

4

Controle metrológico da cor pelo método espectrofotométrico

O presente capítulo descreve a essência do trabalho experimental desenvolvido como tema da pesquisa demonstrada aqui caracterizada. Medições espectrofotométricas de refletância foram realizadas no Laboratório de Colorimetria do SENAI-CETIQT, laboratório de calibração acreditado pela Cgcre/Inmetro de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 sob o nº172, participante da Rede Brasileira de Calibração, selo RBC, segundo critérios internacionalmente aceitos.

Todas as medições foram referenciadas a um conjunto de padrões primários, cujos valores nominais primários são referenciados ao Laboratório Nacional de Metrologia do Reino Unido (NPL). A massa de dados discutida e analisada no presente capítulo é apresentada in totum nos anexos A, B, C e D.

O capítulo se inicia pela caracterização do trabalho experimental, seguida da avaliação da uniformidade de cor na área estampada, e finalizando apresenta o tratamento estatístico dos resultados das medições de cor, realizada por meio de espectrofotometria de refletância.

4.1.

A caracterização do trabalho experimental

A calibração do espectrofotômetro de bancada MINOLTA, figura 121, teve por objetivo verificar a repetitividade e o erro de medição do equipamento modelo CM-3720d, nº de série 15831003, CT 23095 e SC-0030.



Figura 121.: Espectrofotômetro de bancada Minolta modelo CM-3720d

Entende-se repetitividade (VIM-2007) como a aptidão do instrumento em fornecer indicações muito próximas, em repetidas avaliações do mesmo mensurando. No presente caso, estudou-se a repetitividade do equipamento para um conjunto de azulejos padrões CCS II, visto na figura 122, sob condições controladas.

Foi verificado o erro de medição, entendendo-se erro de medição como o valor de medição obtido do conjunto de padrões avaliados, subtraído do valor verdadeiro do mensurando (valores nominais fornecidos pelo laboratório primário (NPL), para o referido conjunto de azulejos CCS II).



Figura 122.: Certificado de calibração e caixa de 12 azulejos calibrados pelo NPL

O Conjunto de padrões cerâmicos coloridos (CCS II # HCL281, CT 24294 e SC-0024), preparado pelo CERAM Research e calibrado pelo NPL, é formado por um conjunto de 12 (doze) azulejos identificados da seguinte forma:

1. Cinza claro (pale grey);
2. Cinza médio (mid grey);
3. Cinza diferencial (diff. grey);
4. Cinza escuro (dark grey);
5. Rosa escuro (deep pink);
6. Vermelho (red);
7. Laranja (orange);

8. Amarelo brilhante (bright yellow);
9. Verde (green);
10. Verde diferencial (diff. green);
11. Azul ciano (cyan);
12. Azul escuro (deep blue).

Foram ligados para estabilização, 30 minutos antes da calibração, o espectrofotômetro e o termômetro marca DIGI-SENSE, número de série H98004902, CT 23836 e SC-0040, com certificado de calibração sob o nº TE-0338/08 de 15/02/2008, fornecido pelo IFM, Laboratório de Calibração Acreditado pelo CGCRE/INMETRO de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 sob o nº 0059. O conjunto de padrões cerâmicos foi climatizado durante 30 minutos, a uma temperatura controlada de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Para a calibração foi utilizado o software de colorimetria SpectraMatch versão v.3.4.5.D e o procedimento interno denominado POP-COL-002. Determina uma série de 10 medições para cada um dos 12 azulejos e em cada uma das componentes de especularidade (incluída-SCI e excluída-SCE), perfazendo um total de 240 medições. A medição SCE avalia somente a componente de reflexão difusa (sensação de cor) da amostra. A medição SCI avalia simultaneamente a componente de reflexão difusa e mais a componente de reflexão especular (sensação de brilho) da amostra.

Para o ajuste da escala fotométrica foi utilizado o Padrão de calibração de branco do próprio equipamento, de nº de série 15871010.

Com os valores de refletância da medição dos azulejos foram calculados os valores triestímulos X, Y e Z para o iluminante D65 e observador $10^\circ/1964$. Com esses valores foram obtidas as coordenadas colorimétricas L^* , a^* , b^* , e com essas coordenadas foram determinadas as diferenças médias de cor $\Delta E_{rpt,j}^*$ entre os valores médios e os valores individuais das medições de um azulejo, de acordo com:

$$\Delta E_{rpt,j}^* = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \Delta E_i^* \right)^2} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[(\bar{L}^* - L_i^*)^2 + (\bar{a}^* - a_i^*)^2 + (\bar{b}^* - b_i^*)^2 \right]} \quad (4-1)$$

Em que:

n está relacionado ao número de séries

j está relacionado aos azulejos (1 até 12)

Essa diferença de cor foi determinada para cada um dos 12 azulejos e em seguida determinada a média dessas 12 diferenças de cor.

$$\overline{\Delta E_{rpt}^*} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} \Delta E_{rpt,j}^* \quad (4-2)$$

Para determinar a diferença de cor $\Delta E^*_{acy,j}$ entre os valores médios medidos e os valores do certificado de calibração pertencente ao conjunto de azulejos, empregou-se as coordenadas colorimétricas calculadas para a determinação da repetitividade para cada um dos 12 azulejos do conjunto de padrões, de acordo com:

$$\Delta E^*_{acy,j} = \left[\left(\overline{L^*_{mea,j}} - L^*_{std,j} \right)^2 + \left(\overline{a^*_{mea,j}} - a^*_{std,j} \right)^2 + \left(\overline{b^*_{mea,j}} - b^*_{std,j} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4-3)$$

