuem uma dimensão um pouco maior 4 cm x 2 cm, mas com um formato diferente da elipse do medidor de brilho, o que tornou-se impossível a medição. As medições de cor foram realizadas excluindo-se o brilho especular (d/8:e).

Como sistema de tolerância para avaliação das diferenças de cores foi empregado o CMC. O fator comercial (cf) inserido para todos os casos foi de 0.80. O iluminante definido como padrão para todas as leituras foi o D65. O ângulo do observador foi de 10° e a abertura para leitura da amostra de 6,5mm. Dentro do sistema de cor utilizado, CMC, os valores de (l:c) utilizados foram de: (1:1), (1.5:1) e (2:1).

3.3.4.2 Cabine de luz

Todo o procedimento foi realizado em laboratório com temperatura controlada que variou de $22 \pm 2^\circ\text{C}$. As avaliações foram realizadas baseadas na norma ISO 3668 (*Paints and varnishes – Visual comparison of the colour of paints*), que em seu anexo B especifica um esquema de classificação para as diferenças de cores, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Esquema de classificação de diferenças de cores para a análise visual segundo ISO 3668

Classificação	Grau de diferença
0	Diferença não perceptível
1	Diferença muito pequena
2	Diferença leve, mas claramente perceptível
3	Diferença moderada
4	Diferença considerável
5	Grande diferença

Os componentes da diferença de cor são:

Diferença no matiz

Designação: DH (diferença no matiz, do termo em inglês “*hue difference*”).

Análise: 0 à 5; mais amarela (ye, y), mais verde (gr,g), mais vermelha (re,r), mais azul (bl,b).

Exemplo: DH: 5ye (a amostra é classificada como 5, grande diferença, e é mais amarelada).

Diferença na saturação

Designação: DC (diferença na saturação, do termo em inglês “*chroma difference*”).

Análise: 0 a 5; mais (+) ou menos (-).

Exemplo: DC: -2 (a amostra é classificada como 2, diferença leve, e é menos saturada).

Diferença na luminosidade

Designação: DL (diferença na luminosidade, do termo em inglês “*luminosity difference*”).

Análise: 0 a 5; claro (+) ou escuro (-).

Exemplo: DL: -2 (a amostra possui classificação 2, diferença leve, e é mais escura).

Os iluminantes selecionados para análise visual foram: a luz do dia (D65), a luz incandescente (A) e a fluorescente (TL84). A pessoa que realizou os testes, a autora da dissertação, possui uma discriminação de cores superior segundo o teste de acuidade visual, Farnsworth Munsell 100 (resultado 8 pontos). Maiores informações sobre o teste encontram-se no anexo II.

A análise de cor, foi realizada primeiramente nas cores acromáticas, começando pelo branco N9.5 até o preto N1, e seguindo o círculo cromático: R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, RP e R.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas tabelas a seguir, apresentamos os resultados das análises de diferentes cores Munsell de mesma notação, mas de diferentes exemplares através do sistema de tolerância CMC (*Colour Measurement Committee*). As amostras analisadas para melhor discussão dos resultados foram separadas por cor. Para cada cor a primeira tabela refere-se aos resultados de ΔE_{CMC} ; a segunda os resultados de *CIEL***C***h**; a terceira tabela os resultados da análise visual e por último a figura da curva espectral das amostras e da referência.

Considerando que devemos estabelecer um rigor na avaliação das cores, a relação de (*l:c*) ideal para aprovação na avaliação é de (1:1), pois conforme ASTM D2244-05 (*Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates*) essa relação é estabelecida no caso de tolerâncias bem críticas (alta exigência). A menos que especificado, os resultados das tabelas comentados serão os da relação de (*l:c*) de 1:1. Para aprovação foi estipulado um ΔE_{CMC} de 1.00 e um fator comercial (cf) de 0.80, como o ΔE_{CMC} é de 1.00, o fator comercial irá determinar o limite de aprovação, no caso 0.80.

Na análise visual, o chip, a cartela e a folha apresentam tamanhos e brilhos diferentes, o que prejudicou um pouco a análise, pois o chip possui um tamanho menor que as demais amostras. Embora a norma ISO 3668 (*Paints and varnishes – Visual comparison of the colour of paints*), no item 7.2 recomende que as amostras tenham o mesmo tamanho e brilho, não foi possível atender o recomendado.

As curvas espectrais também foram apresentadas em resultados, pois dados importantes, como por exemplo: metameria, indicação de pigmentos, podem ser detectados através dessa análise. Em todas as figuras das curvas espectrais apresentadas, a curva vermelha refere-se sempre a referência, enquanto que as demais curvas estão identificadas na legenda abaixo da figura. Em algumas curvas espectrais apresentadas a faixa de reflectância é menor ou maior que em outras

figuras, isso foi feito somente para facilitar a visualização da curva no seu ponto mínimo e máximo.

4.1 Preto N1

Tabela 3: Resultados de ΔE_{CMC} na cor preto N1 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: L2, C1 e C2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}		
	L2	C1	C2
(1:1)	1.30	0.51	0.68
(1.5:1)	0.95	0.48	0.53
(2:1)	0.79	0.47	0.46

Tabela 4: Resultados $CIE L^*C^*h^*$ na cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	0.61	0.35	0.08
C1	0.12	-0.30	-0.09
C2	0.29	-0.25	-0.04

Tabela 5: Resultados da análise visual na cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2

Iluminante	L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	+1	0	0	+1	0	0	+1	0
TL84	0	+1	0	0	+1	0	0	+1	0

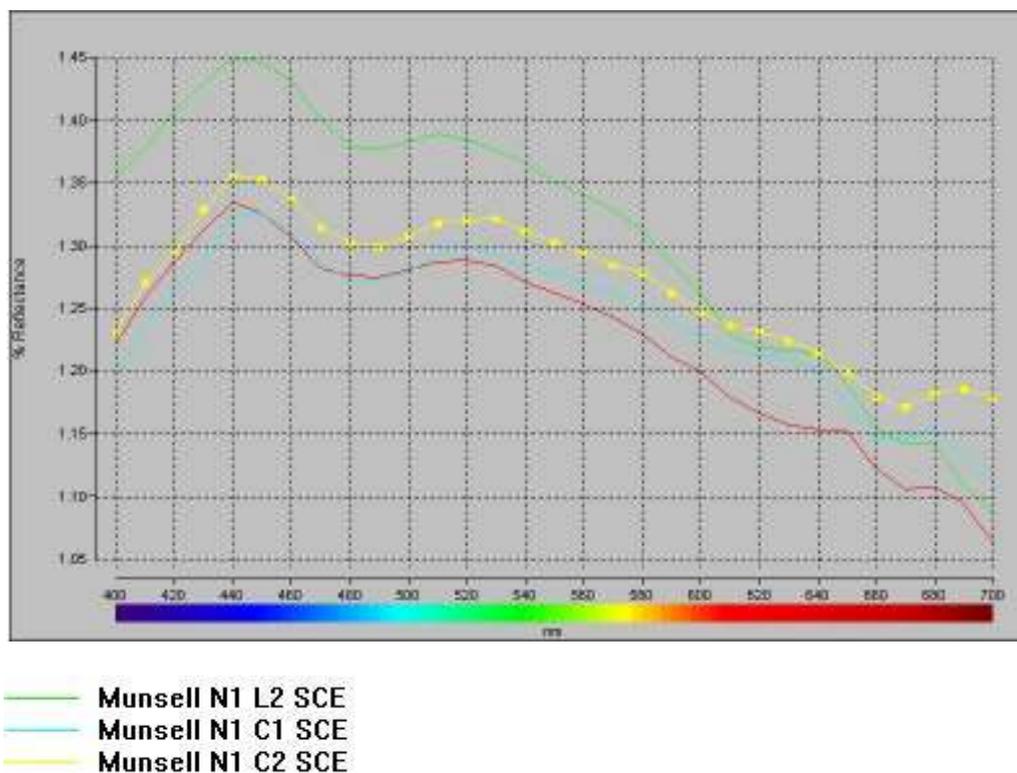


Figura 16: Curva espectral da cor preto N1 nas amostras: L2, C1 e C2

Na tabela 3, podemos verificar que o livro 2 (ΔE_{CMC} de 1.30) está fora dos limites estipulados nesse trabalho (máximo de 0.80), estando reprovado como referência de cor. As outras duas amostras analisadas, C1 e C2, se considerado somente os resultados da análise, estariam aprovadas, mas conforme indicação do fabricante do espectrofotômetro existe um erro de reprodutibilidade entre equipamentos de 0.40, o que deve ser levado em consideração deixando as duas amostras C1 e C2 reprovadas. Mesmo aumentando o valor da relação ($l:c$) para 1.5:1 e 2:1, temos resultados bem altos por se tratar de amostras de cores referência (0.95 para L2). Na tabela 4, podemos verificar que o atributo da cor que mais variou para L2 e C2 foi a luminosidade ($\Delta L^* = 0.61$ e 0.29 respectivamente), na qual essas amostras apresentaram-se mais claras, enquanto C1 que apresentou maior variação em seus atributos na saturação ($\Delta C^* = -0.30$) demonstrando-se menos saturada que a referência.

Na análise visual, tabela 5, percebeu-se claramente que as cartelas 1 e 2 apresentavam-se mais brilhante que a referência, interferindo na análise, pois a sensação do brilho altera a visualização da cor propriamente dita. Nesta análise

não foi percebida nenhuma diferença de cor entre as amostras, L2, C1, C2 e a referência, L3, o que nos leva a concluir que embora tenham encontrado valores fora do estipulado dentro desse trabalho, visualmente essa diferença não é perceptível.

Analisando a curva espectral da amostra e da referência pela figura 16, foi detectado o cruzamento da curva L2 com C1 e C2, dando uma indicação do possível uso de pigmentos diferentes na fabricação das amostras.

