

**Lincoln da Cunha Lopes**

**Controle metrológico da cor aplicado à  
Estamparia digital de materiais têxteis**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Metrologia. Área de Concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação.

Orientadores: Prof. Robert Hirschler, PhD  
Prof. Maurício Nogueira Frota, PhD

Rio de Janeiro, setembro de 2009



**Lincoln da Cunha Lopes**

## **Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Robert Hirschler, PhD**

Orientador  
SENAI

**Antonio José Junqueira Botelho**

PUC-Rio

**Carlos Roberto Hall Barbosa**

PUC-Rio

**José Leonardo Ribeiro Macrini**

Instituto de Estudos em Saúde Coletiva

**José Eugênio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de setembro de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Lincoln da Cunha Lopes**

Graduou-se em Engenharia Industrial Têxtil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ – Faculdade SENAI-CETIQT, em 1980. Engenheiro do Laboratório de Colorimetria e Professor do SENAI-CETIQT desde 1985.

Ficha Catalográfica

Lincoln da Cunha Lopes

Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis / Lincoln da Cunha Lopes; Orientador: Robert Hirshler, PhD; Co-orientador: Mauricio Nogueira Frota, PhD-2009.

142 f.: il. (color); 30 cm

Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Metrologia – Teses. 2. Medição. 3. Espectrofotometria de Refletância. 4. Colorimetria. 5. Estamperia Digital Têxtil. 6. Uniformidade. 7. Repetitividade. 8. Reprodutibilidade. I Robert Hirshler. II Mauricio Nogueira Frota. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. IV. Título.

CDD: 389.1

Dedico este trabalho ao Diretor Geral do SENAI-CETIQT

Professor Alexandre Figueira Rodrigues.

## Agradecimentos

A DEUS, meu fôlego de vida.

A minha esposa Vera Lucia Leal Duarte, pelo apoio constante e compreensão.

Aos Organizadores do convênio entre as instituições, Senai-Cetiqt e PUC-Rio, que assim fomentam o crescimento científico em nosso País.

Aos Professores Orientadores, Robert Hirschler e Maurício Nogueira Frota, pelo conhecimento transmitido e incansável dedicação.

Aos membros da Comissão Examinadora por aceitarem revisar o trabalho e pelas valiosas sugestões.

A todo corpo Docente e Funcionários da Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio.

Aos colegas do Laboratório de Colorimetria pelo do SENAI-CETIQT, pelo apoio e incentivo.

A todos que de alguma forma colaboraram com este trabalho.

## Resumo

Lopes, Lincoln da Cunha; Frota, Maurício Nogueira **Controle metrológico da cor aplicado à estampa digital de materiais têxteis**. Rio de Janeiro, 2009. 142p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O **objetivo** da presente Dissertação é identificar carências na gestão do perfil de cor em processos de estampa digital têxtil. Em particular na compatibilização do input de cor submetido à impressora e a resposta desejada. Assim, constituíram **motivação** para o desenvolvimento desta pesquisa (i) analisar a reprodução de cor a partir do desenho no programa do computador até a estampa final; (ii) melhorar a qualidade dos produtos têxteis em função da maior uniformidade de cor; (iii) diminuir custo com artigos fora de especificação; (iv) minimizar erro no processamento das informações do cliente. No **contexto** de uma iniciativa pró-ativa do SENAI-CETIQT de se antecipar a uma necessidade mercadológica para identificar carências na preparação de perfis de cor para impressão em estampa têxtil digital, foi aplicada a seguinte **metodologia**: (i) identificação dos parâmetros interdependentes por meio de séries de medições espectrofotométricas de estampas produzidas digitalmente; (ii) avaliação do desvio de cor em relação à largura do tecido, (iii) avaliação do desvio de cor em relação ao comprimento do tecido; (iv) avaliação do desvio de cor de impressoras digitais jato de tinta, jato de cera e laser; (v) avaliação metrológica e estatística das medições. Dentre os **resultados** da pesquisa destacam-se (i) o cálculo da uniformidade em áreas em tecido estampados digitalmente; (ii) determinação da variação de cor na largura do tecido; (iii) repetitividade de cor no comprimento do tecido; (iv) repetitividade de cor sobre papel, utilizando tecnologias jato de tinta, cera e laser; (iv) reprodutibilidade entre os valores nominais e os obtidos por espectrofotometria de refletância. Como **conclusão** tem-se que a impressora digital têxtil foi validada para a aplicação a que se destina, com base em sua boa uniformidade e boa repetitividade. O software do equipamento não permite muitas variações de parâmetros de cor, conseqüentemente não foram observadas mudanças significativas na qualidade do substrato têxtil estampado.