Sendo:

- meas se refere aos valores medidos
 std se refere aos valores do certificado de calibração e
 j se refere aos azulejos 1 até 12

Também foi determinada a média da diferença de cor dos 12 azulejos, usando-se:

$$\overline{\Delta E^*_{acy}} = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^{12} \Delta E^*_{acy,j} \quad (4-4)$$

Com os dados obtidos foram determinados os valores de repetitividade, do erro de medição e da deriva à curto prazo. Utilizando os valores de coordenadas colorimétricas CIELAB, pode-se observar na tabela 4 o resultado médio obtido para as diferenças de cor ($\overline{\Delta E^*_{CIELAB}}$), sob condições controladas de temperatura ($25 \pm 0.5^\circ\text{C}$).

Tabela 4.: Resultados obtidos para Repetitividade e Erro de Medição

REPETITIVIDADE A CURTO PRAZO		
Valor Aceitável *	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} \leq 0,50$
Valor Obtido (SCI com recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,02$
Valor Obtido (SCE com recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,01$
Valor Obtido (SCI sem recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,02$
Valor Obtido (SCE sem recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,04$
ERRO DE MEDIÇÃO		
Valor Aceitável *	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} \leq 1,00$
Valor Obtido (SCI com recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,23$
Valor Obtido (SCE com recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,32$
Valor Obtido (SCI sem recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,22$
Valor Obtido (SCE sem recalibração)	⇒	$\overline{\Delta E^*_{CIELAB}} = 0,33$

* Valor geralmente recomendado pelos fornecedores de espectrofotômetros e Colorímetros e pela comunidade científica.

Para o cálculo da incerteza foi utilizada a fórmula geral:

$$U = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i}^2 u^2(x_i)}$$

(4-5)

Sendo:

U = Incerteza Expandida da Medição

K = Fator de abrangência usado para calcular a Incerteza expandida

$\frac{\partial y}{\partial x_i}$ = Derivada parcial da função y ($y = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$) em relação a

grandeza de entrada x_i .

$u(x_i)$ = Incerteza padrão da grandeza de entrada estimada x_i .

Constando no cálculo a Incerteza declarada no certificado de calibração dos padrões ($u_1 = U$ Padrão), a incerteza da repetitividade das medições (u_2), a incerteza declarada do certificado de calibração do termômetro ($u_3 = U_t = 0,4^\circ\text{C}$). Para Repetitividade e deriva, a incerteza padrão combinada é $U_{c \text{ rep}} = u_2$ e para o Erro de Medição a incerteza padrão combinada é a soma de $u_1 + u_2 + u_3$.

Após a calibração do instrumento, foram realizadas as medições em 15 amostras de cores selecionadas no sistema de ordenação Munsell, figura 123. Este sistema foi escolhido como referência por ser reconhecido internacionalmente por sua excelente qualidade.

As cores distribuídas pelo espaço Munsell possuíam as seguintes codificações: *N3.0, N5.5, N8.0, 5R 6/12, 5YR 7/12, 5Y 8.5/12, 5GY 8.5/10, 5G 7/10, 5B 7/8, 5P 5/10, 5Y 4/4, 5G 4/4, 5B 4/4, 5P 4/4 e 5R 4/4*.



Figura 123.: Coleção Munsell com as cores escolhidas

Para simplificar foi utilizada uma codificação de 3 dígitos para cada cor. Como parâmetros do instrumento, inseridos no software SpectraMatch versão v.3.4.5.D, figura 124, foram utilizados o iluminante D65, ângulo de observador de 10° , medição

com 2 flashes, Energia de UV incluído 100%, modo de calibração refletância, componente especular incluído e abertura de medição grande.

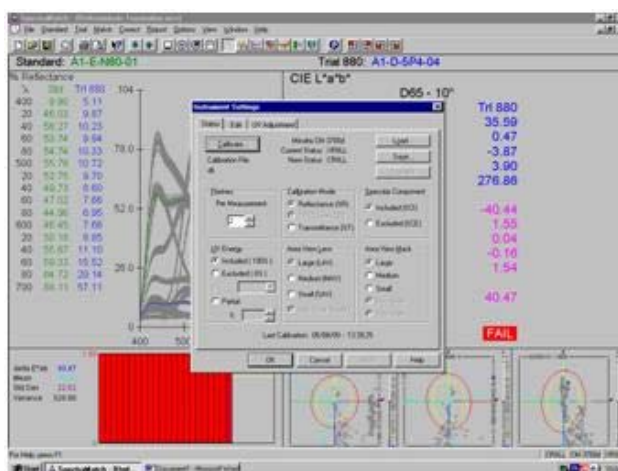


Figura 124.: SpectraMatch, software do Minolta 3720d, com os parâmetros de medição

A tabela 5, apresenta na coluna L^*M , os valores de Luminosidade CIE da medição no espectrofotômetro Minolta, na coluna a^*M os valores do eixo a^* CIE e a coluna b^*M os valores do eixo b^* CIE.

Foram colocados na coluna L^*P os valores correspondentes a Luminosidade CIE da cor gerada no PhotoShop, na coluna a^*P os valores do eixo a^* e a coluna b^*P os valores do eixo b^* .