4.2 Cinza N6.5

Tabela 6: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N6.5 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

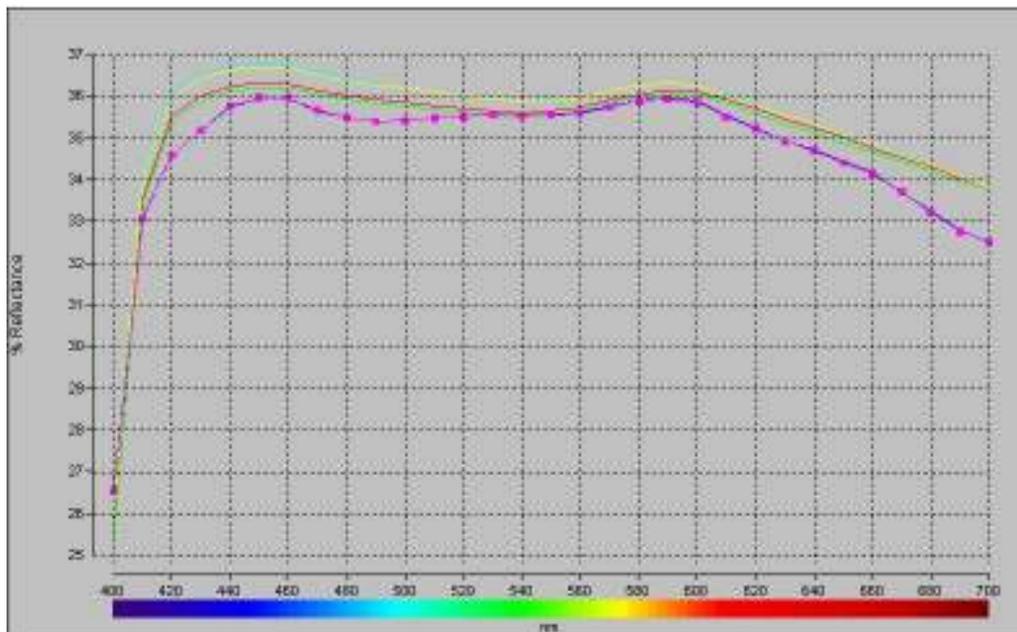
<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}			
	Folha	L2	C1	C2
(1:1)	0.45	0.08	0.71	0.68
(1.5:1)	0.44	0.07	0.70	0.67
(2:1)	0.43	0.07	0.70	0.67

Tabela 7: Resultados $CIE L^*C^*h^*$ na cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.19	0.26	-0.10
L2	-0.07	-0.04	-0.01
C1	-0.17	-0.08	-0.45
C2	-0.18	-0.09	-0.43

Tabela 8: Resultados da análise visual na cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Iluminante	Folha			L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	+1	0	0	0	1ye	0	0	1ye	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL84	0	0	+1	0	0	0	1ye	0	0	1ye	0	0



- Munsell N6.5 L2 SCE
- Munsell N6.5 FOLHA 1
- Munsell N6.5 FOLHA 2
- Munsell N6.5 C1 SCE
- Munsell N6.5 C2 SCE

Figura 17: Curva espectral da cor cinza N6.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.

Quando analisamos a tabela 6, podemos verificar que a maior diferença de cor foi encontrada em C1, com valor de ΔE_{CMC} de 0.71. C2 e C1 apresentam valores CMC bem aproximados (0.71 e 0.68 respectivamente), na qual o atributo que mais variou para ambas, conforme tabela 7, foi o ângulo do matiz ($\Delta H^* = -0.45$ e -0.43 respectivamente). Na tabela 6, a amostra que obteve menor variação de cor foi L2, com ΔE_{CMC} de 0.08 e a mesma está aprovada para ser considerada como referência em laboratórios, pois mesmo se considerássemos o erro de reprodutibilidade do equipamento (0.40) esse valor ainda estaria dentro da tolerância estipulada nesse trabalho. A folha apresentou uma diferença não muito alta, ΔE_{CMC} de 0.45, mas como no caso de L2, quando adicionamos o erro de reprodutibilidade, a amostra é considerada como reprovada.

Na tabela 8, algumas diferenças nos atributos da cor foram identificadas através da análise visual. Para a folha no iluminante D65 e TL84 foi verificado o aumento de luminosidade da amostra analisada, o que quando comparado aos valores $CIEL^*C^*h^*$ essa diferença realmente existe. Para L2 nenhuma variação foi identificada e C1 e C2 apresentaram-se levemente mais amarelados que a referência.

A curva espectral das amostras analisadas, figura 17, não indica nenhum tipo de metameria. Podemos somente verificar que a amostra que apresenta a curva mais próxima da referência (vermelha) é o L2 (verde), validando os resultados encontrados em CMC e na análise visual.

4.3 Branco N9.5

Tabela 9: Resultados de ΔE_{CMC} na cor branco N9.5 com relação de $(l:c)$ de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

$(l:c)$	ΔE_{CMC}			
	Folha	L2	C1	C2
(1:1)	0.97	0.89	3.93	4.00
(1.5:1)	0.97	0.89	3.92	4.00
(2:1)	0.97	0.89	3.92	4.00

Tabela 10. Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	-0.05	-0.47	0.52
L2	-0.06	-0.47	0.43
C1	0.31	2.64	-1.06
C2	0.29	2.69	-1.07

Tabela 11. Resultados da análise visual na cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Iluminante	Folha			L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	-1	0	0	-2	5ye	0	-2	5ye	0	-2
A	0	0	0	0	0	-1	4ye	0	-1	4ye	0	-1
TL84	0	0	0	0	0	-1	4ye	0	-1	4ye	0	-1

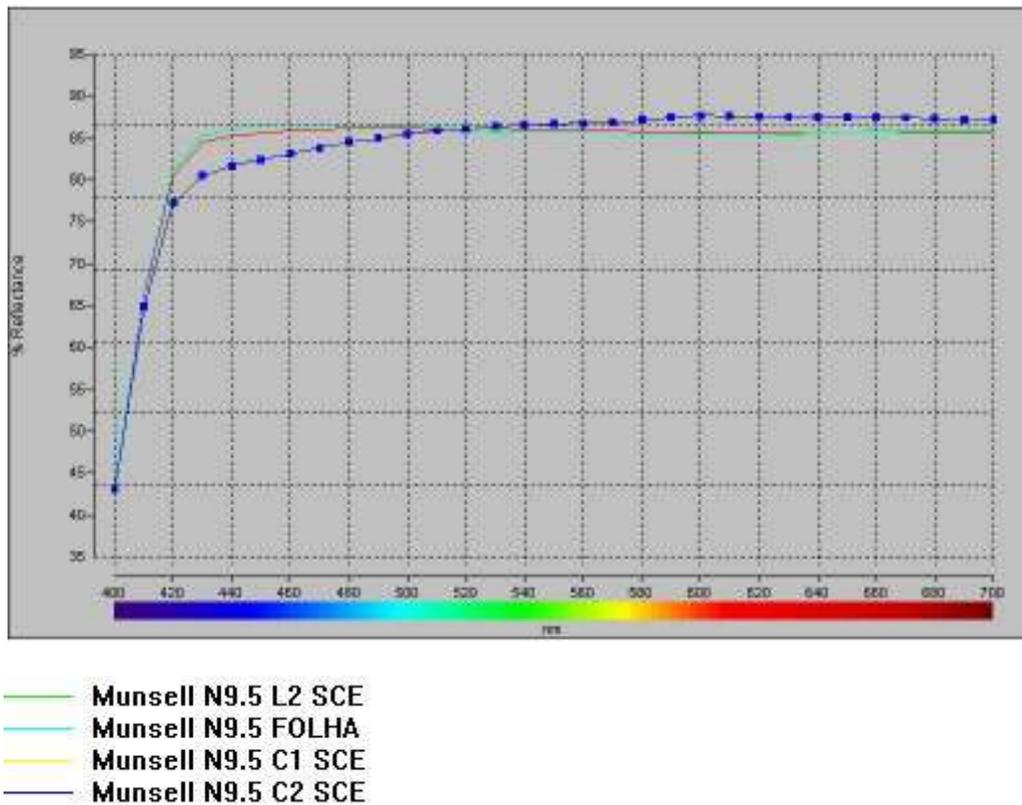


Figura 18. Curva espectral da cor branco N9.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Nessa cor os resultados encontrados na tabela 9 para a amostra C1, foi de ΔE_{CMC} de 3.93 e para C2 ΔE_{CMC} de 4.00, foram os maiores valores encontrados nesse estudo. As amostras folha e L2 apresentaram valores menores que as cartelas, 0.97 e 0.89 respectivamente, mas ainda sim altos quando consideramos que são referências de cores. Todas as amostras dessa cor analisadas estão

reprovadas para serem consideradas como referência de cor, segundo as tolerâncias estipuladas nesse trabalho.

Na análise visual, tabela 11, o branco referência (L3) apresentou-se visivelmente mais branco que todas as amostras. Para a folha e L2, o único atributo que foi percebido visualmente foi uma diminuição na luminosidade, pois as amostras apresentaram-se um pouco mais escuras que a referência. Com relação a C1 e C2, as duas amostras visualmente apresentaram uma diferença de cor bem alta (mais amarelado identificado pelos altos valores de DH), tão alta que mesmo pessoas que não estão preparadas para trabalhar com cores poderiam identificar essa diferença facilmente. O amarelamento notado em C1 e C2 dá uma impressão que ambas as amostras estão velhas e desgastadas.

Nas curvas espectrais apresentadas na figura 18, as amostras que se apresentaram mais próximas da referência foram a folha e L2. C1 e C2 apresentaram curvas idênticas entre elas, mas independentes da referência. A curva de C1 e C2 está absorvendo mais na região do azul e refletindo mais na região do amarelo, laranja e vermelho o que na análise visual aparenta ser um branco mais amarelado quando comparado com as outras amostras e a referência.

4.4 Vinho M.5R 2/6

Tabela 12: Resultados de ΔE_{CMC} na cor vinho M.5R 2/6 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	0.46
(1.5:1)	0.46
(2:1)	0.46

Tabela 13: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.04	0.88	0.02

Tabela 14: Resultados da análise visual na cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	1re	0	-1
A	0	0	-1
TL84	1re	0	-1

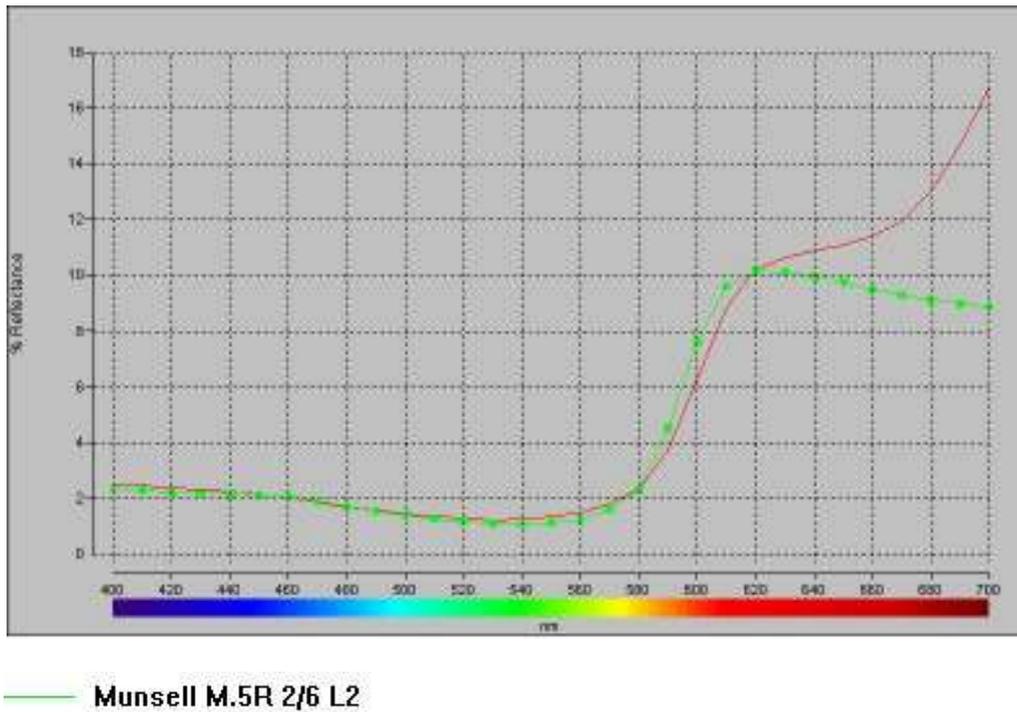


Figura 19. Curva espectral da cor vinho M.5R 2/6 na amostra L2

Na cor vinho somente uma amostra foi analisada e os resultados encontrados não foram muito altos, para o L2 o ΔE_{CMC} encontrado foi de 0.46 conforme tabela 12, mas considerando o erro do equipamento, a amostra está reprovada. Avaliando a tabela 13, pode-se verificar que o atributo da cor mais influenciado foi a saturação (ΔC^* positivo), na qual a amostra apresenta-se mais saturada que a referência, com o valor de 0.88.