## Palavras-chave

Metrologia, Estampa Têxtil Digital, Colorimetria, Espectrofotômetro de

refletância.

## Abstract

Lopes, Lincoln da Cunha; Frota, Maurício Nogueira. **Metrological control of color in digital textile printing**. Rio de Janeiro, 2009. 142p. MSc. Dissertation – Programa de Pós Graduação em Metrologia, Qualidade e inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The **objective** of this dissertation is to identify deficiencies in the management of the color profile in cases of digital textile printing. In particular the compatibility of the input color printer and submitted to the desired response. So, were **motivation** for the development of this research (i) analyze the color reproduction from the drawing in the computer program until the final pattern, (ii) improve the quality of textiles due to the greater color uniformity, and (iii) lower cost items out of specification (iv) minimize error in the processing of customer information. In the **context** of a proactive initiative of SENAI-CETIQT to anticipate a need to identify marketable shortcomings in the preparation of color profiles for printing in digital textile printing. It was applied the following **methodology**: (i) identification of interdependent parameters through a series of spectrophotometer measurements of digitally produced prints, (ii) evaluation of the color shifting in the width of the fabric, (iii) assessment of the color shifting in relation to length of tissue, (iv) assessing the deviation of color digital printers inkjet, laser and wax, (v) evaluation measurements and statistical measurements. Among the search **results** are (i) the calculation of uniformity in areas digitally printed fabric, (ii) determining the color variation in the width of fabric, (iii) repeatability of color in the length of the tissue, (iv) repeatability color on paper, using ink jet technology, wax and laser (iv) reproducibility between nominal values and those obtained by reflectance spectrophotometer. As a **conclusion**, that the copier has been validated for the intended application on the basis of their good uniformity, good repeatability and good reproducibility. The product software does not allow many variations of color parameters, therefore there were no significant changes in the quality of the printed textile substrate.

## Keyword

Metrology, Digital textile printing, Colorimetric, Reflectance, Spectrophotometer.

## Sumário

1	Introdução	20
1.1.	Contexto e definição do problema	20
1.2.	Objetivos	20
1.3.	Motivação	21
1.4.	Metodologia	21
1.5.	Estrutura da dissertação	21
2	Fundamentos da colorimetria	24
2.1.	A cor ao nível físico	25
2.1.1.	Composição da luz	25
2.1.2.	Curvas de distribuições de refletância espectrais	35
2.2.	A cor ao nível psicofísico	41
2.2.1.	O Sistema visual humano e a percepção de cor	41
2.2.2.	O observador padrão	43
2.2.3.	Mistura aditiva de cores	45
2.2.4.	Mistura partitivas de cores	47
2.3.	A cor ao nível psicométrico	48
2.3.1.	O experimento de MacAdam	48
2.3.2.	O espaço colorimétrico CIELAB	50
2.4.	A cor ao nível perceptual	53
2.4.1.	O sistema Munsell	53
2.4.2.	Outros sistemas	56
2.5.	Métodos de avaliação por colorimetria	58
2.5.1.	Métodos Visuais	59
2.5.2.	Métodos Instrumentais	59
2.5.3.	Potencial do método espectrofotométrico	63
3	Fundamentos da Estamparia Digital	67
3.1.	O sistema jato de tinta na estamparia digital	70
3.1.1.	O sistema jato de tinta contínuo	73
3.1.2.	O sistema jato de tinta Intermitente	76
3.2.	Equipamentos para estamparia digital têxtil	84
3.2.1.	Impressoras digitais	85



