

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUE OCASIONAM A VARIAÇÃO DE
TONALIDADE UTILIZANDO A TÉCNICA DE DECORAÇÃO POR CILINDROS
DE SILICONE GRAVADOS A LASER

Fabio Ferraço

São Carlos
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUE OCASIONAM A VARIAÇÃO DE
TONALIDADE UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE DECORAÇÃO POR
CILINDROS DE SILICONE GRAVADOS A LASER

Fabio Ferraço

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de
Materiais como requisito parcial à
obtenção do título de DOUTOR EM
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientador: Dr. Anselmo Ortega Boschi

Agência Financiadora: CNPq

São Carlos

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F368iv Ferrazzo, Fabio
Identificação das variáveis que ocasionam a
variação de tonalidade utilizando a técnica de
decoração por cilindros de silicone gravados a laser
/ Fabio Ferrazzo. -- São Carlos : UFSCar, 2016.
246 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2015.

1. Revestimentos cerâmicos. 2. Variação de
tonalidade. 3. Decoração. 4. Incisão a laser. 5.
Cilindros de silicone. I. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, minha irmã e minha esposa.

VITAE DO CANDIDATO

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSCar (1998); Graduado em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSCar (1995)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Fabio Ferraço, realizada em 30/11/2015:

Prof. Dr. Anselmo Ortega Boschi
UFSCar

Prof. Dr. João Baptista Baldo
UFSCar

Prof. Dr. Márcio Raymundo Morelli
UFSCar

Profa. Dra. Ana Paula Margarido Menegazzo
CCB

Prof. Dr. Eduardo Quinteiro
UNIFESP

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por todas as oportunidades, dificuldades e problemas colocados em minha vida; agradeço pela força, solidez e perseverança para conseguir superá-los.

Aos meus pais, Domingos e Teresa; por terem me mostrado o caminho, ensinado o correto e fornecido toda a base moral para me tornar um homem de bem. Pelas broncas, carinhos e afetos e todos os ensinamentos do que é a vida. Agradeço por terem confiado em mim. À minha irmã, simplesmente por ser minha irmã; e isso já diz tudo. Obrigado pelo apoio sempre.

Não existe modo de agradecer à minha esposa, pois tudo o que colocasse aqui seria insuficiente frente ao amor, carinho, apoio, indicações, correções, paciência, orientações, entendimento, dedicação, tempo e tudo o mais que ela me proporciona e que me faz amá-la por tudo o que ela é e pelo homem melhor que ela me faz ser. Agradecer-te-ei pela eternidade, amo você.

Ao meu professor, amigo e orientador Prof. Dr. Anselmo Ortega Boschi; inicialmente por me aceitar como seu aluno, pela paciência, por aceitar e compreender meu modo de trabalho, minhas falhas e meus esforços; pelas orientações sempre certas e precisas; pelos momentos de conversas informais que de um modo ou de outro, sempre acabam em ensinamentos. Este é seu dom. Fica aqui não só meus agradecimentos como minha admiração e a satisfação de poder ter a oportunidade de trabalhar contigo e poder tê-lo como amigo.

Aos amigos Silvio, Ricardo e Luciano, respectivamente; da Cerâmica ARTEC, da Zschimmer & Schwarz do Brasil e da ENDEKA do Brasil por terem disponibilizado as matérias primas e insumos para o desenvolvimento deste trabalho, pelas conversas e discussões técnicas e pela amizade verdadeira.

Ao Sr. Ruben Mesas e a todos os amigos da System Brasil Ltda., por disponibilizar toda a infraestrutura da empresa para que os testes necessários pudessem ser realizados.

RESUMO

Um dos principais problemas na produção de placas cerâmicas para revestimento é a variação de tonalidade. A determinação de sua origem dentro de todo o processo de produção e a minimização de sua ocorrência pelo fabricante é fundamental. Em 2014 a produção foi de 903,3 milhões de metros quadrados, com estimativa para 2015 de 969,3 milhões de metros quadrados, o que justifica a realização de estudos sobre variação de tonalidades em linhas de produção de revestimentos cerâmicos. Para a execução deste trabalho, algumas variáveis serão fixadas sem qualquer prejuízo na veracidade dos resultados que se pretende obter, mesmo porque algumas delas já são inerentes ao fluxo de desenvolvimento de produtos: tinta (formulação); tipo de esmalte e engobe, características do cilindro de decoração (tipo de silicone, incisões, dimensão do cilindro), desenho base, ajustes (*set up*) do equipamento de decoração e condição de operação. As variáveis testadas foram: densidade e viscosidade da tinta serigráfica; temperatura do suporte cerâmico; velocidade de produção; pressão do cilindro sobre a peça; pressão da lâmina sobre o cilindro; ângulo de ataque da lâmina e umidade superficial do suporte. Foi observado que as variáveis densidade e viscosidade; velocidade de decoração e variação da altura da lâmina sobre o cilindro são as que mais afetam o fator de variação de tonalidade dentro de uma produção. Para os três casos estudados, nenhuma das incisões apresentou o preenchimento e a formação de pontos com a geometria esperada e desejada para uma decoração ideal (pontos esféricos ou em elipse) em nenhuma das variáveis testadas. Em todos os casos existe um ponto máximo atingido pela variável estudada, o qual proporcionou uma melhor descarga e conseqüentemente uma melhor decoração. Em cada faixa de tons estudado existe uma combinação de variáveis que melhor realiza a deposição de pontos sobre o esmalte.

IDENTIFICATION OF THE VARIABLES THAT LEAD TO HUE VARIATION USING THE LASER ENGRAVING SILICON CYLINDER TECHNIC DECORATION

ABSTRACT

A major problem in the production of ceramic tiles for coating is the variation of tonality. The determination of their origin within the entire production process and to minimize its occurrence by the manufacturer is essential. In 2014 the production was 903.3 million square meters, with an estimate production for 2015 of 969.3 million square meters, which justifies studies of varying shades in production lines ceramic tiles. For the execution of this work, some variables will be fixed without any loss in accuracy of the results to be obtained, if only because some of them are already inherent in the product development flow: ink (formulation); type of glaze and engobe, decorating cylinder characteristics (type of silicone, incisions, cylinder size), basic design, set-up decoration equipment and operating condition. The variables studied were: Density and viscosity of silkscreen ink; Temperature of the ceramic carrier; Production speed; Cylinder pressure on the tile; Blade Pressure on the cylinder; Blade angle of attack and support surface humidity. It was observed that the variables density and viscosity; Decorating speed and variation of blade height on the cylinder are the variables that most affect the tone variation factor within a production. For the three cases studied, none of the incisions resulted in filling and form an ideal decorated dot regarding to the expected geometry and desired for an ideal decoration (spherical points or ellipse) in any of the tested variables. In all cases there is a maximum point reached by the variables studied, which gave a better discharge and consequently a better decoration. In each tone range studied there is a combination of variables which best accomplishes the deposition points on the enamel.

PUBLICAÇÕES

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O; Study of the variables that lead to hue variations on tiles decoration based on silicone cylinder technique laser engraving method.; *Advances in Science and Technology*, vol 92 (2014) pp 168-173.

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O; Study of the variables that lead to hue variations on tiles decoration based on silicone cylinder technique laser engraving method.; **Anais** do 13th International Ceramics Congress, junho 8-13/2014; Montecatini Terme, Italy.

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O, Production Speed and its influence on hue variation on tiles based on silicon cylinder technique laser engraving method, aceito para publicação na *Materials Science Forum*.

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O, Velocidade de produção e sua influência na variação de tonalidade na decoração de revestimentos cerâmicos planos pelo método de cilindros de silicone gravados a laser; **Anais** do 21° CBECIMat; 09-13 de novembro de 2014, Cuiabá, MT; Brasil.

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O; Estudo das variáveis que levam à variação de tonalidade em revestimentos decorados pela técnica de cilindros de silicone gravados a laser, *Cerâmica Industrial* 19 (4), julho/agosto 2014.

Ferraço, Fabio; Boschi, A.O; Decoração de revestimentos cerâmicos planos – Características do processo de decoração por cilindros de silicone gravados a laser que influenciam na variação de tonalidade do produto; **Anais** do 59° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Barra dos Coqueiros, CE, Brasil.

ÍNDICE DE ASSUNTOS

	Pag.
FOLHA DE APROVAÇÃO	i
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
PUBLICAÇÕES	ix
ÍNDICE DE ASSUNTOS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto e Cenário.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 A variação de tonalidade	9
2.1.1 Fótons e Ondas	9
2.1.2 O Espectro de luz [11]	10
2.1.3 Curvas de espectro	10
2.1.4 Fontes de Luz [11].....	11
2.1.5 Iluminantes [11]	12
2.2 O Objeto e o evento de cor [11].....	12
2.2.1 Reflexão e Transmissão.....	12
2.2.2 O olho humano e a percepção das cores	12
2.2.3 Tricromia e o Tristímulo	13
2.2.4 Teoria das cores opostas e tricromia nos modelos CIE [11].....	15
2.3 Não Linearidade: Intensidade e Brilho [11].....	16
2.3.1 Brilho versus Luminosidade.....	16
2.4 Componentes Cromáticas: Tonalidade e Saturação [11]	17
2.5 Representações de tonalidade, saturação e brilho.....	18
2.5.1 Densitômetros [11].....	19
2.5.2 Colorímetro [11].....	19
2.5.3 Espectrofotômetros [11].....	21
2.6 A decoração por cilindros de silicone incididos a laser.....	22

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Ensaio de Densidade e Viscosidade.	37
3.2 Ensaio de Temperatura do suporte cerâmico	40
3.3 Ensaio de Velocidade de Produção.....	42
3.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica.....	43
3.5 Ensaio de Pressão da Lâmina Sobre o Cilindro	44
3.6 Ensaio de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro	45
3.7 Ensaio de Umidade Superficial do Suporte Cerâmico	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Ensaio de Densidade e Viscosidade.	51
4.2 Ensaio de Temperatura do suporte cerâmico	79
4.3 Ensaio de Velocidade de Produção.....	105
4.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica.....	130
4.5 Ensaio de Altura da Lâmina Sobre o Cilindro	157
4.6 Ensaio de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro	180
4.7 Ensaio de Umidade Superficial do Suporte Cerâmico	205
5 CONCLUSÕES	233
5.1 Ensaio de Densidade e Viscosidade.	233
5.2 Ensaio de Temperatura do Suporte Cerâmico.....	234
5.3 Ensaio de Velocidade de Produção.....	235
5.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica.....	236
5.5 Ensaio de Altura da Lâmina Sobre o Cilindro	238
5.6 Ensaio de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro	240
5.7 Ensaio de Massa de Água Aplicada sobre o Suporte Cerâmico.....	241
6 TRABALHOS FUTUROS E SUGESTÕES.....	243
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	245

ÍNDICE DE TABELAS

	Pag.
Tabela 4.1.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão 0,4/45.....	55
Tabela 4.1.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão MTD 40/22.....	65
Tabela 4.1.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão MTD 45/11	73
Tabela 4.1.4: Resumo dos resultados obtidos com aumento do tempo de escoamento (viscosidade) da tinta em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície	79
Tabela 4.2.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura do suporte. Incisão 0,4/45°	85
Tabela 4.2.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura. Incisão MTD 40/22	94
Tabela 4.2.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura. Incisão MTD 45/11	102
Tabela 4.2.4: Resumo dos resultados obtidos com aumento da temperatura do suporte cerâmico em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície	104
Tabela 4.3.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão 0,4/45°	111
Tabela 4.3.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão MTD 45/11°	121
Tabela 4.3.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão MTD 40/22°	123
Tabela 4.3.4: Resumo dos resultados obtidos com o aumento da velocidade da linha de produção em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.....	130
Tabela 4.4.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão 0,4/45°	138