Na tabela 14, encontram-se os resultados da análise visual, na qual ficou muito difícil definir diferenças de saturação, pois por se tratar de uma cor escura, causa rapidamente fadiga nos olhos e se torna bem difícil fazer qualquer análise. Foi observado visualmente metameria entre a amostra e a referência, na qual a amostra nos iluminantes D65 e em TL84 apresenta-se levemente avermelhada enquanto que no iluminante A esse avermelhado desaparecia quando comparado com a referência. Além disso, as amostras apresentavam-se mais escuras que a referência podendo ser verificado na tabela 14 através dos valores negativos de DL.

Na curva espectral, figura 19, podemos facilmente identificar a metameria que é caracterizada pelo cruzamento da curva da amostra e da referência em no mínimo três vezes. A amostra L2 apresenta uma curva totalmente diferente da referência (curva vermelha), e a curva da amostra e da referência se cruzam em 3 pontos; 460nm, 580nm e 620nm. A metameria encontrada na análise visual é facilmente visível por qualquer pessoa que tenha um treinamento voltado a colorimetria.

4.5 Vermelho M.5R 4/14

Tabela 15: Resultados de ΔE_{CMC} na cor vermelho M.5R 4/14 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

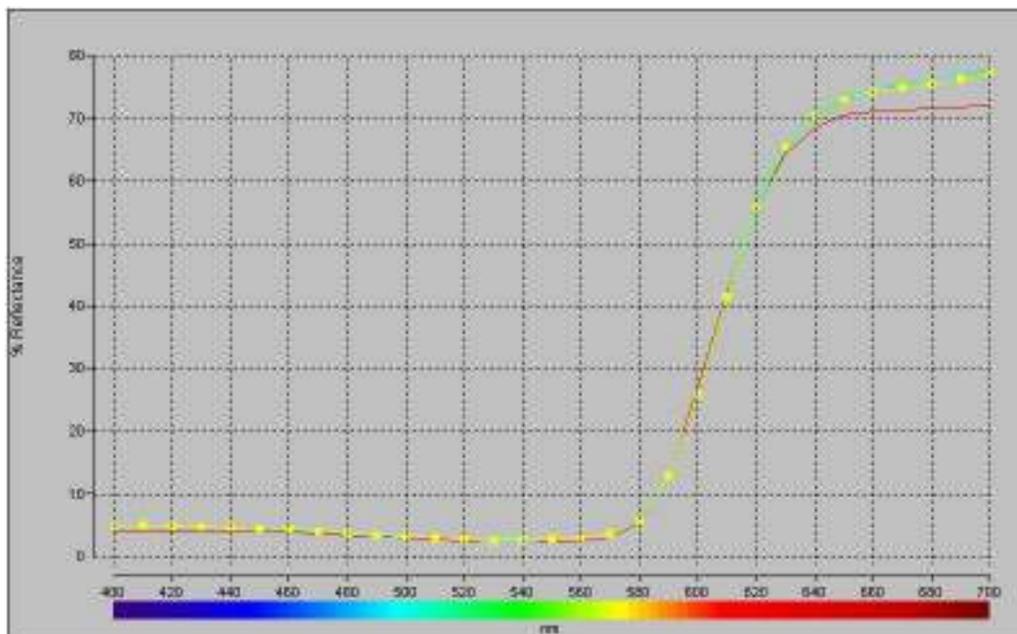
<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	1.47	1.29
(1.5:1)	1.44	1.27
(2:1)	1.42	1.27

Tabela 16: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.42	-1.29	-2.11
L2	0.45	-0.68	-1.59

Tabela 17: Resultados da análise visual na cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	2bl	-1	+2	1bl	-1	0
A	1bl	-2	+2	0	-1	-1
TL84	2bl	-1	+2	0	-1	-1



— Munsell M.5R 4/14 L2
— Munsell M.5R 4/14 FOLHA
— Munsell M.5R 4/14 FOLHA

Figura 20: Curva espectral da cor vermelho M.5R 4/14 nas amostras: Folha e L2.

Na tabela 15 podemos verificar que as duas amostras analisadas apresentaram valores de ΔE_{CMC} altos, sendo a folha que obteve o maior resultado: 1.47. Segundo a tolerância estipulada nessa pesquisa (ΔE_{CMC} de 0.80), as duas amostras estão reprovadas para serem consideradas como referência de cor, pois os valores encontrados estão acima da tolerância de 0.80. O atributo da cor que mais

variou para ambas as amostras, segundo a tabela 16, foi o ângulo do matiz (ΔH^*), na qual pelos resultados negativos observamos claramente que as amostras apresentam-se mais azuladas que a referência.

Na análise de visual da cor, tabela 17, as amostras apresentavam-se mais “rosas” que a referência, demonstrando que existe a presença do azul (entre o vermelho e o azul estão os rosas). A folha apresentou-se mais clara (DL positivo) e menos saturada (DC negativo), correlacionando com os resultados obtidos em $CIEL^*C^*h^*$. L2 visualmente aparentou estar mais escura (DL negativo), no iluminante A e TL84, mas os resultados em $CIEL^*C^*h^*$ demonstram o contrário. Com relação a saturação, assim como a folha, L2 apresenta-se visualmente menos saturada (DC negativo), correlacionando assim como os seus resultados em $CIEL^*C^*h^*$.

Na figura 20, as curvas espectrais dos vermelhos não demonstraram metameria em nenhum ponto, mas claramente observamos na parte final do espectro que as curvas estão diferentes, podendo observar que a referência (curva vermelha) possui maior quantidade de vermelho que as amostras.

4.6 Amarelo M.5Y 8/12

Tabela 18: Resultados de ΔE_{CMC} na cor amarelo M.5Y 8/12 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

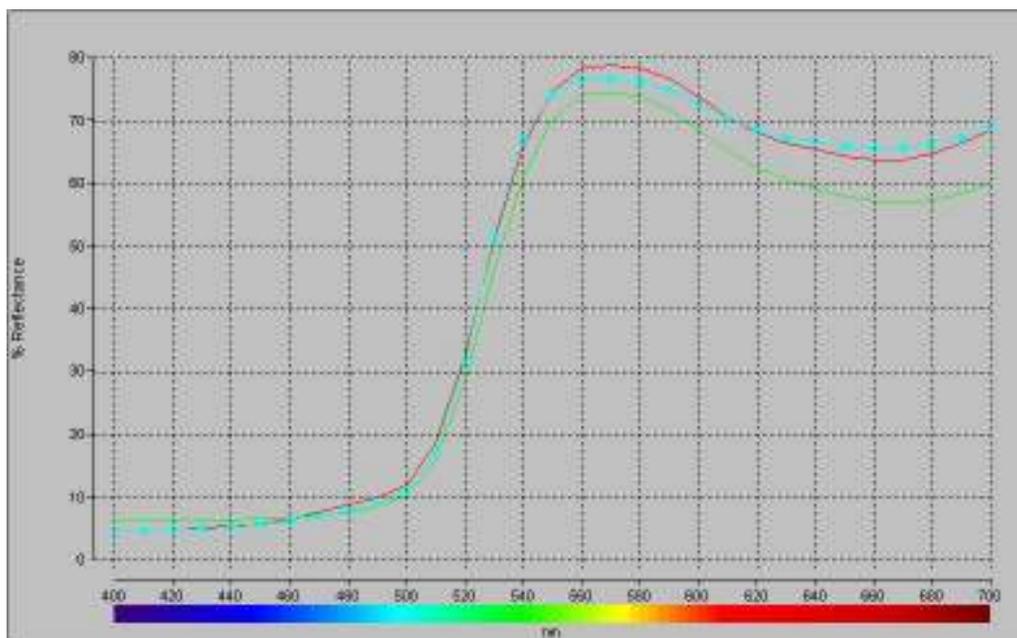
$(l:c)$	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	0.40	2.48
(1.5:1)	0.33	2.11
(2:1)	0.30	1.97

Tabela 19: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	-0.41	0.69	-0.26
L2	-2.36	-5.28	-1.07

Tabela 20: Resultados da análise visual na cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	+1	0	2gr	-4	-3
A	0	0	0	2gr	-2	-3
TL84	0	0	0	2gr	-4	-3



— Munsell M.5Y 8/12 L2
 — Munsell M.5Y 8/12 FOLHA

Figura 21: Curva espectral da cor amarelo M.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2

Os resultados encontrados na tabela 18 na cor “amarelo segurança” para L2 foram altos, o ΔE_{CMC} foi de 2.48, enquanto que a folha apresentou resultados bem menores ΔE_{CMC} de 0.40. Pelos resultados encontrados na tabela 18, podemos verificar a importância de se estabelecer uma correta relação de (*l:c*). Se analisarmos as diferentes relações de (*l:c*) e os resultados de ΔE_{CMC} encontrados na folha, temos que: para (*l:c*) de 1:1 o ΔE_{CMC} é de 0.40; para (*l:c*) de 1.5:1 o ΔE_{CMC} é de 0.33; para (*l:c*) de 2:1 o ΔE_{CMC} é de 0.30, o que significa que quando houver uma avaliação da cor da amostra, se uma correta relação de (*l:c*) não for

estabelecida, os valores encontrados podem ser classificados como aprovado, como no caso da relação de 2:1, mesmo se levarmos em consideração o erro de reprodutibilidade do equipamento de 0.40. Se somado o 0.30 com o erro, teremos uma variação de cor de 0.70, e como o valor máximo de aceitação desse estudo é de 0.80, a amostra teoricamente estaria aprovada, o que não é correto. L2 está reprovado como referência para essa cor e a folha, considerando o erro do equipamento também está reprovada.

Na tabela 19, temos os resultados de $CIEL^*C^*h^*$ e o atributo da cor que mais variou para a folha e L2, foi a saturação (ΔC^*). Com base nos resultados na tabela 20, podemos verificar que essa diferença na saturação foi possível de verificar visualmente somente no iluminante D65. Em L2 foi possível detectar uma diminuição da saturação e da luminosidade e a amostra está mais esverdeada que a referência, conforme mostram os resultados $CIEL^*C^*h^*$ (tendência ao azul + amarelo = esverdeamento). Os resultados encontrados visualmente correlacionam muito bem com os valores $CIEL^*C^*h^*$ encontrados nas medidas do espectrofotômetro.