3.2.2. Equipamentos para pré e pós-tratamento	91
3.3. Processos químico têxteis	95
3.3.1. Processos no pré-tratamento	96
3.3.2. Tintas têxteis	102
3.3.3. Processos no pós-tratamento	106
4 Controle metrológico da cor pelo método espectrofotométrico	109
4.1. A caracterização do trabalho experimental	109
4.2. Avaliação da regularidade	118
4.2.1. Uniformidade	119
4.2.2. Repetitividade têxtil	121
4.2.3. Repetitividade no papel	123
4.2.4. Reprodutibilidade entre valores nominais e reais	125
4.2.5. Reprodutibilidade entre os três processos papel	127
4.2.6. Reprodutibilidade entre os processos têxtil e papel	128
5 Conclusões e recomendações	131

Figura 1. — O espectro eletromagnético. (Fonte: modificado de <a href="http://www.outreach.atnf.csiro.au">www.outreach.atnf.csiro.au</a> Acesso em 2009).....	25
Figura 2. — A decomposição da luz branca, surgindo o espectro visível .....	26
Figura 3. — A decomposição do espectro. (a) luz branca, (b) luz azul, (c) luz verde, (d) luz vermelha, (e) luz ciano, (f) luz amarela e (g) luz magenta.....	26
Figura 4. — Distribuição espectral (SPD) de alguns iluminantes.....	27
Figura 5. — Figura 2.5: Localização do radiador de Planck no plano de cromaticidade.....	28
Figura 6. — Figura 2.6: Distribuição espectral de um iluminante A, lâmpada de Tungstênio de 100W .....	29
Figura 7. — Figura 2.7: Distribuição espectral da luz natural .....	29
Figura 8. — Figura 2.8: Distribuição espectral do iluminante D65.....	30
Figura 9. — Figura 2.9: Representação esquemática da re-emissão de UV na faixa visível (o fenômeno da fluorescência).....	30
Figura 10. —Figura 2.10: Uma mesma amostra exposta a diferentes fontes de luz .....	31
Figura 11.— Figura 2.11: Formas como um material pode modificar a luz.....	31
Figura 12.—Figura 2.12: Reflexão difusa e especular em uma superfície opaca	32
Figura 13.— Figura 2.13: Transmitância regular e absorção não-seletiva. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt.....	32
Figura 14.— Figura 2.14: Transmitância difusa não-seletiva, sem absorção. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt.....	32
Figura 15.—Figura 2.15: Transmitância regular e absorção seletiva com filtro azul. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt. ....	34
Figura 16.— Figura 2.16: Transmitância regular e absorção seletiva com filtro vermelho. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt. ....	34
Figura 17.— Figura 2.17: Transmitância regular e absorção seletiva com filtro verde. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt..	35
Figura 18.— Figura 2.18: Transmitância regular e absorção seletiva com filtro amarelo. Fonte: experimentos realizados nos laboratórios do SENAI-Cetiqt. ....	35
Figura 19. — Figura 2.19 Exemplo de curva de refletância de um substrato colorido .....	35
Figura 20. — Curva de refletância de um objeto branco REAL .....	36
Figura 21. — Figura 2.21: Curva de refletância de um objeto preto REAL .....	36