Tabela 4.4.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão MTD40/22°	146
Tabela 4.4.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão MTD45/11°	154
Tabela 4.4.4: Resumo dos resultados obtidos com o aumento da pressão do cilindro sobre a peça em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.	156
Tabela 4.5.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão 0,4/45°	164
Tabela 4.5.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão MTD 40/22°	171
Tabela 4.5.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão MTD 45/11°	178
Tabela 4.5.4: Resumo dos resultados obtidos em variação da altura da lâmina sobre o cilindro em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.....	180
Tabela 4.6.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão 0,4/45°	187
Tabela 4.6.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão MTD 40/22°	195
Tabela 4.6.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão MTD 45/11°	202
Tabela 4.6.4: Resumo dos resultados obtidos com a diminuição do ângulo entre a lâmina e o cilindro em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.	205
Tabela 4.7.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão 0,4/45°	211
Tabela 4.7.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão MTD 40/22°	219
Tabela 4.7.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão MTD 45/11°	227

Tabela 4.7.4: Resumo dos resultados obtidos em variação da pressão do cilindro sobre a peça em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.....230

Tabela 4: Ordem de influência das variáveis estudadas na variação de tonalidade. 231

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1: Infográfico da evolução da capacidade produtiva brasileira e distribuição da tipologia de produtos	4
Figura 1.2: Infográfico de exportações de revestimentos cerâmicos brasileiros em porcentagem e seu destino	5
Figura 2.1: A tríade do entendimento de cor e tonalidade.....	9
Figura 2.2: Espectro para diferentes fontes de luz.	11
Figura 2.3: O experimento de tristímulo.	14
Figura 2.4: Cores primárias (a) Subtrativas e (b) Aditivas	15
Figura 2.5: O efeito da saturação sobre o espectro de cor.....	18
Figura 2.6: Representação da variação espacial da tonalidade, da luminosidade e da saturação.....	18
Figura 2.7: Carta cromática do espaço xy	21
Figura 2.8: A estação de transferência da imagem ao elemento decorador e seus componentes básicos.....	23
Figura 2.9: (a) Ponto ideal e (b) ponto real de incisão realizado por um feixe de raios laser.	23
Figura 2.10: Representação das incisões (a) 0,4/45° e (b) 0,4/117°	24
Figura 2.11: Representação de uma incisão para alta camada.....	25
Figura 2.12: Representação esquemática da transferência da tinta para o cilindro e dos pontos de decoração sobre a peça cerâmica	27
Figura 2.13: Variáveis encontradas na decoração por cilindros de silicone.	30
Figura 3.1: Desenho base utilizado para as incisões e decorações.....	33
Figura 3.2: Micrografias mostrando (a) uma deposição ideal de pontos [11], (b) defeitos tipo “arruelas” (fonte: Autor) e (c) defeitos de deposição tipo “meia-lua”[11].	38
Figura. 4.1.1: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão 0,4/45°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	52
Figura 4.1.2: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão 0,4/45°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	53

Figura 4.1.3: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão 0,4/45°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	54
Figura 4.1.4: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	55
Figura 4.1.5: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	57
Figura 4.1.6: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	58
Figura 4.1.7: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	60
Figura 4.1.8: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	61
Figura 4.1.9: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.°	62
Figura 4.1.10: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	63
Figura 4.1.11: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	64
Figura 4.1.12: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	66
Figura 4.1.13: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	67
Figura 4.1.14: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	69

Figura 4.1.15: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	70
Figura 4.1.16: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	71
Figura 4.1.17: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	72
Figura 4.1.18: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.....	73
Figura 4.1.19: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	76
Figura 4.1.20: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	77
Figura 4.1.21: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	78
Figura 4.2.1: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	80
Figura 4.2.2: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	80
Figura 4.2.3: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°	81
Figura 4.2.4: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°	82
Figura 4.2.5: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°	83

Figura 4.2.6: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°	84
Figura 4.2.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as temperaturas aproximadas de 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.	85
Figura 4.2.8: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	88
Figura 4.2.9: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	89
Figura 4.2.10: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°	89
Figura 4.2.11: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°.	91
Figura 4.2.12: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°	92
Figura 4.2.13: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°.	93
Figura 4.2.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as temperaturas aproximadas de 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.	94
Figura 4.2.15: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	97
Figura 4.2.16: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	97
Figura 4.2.17: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°	98
Figura 4.2.18: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°.	99
Figura 4.2.19: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°.	100

Figura 4.2.20: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°	101
Figura 4.2.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as temperaturas de aproximadamente 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.	102
Figura 4.3.1: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.	105
Figura 4.3.2: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão 0,4/45°	106
Figura 4.3.3: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.	107
Figura 4.3.4: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incisão 0,4/45°	108
Figura 4.3.5: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.	109
Figura 4.3.6: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão 0,4/45°	110
Figura 4.3.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min.	111
Figura 4.3.8: Decoração da área de 5% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°	115
Figura 4.3.9: Decoração da área de 25% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°	116
Figura 4.3.10: Decoração da área de 85% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°	117
Figura 4.3.11: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°	118

Figura 4.3.12: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.....	119
Figura 4.3.13: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.....	119
Figura 4.3.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min.	121
Figura 4.3.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min.	122
Figura 4.3.16: Decoração da área de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.	124
Figura 4.3.17: Decoração da área de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.	125
Figura 4.3.18: Decoração da área de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.	126
Figura 4.3.19: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.....	127
Figura 4.3.20: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.....	128
Figura 4.3.21: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.....	129
Figura 4.4 – Marcações de altura do cilindro: H e h.	131
Figura 4.4.1: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	132
Figura 4.4.2: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	133
Figura 4.4.3: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	133

Figura 4.4.4: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°	135
Figura 4.4.5: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°	136
Figura 4.4.6: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°	137
Figura 4.4.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm.	138
Figura 4.4.8: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°	141
Figura 4.4.9: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°	141
Figura 4.4.10: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°	142
Figura 4.4.11: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°	143
Figura 4.4.12: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°	144
Figura 4.4.13: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°	145
Figura 4.4.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm.	146
Figura 4.4.15: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°	149
Figura 4.4.16: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°	149
Figura 4.4.17: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°	150
Figura 4.4.18: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°	151

Figura 4.4.19: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°.	152
Figura 4.4.20: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°.	153
Figura 4.4.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm.	154
Figura 4.5.1: A altura da lâmina.	157
Figura 4.5.2: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	158
Figura 4.5.3: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	158
Figura 4.5.4: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.	159
Figura 4.5.5: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°.	161
Figura 4.5.6: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°.	162
Figura 4.5.7: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°.	163
Figura 4.5.8: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm.	165
Figura 4.5.9: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°.	166
Figura 4.5.10: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°.	167
Figura 4.5.11: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°.	167
Figura 4.5.12: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°.	168

Figura 4.5.13: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°.....	169
Figura 4.5.14: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°.....	170
Figura 4.5.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm.	172
Figura 4.5.16: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°.	173
Figura 4.5.17: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°.	173
Figura 4.5.18: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°.	174
Figura 4.5.19: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°.....	175
Figura 4.5.20: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°.....	176
Figura 4.5.21: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°.....	177
Figura 4.5.22: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm.	178
Figura 4.6.1: A angulação da lâmina (a) aproximação mínima e (b) aproximação máxima ensaiada.	181
Figura 4.6.2: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	182
Figura 4.6.3: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	182

Figura 4.6.4: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	183
Figura 4.6.5: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°.....	184
Figura 4.6.6: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°.....	185
Figura 4.6.7: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°.....	186
Figura 4.6.8: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0.	187
Figura 4.6.9: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°.....	190
Figura 4.6.10: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°.....	190
Figura 4.6.11: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°.....	191
Figura 4.6.12: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°.....	192
Figura 4.6.13: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°.....	193
Figura 4.6.14: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°.....	194
Figura 4.6.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0.	195

Figura 4.6.16: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°.....	197
Figura 4.6.17: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°.....	198
Figura 4.6.18: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°.....	198
Figura 4.6.19: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°.....	199
Figura 4.6.20: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°.....	200
Figura 4.6.21: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°.....	201
Figura 4.6.22: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0.	202
Figura 4.7.1: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	206
Figura 4.7.2: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	207
Figura 4.7.3: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°.....	207
Figura 4.7.4: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°.....	208
Figura 4.7.5: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°.....	209
Figura 4.7.6: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°.....	210

Figura 4.7.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão $0,4/45^\circ$, com aumento da massa de água aplicada.	212
Figura 4.7.8: Variação da refletância a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD $40/22^\circ$	213
Figura 4.7.9: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD $40/22^\circ$	214
Figura 4.7.10: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD $40/22^\circ$	214
Figura 4.7.11: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $40/22^\circ$	216
Figura 4.7.12: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $40/22^\circ$	217
Figura 4.7.13: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $40/22^\circ$	218
Figura 4.6.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD $40/22^\circ$ para as massas de água aplicadas de aproximadamente 0,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0g.	219
Figura 4.7.15: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD $45/11^\circ$	222
Figura 4.7.16: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD $45/11^\circ$	222
Figura 4.7.17: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD $45/11^\circ$	223
Figura 4.7.18: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $45/11^\circ$	224
Figura 4.7.19: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $45/11^\circ$	225
Figura 4.7.20: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD $45/11^\circ$	226

Figura 4.7.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11° para as massas de água aplicadas de aproximadamente 0,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0g.229

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Cenário

Um dos principais problemas na produção de placas cerâmicas para revestimento é a variação de tonalidade. A determinação de sua origem dentro de todo o processo de produção e a minimização de sua ocorrência pelo fabricante é fundamental, quer seja para manter seu bom nome e fatia no mercado, quer a manutenção do seu padrão de qualidade e o seu lucro.

O design é uma das características mais valorizadas em revestimentos cerâmicos. Entre todas as características contidas no conceito do design, uma das mais importantes é a cor.

Revestimento cerâmico é um produto modular, o qual colocado, ou assentado um ao lado do outro permite o recobrimento de superfícies proporcionando um melhor acabamento em construções.

Implícito neste conceito está a constância das características. Então, em princípio, a variação das cores é algo indesejável e que compromete a qualidade do produto. Entretanto, devido ao elevado número de variáveis que afetam a cor do produto final, apesar de todos os esforços e estudos realizados ao longo dos anos, a então chamada “variação de tonalidade” é ainda um problema comum e de difícil controle, com o qual todos os produtores de revestimentos cerâmicos têm que lidar todos os dias.

O problema de variação de tonalidade pode se originar em cada uma das etapas da linha de produção de revestimentos cerâmicos, independente da tipologia e processo envolvido (monoqueima, biqueima, moagem a seco ou a úmido, monoporosa ou porcelanato). Sendo assim, um problema presente, por exemplo, na matéria-prima, durante a prensagem ou durante a esmaltação, pode ter seu efeito revelado somente na fase de controle de qualidade, ao final do processo, quando esta passar pela linha de escolha, seja esta automática ou manual.

As características da tinta e de ajuste (*set up*) dos equipamentos de decoração estão entre as etapas mais importantes no processo de fabricação, responsáveis pela tonalidade do produto final.

Desde os métodos mais antigos de decoração ou tentativas de se realizar uma diferenciação da superfície do revestimento com fins estéticos, como o uso de tintas reativas, passando por técnicas de serigrafia (plana ou rotativa); por cilindros de silicone ou elastoméricos; aplicação de decoração a seco até atualmente; com a decoração através de impressoras de jato de tinta, sempre se tem a necessidade de controlar a produção com olhos bem focados na possibilidade de variação de tonalidade.

O controle e a tentativa de minimizar a sua ocorrência é uma constante dentro da indústria de pisos e revestimentos, independente da técnica utilizada para realizar a decoração das placas de revestimento cerâmico.

Na grande maioria dos casos, os produtores trabalham dentro de faixas de tonalidades padronizadas, as quais estipulam serem aceitáveis; sempre com o intuito de minimizar o estoque de produtos acabados, facilitando seu gerenciamento e possíveis reclamações de consumidores insatisfeitos.