Conforme observado na figura 21, a curva espectral da folha apresenta-se mais próxima da curva espectral da referência quando comparado com L2, correlacionado com os valores de ΔE_{CMC} encontrados. Nenhum tipo de metameria foi observada.

4.7 Verde M.2.5G 3/4

Tabela 21: Resultados de ΔE_{CMC} na cor verde M.2.5G 3/4 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

$(l:c)$	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	0.51	1.09
(1.5:1)	0.48	1.09
(2:1)	0.47	1.09

Tabela 22: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.18	-0.73	0.18
L2	0.00	-1.59	0.71

Tabela 23: Resultados da análise visual na cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	0	1gr	-1	+1
A	0	0	0	0	0	0
TL84	0	0	0	1gr	-1	+1

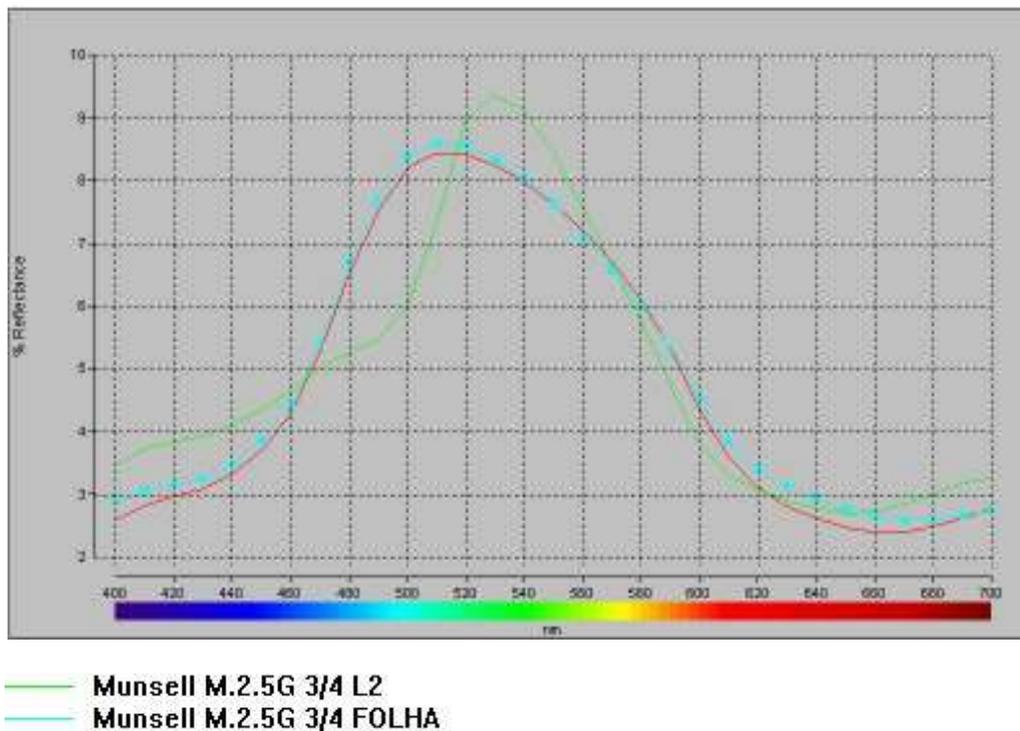


Figura 22. Curva espectral da cor verde M.2.5G 3/4 nas amostras: Folha e L2

Com base nos resultados das leituras da tabela 21 podemos observar que a amostra L2 apresentou um valor alto de ΔE_{CMC} , 1.09 quando comparado com a folha que apresentou 0.51. Analisando somente pela tolerância estipulada

neste trabalho, sem levar em consideração o erro, somente a folha estaria aprovada como referência. Contudo devemos considerar o erro de reprodutibilidade, e dessa maneira nenhuma das amostras está aprovada. Analisando os valores de $CIEL^*C^*h^*$ pode-se verificar que o atributo da cor que teve maior variação em ambas as cores foi a saturação (ΔC^*), na qual ambas as amostras folha e L2 se apresentam menos saturada que a referência analisada, com valores de -0.73 e -1.59 respectivamente.

A diferença de cor visual, conforme demonstrada na tabela 23, não foi possível ser observada na folha. Em L2 a diferença de cor foi perceptível, a amostra apresentou-se mais esverdeada, menos saturada e mais clara nos iluminantes D65 e TL84, correspondendo com os valores encontrados em $CIEL^*C^*h^*$. A metameria em L2 foi claramente visível no iluminante TL84, na qual a amostra apresentou-se bem mais azulada do que a cor observada em A e D65.

Na análise da curva espectral, figura 22, podemos verificar que a metameria na amostra L2 é claramente perceptível pelo o cruzamento da curva espectral na curva da referência em mais de 3 vezes, esse cruzamento ocorre aproximadamente nos seguintes comprimentos de onda: 465nm, 515nm, 570nm e 620nm.

4.8 Azul M.2.5PB 8/4

Tabela 24: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.2.5PB 8/4 com relação de ($l:c$) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

$(l:c)$	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	0.13	0.03
(1.5:1)	0.13	0.02
(2:1)	0.13	0.02

Tabela 25: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.00	0.18	0.02
L2	-0.04	0.00	-0.01

Tabela 26: Resultados da análise visual na cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
TL84	0	0	0	0	0	0

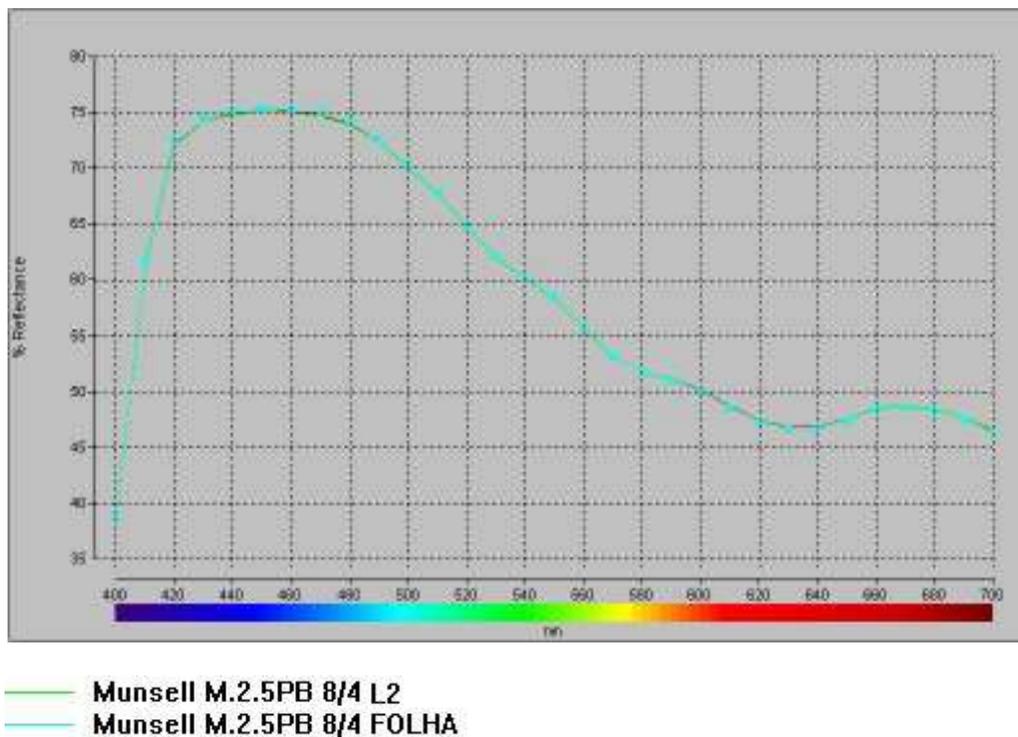


Figura 23: Curva espectral da cor azul M.2.5PB 8/4 nas amostras: Folha e L2

Entre as amostras analisadas nesse trabalho, esse azul foi a amostra que apresentou menor diferença de cor, conforme os resultados apresentados na tabela 24. Dentro das tolerâncias estipuladas nesse estudo essas amostras estão

aprovadas (o maior ΔE_{CMC} foi de 0.13) e podem ser consideradas como referência de cor. As variações dos atributos foram bem baixas conforme apresentado na tabela 25, a folha apresentou-se mais saturada que a referência e L2 mais escura que a referência, mas todos os valores foram baixos; ΔC^* de 0.18 e ΔL^* de -0.04, respectivamente. Na análise visual, tabela 26, nenhuma diferença de cor foi observada em todos os iluminantes.

Na figura 23, temos a curva espectral das amostras e a referência na qual não foi possível detectar nenhuma diferença de cor e as curvas apresentaram-se praticamente idênticas.

4.9 Azul M.2.5PB 4/10

Tabela 27: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.2.5PB 4/10 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	0.96	0.75
(1.5:1)	0.91	0.75
(2:1)	0.89	0.75

Tabela 28: Resultados $CIE L^*C^*h^*$ na cor azul M.2.5PB 4/10 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.41	-1.08	-1.11
L2	0.08	-0.75	-1.02

Tabela 29: Resultados da análise visual na cor azul M.2.5PB 4/10 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	1gr	0	0	1gr	0	+1
A	1gr	-1	+1	1gr	0	0
TL84	1gr	-1	+1	1gr	0	0

Na tabela 27 as amostras analisadas apresentaram valores de ΔE_{CMC} altos, sendo que a folha apresentou a maior variação, ΔE_{CMC} de 0.96 enquanto que L2, ΔE_{CMC} de 0.75. Para ser considerada como referência de cor, a folha estaria automaticamente reprovada, pois apresentou valores de ΔE_{CMC} maiores que 0.80, quanto ao L2, considerando o erro de reprodutibilidade, essa amostra também está considerado como reprovado.

Na tabela 28, podemos observar que o atributo da cor mais influenciado foi o ângulo de matiz (ΔH^*), na qual as duas amostras apresentaram-se mais esverdeadas que a referência. Na análise visual, tabela 29, em todos os iluminantes, as amostras apresentavam-se levemente esverdeadas, o que correlaciona bem com os resultados encontrados em $CIEL^*C^*h^*$. A diminuição da saturação em A e TL84 (DC negativo) foi observada na folha, mas em L2 não.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

Concluimos que para aproximadamente 70% das amostras de cores Munsell analisadas, existe uma diferença de cor perceptível entre aquelas de mesma especificação de cor. Algumas cores, como por exemplo o preto N1, embora apresente valores de ΔE_{CMC} de 1.30 a diferença de cor visualmente não é perceptível. As folhas e o livro 2 tinham mais de 2 anos da data de aquisição, tempo que, na data da medição, ultrapassava a validade em 10 meses para as folhas e 7 meses para o livro 2. Não é divulgado pelo fabricante que esses padrões têm 2 anos de validade e em alguns livros e nas cartelas, nada é informado.