Tabela 5.: Valores de $L^*a^*b^*$ das 15 cores no Minolta 3720d (M) e no PhotoShop (P)

MUNSELL	CÓDIGO	L^*M	L^*P	a^*M	a^*P	b^*M	b^*P
N3.0	N80	25,77	26,00	-0,16	0,00	0,95	1,00
N5.5	N55	56,28	56,00	-0,07	0,00	0,03	0,00
N8.0	N80	80,52	81,00	1,37	1,00	1,39	1,00
5R 6/12	5R6	60,12	60,00	50,48	50,00	22,96	23,00
5YR 7/12	5YR	69,27	69,00	36,78	37,00	61,63	62,00
5Y 8.5/12	5Y8	82,74	83,00	5,53	6,00	80,37	0,00
5GY 8.5/10	5GY	84,14	84,00	-21,27	-21,00	64,41	64,00
5G 7/10	5G7	70,57	71,00	-43,35	-43,00	18,35	18,00
5B 7/8	5B7	71,94	72,00	-27,68	-27,00	-18,32	-18,00
5P 5/10	5P5	52,38	52,00	22,72	23,00	-26,46	-26,00
5Y 4/4	5Y4	40,71	41,00	3,94	4,00	23,49	23,00
5G 4/4	5G4	41,91	42,00	-19,78	-20,00	9,04	9,00
5B 4/4	5B4	42,49	42,00	-14,33	-14,00	-12,40	-12,00
5P 4/4	5P4	42,54	43,00	10,04	10,00	-13,54	-13,00
5R 4/4	5R4	41,16	41,00	19,19	19,00	7,49	7,00

Os valores das medições assim obtidos foram inseridas no software Adobe PhotoShop versão CS2, figura 125. Este aplicativo só aceita valores inteiros, tornando necessário o arredondamento dos valores.

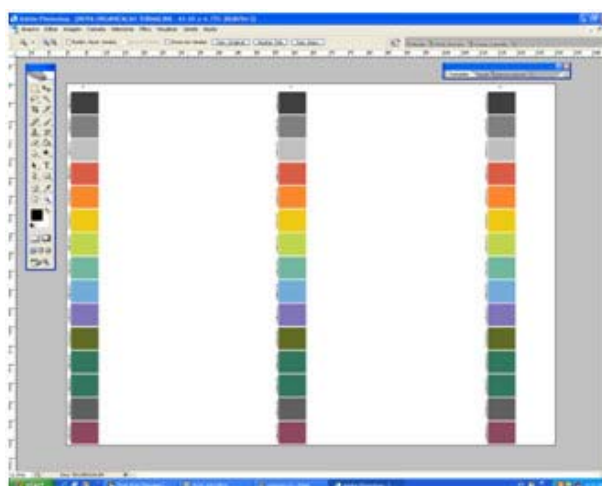


Figura 125.: Organização das cores no PhotoShop v.CS2

No PhotoShop foram criadas 15 formas retangulares de 5,5 cm X 7,5 cm, preenchidas com a cor de valores correspondentes aos respectivos $L^*a^*b^*$ arredondados.

As cores no arquivo foram dispostas de forma a permitir que o tecido fosse impresso em 3 colunas verticais paralelas posicionadas simetricamente. Uma coluna na lateral esquerda do tecido, uma ao centro e outra ao lado direito, utilizado para a avaliação da uniformidade da impressão em relação a largura do tecido.

Este arquivo com as formas coloridas foi então salvo como arquivo de extensão **TIFF** (Tagged Image File Format), requerido pelo software da máquina digital Tourmaline, figura 126.



Figura 126.: Máquina de estampar digital marca Stork, modelo Tourmaline

Posteriormente o arquivo de extensão TIFF foi aberto no software do próprio fabricante Stork, denominado Job Editor, figura 127, que conta recursos de rotação do desenho, posicionamento em relação ao tecido, multiplicação da imagem, etc.

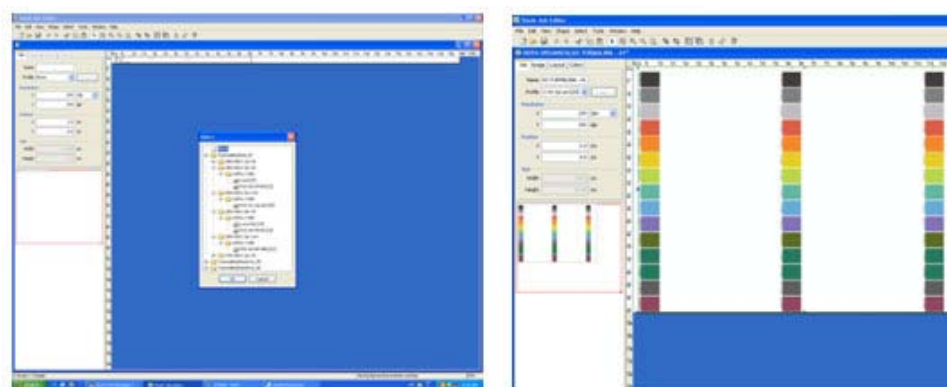


Figura 127.: Telas do programa Stork Job Editor

A figura 128 mostra cada um dos quatro perfis utilizados. Esses perfis predefinidos pelo fabricante (podem ser criados novos perfis pelo usuário) possibilitaram variar dois parâmetros: O *número de passadas* (2P e 4P) que corresponde ao número de vezes em que uma determinada área recebe o gotejamento (saturação) e a *direção da impressão*, isto é, se o substrato recebe a tinta quando o cabeça se desloca em um sentido (Unidirecional) ou em ambos os sentido (Bidirecional), influenciando na velocidade de impressão.