A variação de tonalidade na produção de revestimentos cerâmicos pode ser dividida em duas classes de acordo com o momento do seu acontecimento:

- 1) Variação de tonalidade dentro de uma mesma produção (mesmo lote).
- 2) Variação de tonalidade em diferentes produções (lotes diferentes).

Em ambos os casos, a variação de tonalidades pode ter origem na mesma etapa do processo; porém, na grande maioria das ocorrências, é mais simples o controle de tonalidade dentro de um mesmo lote de produção do que em lotes diferentes.

As possíveis causas da dificuldade em se manter a tonalidade em diferentes lotes são geralmente ligadas à falta de padronizações relativas a matérias-primas, metodologia de preparo de tintas, reutilização de lotes de tinta remanescentes de outras produções, *set up* de equipamentos (principalmente os de decoração), variações quanto aos elementos de decoração (telas e cilindros), tipo e aplicação de engobe/esmalte, temperatura e umidade superficial das peças, entre outros.

No que diz respeito ao controle de tonalidade voltado à preparação e em muitos casos, reaproveitamento de quantidades remanescentes de tintas de

outras produções, muitos fabricantes de revestimentos cerâmicos no Brasil e no mundo optaram pela implantação de equipamentos tintométricos, os quais calculam formulações sob um banco de dados de matérias-primas e uso de restos, por assim dizer; pesam e preparam tintas desde lotes pequenos para provas semi-industriais até grandes quantidades para a produção cotidiana.

Os fabricantes de equipamentos de decoração por muitas vezes aprimoram suas máquinas, direcionando-as a uma configuração que permita um maior controle e manutenção de *set up*.

Muitos são os trabalhos e estudos no desenvolvimento de técnicas para o controle e diminuição da variação de tonalidade, quer seja pelos produtores de revestimentos, quer seja pelos próprios fabricantes e fornecedores de equipamentos; porém, estes estudos muitas vezes acabam permanecendo dentro das empresas onde são criados e limitados às condições específicas e particulares o que dificulta a disseminação do conhecimento voltada às técnicas para melhoria da problemática.

O setor de revestimentos cerâmicos brasileiro é constituído por aproximadamente 93 empresas, com maior concentração nas regiões Sudeste e Sul, e em expansão no Nordeste do país.

Os fabricantes brasileiros de revestimentos cerâmicos estão alinhados com a melhor tecnologia disponível no mundo e em conformidade com as normas internacionais de qualidade.

A Figura 1.1 a seguir indica a evolução da capacidade produtiva brasileira e a distribuição dos tipos de revestimentos fabricados.

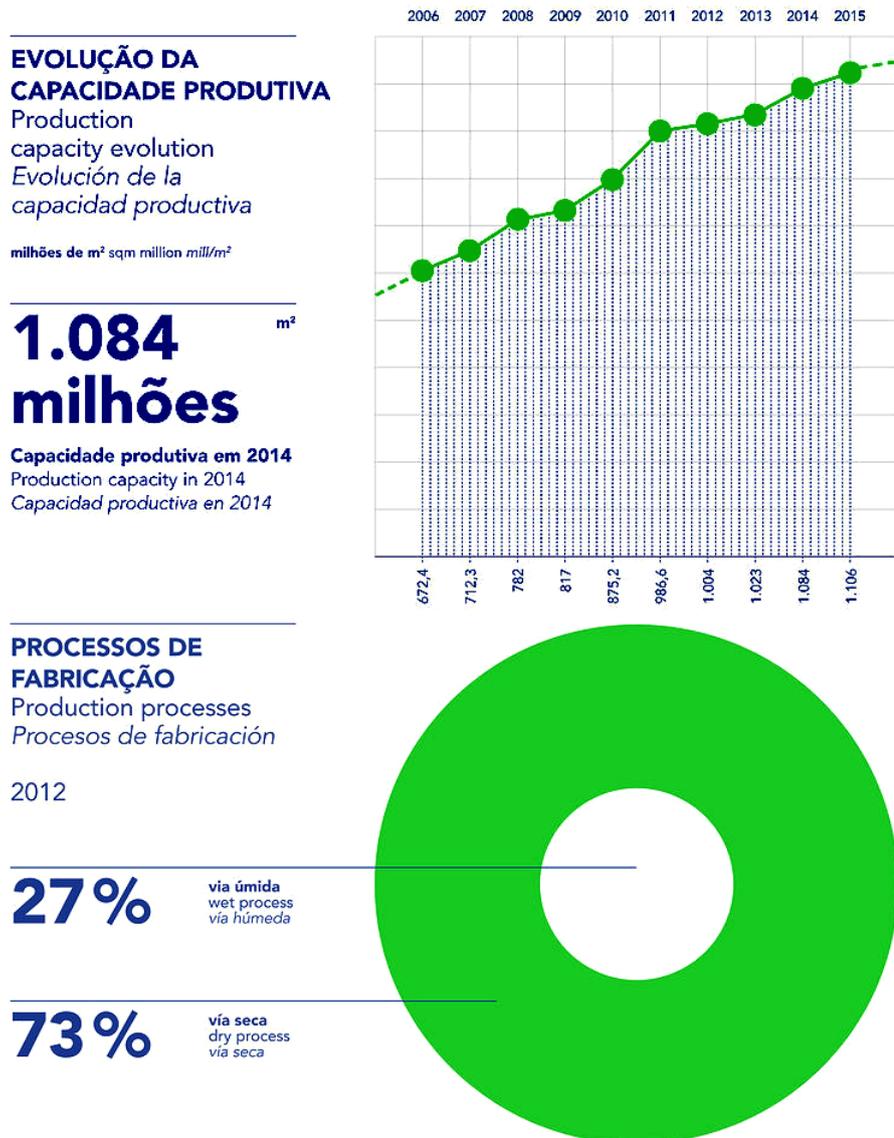


Figura 1.1: Infográfico da evolução da capacidade produtiva brasileira e distribuição da tipologia de produtos [1]

O mercado internacional de revestimentos cerâmicos continua sofrendo os reflexos da conjuntura econômica mundial, ainda não estabilizada após a crise de 2008. Apesar disso, tem-se observado o contínuo desenvolvimento tecnológico da indústria cerâmica mundial, a disseminação do uso de cerâmica em diferentes aplicações e ambientes e a crescente incorporação de conceitos de sustentabilidade no setor. O Brasil posiciona-se hoje entre as sete maiores economias mundiais, com PIB de US\$ 2,35 trilhões (2014). [2].

Desde 2009 até o momento, o Brasil se posiciona na vice-liderança entre os principais produtores e principais consumidores de revestimentos cerâmicos planos no mundo e mantém o quarto lugar entre os maiores exportadores mundiais.

Em 2014 a produção foi de 903,3 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.084 milhões de metros quadrados, as vendas totais atingiram 922,4 milhões de metros quadrados no mercado interno e 69,2 milhões de metros quadrados exportados, a estimativa para 2015 é a produção de 969,3 milhões de metros quadrados [2].

Em 2014 o Brasil se posicionou em quarto lugar entre os exportadores, exportou para 113 países, totalizando 69,2 milhões de metros quadrados, o que equivale a uma receita de US\$ 279,8 milhões, como indicado na Figura 1.2 [4].

**DESTINO DAS EXPORTAÇÕES
BRASILEIRAS 2014**
BRAZILIAN EXPORTS – MARKETS 2014
DESTINO DE LAS EXPORTACIONES
BRASILEÑAS 2014

América do Sul South America Sudamérica	46,37%
América Central Central America Centroamérica	27,83%
América do Norte North America América del Norte	14,19%
África Africa	5,61%
Europa Europe	4,06%
Ásia Asia	1,3%
Oceania Oceania	0,64%

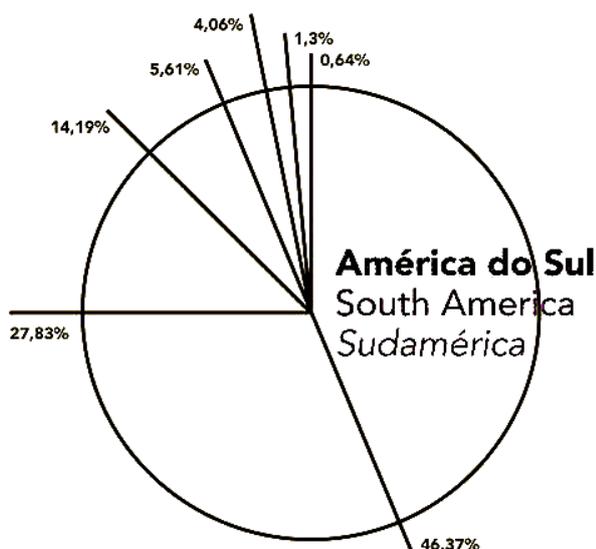


Figura 1.2: Infográfico de exportações de revestimentos cerâmicos brasileiros em porcentagem e seu destino [4]

Mundialmente, o volume de placas cerâmicas para revestimento (pisos e paredes) vem aumentando ano a ano; novas técnicas de decoração continuam a impulsionar este aumento.

No Brasil, tal incremento é significativo; de acordo com a Figura 1.1, ilustrada anteriormente, em seis anos a capacidade produtiva brasileira aumentou em 46,7% e a produção efetiva aumentou em quase 26,3% no mesmo período.

A realização de uma análise crítica dos pontos cruciais na produção de placas de revestimentos cerâmicos, com o intuito de determinar a origem da variação de tonalidade na decoração, bem como a determinação e o estabelecimento de uma rotina que oriente o produtor e possibilite minimizar tal efeito no processo de fabricação se faz necessária e é mister, independente da tecnologia utilizada no processo.

A quantidade mundial de máquinas decoradoras que utilizam os cilindros de silicone no processo é superior a 2000 unidades, sendo que no Brasil este número está por volta das 450 unidades; mesmo com o recente advento das decoradoras de placas cerâmicas planas por jato de tinta, as quais no Brasil somam em torno de 110 unidades, os cilindros de silicone ainda possuem uma grande fatia de mercado (e um longo tempo de vida) no que se refere ao volume de produção. Alguns países produtores de revestimento cerâmico plano publicaram trabalhos envolvendo o problema de tonalidade, como o trabalho de Campos, J.M. e seus colaboradores [5], que estudaram variáveis relacionadas aos cilindros, às tintas e seus componentes, aos equipamentos de decoração e seu modo de operação; bem como o tipo de suporte cerâmico a ser decorado.

Autores como Torres, A e seus colaboradores estudaram o problema de tonalidade focados na combinação entre o tipo de silicone (em decorações por cilindros de silicone gravados a laser), os tipos de incisão, os sólidos e os meios líquidos (veículos) para a produção de tinta, especificamente para a decoração em quadricromia. [6].

Outros autores mantiveram foco em corantes, esmaltes, engobes e cor das massas, como o trabalho desenvolvido por Sharma, K.D. [7].

Rodriguez, J.V.C e colaboradores estudaram o problema de variação de tonalidade ligado principalmente às tintas em decorações através de telas serigráficas, desenvolvendo uma metodologia de trabalho de controle de tons

através do estabelecimento de procedimentos de medição, preparo e proporções na produção de tinta, bem como o controle dentro da produção [8].

Mais recentemente o foco de estudos em variação de tonalidade está voltado para as decorações por jato de tinta, tecnologia mais recente, como os trabalhos desenvolvidos por Beltrami, A e Costa, M. [9][10]

Entretanto, além do restrito número de publicações, deve-se considerar ainda que as características de produção destes países não são as mesmas praticadas no Brasil.

No Brasil, as publicações e pesquisas dentro da temática são ainda mais escassas; o que viabiliza a exploração na área. Deste modo, apesar do presente estudo possuir similares simplificados em alguns países produtores de revestimento cerâmico plano, seu número é pequeno e ainda mais, as características de produção realizadas nestes países são particularmente diferentes das brasileiras; as quais são já de longo sabido que evoluíram de forma singular e ímpar na esfera de produtores de revestimentos cerâmicos planos.