Os valores encontrados não tiveram constância de resultados, pois padrões mais antigos, como as folhas verde Munsell 2.5G 3/4 (ΔE_{CMC} 0.40) e amarelo Munsell 5Y 8/12 (ΔE_{CMC} 0.51), apresentaram valores de diferença de cor menores que o livro 2 (ΔE_{CMC} de 1.09 para o verde e 2.48 para o amarelo). A maior variação da cor foi encontrada no branco N9.5 (ΔE_{CMC} de 4.00 na cartela C2) e a menor variação no azul M.2.5PB 8/4 (ΔE_{CMC} de 0.03 em L2). Recomenda-se que especialmente para a cor branca N.9.5 que não seja utilizada a cartela *Munsell Neutral Value Scale* como referência de cor, pois os valores encontrados nessa amostra foram muito discrepantes variando de ΔE_{CMC} de 3.91 à 4.00. Em mais de 80% das amostras analisadas, o ângulo do matiz e a saturação foram os atributos da cor que mais variaram.

As variações de cores encontradas são maiores do que o limite para aprovação estipulado em mais de 80% das amostras analisadas, isso considerando o erro de reprodutibilidade entre equipamentos de 0.40. Isto quer dizer que, se medirmos duas amostras de cor Munsell de mesma notação, com datas de fabricação diferentes em duas empresas, as chances de obtermos produtos finais dessas empresas com valores de ΔE_{CMC} aceitáveis são muito baixas.

As causas destas variações nos atributos da cor Munsell são desconhecidas, mas sabemos que o impacto no cliente que recebe a cor é grande, pois não se sabe

se a referência que está sendo utilizada está de acordo com as especificações, podendo até gerar conflitos se as partes interessadas não entrarem em um acordo. Não podemos excluir defeitos de impressão na fabricação das amostras já que é conhecida a dificuldade técnica de reprodução do material impresso.

É recomendado aos usuários de cores Munsell que avaliem regularmente a possível inconsistência da cor nas amostras utilizadas para estipular sua própria tolerância e de até mesmo controlar o estado do seu exemplar Munsell para uma correta utilização das cores.

6. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar o *The Munsell Book of Color* desde o momento da compra, fazendo medições de cor mensalmente para verificar a constância dos resultados.
- Realizar um interlaboratorial com os espectrofotômetros (Datacolor e Minolta), infravermelho, medidor de brilho tipo *glossmeter*, cabine de avaliação de cor.
- Para as amostras em folha, realizar leituras na mesma amostra para avaliar se existe variação de cor.
- Fazer uma avaliação da qualidade dos padrões de cores do mercado de tintas. Utilizando um espectrofotômetro portátil, visitar clientes e fazer medições de cores.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1729-06**: Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color differences of Diffusely-Illuminated Opaque Materials. West Conshohocken, United States, 2003. 4f.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2244-05**: Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. West Conshohocken, United States, 2005. 10f.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E284-06a**: Standart Terminology of Appearance. West Conshohocken, United States, 2006. 23f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6493**: Emprego de cores para identificação de tubulações. Rio de Janeiro, 1994. 5f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7485**: Emprego de cores para identificação de tubulações em usinas e refinarias de açúcar e destilarias de álcool. Rio de Janeiro, 1994. 7f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7679 (1983)**: Termos básicos relativos a cor. Rio de Janeiro, 1983. 22f.

BERNS, Roy S. **Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology**. 3.ed. New York: Wiley. 2000. 247p.

BIRCH, J. **Diagnosis of defective colour vision**. Oxford: Butterworth Heinmann, 2001.

BRAINARD, D. **Color appearance and color difference specification**. Oxford: Optical Society of America. In S. Shevell (Ed.), 2003.

COLOR ORDER SYSTEMS IN ART SCIENCE (ENGLISH, FRANÇAIS, GERMAN). Disponível em: <www.colorsystm.com> Acesso em: 4.2007, 5.2007, 6.2007, 8.2007, 9.2007, 10.2007, 11.2007.

COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS, PETROBRAS. **N-1219: Cores**. Rio de Janeiro, 2001. 5f.

DATACOLOR INTERNACIONAL, OFICINA LATINOAMERICANA. **Uso de la diferencia de color CMC**. Traduzido por Milagros da la Oliva.

FAZENDA, Jorge M. R et al. **Tintas e Vernizes – Ciência e Tecnologia, ABRAFATI**. São Paulo: Blücher, 2006. 1044p.

FEITOSA-SANTANA, Cláudia et al. Espaço de Cores. **Psicologia USP**, São Paulo, v.17, n.04, p.35-62, 2006.

GNECCO, Celso, MARIANO, Roberto. Critérios para reprodução de cores em tintas. **Sherwin-Williams/Divisão Sumaré**, Campinas, 1999. 7f.

GRETAG MACBETH STORE – COLOR MANAGEMENT MONITOR CALIBRATION SPECTROPHOTOMETER. Disponível em: <www.gretagmacbethstore.com> Acesso em: 7.2006, 10.2006, 11.2006, 12.2006, 1.2007, 2.2007, 4.2007, 5.2007, 6.2007, 8.2007, 9.2007, 10.2007, 11.2007.

HUNTERLAB, APPLICATIONS NOTE. CMC. United States, v.08, n.13, p.1-3, 1996.

HUNTERLAB, APPLICATIONS NOTE. Equivalent white light sources and CIE Illuminants. United States, v.17, n.05, p.1-5, 2005.

HUNTERLAB, APPLICATIONS NOTE. Test Methods for Color Measurement. United States, v.18, n.04, p.1-10, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3668**: Paints and varnishes – Visual comparison of the colour of paints. Genève, Switzerland, 1998. 10f.

KUEHNI, Rolf G. The early development of the Munsell system. **Color Research and Application**, United States, v.27, n.01, p.20-27, 2002.

LANDA, Edgard R. Albert H. Munsell: A sense of color at the interface os art and science. **Soil Science**, United States, v.169, n.02, p.83-89, 2004.

LANDA, Edgard R., FAIRCHILD, Mark D. Charting color form the eye of the beholder. **American Scientist**, United States, v.98, p.436-443, 2005.

MUNSELL, Albert Henry. **A color notation**. Baltimore; Maryland: Macbeth, A division of Kollmorgen Coporation, 1946. 67p.

ÖZTÜRK, Leyla Dokuzer. Location of Munsell Colors in the RAL Design System. **Color Research and Application**, v.30, n.02, p.130-134, april 2005.

VALENCIA, Edison, MILLÁN, María S. Diferencias de color entre dos ejemplares del atlas de color Munsell. **Óptica Pura y Aplicada**, España, v.38, n.02, p.57-65, 2005.

EFG'S COMPUTER LAB AND REFERENCE LIBRARY. Disponível em: < www.efg2.com > Acesso em: 10.2006, 11.2006, 12.2006, 5.2007, 6.2007, 8.2007, 9.2007.

THE VOICE OF COLOR[®]. Disponível em: < www.voiceofcolor.com >
> Acesso em: 10.2006, 11.2006, 12.2006, 1.2007, 2.2007, 4.2007, 5.2007, 6.2007,
8.2007, 9.2007, 10.2007, 11.2007, 12.2007.

WIKIPEDIA. Disponível em: < <http://en.wikipedia.com> > Acesso em:
10.2006, 11.2006, 12.2006, 1.2007, 2.2007, 4.2007, 5.2007, 6.2007, 8.2007,
9.2007, 10.2007, 11.2007.

ANEXO I

Colorz Representações Ltda Rua. Primitiva Vianco, 244 - 10º - Conj. 1011. 06016-000 - Osasco – SP Tel: (11) 3654-2316 / E-mail: Lfatarelli@colorz.com.br



Ticket de Calibração

Ticket referente a serviço de calibração e revisão realizado dia 11/04/2007 pela Colorz Representações Ltda.

Color Check Ticket datacolor	
<i>Because Color Matters</i>	
IMPORTANT NOTE: This test result summary is for service reference only! It's NOT a formal certificate!	
Test date: abr/11/2007 10:02	
Reference Spectro: SF500 (s/n: 228)	
Spectro under Test: SF350X (s/n: 3011)	
BCRA Tile Set #: 494	
Characterization date: mar/27/2007 11:22	
Test Results: Average dE: 0.18	
Maximum dE: 0.29	
Test Details:	
Sample Name	dE
Pale Grey.SCI	0.14
Mid Grey.SCI	0.13
Deep Grey.SCI	0.12
Deep Pink.SCI	0.20
Red.SCI	0.24
Orange.SCI	0.08
Bright Yellow.SCI	0.18
Green.SCI	0.28
Cyan.SCI	0.29
Deep Blue.SCI	0.26
White tile.SCI	0.10
Black tile.SCI	0.14

Atenciosamente, Thiago Luiz Fatarelli Serviços Assistência Técnica Fone/Fax: (11) 3654-2015 Email: servicos@colorz.com.br

ANEXO II

TESTE FARNSWORTH MUNSELL 100

Teste que verifica a aptidão ou habilidade em discriminação de cores.

Procedimento

Uma caixa contendo as peças de cores é mostrada a pessoa que irá executar o teste, a primeira e a última peça da caixa são fixas para se ter como referência a faixa de cores. Em seguida, as peças que são móveis são retiradas e embaralhadas para que a pessoa possa reorganizar essas peças dentro da caixa em degrade. O tempo médio por caixa é de dois minutos e meio, porém, a precisão é mais importante que velocidade, por isso quando os dois minutos e meio se esgotam, a caixa com as peças não deverão ser retidas. O tempo levado para completar o teste deve ser anotado. São no total quatro caixas, sendo três com vinte e três peças e uma com vinte e quatro peças.



Figura 24: Teste de acuidade visual Farnsworth Munsell 100

Classificação

Pessoas com visão de cores “normal” podem ser classificadas como:

Discriminação superior

Foi encontrado que por volta de 16% da população teve de 0 a 4 transposições no primeiro teste, em um total de 0 à 16 pontos. Essa é a pontuação que tem maior competência em discriminação de cores.

Discriminação média

Foi encontrado que por volta de 68% da população teve um total de pontos entre 20 e 100 no primeiro teste. Essa é a pontuação de normal competência em discriminação de cores.

Discriminação baixa

Foi encontrado que por volta de 16% da população teve pontuação maior que 100. O segundo teste deve demonstrar alguma melhora, mas futuros testes não devem afetar a pontuação cor.

Esses dados formam a base de classificação dada pelo programa de computador:

- Superior: pontuação total < 16
- Média: pontuação total entre 16 e 100
- Baixa: pontuação total > 100

Toda essa classificação é baseada em dados normativos.

Realização de novos testes

- Todas as pessoas precisam de um segundo teste;
- O primeiro teste deve ser seriamente levado em consideração com o segundo;
- Entre um teste e outro deve haver um intervalo de horas ou dias.