Após a seleção do perfil e dimensionamento no Job Editor, o arquivo foi exportado para o software do mesmo fabricante denominado Print Manager, responsável por enviar a imagem definitiva para a DDP Tourmaline imprimir.

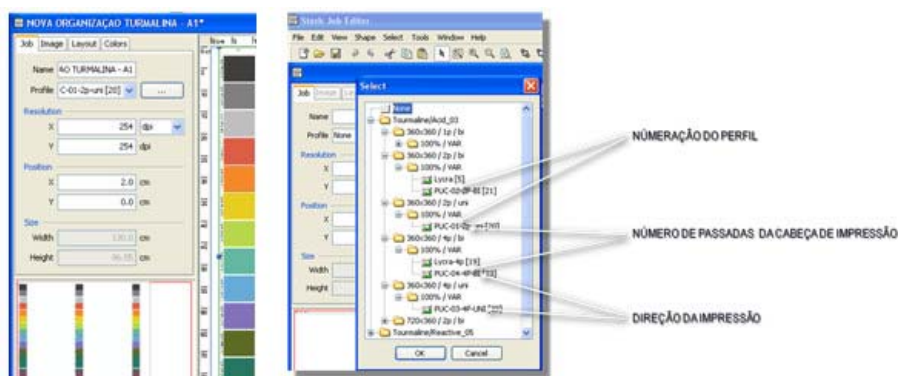


Figura 128.: Telas de seleção de perfil do programa Stork Job editor

O tecido utilizado nos experimentos foi uma malha branca sem qualquer acabamento (PT), produzida pela empresa Rosset, com gramatura de 260 g/m^2 e composta por 85% de fibra poliamida com 15% de fibra poliuretano (Lycra®), processada da seguinte forma:

Pré-tratamento: Impregnação com foudardagem a 90% de retenção, no equipamento Rimslow Wash-X, utilizando:

820g Água

100g Uréia

30g Sulfato de Amônio

50g Espessante sintético

1000g Pasta base

Pós-tratamento: Vaporizador contínuo Rimslow Steam XL-1850, durante 30 minutos a 102^o C. Lavagens com auxiliares em meio alcalino a frio e a quente. Enxague final a frio. Secagem.

O mesmo arquivo tiff, com as mesmas cores geradas no PhotoShop CS2 foi impresso em papel marca Chamex, utilizando as impressoras **Jato de tinta** marca HP, modelo Business inkjet 2800, na **Laser** HP, modelo Color Laserjet CP2025 e na Jato de **Cera** marca Xerox, modelo Phaser 8560.

Foram então realizadas medições, figura 129, em todas as amostras da impressora Tourmaline, da Cera, da Laser e da Jato-de-tinta. Foi utilizando o mesmo equipamento Minolta 3720, o mesmo software SpectraMatch e parâmetros empregados nas medições iniciais das amostra de Munsell.

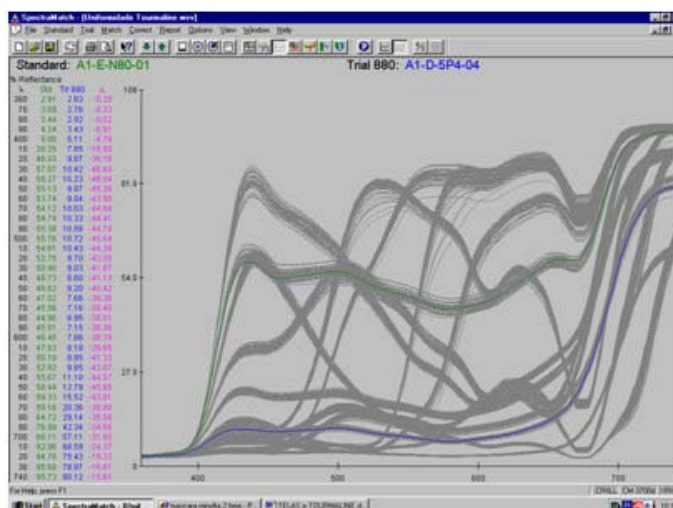


Figura 129.: Tela do software SpectraMatch, mostrando as curvas de refletância

4.2. Avaliação da regularidade

4.2.1. Uniformidade

Uniformidade das áreas estampadas (U_1)

A Uniformidade (U_1), das áreas coloridas (5,5 cm X 7,5 cm), estampada na DDP Tourmaline, foi calculada em função do ΔE^* . Quanto menor seu valor, menor a diferença entre duas cores:

$$\Delta E_i^* = \sqrt{(\Delta L_i^*)^2 + (\Delta a_i^*)^2 + (\Delta b_i^*)^2} \quad (4-6)$$

Sendo $i = 1$ a 4 , os valores de medição em quatro pontos da mesma área estampada e ΔL_i^* , Δa_i^* e Δb_i^* , as diferenças calculadas entre a média das 4 medições (L_m^* , a_m^* e b_m^*) e as medições individuais (L_i^* , a_i^* e b_i^*), e:

$$U_1 = \frac{1}{4} \sum_i \Delta E_i^* \quad (4-7)$$

A tabela 6 mostra os valores da uniformidade U_1 , por cor, nas três posições medidas. Os valores na posição “centro”, na maioria das vezes (54%), apresentou desvios menores, indicando que na posição central a cor da amostra é mais uniforme que os observados ao lado direito (33%). O lado esquerdo (13%) apresentou a pior uniformidade de cor.