Esse projeto, portanto, justifica-se pela busca de soluções da problemática referente ao problema de variação de tonalidade em peças cerâmicas, ultrapassando os limites acadêmicos, tornando-se uma efetiva contribuição para as indústrias envolvidas em tais processos industriais.

O problema da variação da tonalidade em peças de revestimento cerâmico plano é antigo e ainda pouco explorado. A importância do controle da variação de tonalidade em peças cerâmicas é inquestionável; a solução do problema trará benefícios diretos não só à indústria produtora mais a toda a cadeia produtiva, incluindo o consumidor final.

Dado o exposto anterior, o objetivo desta pesquisa foi estudar as variáveis que influenciam e ocasionam a variação de tonalidade dentro de um mesmo lote ou em lotes diferentes de um determinado produto; procurando verificar a influência das variáveis propostas no estudo (densidade e viscosidade da tinta; temperatura do suporte cerâmico; velocidade de produção; pressão do cilindro sobre a peça; pressão da lâmina sobre o cilindro;

ângulo de ataque da lâmina sobre o cilindro e umidade superficial do suporte), sua intensidade e possíveis correlações entre elas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A variação de tonalidade

Os conceitos de cor e a tonalidade parecem estar embutidos no conhecimento humano; embora, muitas vezes, as pessoas em geral não consigam estabelecer, definir ou diferenciar o que é cor e o que é tonalidade.

A própria definição de cor é encontrada de diversos modos na literatura [11] e [12], dependendo da visão, da formação ou do entendimento do autor.

Atualmente, a explicação do que é cor está atrelada a uma combinação entre os três entendimentos anteriores (Figura 2.1); ou seja, cor só pode ser definida com a presença de uma fonte de luz, objetos e observadores [11]. Um evento de cor é uma sensação que acontece no observador pelos comprimentos de onda da luz produzidos pela fonte luminosa e modificados pelo objeto.

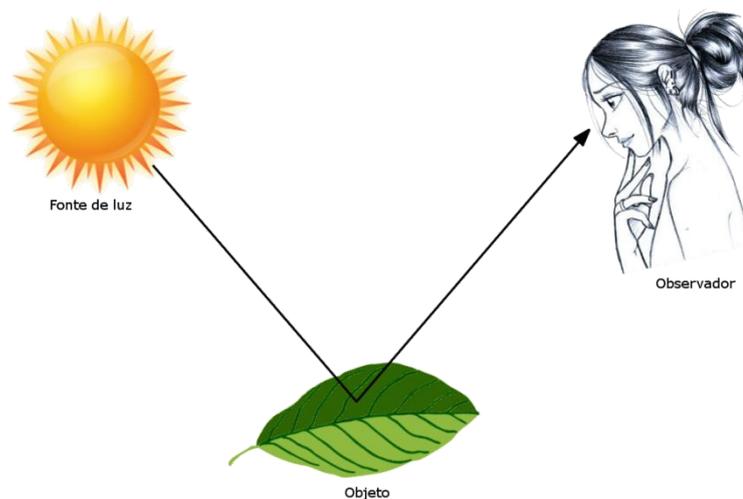


Figura 2.1: A tríade do entendimento de cor e tonalidade. Adaptado de [11]

2.1.1 Fótons e Ondas

É sabido que a luz, dependendo da situação pode se comportar como uma partícula e como onda (o que é conhecido como dualidade onda partícula). Os dois pontos de vistas são conciliados através das teorias quânticas de Max Planck e Albert Einstein através do conceito de fóton.

O nível de energia de um fóton determina o quão rápido este pulsa e, deste modo; quanto maior a energia do fóton, maior é a sua frequência de pulsação, menor distância entre cada pulso, o que se traduz em comprimentos de onda menores [11].

2.1.2 O Espectro de luz [11]

O espectro se refere a toda gama de níveis de energia (comprimentos de onda) que os fótons possuem na medida em que caminham através do espaço e tempo. A parte deste espectro que estimula os olhos humanos é uma pequena faixa, de aproximadamente 380nm à 700nm, normalmente chamada de *espectro visível*, ou simplesmente *luz*.

Diferentes comprimentos de onda evocam diferentes sensações de cor, então se associa diferentes comprimentos de onda à cor que ele provoca, dos vermelhos nos níveis mais baixos de energia (longos comprimentos de onda de aproximadamente 700nm – infravermelhos) passando pelos laranjas, amarelos e verdes até os azuis e violetas nos níveis mais altos de energia e comprimentos de onda mais curtos (cerca de 380nm – ultravioletas). Tal nomenclatura é um ato totalmente humano e cultural, não havendo nada relacionado ao próprio espectro de cores que nos impeça de nomear mais ou menos de seis bandas de cores.

2.1.3 Curvas de espectro

A cor observada é determinada pela combinação específica de comprimentos de onda ou energia espectral, que chegam aos olhos. A luz branca pura contém quantidades iguais de fótons de todos os comprimentos de onda visíveis. A luz verde vinda de um objeto contém alguns fótons de comprimentos de ondas pequenos (alta energia) e alguns com comprimentos de onda maiores (fótons de baixa energia), mas nela estão incluídos uma grande quantidade de fótons de comprimento de onda medianos [11].

Naturalmente a cor de um objeto é inteiramente caracterizada pelo seu comportamento espectral, ou seja, do conhecimento de quais comprimentos de onda da luz são absorvidos, quais são refletidos e quais são difundidos [12].

2.1.4 Fontes de Luz [11]

Uma fonte de luz é algo que emite grandes quantidades de fótons dentro do espectro visível. Juntamente com os objetos, pode-se desenhar uma curva espectral da energia luminosa emitida por uma fonte de luz em cada comprimento de onda, como mostrado na Figura 2.2.

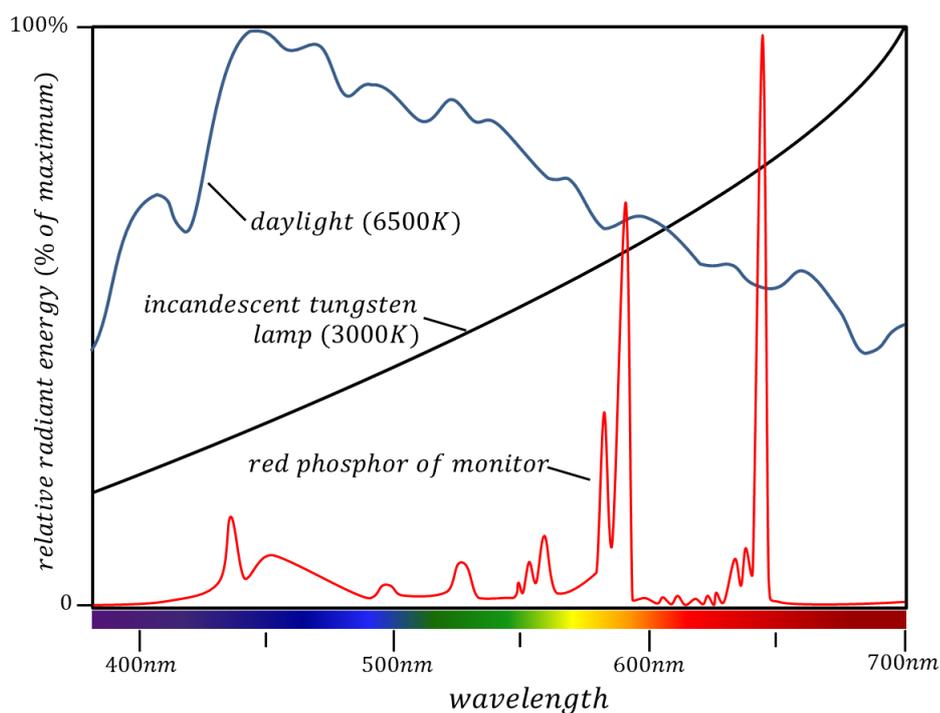


Figura 2.2: Espectro para diferentes fontes de luz. Adaptado de [11]

A luz do dia é um resultado da combinação entre a emissão de radiação de um corpo negro, o nosso Sol e uma enorme camada de “filtros” que é a atmosfera, a composição exata de comprimentos de onda da luz do dia depende da hora do dia, do clima e da latitude.

2.1.5 Iluminantes [11]

A palavra iluminante se refere à fonte de luz que foi mensurada ou formalmente especificada em termos da energia espectral pela Comissão Internacional de Iluminação, mais conhecida pela sua sigla em francês, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage).

Existem várias classificações entre os iluminantes, os quais representam fontes de luz específicas, por exemplo: lâmpadas incandescentes (iluminante A); luz do sol (iluminante B); lâmpadas fluorescentes (iluminante F, o qual varia de F2 a F12 de acordo com o tipo de lâmpada fluorescente).

2.2 O Objeto e o evento de cor [11]

2.2.1 Reflexão e Transmissão.

A superfície de um objeto deve interagir com a luz para afetar a cor desta luz. Quando esta atinge um objeto, ela penetra em algumas camadas de átomos da superfície e então reemerge. Durante a interação da luz com estes átomos, o objeto absorve alguns comprimentos de onda e reflete outros e sendo assim, o espectro da luz refletida já não é o mesmo daquela que chegou ao objeto.

A magnitude que representa o grau no qual um objeto reflete alguns comprimentos de onda e absorve outros é chamada de refletância espectral, a qual é invariável mesmo que se mude o tipo de fonte de luz ou mesmo que a energia espectral emergente seja diferente; ou seja, a refletância é uma propriedade invariante dos objetos.

2.2.2 O olho humano e a percepção das cores

A base fundamental da reprodução de todas as cores é o design em três canais da retina humana. Divergindo da crença popular, a tarefa principal de focar a luz em uma imagem ao fundo dos olhos é realizada pela córnea e não pelo cristalino.

Os receptores ou fotorreceptores presentes nos olhos são de dois tipos, uns chamados de bastões e outros de cones devido à sua forma. Os bastões promovem a visão em condições de baixa luminosidade, são sensíveis nestas condições e são cegados pela luz do dia; já os cones são estruturas mais recentes na evolução da retina dos mamíferos e funcionam em condições de luz e brilho intensos.

Enquanto todos os bastões na nossa retina são essencialmente os mesmos, os cones podem responder a comprimentos de onda diferentes; alguns por longos comprimentos de onda, sendo fracamente estimulados por comprimentos médios e curtos; outros que são mais excitados por comprimentos de onda médios, pouco respondendo a estímulos de comprimentos de onda longos e curtos e por fim, aqueles que respondem prontamente à estímulos de comprimentos de ondas curtos e quase não sendo afetados por comprimentos médios e longos.

2.2.3 Tricromia e o Tristímulo

Dois termos que são geralmente confundidos entre si são a tricromia e o tristímulo.

O termo tricromia (também conhecido como teoria tricomponente ou Teoria da visão das cores de Young- Helmholtz) refere-se à teoria que prega que os olhos humanos possuem três receptores de cor (os três tipos de cones).

O termo tristímulo refere-se ao experimento e mensuração da visão humana de cores, envolvendo estímulos de três cores diferentes, onde o sujeito a ser testado as utiliza para fazer coincidir o estímulo vindo de uma imagem alvo (Figura 2.3). Em outras palavras, tricromia se refere aos três receptores de cor e tristímulo refere-se aos experimentos que se utilizam de três estímulos para verificar e medir a tricromia.