Figura 22. — Figura 2.22: Curva de refletância de um objeto cinza IDEAL.....	36
Figura 23. — Figura 2.23: Metamerismos de Iluminação .....	37
Figura 24. — Figura 2.24: Cores primárias subtrativas nas bordas (ciano, magenta e amarelo) e primárias aditivas nas intercessões (vermelho, verde e azul).....	37
Figura 25. — Figura 2.25: Representação do sistema subtrativo obtida quando os espectro azul e vermelho são filtrados.....	38
Figura 26. — 2.26: Curvas de refletância do amarelo, do ciano e do verde .....	39
Figura 27. — Figura 2.27: Representação do sistema subtrativo filtrando o espectro azul e o verde .....	39
Figura 28. — Figura 2.28: Curvas de refletância do amarelo, do magenta e do vermelho .....	39
Figura 29. — Figura 2.29: Representação do sistema subtrativo filtrando o vermelho e o verde .....	40
Figura 30. — Figura 2.30: Curvas de refletância do amarelo, do magenta e do vermelho .....	40
Figura 31. — Figura 2.31: Reflexão em um pigmento ideal (a) e no pigmento real (b) .....	41
Figura 32. — Figura 2.32: Representação do olho humano, mostrando os cones e bastonetes. Fonte: modificado de <a href="http://www.vision.ime.usp.br">www.vision.ime.usp.br</a> . Acesso em 2009).....	42
Figura 33. —Figura 2.33: Distribuição do nível de sensibilidade dos três tipos de cones da retina.....	42
Figura 34. —Figura 2.34 a e b: Esquema de envio de sinais ao cérebro .....	43
Figura 35. —Figura 2.35: A visão normal e as formas de daltonismo .....	43
Figura 36. —Figura 2.36: Experimentação do triestímulo.....	44
Figura 37. —Figura 2.37: Curvas dos valores triestímulos para observadores de $2^0$ e $10^0$ .....	44
Figura 38. —Figura 2.38: Diagrama de Cromaticidade da CIE. (Schandra, 2007) .....	45
Figura 39. —Figura 2.39: Representação do sistema aditivo de cores.....	45
Figura 40. —Figura 2.40: Combinação de luzes verde/azul (a), vermelho/azul (b) e vermelho/verde (c) .....	46
Figura 41. —Figura 2.41: Reta de mesma luminosidade no Diagrama de Cromaticidade CIE .....	46
Figura 42. —Figura 2.42: Disco de Maxwell estático (a) e em movimento (b) ....	47
Figura 43. — Fig 2.43: Fibras antes da mistura (a) e após mistura íntima (b) ....	48

Figura 44. —Figura 2.44: Elipses de MacAdam mostrando a variação de cromaticidade.....	49
Figura 45. —Figura 2.45: Elipsóides de MacAdam-Brown no espaço xyY .....	50
Figura 46. —Figura 2.46: Diagrama de cromaticidade. (Fonte: modificado de [www.efg2.com/lab].....	51
Figura 47. — Figura 2.47: O espaço CIELAB.....	51
Figura 48. —Figura 2.48: Representação tridimensional do Sistema Munsell....	53
Figura 49. —Figura 2.49: Representação do círculo de tonalidade.....	54
Figura 50. —Figura 2.50: Sistema Munsell de ordenação de cores .....	54
Figura 51. —Fig 2.51: Representação do círculo de tonalidade de Munsell.....	55
Figura 52. —Fig 2.52: Folhas do livro de cores de Munsell (Munsell Book of Colors) .....	55
Figura 53. — Figura 2.53: Conceito do sistema Oswald e NCS .....	56
Figura 54. —Figura 2.54: Representação do círculo de tonalidade NCS .....	56
Figura 55. — Representação tridimensional das cores do sistema NCS.....	57
Figura 56. — Figura 2.56: Círculo de tonalidades de Goethe (a) e de Chevreul (b) .....	57
Figura 58. — Figura 2.57: Círculo cromático de Itten (a) e de Feisner (b).....	58
Figura 59. — Figura 2.58: Círculo cromático para aquarela e trabalhos na web, respectivamente.....	58
Figura 60. — Figura 2.59: Círculo de tonalidade para organizar cores do jardim. ....	58
Figura 61. —Figura 2.60: Colorímetro e os valores CIE L*a*b* .....	60
Figura 62. — Figura 2.61: Diagrama esquemático de funcionamento de um espectrofotômetro .....	61
Figura 63. — Figura 2.62: Geometrias padronizadas recomendadas pela CIE para os espectrofotômetro .....	61
Figura 64. — Figura 2.63: Diagrama esquemático de um espectrofotômetro com esfera de integração e utilização de especularidade incluída ou excluída..	62
Figura 65. — Figura 2.64: – Curva de distribuição da refletância espectral de três objetos .....	63
Figura 66. —Figura 3.1: Block Printing indiano, onde originalmente eram usadas 3 cores: a raiz da Garancina, para vermelho,o óxido de ferro, para preto e o Índigo para o Azul .....	67
Figura 67. — Figura 3.2: Saguão da empresa Milliken com carpete e tapete produzido no sistema Millitron .....	70