O nível de uniformidade U_1 das áreas estampadas pode ser considerado satisfatório, uma vez que todos os valores de ΔE^* encontrados estão abaixo do limite de perceptibilidade ($\Delta E^* < 0,5$), ou seja, as não-uniformidades medidas não podem ser percebidas visualmente.

Tabela 6. : Valores da uniformidade U1

	Esquerda	Centro	Direita
N30	0,10	0,05	0,03
N55	0,12	0,07	0,07
N80	0,11	0,12	0,33
5R6	0,18	0,16	0,11
5YR	0,10	0,12	0,15
5Y8	0,25	0,12	0,26
5GY	0,18	0,13	0,16
5G7	0,19	0,10	0,19
5B7	0,13	0,06	0,11
5P5	0,22	0,08	0,20
5Y4	0,14	0,08	0,09
5G4	0,08	0,06	0,04
5B4	0,16	0,05	0,07
5P4	0,25	0,09	0,08
5R4	0,07	0,06	0,05
MÉDIA	0,15	0,09	0,13

Uniformidade pela largura do tecido (U_2)

A Uniformidade (U_2), em relação à largura do tecido, foi calculada pelo valor ΔE^* entre o lado esquerdo e o centro (EC), o lado direito e o centro (CD) e entre as laterais (ED) sendo, desta forma:

$$U_2 = \Delta E_{EC}^* \text{ ou } U_2 = \Delta E_{CD}^* \text{ ou } U_2 = \Delta E_{ED}^* \quad (4-8)$$

E:

$$\Delta E_{EC}^* = \sqrt{(\Delta L_{EC}^*)^2 + (\Delta a_{EC}^*)^2 + (\Delta b_{EC}^*)^2} \quad (4-9)$$

As diferenças (ΔL_{EC}^* , Δa_{EC}^* e Δb_{EC}^*) foram calculadas entre a média das 4 medições no lado esquerdo (L_E^* , a_E^* e b_E^*), e a média das 4 medições no meio (L_C^* , a_C^* e b_C^*). De modo semelhante para as duas outras diferenças.

Teve por objetivo verificar, através da diferença de cor (ΔE^*), se essas diferenças entre EC, ou CD, ou ED, apresentariam tendência. Foram analisados também os valores de ΔL^* . Avaliou-se ainda a possibilidade de existência de tendência entre os quatro perfis utilizados.

Na tabela 7, é apresentada a média de todas as cores, por perfil, a uniformidade U_2 e a diferença ΔL^* de luminosidade entre as três posições medidas (veja detalhes por cor em Anexo A).

Tabela 7.: Valores da uniformidade U2

	ΔE^*_{EC}	ΔE^*_{CD}	ΔE^*_{ED}	ΔL^*_{EC}	ΔL^*_{CD}	ΔL^*_{DE}
Perfil A1	0.88	0.97	0.83	-0.49	0.15	0.34
Perfil A2	0.96	0.93	0.90	-0.19	0.43	-0.24
Perfil A3	1.29	1.07	1.31	-1.04	0.25	0.79
Perfil A4	1.21	1.06	0.69	-0.71	0.57	0.14

A falta de uniformidade entre esquerda, centro e direita é bem significativa, porque apresenta valores próximos e até superiores ao dobro do valor do limite de *perceptibilidade* ($\Delta E^* < 0,5$), ficando em torno de $\Delta E^* = 1$, o *limite de tolerância comercial*.

No caso de tecido tinto, ou seja, com uma só cor, esse valor já significaria uma diferença entre os laterais e o centro inaceitável, porém no caso de um tecido estampado o desenho pode diminuir o desempenho perceptual, tornando assim essas diferenças ainda aceitáveis.

É interessante analisar apenas as diferenças de luminosidade ΔL^* porque guardam relação direta com a quantidade de corante (ou pigmento) depositado no tecido. O centro, quase sempre parece mais claro que nas laterais, mostrando uma quantidade menor de corante/pigmento, o que pode ser atribuído ao funcionamento da cabeça de impressão. Não há uma tendência clara na comparação dos perfis, e seria conveniente continuar a pesquisa nesse sentido, porque isto pode fornecer indicações das vantagens/desvantagens, na comparação dos perfis disponíveis na impressora Tourmaline.

4.2.2. Repetitividade têxtil

A *Repetitividade* (R) é definida como a repetição da cor ao longo do tecido, em função do tempo. Foi analisado o comportamento das coordenadas L^* , a^* e b^* individualmente, para ponto do tecido na largura (E, C e D), por cada cor e cada perfil (veja ANEXO B).

Não foi possível detectar qualquer tendência (drift) ao longo do tecido, sendo aleatórias as variações encontradas. Para facilitar a análise das diferenças por perfil, a repetitividade foi calculada da seguinte maneira:

$$R_j = \frac{1}{4} \sum_i \Delta E_j^* \quad (4-10)$$

Sendo:

$$\Delta R_j = \sqrt{(\Delta L_j^*)^2 + (\Delta a_j^*)^2 + (\Delta b_j^*)^2} \quad (4-11)$$

$j = 1$ a 4 , são os quatro pontos de medição das séries A, B, C e D,

As diferenças são calculadas entre a média de 4 medições e as medições individuais.