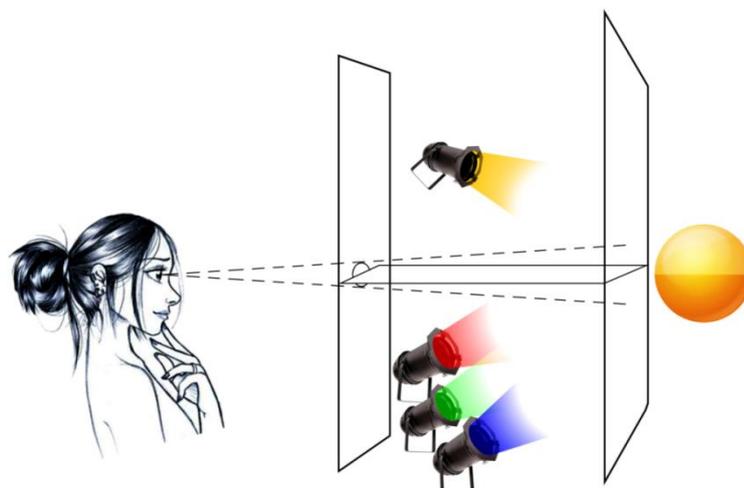


Figura 2.3: O experimento de tristímulo. Adaptado de [11]

O modelo de tristímulo mais compreensível foi definido também pelo comitê CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) e forma a base do gerenciamento de cores.

Dentro deste contexto é importante definir o que são cores primárias aditivas; elas podem ser compreendidas como a estrutura tricromática da retina humana que torna possível o que se chama de cores primárias aditivas. A partir da divisão do espectro de modo rudimentar em três componentes, obtêm-se três fontes de luz, as quais poderiam ser chamadas de vermelha, verde e azul, iniciando no preto (ausência de comprimentos de onda); as três cores adicionam-se em comprimentos de onda, daí o termo cores aditivas; até chegar ao branco.

A tricromia também pode ser utilizada através das cores primárias subtrativas: Ciano, Magenta e Amarelo. Tanto quanto adicionar os comprimentos de onda ao negro, eles agem subtraindo comprimentos de onda de outra fonte de luz branca.

Ambas as primárias (aditivas e subtrativas), indicadas na Figura 2.4, trabalham manipulando os comprimentos de onda que entram nos olhos estimulando os três cones receptores. Esta manipulação, quando realizada sabiamente, estimula os três receptores na correta proporção para fazer sentir como estivéssemos recebendo a luz de uma determinada cor.

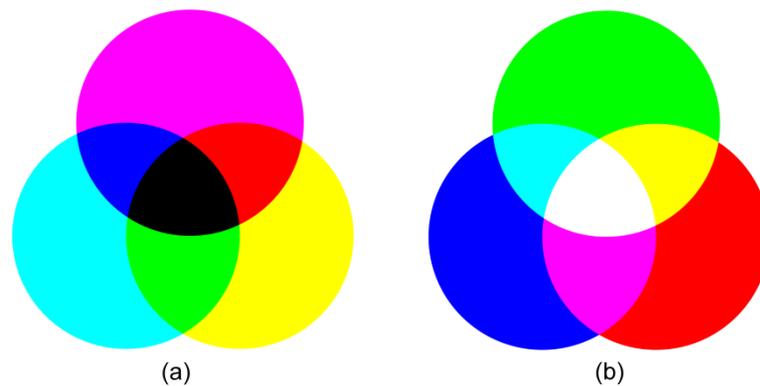


Figura 2.4: Cores primárias (a) Subtrativas e (b) Aditivas

2.2.4 Teoria das cores opostas e tricromia nos modelos CIE [11]

As três cores primárias não somente permitem definir qualquer cor em termos da quantidade de cada primária, mas também estabelecer relações entre as cores utilizando valores de cada uma das primárias como coordenadas cartesianas em um espaço tridimensional onde cada primária forma um dos três eixos.

A teoria das cores de pares opostos parte da constatação de que, em combinações de cores, pode-se ter um vermelho amarelado (laranja), azuis esverdeados, azuis avermelhados (púrpura), mas nunca um vermelho esverdeado ou um amarelo azulado.

O ponto chave é que as componentes de cor na retina não são receptores independentes que não possuem efeito sobre seus vizinhos, mas na verdade trabalham como pares antagônicos ou opostos. Tais pares são claro-escuro; vermelho-verde e amarelo-azul.

O modelo CIE Lab de visão de cores incorpora tanto aspectos de tricromia quanto de cores opostas baseado nos resultados de experimentos de tristímulo como o descrito na Figura 2.4, representando a cor em termos dos três valores relacionados aos três sistemas opostos: L^* (luminosidade e escuridão); a^* (oposição vermelho-verde) e b^* (oposição azul-amarelo).

2.3 Não Linearidade: Intensidade e Brilho [11]

Outra importante característica do sistema visual humano é que este é não linear; ou seja, os olhos humanos não respondem na proporção de um para um com respeito a incrementos em intensidade na transmissão de informações de brilho ao cérebro - quando se dobra a intensidade de uma fonte luminosa, não se vê a luz duas vezes mais brilhante; ao invés disso, a relação entre a intensidade e brilhos percebidos pelos olhos para que se possa obter a sensação de duas vezes a intensidade do brilho de uma fonte de luz, dever-se-ia incrementar seu valor em nove vezes.

O termo brilho refere-se à percepção humana de intensidade (número de fótons que chegam aos nossos olhos). Dos três atributos de cor: brilho, tonalidade e saturação, existe a tendência em se pensar no brilho de modo diverso dos outros dois; em parte devido à capacidade humana de detectar variações em brilho mesmo quando a quantidade de luz é pouca (ou de comprimentos de onda suficientemente diferentes na luz) para ver as cores.

O brilho descreve quantitativamente a luz enquanto tonalidade e saturação descrevem qualitativamente (qual tipo). A visão trata fundamentalmente de “se contar fótons” enquanto a cor se propõe a “categorizar” estes fótons em diferentes tipos.

Uma fonte de luz ou uma cor possui então atributos cromáticos e acromáticos.

2.3.1 Brilho versus Luminosidade

Na ciência das cores é traçada uma distinção entre brilho e luminosidade. Em muitos casos, os dois vocábulos possuem o mesmo significado, dependendo do contexto; ambas referem-se à percepção não linear dos olhos com relação à intensidade.

Em outras palavras, luminosidade é o brilho de um objeto relativo a uma referência de branco absoluto. Deste modo a luminosidade estende-se da sobre à luz com definições específicas de preto e branco como limites, enquanto o brilho estende-se de escuro ao claro sem limites reais.

2.4 Componentes Cromáticas: Tonalidade e Saturação [11]

A definição mais precisa de tonalidade é que esta é um atributo da cor, referente ao comprimento de onda dominante que a visão percebe. Todas as cores possuem vários comprimentos de onda, alguns em maior quantidade do que outros.

O comprimento de onda que prevalece ou mais aparece em uma amostra de cor é o que determina a sua tonalidade; ou seja, é o atributo ou sensação de cor que é associado à cor dominante de uma radiação policromática. A este comprimento de onda prevalente a humanidade atribui nomes simples (vermelho, verde, azul, laranja, violeta, amarelo, etc), os quais possuem a sua correspondência em regiões particulares do espectro de luz visível.

Já o termo saturação refere-se à pureza de uma cor, ou quão distante esta se encontra de um cinza neutro. A saturação é, deste modo, a componente da cor que permite avaliar quanto o estímulo cromático se aproxima da percepção do comprimento de onda dominante puro em relação a um tom de cinza de mesma luminosidade [8]. Se a tonalidade é a percepção de um comprimento de onda predominante, a saturação é a extensão sob a qual este comprimento de onda dominante está contaminado por outros comprimentos de onda.

Na Figura 2.5, ambas as amostras possuem o mesmo pico de comprimento de onda; então, aparentemente, elas são semelhantes ou de mesmo tom; porém, o gráfico menos largo contém menos comprimentos de onda contaminantes e, deste modo, aparenta ser mais saturado.

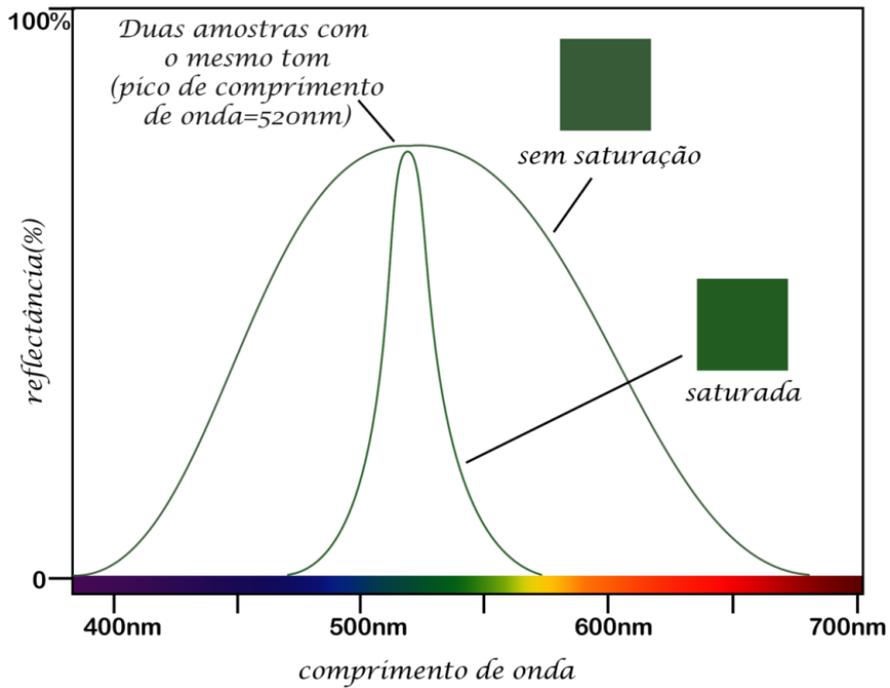


Figura 2.5: O efeito da saturação sobre o espectro de cor. Adaptado de [11]

2.5 Representações de tonalidade, saturação e brilho

A representação gráfica espacial das variáveis de tonalidade, saturação e luminosidade no espaço cilíndrico ou esférico é ilustrada na Figura 2.6.

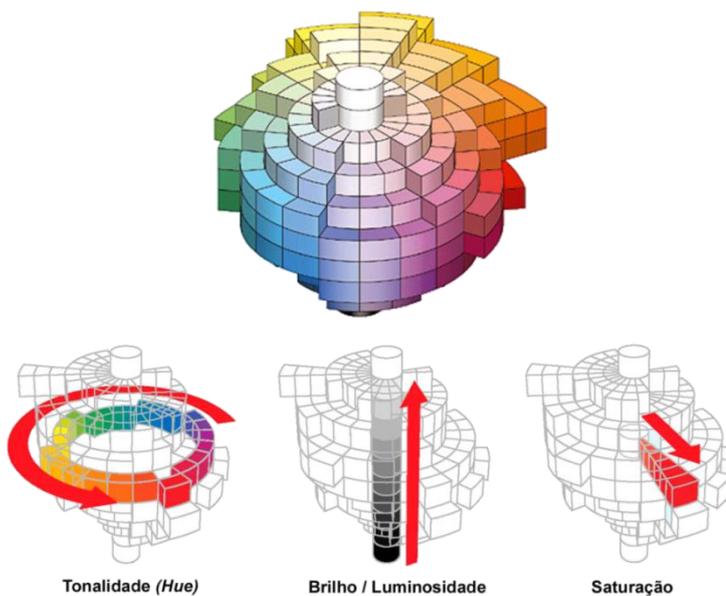


Figura 2.6: Representação da variação espacial da tonalidade, da luminosidade e da saturação [13,14]

É importante salientar que a expressão “medir cores” na verdade é um oxímoro, pois esta, em realidade, ocorre no cérebro do observador. [11]

Em geral, são utilizados três tipos de equipamentos para medir os estímulos interpretados como cor; todos eles trabalham fazendo brilhar uma luz com uma composição espectral conhecida sobre ou através de uma superfície, então utilizando detectores para medir a luz que tal superfície reflete ou transmite. A diferença entre os três tipos de instrumentos: densitômetros, colorímetros e espectrofotômetros consiste no número e tipo de filtros que utilizam e a sensibilidade dos detectores. [11]

2.5.1 Densitômetros [11]

Em termos de medição de cores, o grau sob o qual materiais como tinta, papel e filmes absorvem a luz é chamado de densidade. Quanto mais luz um destes objetos absorve luz, maior será a sua densidade.