A pontuação total representa a habilidade de discriminação de cores de uma pessoa em um dado período de tempo. É possível que a habilidade de discriminação de cores para uma pessoa possa melhorar em um período posterior como resultado de treinamento e experiência.

APÊNDICE

1. Cinza N3.5

Tabela 30: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N3.5 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}			
	Folha	L2	C1	C2
(1:1)	1.62	1.10	0.35	0.53
(1.5:1)	1.23	0.86	0.30	0.42
(2:1)	1.05	0.76	0.28	0.37

Tabela 31: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	1.28	0.51	-0.09
L2	0.83	0.32	-0.23
C1	0.22	0.16	0.06
C2	0.39	0.19	0.06

Tabela 32: Resultados da análise visual na cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Iluminante	Folha			L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	1gr	0	+1	1gr	0	+1	0	0	0	0	0	+1
A	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1
TL84	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	+1

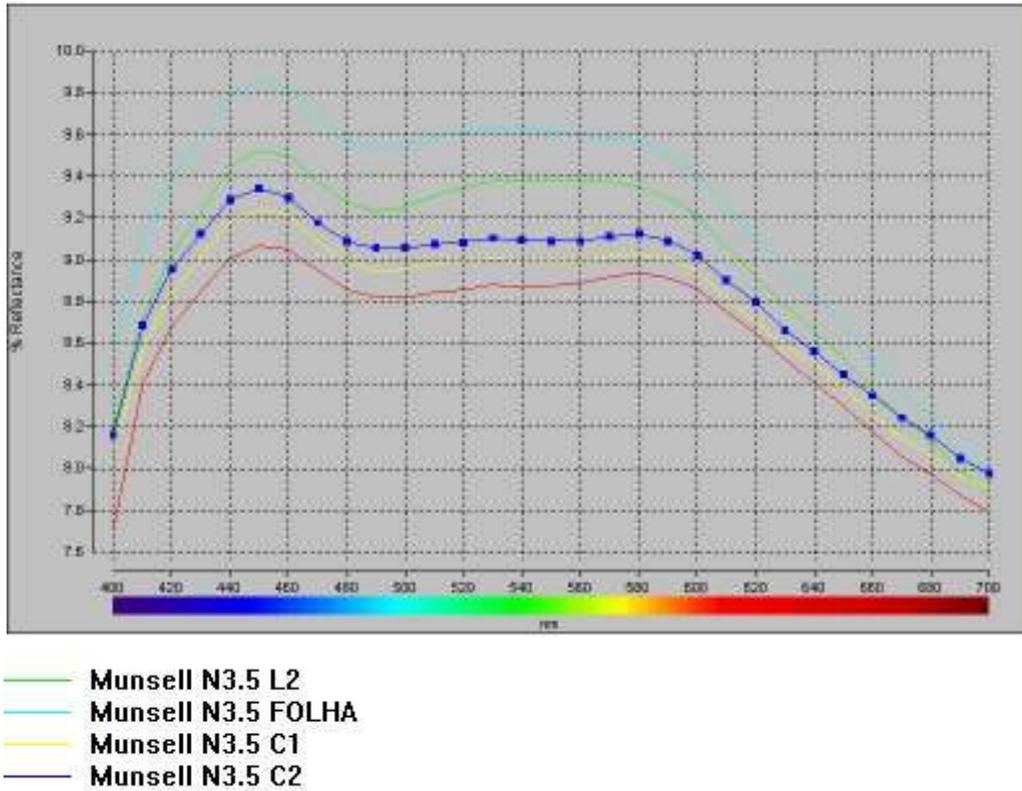


Figura 25: Curva espectral da cor cinza N3.5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.

2. Cinza N5

Tabela 33: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N5 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}			
	Folha	L2	C1	C2
(1:1)	1.16	0.87	0.91	0.91
(1.5:1)	1.05	0.75	0.91	0.90
(2:1)	1.01	0.71	0.90	0.90

Tabela 34: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	0.74	0.52	-0.38
L2	0.64	0.26	-0.36
C1	0.14	0.10	-0.60
C2	0.17	0.12	-0.59

Tabela 35: Resultados da análise visual na cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Iluminante	Folha			L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	+1	1gr	0	+1	1gr	0	+1	1gr	0	+1
A	0	0	+1	1gr	0	+1	1gr	0	+1	1gr	0	+1
TL84	0	0	+1	0	0	+1	0	0	+1	1gr	0	+1

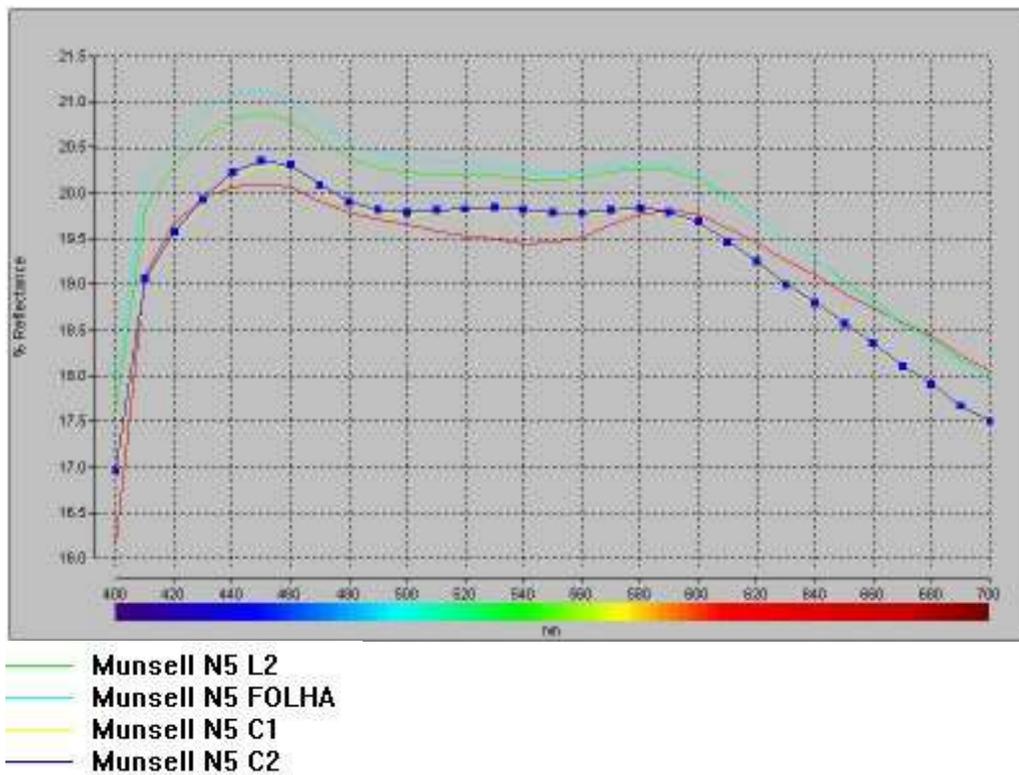


Figura 26: Curva espectral da cor cinza N5 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.

3. Cinza N8

Tabela 36: Resultados de ΔE_{CMC} na cor cinza N8 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}			
	Folha	L2	C1	C2
(1:1)	0.05	0.67	0.33	0.31
(1.5:1)	0.05	0.67	0.33	0.31
(2:1)	0.05	0.67	0.33	0.31

Tabela 37: Resultados $CIE L^*C^*h^*$ na cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	-0.02	-0.03	0.01
L2	0.09	-0.46	-0.02
C1	-0.05	0.04	0.22
C2	0.08	0.02	0.21

Tabela 38: Resultados da análise visual na cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2

Iluminante	Folha			L2			C1			C2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	0	0	1gr	0	0	0	0	0	0	0	+1
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TL84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

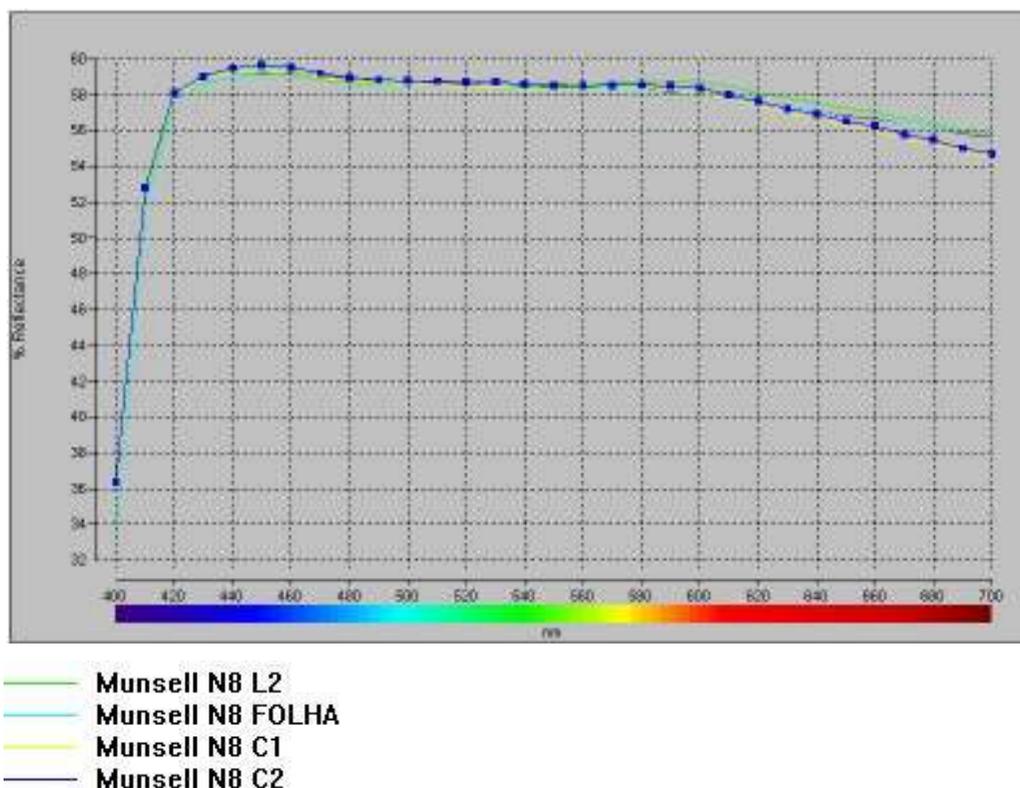


Figura 27: Curva espectral da cor cinza N8 nas amostras: Folha, L2, C1 e C2.