Na tabela 7, pode ser observado a *repetitividade* por cor, posição e perfil:

Tabela 8.: Valores de Repetitividade por cor, posição e perfil

N30	E	C	D	Média	N55	E	C	D	Média
Perfil 1	0,30	0,39	0,42	0,37	Perfil 1	0,94	0,92	0,81	0,89
Perfil 2	0,37	0,22	0,27	0,29	Perfil 2	0,64	0,89	0,72	0,75
Perfil 3	0,24	0,38	0,46	0,36	Perfil 3	0,65	0,64	0,56	0,62
Perfil 4	0,30	0,31	0,38	0,33	Perfil 4	0,51	0,56	0,35	0,47
N80	E	C	D	Média	SR6	E	C	D	Média
Perfil 1	0,61	0,78	0,66	0,68	Perfil 1	1,04	1,63	0,97	1,21
Perfil 2	0,68	0,79	0,68	0,72	Perfil 2	0,80	0,91	0,88	0,86
Perfil 3	0,85	0,81	0,56	0,74	Perfil 3	1,01	1,01	0,91	0,98
Perfil 4	0,49	0,42	0,24	0,39	Perfil 4	0,83	1,05	0,89	0,92
SYR	E	C	D	Média	SY8	E	C	D	Média
Perfil 1	2,51	1,87	1,80	2,06	Perfil 1	0,92	0,53	0,88	0,78
Perfil 2	1,14	1,33	1,34	1,27	Perfil 2	0,52	0,54	0,57	0,54
Perfil 3	0,78	0,89	0,98	0,89	Perfil 3	1,05	0,99	0,94	0,99
Perfil 4	1,05	1,23	1,14	1,14	Perfil 4	0,53	0,76	0,94	0,74
SGY	E	C	D	Média	SG7	E	C	D	Média
Perfil 1	0,56	0,49	0,43	0,49	Perfil 1	1,12	1,10	0,78	1,00
Perfil 2	0,57	1,30	1,30	1,06	Perfil 2	0,88	1,26	0,74	0,96
Perfil 3	1,16	1,93	1,02	1,37	Perfil 3	1,13	1,13	0,85	1,04
Perfil 4	1,59	2,10	1,12	1,60	Perfil 4	0,99	1,43	0,93	1,12
SB7	E	C	D	Média	SP5	E	C	D	Média
Perfil 1	1,21	1,13	1,00	1,11	Perfil 1	0,78	0,71	0,78	0,76
Perfil 2	1,04	1,22	0,85	1,04	Perfil 2	0,62	0,59	0,65	0,62
Perfil 3	0,85	0,75	0,51	0,70	Perfil 3	0,68	0,74	0,47	0,63
Perfil 4	0,84	0,95	0,80	0,86	Perfil 4	0,79	0,93	0,66	0,80
SY4	E	C	D	Média	SG4	E	C	D	Média
Perfil 1	0,61	0,47	0,49	0,52	Perfil 1	0,46	0,75	0,70	0,63
Perfil 2	0,48	0,53	0,51	0,51	Perfil 2	0,60	0,83	0,68	0,70
Perfil 3	0,85	0,53	0,69	0,69	Perfil 3	0,85	0,92	1,00	0,92
Perfil 4	0,92	0,64	0,91	0,82	Perfil 4	0,75	0,66	0,87	0,76
SB4	E	C	D	Média	SP4	E	C	D	Média
Perfil 1	0,49	0,77	0,77	0,68	Perfil 1	0,37	0,44	0,49	0,43
Perfil 2	0,69	0,65	0,65	0,66	Perfil 2	0,44	0,50	0,20	0,38
Perfil 3	0,85	1,00	1,17	1,01	Perfil 3	0,59	0,56	0,61	0,59
Perfil 4	0,75	0,70	1,11	0,85	Perfil 4	0,78	0,52	0,19	0,49

SR4	E	C	D	Média
Perfil 1	0,70	0,58	0,59	0,62
Perfil 2	0,79	0,59	0,50	0,63
Perfil 3	0,75	1,69	0,70	1,05
Perfil 4	0,52	0,76	0,43	0,57

E na tabela 9, pode ser observado a *repetitividade* média por posição e perfil:

Tabela 9.: Valores médios por posição e perfil

	R_E	R_C	R_D
Perfil 1	0,84	0,84	0,77
Perfil 2	0,68	0,81	0,70
Perfil 3	0,82	0,93	0,76
Perfil 4	0,78	0,87	0,73

Contra as expectativas, não há diferença significativa entre os perfis. A repetitividade ao longo do tecido fica na mesma ordem de grandeza em comparação com as diferenças das laterais, isto é, em torno da tolerância comercial para a cor de tecidos tintos, mas bem acima do limite de perceptibilidade.

4.2.3. Repetitividade no papel

Na *Repetitividade* foi avaliada a repetição da cor impressa em três momentos distintos:

$$R_j = \frac{1}{3} \sum_i \Delta E_j^* \quad (4-12)$$

Sendo:

$$\Delta R_j = \sqrt{(\Delta L_j^*)^2 + (\Delta a_j^*)^2 + (\Delta b_j^*)^2} \quad (4-13)$$

$j = 1$ a 3 , são as três repetições de impressão e as diferenças calculadas entre a média das 3 medições e as medições individuais.

Em seguida temos na tabela 10 a *Repetitividade* em processos de impressão no papel (Ver detalhes no ANEXO C).