Figura 68. — Figura 3.3: Impressão com pontos de área constante (a) e com área variável. ....	71
Figura 69. — Figura 3.4: Formato de orifícios de saída de diversos fabricantes. (Fonte: modificado de <a href="http://www.chipworks.com">www.chipworks.com</a> Acesso em 2009) .....	71
Figura 70. — Figura 3.5: Imagem ampliada do orifício da cabeça Spectra-M ....	72
Figura 71. — Figura 3.6: Esquema de classificação da tecnologia de impressão jato de tinta .....	72
Figura 72. — Figura 3.7: Cabeça de impressão com eletrodos de carga e placas de deflexão .....	73
Figura 73. — Figura 3.8: Esquema de funcionamento de um mecanismo piezoelétrico .....	74
Figura 74. — Figura 3.9: Esquema de cabeça de impressão com mecanismo de deflexão binária.....	74
Figura 75. — Figura 3.10: Esquema de cabeça de impressão com mecanismo de deflexão múltipla .....	75
Figura 76. — Figura 3.11: Esquema de cabeça de impressão com sistema Hertz .....	75
Figura 77. — Figura 3.12: Esquema de cabeça com mecanismo de excitação térmica .....	76
Figura 78. — Figura 3.13: Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico na parede.....	76
Figura 79. — Figura 3.14: Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo Deformação.....	77
Figura 80. — Figura 3.15: Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo Deformação Xaar .....	77
Figura 81. — Figura 3.17: Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo Pressão .....	78
Figura 82. — Figura 3.18: Esquema de cabeça com transdutor piezoelétrico modo Compressão.....	78
Figura 83. — Figura 3.19: Esquema de cabeça Piezoelétrico modo Vibração de Saída .....	79
Figura 84. — Figura 3.20: Esquema de cabeça Piezoelétrico modo Membrana Porosa. ....	79
Figura 85. — Figura 3.21: Esquema de cabeça térmica do tipo Acionamento Superior .....	80
Figura 86. — Figura 3.22: Esquema de cabeça térmica do tipo Acionamento Lateral.....	80