4. Marrom M.10R 3/6

Tabela 39: Resultados de ΔE_{CMC} na cor marrom M.10R 3/6 com relação de $(l:c)$ de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

	ΔE_{CMC}
$(l:c)$	L2
(1:1)	1.48
(1.5:1)	0.99
(2:1)	0.75

Tabela 40: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-1.23	0.24	0.04

Tabela 41: Resultados da análise visual na cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	1re	0	-1
A	1re	0	-1
TL84	1re	0	-1

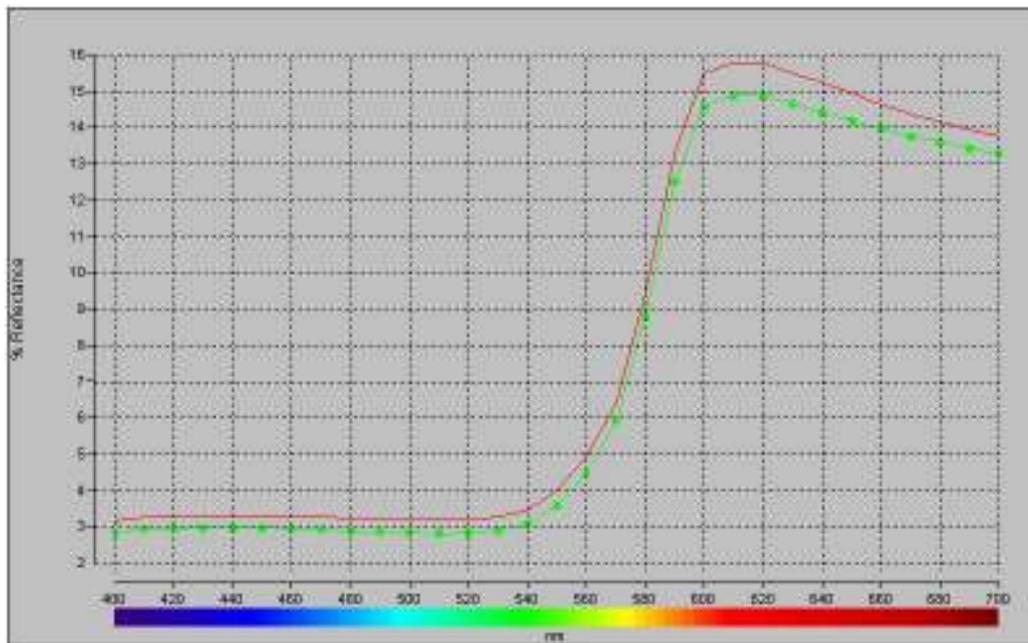


Figura 28: Curva espectral da cor marrom M.10R 3/6 na amostra L2 .

5. Marrom M.2.5YR 2/4

Tabela 42: Resultados de ΔE_{CMC} na cor marrom M.2.5YR 2/4 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

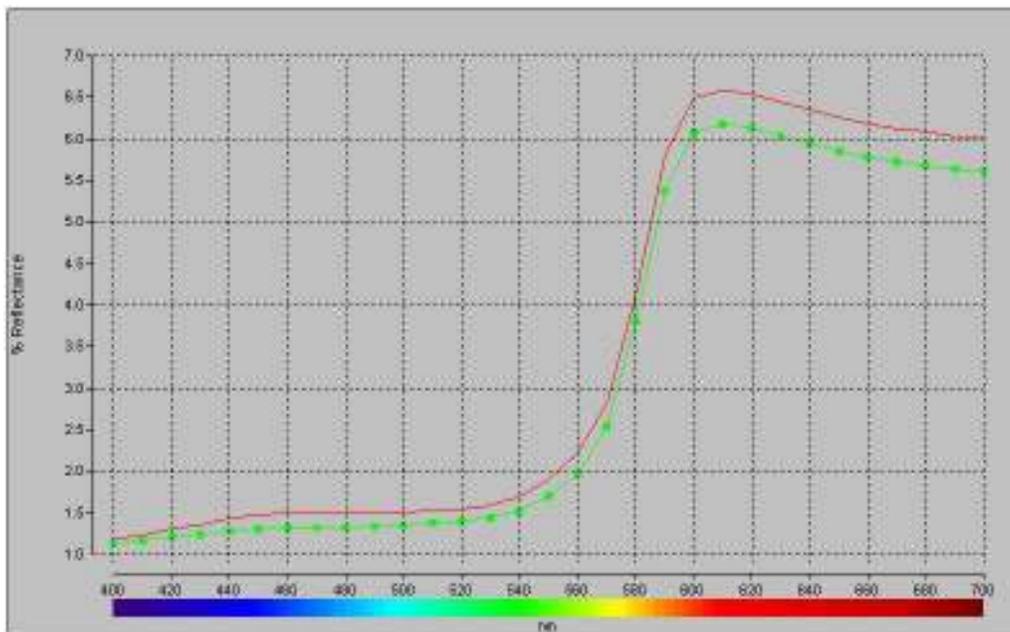
	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	1.68
(1.5:1)	1.12
(2:1)	0.84

Tabela 43: Resultados *CIEL***C***h** na cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-1.02	0.04	-0.05

Tabela 44: Resultados da análise visual na cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	0	0	-1
A	1bl	0	-2
TL84	0	0	-2



— Munsell M.2.5YR 2/4 L2

Figura 29. Curva espectral da cor marrom M.2.5YR 2/4 na amostra L2

6. Alaranjado M.2.5YR 6/14

Tabela 45: Resultados de ΔE_{CMC} na cor laranja M.2.5YR 6/14 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

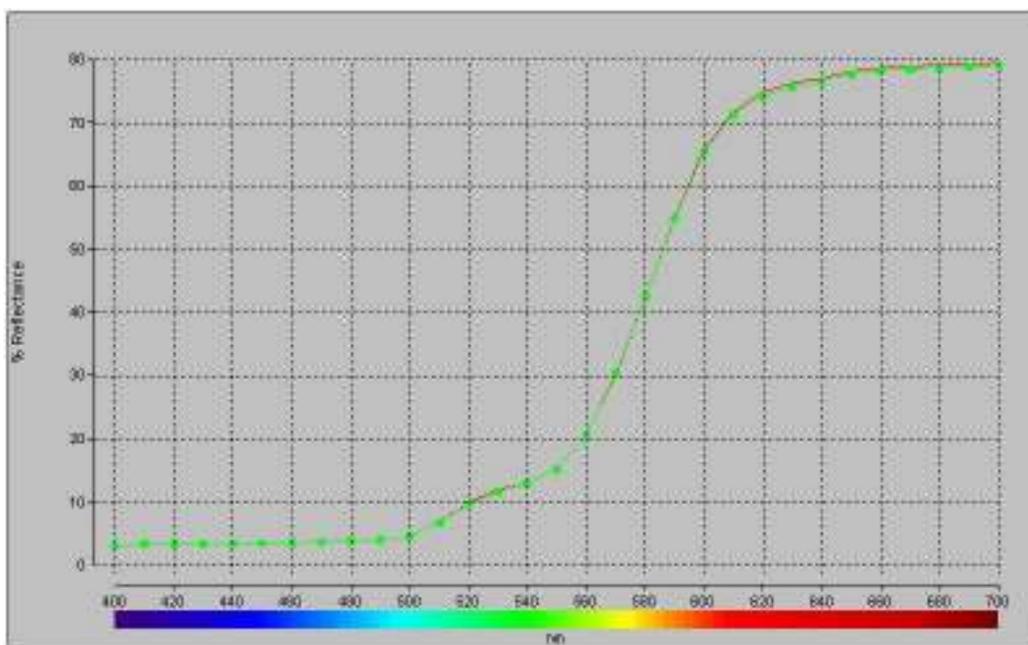
	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	0.13
(1.5:1)	0.10
(2:1)	0.09

Tabela 46: Resultados *CIEL***C***h** na cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.12	-0.23	-0.01

Tabela 47: Resultados da análise visual na cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	0	0	-1
A	0	0	-0
TL84	0	-1	-1



— Munsell M.2.5YR 6/14 L2

Figura 30. Curva espectral da cor laranja M.2.5YR 6/14 na amostra L2

7. Sândalo M.7.5YR 6/2

Tabela 48: Resultados de ΔE_{CMC} na cor sândalo M.7.5YR 6/2 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

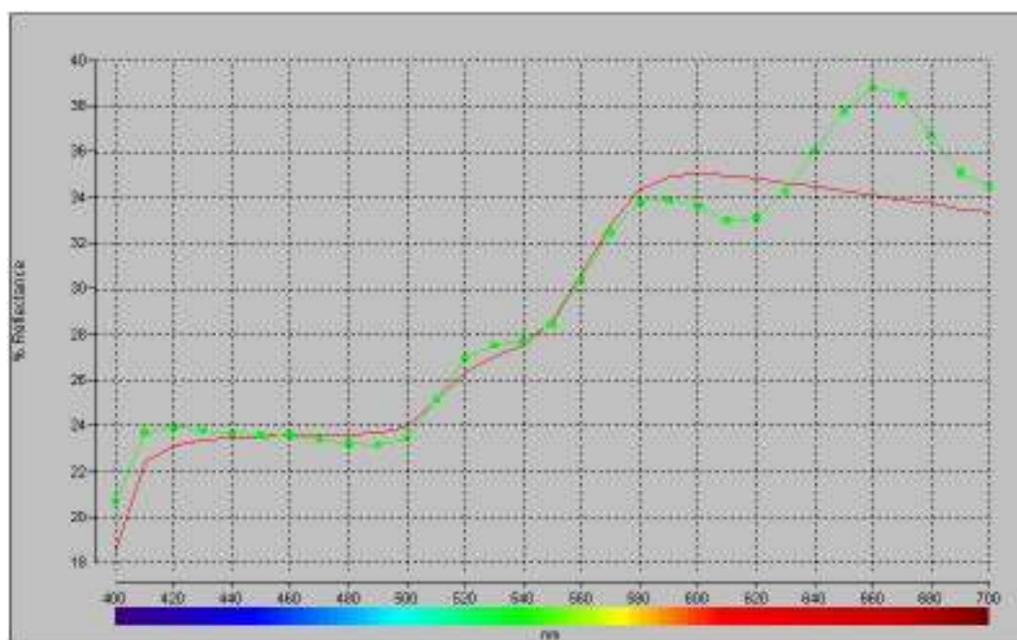
	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	0.56
(1.5:1)	0.54
(2:1)	0.54

Tabela 49: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.20	-0.66	0.06

Tabela 50: Resultados da análise visual na cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	0	-1	0
A	1re	0	0
TL84	1re	-2	0



— Munsell M.7.5YR 6/2 L2

Figura 31: Curva espectral da cor sândalo M.7.5YR 6/2 na amostra L2

8. Creme M.10YR 7/6

Tabela 51: Resultados de ΔE_{CMC} na cor creme M.10YR 7/6 com relação de (l:c) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