Tabela 10.: Valores Repetitividade em processos de impressão no papel

	INKJET	LASER	CERA
N30	0,06	0,13	0,14
N55	0,09	0,35	0,07
N80	0,17	0,17	0,12
5R6	0,11	0,77	0,31
5YR	0,32	0,50	0,48
5Y8	0,18	0,21	0,28
5GY	0,27	0,44	0,27
5G7	0,14	0,33	0,14
5B7	0,34	0,35	0,34
5P5	0,32	0,52	0,31
5Y4	0,17	0,15	0,19
5G4	0,14	0,27	0,26
5B4	0,14	0,40	0,16
5P4	0,18	0,52	0,19
5R4	0,27	0,10	0,23
MÉDIA	0,19	0,35	0,23

Foram realizados os testes estatísticos abaixo, mostrados na tabela 11 e 12, para verificar a existência de diferenças significativas.

Tabela 11.: Resumo dos dados estatísticos

RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
INKJET	15	2,909756	0,193984	0,007698
LASER	15	5,223178	0,348212	0,034011
CERA	15	3,506692	0,233779	0,010972

Tabela 12.: Cálculo de Análise de Variância:

ANOVA (fator único)						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,192324	2	0,096162	5,475986	0,007704	3,219942
Dentro dos grupos	0,737548	42	0,017561			
Total	0,929872	44				

Teste de TUKEY com $q=3,44$ e a diferença mínima significativa (DMS) = 0,11756:

Tabela 13.: Resultados do teste de TUKEY

	INKJET	LASER	CERA
INKJET	-	0,11756	0,11756
LASER	0,15423*	-	0,11756
CERA	0,0398	0,11443	-

Como o p-valor foi de 0,00770 constatamos que há diferença de cor. O teste de TUKEY mostra na tabela 13, que a impressão LASER é significativamente diferente da impressão INKJET.

A repetitividade da impressão no papel é bem melhor do que no processo têxtil, ficando no limite da perceptibilidade ($\Delta E^* < 0,5$), Apenas o processo laser mostra algumas cores (por ex. 5R6, 5YR, 5P5 e 5P4) com baixos níveis de repetitividade. Entre os três processos investigados, na média de todas as cores, o pior comportamento ficou para o processo de impressão Laser, confirmado pelo teste de TUKEY.

4.2.4.

Reprodutibilidade entre valores nominais e reais

A *reprodutibilidade* mostra a diferença de cor entre valores nominais e reais, ou entre processos/equipamentos diferentes reproduzindo os mesmos valores nominais.

A equação

$$\Delta E_{NR}^* = \sqrt{(\Delta L_{NR}^*)^2 + (\Delta a_{NR}^*)^2 + (\Delta b_{NR}^*)^2} \quad (4-14)$$

apresenta a reprodutibilidade entre valores nominais e reais, em que ΔL_{NR}^* é a diferença entre os valores de L^* nominais e L^* reais, e analogamente para Δa_{NR}^* e Δb_{NR}^* .

Para que tenha uma visão geral das diferenças espectrais são apresentadas no ANEXO D as curvas de refletância para o valor “nominal”. Entende-se por valor nominal aqueles obtidos das amostras originais MUNSELL, em comparação com as reproduções do processo têxtil e dos três processos papel. Um exemplo é a figura 130, que mostra a cor Munsell 5P 5/10, código 5P5:

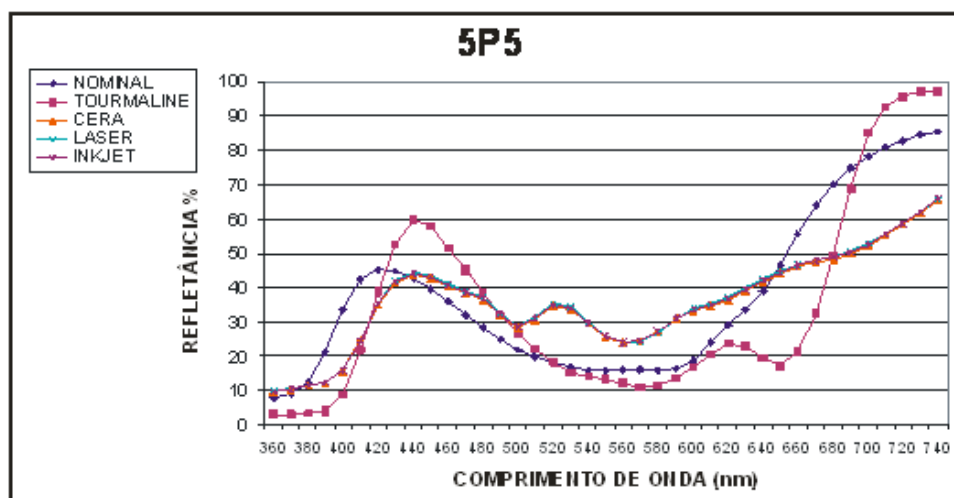


Figura 130.: Diferenças espectrais para a cor 5P5

Algumas conclusões gerais podem ser obtidas das curvas de refletância. É surpreendente como as três curvas dos processos papel são quase iguais, e isso vai ser analisado em mais detalhes no capítulo 5.2.5. Contudo, essas três curvas são bem diferentes da original MUNSELL. São composições bem diferentes se comparadas as combinações de tintas/laser/cera CMYK com a composição dos pigmentos das amostras MUNSELL. Sem o gerenciamento adequado de cores elas se apresentam muito diferentes, mas ainda que se utilizasse o melhor gerenciamento possível restaria um forte grau de metameria. Este é um dos aspectos a serem pesquisados com mais detalhe futuramente.

O processo têxtil trabalha com 8 tintas, ao contrário das 4 cores do sistema CMYK o que possibilita mais flexibilidade na reprodução das cores originais. No caso têxtil, a curva fica mais similar, com menos metameria quando comparada com a original embora ainda com uma diferença significativa decorrente da falta de um sistema de gerenciamento.