Densitômetros não medem diretamente a densidade; ao invés disso, medem a razão entre a intensidade de luz incidida sobre ou através de uma superfície e a luz que chega ao detector do instrumento. Esta razão é chamada de refletância (R) ou transmitância (T) dependendo de qual dos dois tipos de materiais o instrumento mede.

2.5.2 Colorímetro [11]

A colorimetria é a ciência de se predizer combinações de cores como o olho humano típico poderia percebê-las. Um modelo colorimétrico deve satisfazer duas características:

1. Onde um típico observador humano vê uma combinação entre duas amostras de cor, o modelo colorimétrico deve representá-las com os mesmos valores numéricos.
2. Onde um típico observador humano vê uma diferença entre duas amostras de cor, não somente elas devem possuir

representações numéricas diferentes neste modelo, mas este deve ser capaz de computar o a diferença em cor, a qual prediz quão diferente as duas amostras são para o observador.

O sistema Colorimétrico CIE é ainda o sistema base para o gerenciamento de cores mais utilizado no mundo. Tal sistema possui algumas características chave:

- Iluminantes padrão – são definições espectrais de um conjunto de fontes de luz sob as quais se realizam a maioria das combinações de cores. (Em artes gráficas os dois mais importantes são D50 e D65)
- O Observador Padrão representa a resposta completa ao estímulo de um típico observador humano, ou seja; com todas as cores possíveis que um ser humano pode ver.
- O Sistema Primário CIE XYZ é uma definição inteligente das três primárias imaginárias que não correspondem a nenhuma fonte de luz real derivadas da resposta de estímulo de um Observador Padrão.
- O diagrama CIE xyY é uma transformação matemática do diagrama XYZ, onde uma linha reta entre dois pontos representa as cores que podem ser criadas pela adição destas em várias proporções (Figura 2.7). Ambos sistemas não levam em consideração a não-linearidade da visão humana.
- Os espaços de cor uniforme (LAB, LUV) foram definidos pelo CIE com a finalidade de reduzir as distorções nas distâncias entre as cores dos sistemas anteriormente citados.
- Cálculos de diferenças de cores (ΔE) proporcionam uma maneira simples para computar a diferença de cores entre duas amostras. ΔE é a distância obtida a partir da reta traçada entre dois pontos de cores em um espaço uniforme, correlacionando esta diferença àquela que os olhos humanos enxergarão.

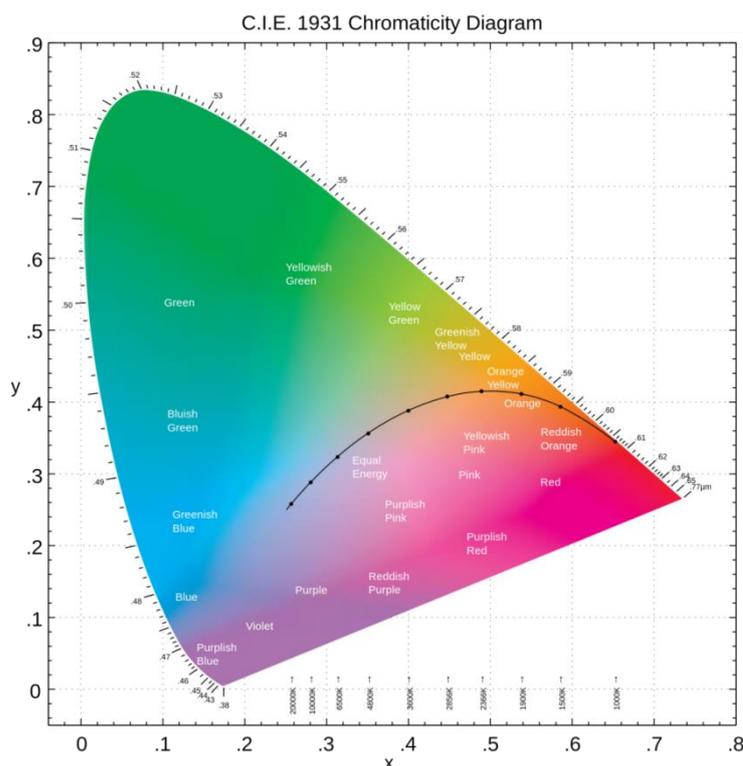


Figura 2.7: Carta cromática do espaço xy [15]

Os colorímetros medem a luz através de filtros que imitam aproximadamente a resposta dos cones nos olhos humanos e fornecem resultados numéricos em um dos modelos de cor CIE.

Colorímetros não detectam metamerismos, eles podem dizer quando ou não duas amostras coincidem sob um iluminante específico utilizado, mas eles não possuem um modo de dizer se um par é metamérico dependente do iluminante ou se as amostras realmente possuem propriedades espectrais idênticas que poderiam fazê-los corresponder sob qualquer iluminante.

2.5.3 Espectrofotômetros [11]

Os espectrofotômetros são instrumentos capazes de medir a refletância espectral, a razão entre a intensidade de cada comprimento de onda em direção a uma superfície e a luz de mesmo comprimento de onda refletida ao detector no instrumento.

Com dados espectrais pode-se determinar quando duas cores correspondem ou não metamericamente. De modo similar, colorímetros não podem medir a constância na cor, eles duplicam a resposta de estímulo dos olhos e isolam as cores enquanto ignoram as cores do ambiente.

2.6 A decoração por cilindros de silicone incididos a laser

A técnica foi adaptada por uma empresa italiana para a utilização na fabricação de revestimentos cerâmicos planos. Difere da serigrafia tradicional, onde o elemento decorador é uma malha reticulada com uma trama passante na qual a tinta está sobre a retícula e é empurrada para fora pela pressão exercida por uma espátula elastomérica.

Difere também da técnica de flexografia, onde o elemento decorador é uma borracha de impressão e a cor depositada (através do contato com um outro cilindro embebido em tinta) sobre a superfície externa do cilindro de decoração e dos relevos, é assim transferida para a superfície da peça.

Na técnica em questão, a transferência do motivo a ser reproduzido ao elemento decorador (o cilindro de silicone) é feita de modo direto, sem elementos intermediários (incisão à laser).

O desenho já digitalizado é transferido para uma estação de trabalho LaserLab[®] a qual traduz de acordo com a definição da imagem, associada ao tipo de incisão os pixels em orifícios de incisão. Os pontos variantes da escala de cinza da imagem digital serão convertidos em orifícios feitos à laser sobre o silicone.

A Figura 2.8 mostra uma estação laser e seus componentes básicos.

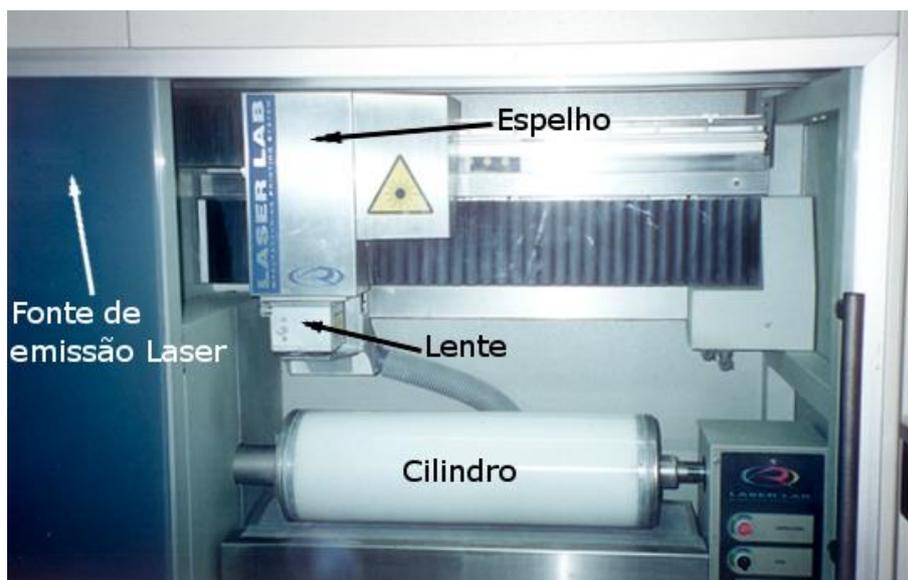


Figura 2.8: A estação de transferência da imagem ao elemento decorador e seus componentes básicos [16]

Neste caso, na imagem digital, cada pixel desta (com tom variando de 1 a 100% na escala de cinza), corresponde a um disparo do laser e por consequência, um orifício realizado na superfície de silicone do cilindro.

Apesar do disparo do laser ser de frações de segundo, visto que o cilindro está em rotação, o formato deste sobre o silicone pode variar do ideal circular, apresentando uma forma elíptica (Figura 2.9).

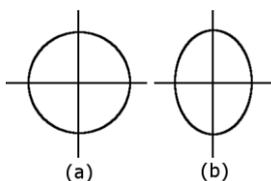


Figura 2.9: (a) Ponto ideal e (b) ponto real de incisão realizado por um feixe de raios laser. [16]

Neste método de incisão existem basicamente quatro grupos de incisão, cujos modos de transferência dos pixels para o cilindro podem ser escolhidos: as chamadas incisão padrão, a incisão HD ou alta definição, incisões tipo BITMAP e as incisões para deposição de altas camadas de tinta.

- (a) Incisões padrão – a característica principal deste grupo de incisões é que a distância entre os centros de cada ponto incidido é fixa, sendo assim, a variação de tom na escala de cinza é dada variando a dimensão dos pontos incididos. Neste grupo, há ainda a possibilidade de determinar entre uma série de ângulos de posicionamento dos pontos incididos entre si.

Por exemplo, uma incisão $0,4/45^\circ$ significa que os pontos serão colocados a uma distância de 0,4mm entre centros, e estes pontos serão alocados a 45° entre si. Uma incisão $0,4/117^\circ$ mantém as mesmas características de distância, porém o ângulo formado entre os pontos é agora de 117° (Figura 2.10).

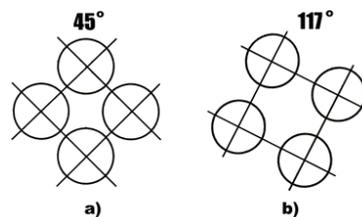


Figura 2.10: Representação das incisões (a) $0,4/45^\circ$ e (b) $0,4/117^\circ$ [16]

Para o caso da incisão $0,4/45^\circ$ adotada neste estudo, as dimensões dos orifícios vão de 0,12 a 0,31mm.

- (b) Incisão HD – é do tipo estocástico ou em linguagem comum, tipo “jato de areia”; ou seja, os pontos não possuem uma posição fixa. A característica desta incisão é que os pontos possuem todos a mesma dimensão (0,1mm) e a variação de tom na escala de cinza é dada pelo agrupamento de pontos, ou seja, quanto mais pontos e mais próximos entre si, mais escura será a imagem, pois maior será a área coberta por tinta.
- (c) Incisões tipo Bitmap (MTS, MTD, GS, etc) – neste grupo de incisões, a conversão da escala de cinza da imagem é realizada através de artifícios computacionais, onde cada ponto de tamanho fixo, dependendo da definição da incisão (166,67pixels/cm, 200pixels/cm,

etc.) poderá ser incidido com uma determinada angulação combinada com a formação ou não de pequenos grupamentos de pontos.

- (d) Incisões para altas camadas (Figura 2.11) – por alta camada entende-se aplicações que podem chegar a 600g/m^2 comparadas com aplicações em torno de $10\text{--}15\text{g/m}^2$ para as incisões $0,4/45^\circ$ e $3\text{--}7\text{g/m}^2$ para as incisões HD. Neste caso também são utilizados artifícios computacionais (através de variados tipos de padrões de combinação de pontos) para que os orifícios sejam feitos nos cilindros como grandes grupamentos de pontos (ou disparos do laser).

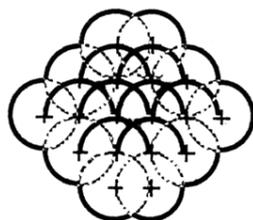


Figura 2.11: Representação de uma incisão para alta camada [16]

Cada uma destas incisões, com suas combinações; proporcionará um efeito diferente da mesma escala de cinza após incisão e por consequência, após a decoração da peça cerâmica.