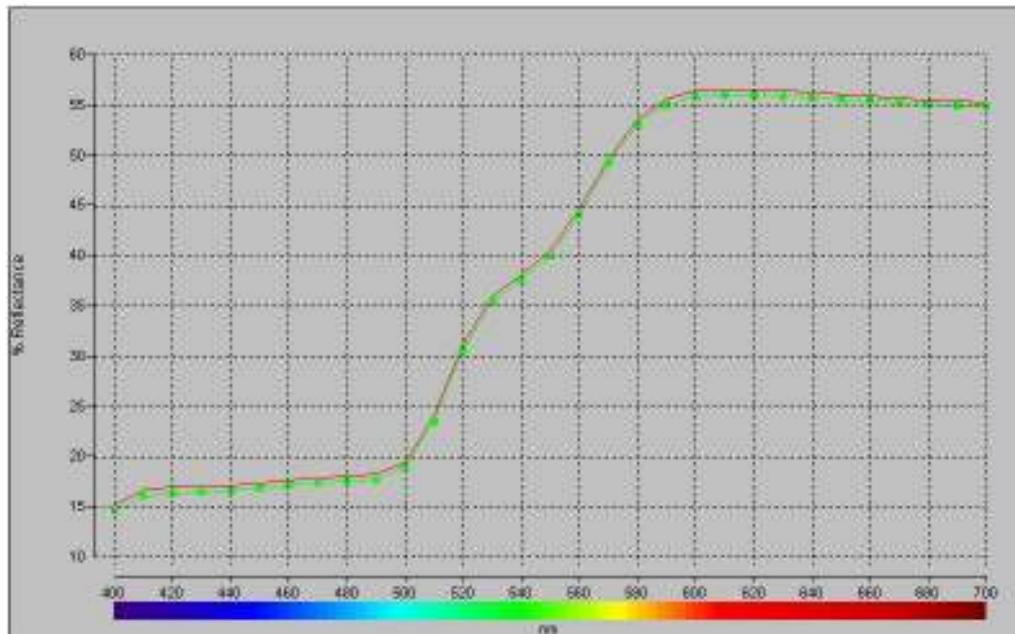
	ΔE_{CMC}
(l:c)	L2
(1:1)	0.37
(1.5:1)	0.30
(2:1)	0.28

Tabela 52: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.37	0.50	0.08

Tabela 53: Resultados da análise visual na cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	0	0	-1
A	0	+1	-1
TL84	0	0	-1



— Munsell M.10YR 7/6 L2

Figura 32: Curva espectral da cor creme M.10YR 7/6 na amostra L2

9. Amarelo M.2.5Y 8/12

Tabela 54: Resultados de ΔE_{CMC} na cor amarelo M.2.5Y 8/12 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 nas amostras: Folha e L2

<i>(l:c)</i>	ΔE_{CMC}	
	Folha	L2
(1:1)	1.44	0.40
(1.5:1)	1.44	0.34
(2:1)	1.44	0.31

Tabela 55: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
Folha	1.44	-0.20	0.54
L2	0.39	0.45	0.39

Tabela 56: Resultados da análise visual na cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2

Iluminante	Folha			L2		
	DH	DC	DL	DH	DC	DL
D65	0	-1	+1	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
TL84	0	0	+!	0	+1	+1

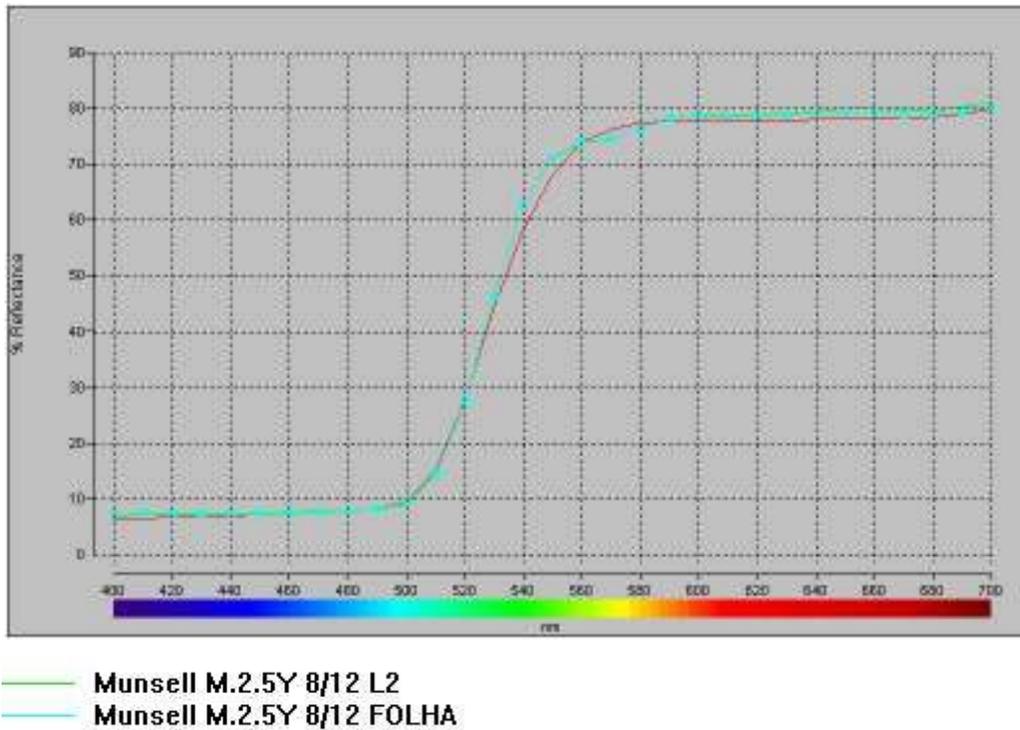


Figura 33: Curva espectral da cor amarelo M.2.5Y 8/12 nas amostras: Folha e L2.

10. Verde 10GY 6/6

Tabela 57: Resultados de ΔE_{CMC} na cor verde M.10GY 6/6 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	0.70
(1.5:1)	0.57
(2:1)	0.51

Tabela 58: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.67	0.86	-0.25

Tabela 59: Resultados da análise visual na cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	1ye	+1	-1
A	1ye	+1	-1
TL84	1ye	+1	0

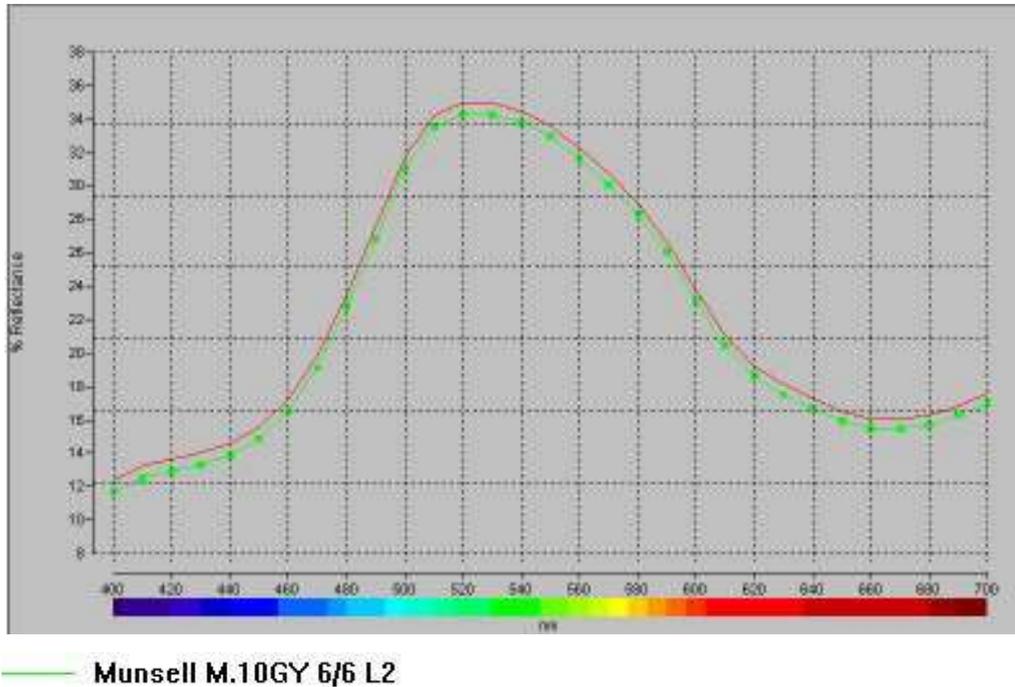


Figura 34: Curva espectral da cor verde M.10GY 6/6 na amostra L2.

11. Azul M.7.5PB 3/8

Tabela 60: Resultados de ΔE_{CMC} na cor azul M.7.5PB 3/8 com relação de (*l:c*) de 1:1, 1.5:1 e 2:1 na amostra L2

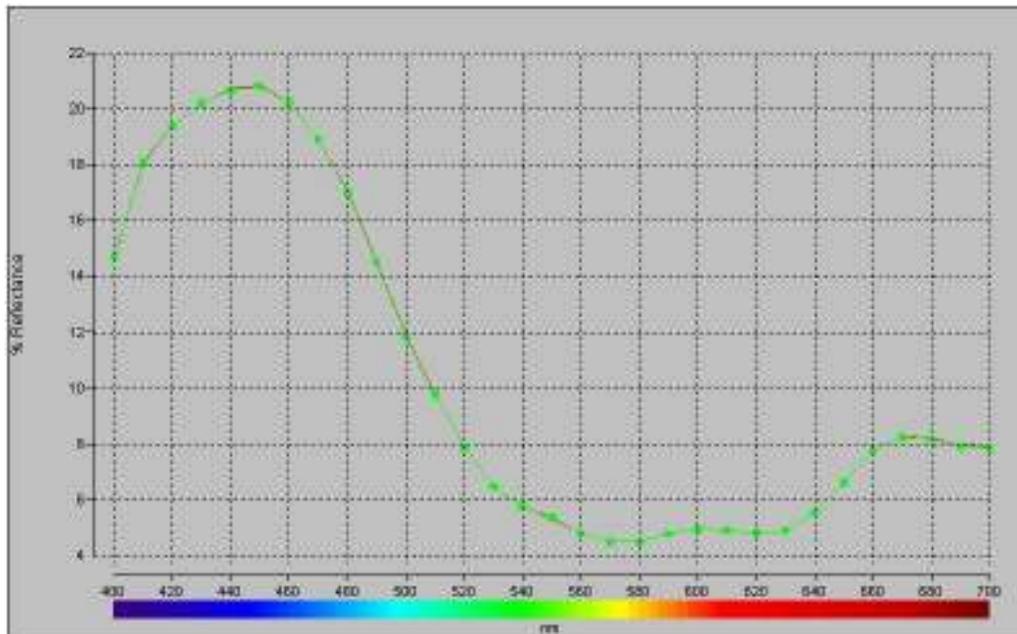
	ΔE_{CMC}
(<i>l:c</i>)	L2
(1:1)	0.02
(1.5:1)	0.02
(2:1)	0.02

Tabela 61: Resultados $CIEL^*C^*h^*$ na cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2

Amostra	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*
L2	-0.01	-0.03	0.01

Tabela 62: Resultados da análise visual na cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2

Iluminante	L2		
	DH	DC	DL
D65	0	0	-1
A	0	0	0
TL84	0	0	-1



Munsell M.7.5PB 3/8 L2

Figura 35: Curva espectral da cor azul M.7.5PB 3/8 na amostra L2