Para poder melhorar a reprodutibilidade é preciso adquirir um espectrofotômetro compatível com a impressora Tourmaline e um o software de gerenciamento para poder fazer todo o processo de re-calibração. Este é outro tema para ser pesquisado no futuro.

A tabela 14 mostra os resultados de *reprodutibilidade* entre os valores nominais no Photoshop (P) e os valores reais têxtil da Tourmaline (T), laser (L), ink-jet (I) e cera (C):

Tabela 14.: Valores Repetitividade em processos de impressão no papel

MUNSELL	CÓDIGO	ΔE^*TP	ΔE^*IP	ΔE^*LP	ΔE^*CP
N3.0	N30	5.81	15.58	15.62	15.64
N5.5	N55	8.57	9.36	9.25	9.21
N8.0	N80	8.02	7.19	7.48	7.43
5R 6/12	5R6	18.44	17.82	17.25	17.21
5YR 7/12	5YR	10.20	21.18	21.19	20.89
5Y 8.5/12	5Y8	8.82	23.40	23.57	23.22
5GY 8.5/10	5GY	6.77	27.85	27.68	27.43
5G 7/10	5G7	18.29	24.25	24.20	24.06
5B 7/8	5B7	22.99	15.81	15.77	16.07
5P 5/10	5P5	16.95	23.35	23.43	23.38
5Y 4/4	5Y4	12.16	9.42	9.49	9.50
5G 4/4	5G4	5.67	11.26	11.37	11.31
5B 4/4	5B4	19.61	14.65	14.62	14.55
5P 4/4	5P4	14.88	16.59	16.44	16.43

São valores com ΔE^* muito elevados compatíveis com as grandes diferenças mostradas nas curvas de refletância. Ficou comprovado que, sem um programa de gerenciamento de cores não há como reproduzir valores nominais em impressões têxteis ou em papel.

4.2.5. Reprodutibilidade entre os três processos papel

Essa *reprodutibilidade*, tabela 15, mostra a diferença de cor entre valores nominais e reais, ou entre processos/equipamentos diferentes, reproduzindo os mesmos valores nominais.

Por exemplo: $\Delta E_{IL}^* = \sqrt{(\Delta L_{IL}^*)^2 + (\Delta a_{IL}^*)^2 + (\Delta b_{IL}^*)^2}$ é a reprodutibilidade entre Ink-jet e Laser.

Tabela 15.: Valores Reprodutibilidade nos 3 processos de impressão no papel

REPRODUTIBILIDADE processos papel				
MUNSELL	CÓDIGO	ΔE^*IL	ΔE^*LC	ΔE^*IC
N3.0	N30	0.16	0.24	0.20
N5.5	N55	0.16	0.09	0.21
N8.0	N80	0.31	0.10	0.29
5R 6/12	5R6	0.78	0.61	0.62
5YR 7/12	5YR	0.23	0.30	0.34
5Y 8.5/12	5Y8	0.31	0.48	0.30
5GY 8.5/10	5GY	0.29	0.46	0.48
5G 7/10	5G7	0.11	0.23	0.29
5B 7/8	5B7	0.13	0.33	0.37
5P 5/10	5P5	0.11	0.14	0.11
5Y 4/4	5Y4	0.26	0.27	0.10
5G 4/4	5G4	0.23	0.24	0.11
5B 4/4	5B4	0.25	0.34	0.29
5P 4/4	5P4	0.35	0.51	0.32
5R 4/4	5R4	0.33	0.87	0.54
	Média	0.27	0.35	0.31

A *reprodutibilidade* entre os três processos é excelente, pois fica na mesma ordem de grandeza da *repetitividade* (ver 4.2.3), em torno do limite de *perceptibilidade* e isso sem qualquer gerenciamento de cores. Apenas algumas cores (5R 6/12, 5 R 4/4) mostram reprodutibilidade com valores altos.

4.2.6. Reprodutibilidade entre os processos têxtil e papel

Os valores de reprodutibilidade (tabela 16) entre o processo têxtil e os três processos papel são muito elevados conforme indicado pelas grandes diferenças mostradas nas curvas de refletância. Aqui também ficou comprovado que sem um programa de gerenciamento de cores não há como reproduzir as cores da impressora têxtil em papel, com processos convencionais CMYK.

Tabela 16.: Mostra a reprodutibilidade entre os processos têxtil e papel

MUNSELL	CÓDIGO	ΔE^*_{IT}	ΔE^*_{LT}	ΔE^*_{CT}
N3.0	N30	20,19	20,26	20,24
N5.5	N55	17,10	17,01	16,95
N8.0	N80	8,95	9,09	9,00
5R 6/12	5R6	28,79	28,67	28,26
5YR 7/12	5YR	31,04	31,03	30,75
5Y 8.5/12	5Y8	31,88	32,04	31,71
5GY 8.5/10	5GY	31,24	31,10	30,84
5G 7/10	5G7	15,78	15,82	15,80
5B 7/8	5B7	27,25	27,13	27,20
5P 5/10	5P5	35,40	35,50	35,41
5Y 4/4	5Y4	15,46	15,68	15,52
5G 4/4	5G4	16,12	16,26	16,17
5B 4/4	5B4	21,57	21,55	21,76
5P 4/4	5P4	20,10	20,11	20,12
5R 4/4	5R4	28,51	28,67	28,31