Esta gama de diferentes incisões é justificada pela necessidade de se reproduzir as várias possibilidades naturais de mármore, granitos, arenitos, tecidos, madeiras, relevos e demais motivos utilizados pelas empresas cerâmicas para a produção de seus revestimentos, seguindo as tendências de design do mercado.

Para realizar esta reprodução, podem ser utilizadas quantas cores forem necessárias para se chegar o mais próximo possível dos efeitos desejados na reprodução do efeito natural que se busque. Para tal, cada canal de cor será passado a laser para um cilindro e estes, por consequência serão acoplados nas decoradoras Rotocolor[®] na linha de produção.

A sobreposição das cores durante o processo produtivo resultará no efeito desejado a ser reproduzido. O equipamento de decoração pode ser

utilizado com cada máquina individual diretamente acoplada à outra em sequência (configuração normalmente utilizada) ou separadas entre si (muitas vezes para as aplicações especiais de altas camadas).

O equipamento possui duas formas predominantes de trabalho: o chamado modo sincronizado e modo centrado. Nos dois casos o encaixe das cores é primordial para a manutenção da tonalidade, pois em muitos casos a combinação entre duas ou mais cores será responsável pela formação de outras.

No primeiro modo, os cilindros giram continuamente, pois o desenho incidido neste é realizado sobre toda a superfície do mesmo, sem apresentar emendas. Como cada peça que passa sob os cilindros chega aos mesmos em momentos diferentes, o resultado é que cada peça (dentro de uma gama limitada, mas abrangente de variações) apresentará um desenho diferente da outra, assemelhando-se ao resultado natural, por exemplo, de um mármore.

No caso da decoração em modo centrado, os cilindros somente irão girar quando a peça cerâmica acionar uma fotocélula de presença na frente de cada suporte de cilindro. Neste modo, todas as peças terão o mesmo padrão de decoração; este método é utilizado para a reprodução de desenhos com motivos geométricos, como parquets, mosaicos em mármore etc.

Independente do modo de decoração, o princípio de transferência da tinta para a peça é o mesmo, em parte por gravidade e em grande parte por forças de capilaridade onde a porosidade do esmalte na superfície da peça cerâmica puxa o volume de tinta de cada alvéolo para que seja depositada na superfície do esmalte, como indicado na Figura 2.12.

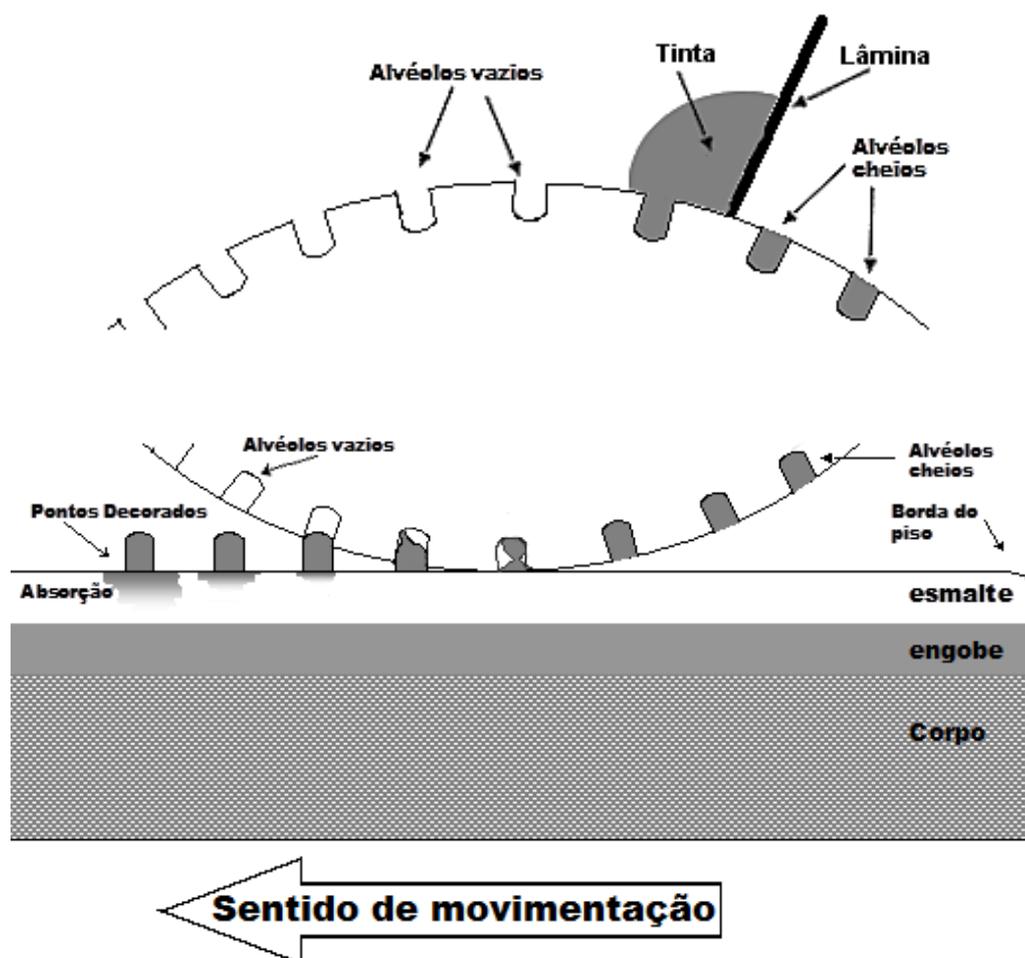


Figura 2.12: Representação esquemática da transferência da tinta para o cilindro e dos pontos de decoração sobre a peça cerâmica [16]

Na tecnologia de decoração por cilindros de silicone a variação de tonalidade tem sua fundamentação na formação/deposição de cada ponto individual sobre a peça cerâmica.

A manutenção da tonalidade durante a produção ou mesmo entre lotes diferentes da produção de uma mesma referência está intimamente ligada à forma, ou seja; a geometria do ponto formado pela deposição da gota de tinta que antes estava nos orifícios do cilindro de silicone; o volume de tinta descarregado em cada ponto, a quantidade de corante presente nesta gota e por fim, em que condições a cor será intensificada através de uma combinação com o esmalte de fundo.

Para que o ponto depositado esteja em condições perfeitas sob as quais seja atingida a intensidade de cor máxima da peça e esta continue a ser mantida durante a produção, de acordo com a formulação da tinta utilizada; uma série de variáveis deve ser controlada ou eliminada. Estas estão ligadas desde a fabricação das tintas (tipo, qualidade e proporção entre os corantes, as bases serigráficas e os veículos, etc.), passando pelas condições de *set up* do equipamento (condições de lâminas, velocidades, angulações, modo de decoração, etc.) destinado a decoração até as condições de *set up* da linha de produção que precede o equipamento de decoração (temperatura das peças cerâmicas, umidade superficial, velocidade, porosidade superficial do esmalte, etc.) e as posteriores à decoração (ciclo de queima, temperaturas utilizadas, etc.).

Na tecnologia de cilindros de silicone gravados ou incididos a laser, já é possível eliminar algumas das variáveis encontradas na decoração por telas serigráficas, assim descritas:

1. Fabricação do Fitolito – Na tecnologia de decoração por telas serigráficas há ainda a necessidade de uma etapa intermediária na produção do elemento decorador (no caso a própria tela) que é a produção do fotolito, ou negativo do desenho ou motivo a ser reproduzido. Por se tratar de um processo quase fotográfico, existe toda uma gama de variáveis na produção do fotolito que podem vir a influenciar a etapa posterior (a fabricação da tela serigráfica) o qual não existe na tecnologia de decoração por cilindros de silicone.

Neste caso a imagem a ser utilizada e transferida ao elemento de decoração (cilindro de silicone) é armazenada digitalmente e independente de quão distante sejam as datas de fabricação de diferentes lotes de cilindros, a imagem será sempre a mesma, transferida eletronicamente através de um feixe de raio laser para o cilindro de silicone.

2. Manufatura da tela – Na manufatura das telas serigráficas existem muitas variáveis que podem influenciar o processo de decoração, desde a fabricação do quadro de alumínio (em tela plana) ou a

montagem dos aros em elastômero (serigrafia rotativa), o estiramento e colocação da tela, o emulsionamento das telas até o tempo de exposição na revelação do desenho, pois como já dito, trata-se ainda de um processo fotográfico.

No caso dos cilindros de silicone, sua fabricação é totalmente automatizada, desde a manufatura da estrutura metálica passando pelo controle do tipo de silicone, a proporção da mistura entre os componentes para a fabricação quer seja da capa de silicone, quer seja da espuma de silicone até as dimensões físicas finais do cilindro; são todos processos altamente mecanizados, onde a influência humana é baixíssima.

Eliminadas as variáveis de fabricação do elemento decorador, restam como objeto de estudo e fontes para a variação de tonalidade todas aquelas ligadas ao equipamento, às condições da linha cerâmica, a tinta a ser utilizada e as relações existentes entre elas.

O fluxograma (Figura 2.13) resume as variáveis encontradas na decoração por cilindros de silicone. Ao fluxograma foram ainda inseridas as variáveis ligadas aos cilindros no que concerne às tipologias de silicone, dimensões dos cilindros e condições de uso.

O processo de produção de placas cerâmicas para revestimentos envolve, em muitas situações, o uso de novas tecnologias e metodologias de trabalho; todavia, ainda é considerado um modelo onde o controle das variáveis está aquém do ideal.

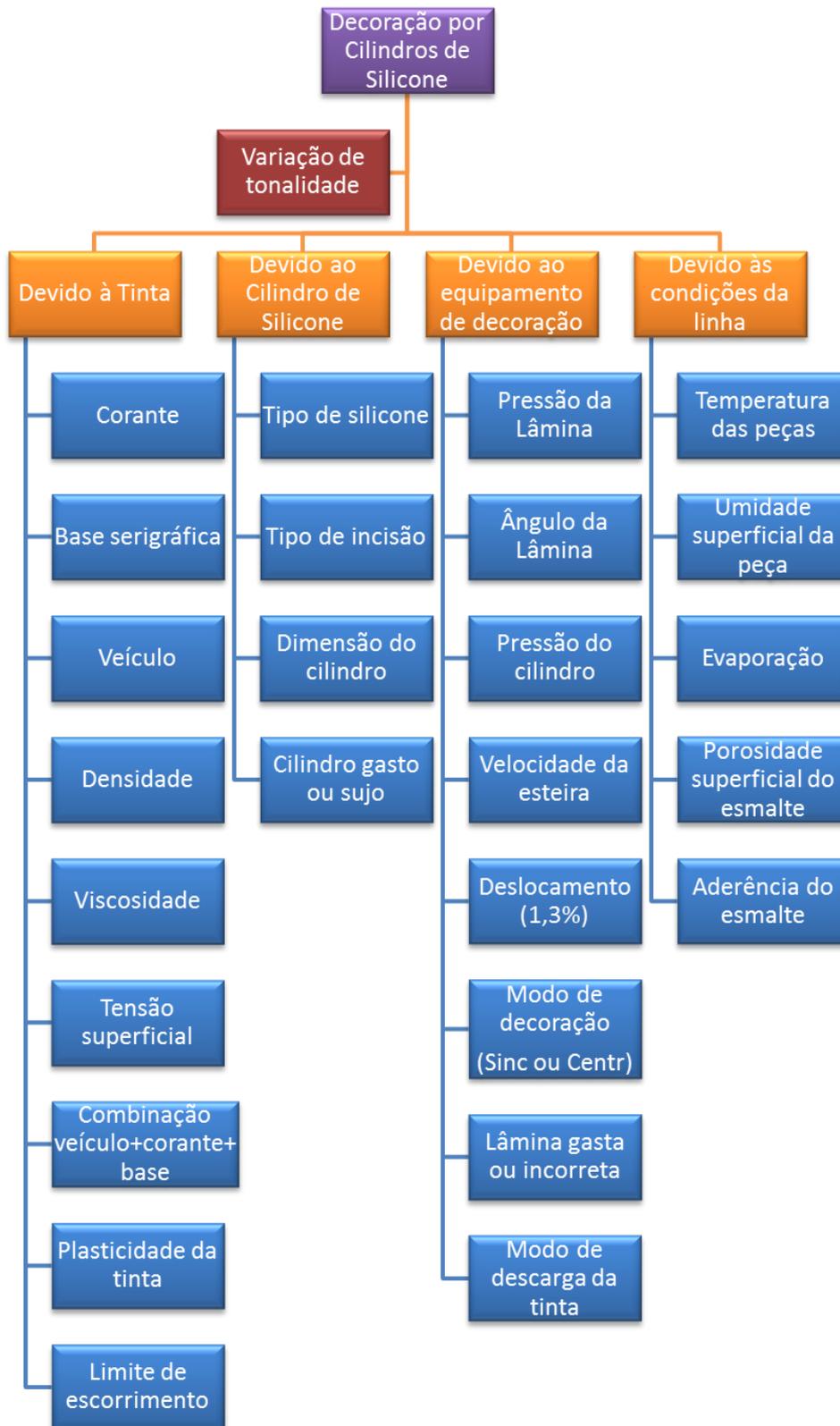


Figura 2.13: Variáveis encontradas na decoração por cilindros de silicone.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, algumas variáveis foram fixadas sem qualquer prejuízo na veracidade dos resultados que se pretendia obter, mesmo porque algumas delas já são inerentes ao fluxo de desenvolvimento de produtos.