Figura 87. — Figura 3.23: Esquema de cabeça térmica do tipo Acionamento Inferior.....	81
Figura 88. — Figura 3.24: Esquema de cabeça térmica do tipo Multi Aquecimento. ....	81
Figura 89. — Figura 3.25: Esquema de cabeça térmica do tipo Acionamento Superior Sony .....	81
Figura 90. — Figura 3.26: Esquema de cabeça térmica do tipo Aquecimento Flutuante.....	81
Figura 91. — Fig 3.27: Esquema de cabeça térmica do tipo Elemento Móvel....	82
Figura 92. —Figura 3.28: Esquema de cabeça DOD do tipo Eletrostático. ....	82
Figura 93. — Figura 3.29: Esquema de cabeça DOD do tipo Acústico. ....	83
Figura 94. —Figura 3.30: Esquema de cabeça DOD do tipo Termomecânico. .	83
Figura 95. — Figura 3.31: Esquema de cabeça DOD do tipo Eletro-hidro-dinâmico.....	83
Figura 96. — Figura 3.32: Esquema de cabeça DOD do tipo Tensão superficial	84
Figura 97. — Figura 3.34: Máquina de estampar digital MIMAKI Tx3-1600 Textile Jet.....	86
Figura 98. — Figura 3.35: Máquina digital marca Reggiane Macchine, modelo DReAM .....	87
Figura 99. — Figura 3.36: Máquina de estampar digital marca Dupont, modelo Artistri.....	87
Figura 100. — Figura 3.37: Máquina de estampar digital marca Ichinose, modelo IP-2/2030. ....	88
Figura 101. —Figura 3.38: Máquina Konica-Minolta, modelo Nassenger 7 TX .	88
Figura 102. — Figura 3.39: Máquina de estampar digital marca Robustelli, modelo MonnaLisa.....	88
Figura 103. — Figura 3.40: Máquina de estampar digital marca Osiris, modelo Isis. ....	89
Figura 104. — Figura 3.41: Vista de entrada do tecido na Máquina de estampar COLARIS.....	89
Figura 105. — Figura 3.42: Vista de saída do tecido na Máquina de estampar COLARIS. ....	90
Figura 106. — Figura 3.43: Máquina de estampar digital marca STORK, modelo Tourmaline.....	90
Figura 107. — Fluxo do processo de impressão digital.....	92
Figura 108. — Figura 3.44: Máquina Rama modelo MS-Ministenter da marca MS-Italy.....	92

Figura 109. — Figura 3.45: Vaporizador contínuo modelo MS-Vapo Cont 15 SC da marca MS-Italy.....	93
Figura 110. — Figura 3.46: Máquina para lavagem contínua modelo MS-Waster da marca MS-Italy.....	93
Figura 111. — Figura 3.47: Máquina Lavadora/ Impregnadora contínua modelo Wash-X da marca Rimslow.....	94
Figura 112. — Figura 3.48: Passamento de tecido na Rimslow Wash-X, como Impregnadora contínua.....	94
Figura 113. — Figura 3.49: Passamento de tecido na Rimslow Wash-X, como Lavadora contínua.....	95
Figura 114. — Figura 3.50: Vaporizador contínuo Rimslow Steam XL-1850.....	95
Figura 115. — Figura 3.51: Importância do Espessante no Pré-tratamento.....	97
Figura 116. — Figura 3.53: Formulação típica de matéria corante utilizada na DDP.....	103
Figura 117. — Figura 3.54: Representação esquemática da ligação covalente celulose-corante reativo.....	105
Figura 118. — Figura 3.55: Estrutura molecular plana do corante ácido Amarelo 23.....	105
Figura 119. — Figura 3.56: Estrutura molecular plana do corante disperso Vermelho 60.....	106
Figura 120. — Figura 4.1: Espectrofotômetro de bancada Minolta modelo CM-3720d.....	110
Figura 121. — Figura 4.2: Certificado de calibração e caixa de 12 azulejos calibrados pelo NPL.....	110
Figura 122. — Figura 4.4: Coleção Munsell com as cores escolhidas.....	114
Figura 123. — Figura 4.5: SpectraMatch, software do Minolta 3720d, com os parâmetros de medição.....	114
Figura 124. — Figura 4.7: Organização das cores no PhotoShop v.CS2.....	116
Figura 125. — Figura 4.8: Máquina de estampar digital marca Stork, modelo Tourmaline.....	116
Figura 126. — Figura 4.9: Telas do programa Stork Job Editor.....	117
Figura 127. — Figura 4.10: Telas de seleção de perfil do programa Stork Job editor.....	117
Figura 128. — Figura 4.11: Tela do software SpectraMatch, mostrando as curvas de refletância.....	118
Figura 129. — Figura 4.17: Diferenças espectrais para a cor 5P5.....	126