As variáveis fixadas por todo o experimento foram:

1. Tinta
 - a. Formulação da(s) tinta(s) (base serigráfica, veículo e corante(s)) – Neste caso foram fixadas as proporções entre os componentes da tinta. Também foi utilizada uma tinta base padrão para comparação.
2. Características da peça
 - a. Tipo de esmalte – foi fixada uma formulação de esmalte para a análise em questão, visto que tanto a sua composição quanto as características reológicas afetam na deposição dos pontos, sendo assim; para a viabilização desta tese, outras formulações ficam como proposta para trabalhos futuros.
 - b. Tipo de engobe;
3. Cilindro
 - a. Tipo de silicone – a tipologia do silicone empregado durante a decoração exigem características de tinta e modos de operação diferenciados que podem vir a influenciar a deposição dos pontos sobre o suporte cerâmico.
 - b. Tipo de incisão(ões) – devido ao modo como os pontos do desenho são colocados nos cilindros através da técnica de incisão a laser, foram fixadas duas incisões (uma sendo de baixa resolução, e muito utilizada no mercado brasileiro; e outra cuja definição se aproxima à das impressoras jato de tinta).
 - c. Dimensão de cilindro – visto que existem várias dimensões de cilindros de silicone, quer seja de comprimento e diâmetro, o estudo foi realizado sobre a dimensão de cilindros de maior volume de comercialização no mercado brasileiro.

- d. Desenhos base – foi utilizado para todos os ensaios um desenho base contendo imagens pré-estabelecidas a fim de verificar a deposição dos pontos, sua formação e deste modo o controle de tonalidade de acordo com as características físicas de cada gota depositada. Resumindo, para cada incisão, dentro dos testes estipulados, foi utilizada como base de análise: duas escalas de cinza (uma discreta e outra contínua), três áreas com preenchimento pleno nas porcentagens da escala de cinza de 5% - representante dos tons baixos, 25% - como tons médios e 85% da escala de cinza para a análise dos tons altos; por fim os resultados foram também analisados através de três canais (desenhos de composição) característicos dentre os diversos utilizados na reprodução de motivos em revestimentos cerâmicos, um com pouca variação de tons da escala de cinza em torno dos tons médios, um canal bem contrastado com um fundo claro (em tons baixos) e veios bem marcados e por fim um canal com preenchimento homogêneo, contrastado e com a maioria dos tons presentes na parte alta da escala de cinza), como mostrado na Figura 3.1.
4. *Set up* do equipamento de decoração – alguns parâmetros de ajuste do equipamento foram fixados para o desenvolvimento do trabalho.
 5. Condições de operação – foi determinada uma metodologia de execução da decoração a ser seguida.

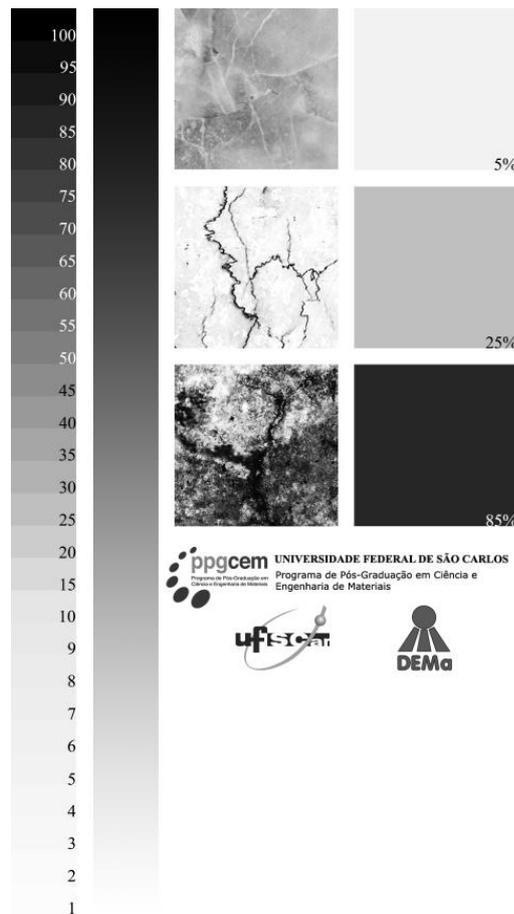


Figura 3.1: Desenho base utilizado para as incisões e decorações

As variáveis testadas foram:

1. Densidade e viscosidade da tinta serigráfica (DV);
2. Temperatura do suporte cerâmico (T);
3. Velocidade de produção (VP);
4. Pressão do cilindro sobre a peça (PCP);
5. Pressão da lâmina sobre o cilindro (PLC);
6. Ângulo de ataque da lâmina (AL);
7. Umidade superficial do suporte (US);

Inicialmente, o estudo foi desenvolvido procurando averiguar o peso da influência de cada uma das variáveis no problema de variação de tonalidades; posteriormente, mantendo o grau de liberdade igual a 1, todas as variáveis de controle foram postas em estudo mantendo as outras 6 fixas.

Para tal, o controle das variáveis foi realizado como descrito abaixo:

1. Densidade e viscosidade – foram realizados ensaios de picnometria com um densímetro SERVITECH em aço, capacidade volumétrica de 100mL e dimensões de $\varnothing 50 \times 70$ mm (de acordo com normas ISO 2811, NBN T22-110 e DIN 53217) para a determinação das densidades. Para a viscosidade foi utilizado o método de determinação usualmente utilizado nas indústrias cerâmicas para controle imediato de viscosidade; medida em Copo Ford n°.4 de acordo com as normas ABNT NBR 5849:1986 e ASTM D-1200.
2. Temperatura do suporte cerâmico – foi determinada através de pirômetro ótico marca RAYTEK, modelo RAY ST6LXB.
3. Velocidade de produção – todos os equipamentos que empregam cilindros de silicone possuem um tacômetro acoplado ao sistema de gerenciamento do equipamento.
4. Pressão do cilindro sobre a peça – o equipamento de decoração Rotocolor S5 Universal® utilizado para a realização desta tese possui uma célula de carga que fornece um valor de pressão em termos de altura relativa.
5. Pressão da lâmina sobre o cilindro – como no item anterior, o equipamento de decoração utilizado também possui uma célula de carga que fornece um valor de pressão em termos de proximidade relativa entre a lâmina e o cilindro (Rotocolor S5 Universal®).
6. Ângulo de ataque da lâmina – o equipamento de decoração referido também possui já em seu sistema de gerenciamento um controle de angulação entre a lâmina e o cilindro.
7. Umidade superficial do suporte cerâmico – foi determinada através de balança marca Marte, modelo AS2000C.

As características que foram avaliadas através dos resultados de decoração; ou seja, da formação dos pontos decorados depositados sobre as placas cerâmicas, foram analisados através de microscopia ótica com o equipamento Zeiss modelo Axio Scope A1, auxiliado pelo software analisador de imagens Axio Vision versão 4.8.2.

Na averiguação das tonalidades e das características colorimétricas, foi utilizado um espectrofotômetro modelo RS232C SPECTRAMAGIC marca KONICA MINOLTA e o programa SpectraMagic versão 3.61G.

Foram analisados os seguintes tópicos que, em relação às características dos pontos depositados pelo elemento decorador, são fundamentais para a determinação da tonalidade e suas variações:

1. Geometria: quão próximos ao formato ideal (circular) estavam os pontos;
2. Cobertura: através de softwares de tratamento de imagem foi possível a determinação da área de cobertura ocasionada pela decoração, fator esse determinante da tonalidade macroscópica do produto.
3. Volume depositado – visto que para cada tipo de incisão existe uma geometria de orifício, o volume de tinta pode ser determinado e, sendo assim, através da observação da calota esférica formada pelo ponto depositado; pretendia-se calcular o volume de tinta que deixou o orifício do cilindro.

O microscópio utilizado não forneceu condições para a determinação do raio da calota, e deste modo, o volume depositado não pode ser calculado, ficando como opção para trabalhos futuros.

Escolhidas as combinações entre densidade e viscosidade, temperatura do suporte, velocidade de produção, pressão do cilindro sobre o suporte cerâmico, pressão da lâmina sobre o cilindro, ângulo de ataque da lâmina sobre o cilindro e umidade superficial da peça, foram realizadas as decorações das escalas de cinza e desenhos mantendo seis das variáveis fixadas e, dentro de um universo de possibilidades de variações já pré-estabelecido, foi analisado o quanto a característica em questão influencia na geometria, cobertura, volume de tinta depositado e tonalidade.

As peças cerâmicas foram obtidas inicialmente em uma empresa que utiliza a produção de revestimentos cerâmicos por via seca.

Em laboratório, as peças permaneceram em estufa com temperatura mantida em torno de 90°C para os posteriores ensaios.

A aplicação de água foi realizada em uma cabine de esmaltação padrão, através de uma pistola de ar comprimido.

A medição e registro da temperatura da peça antes da decoração foi realizada através de pirômetro ótico.

O procedimento geral para a realização dos experimentos foi como mostrado a seguir:

1. Escolha do teste
 - Determinação das faixas de variação para cada um dos itens selecionados para estudo
 - Ordenação da execução dos testes de acordo com a sua simplicidade
2. Preparação das condições
 - Estabelecimento dos padrões de ensaio
 - Fixar as condições de ajuste de equipamento
 - Fixar as condições de preparação da tinta a ser utilizada
 - Procedimentos de preparação das peças a serem decoradas
 - Fixar o lote de peças, prevendo possíveis variações no esmalte de cobertura.
3. Execução dos ensaios
 - Para cada variável estudada, as peças foram deixadas em estufa para que a temperatura fosse homogênea em todos os ensaios.
 - Após a retirada da estufa, as peças foram levadas à cabine de aplicação de esmalte para que recebesse a cobertura de água, homogeneizando a umidade e reduzindo a temperatura para a faixa determinada.
 - Por fim, as peças foram decoradas sob o cilindro já inciso, ajustado e com a tinta padrão.
4. Análise dos resultados
 - Através de suportes adequados, as peças foram levadas para a realização das análises de espectrofotometria e microscopia ótica.

3.1 Ensaios de Densidade e Viscosidade.

Em princípio, deve-se entender como cada uma destas características está relacionada ao processo de decoração de revestimentos cerâmicos.

Densidade – visto que, quando se fala em densidade deve-se ter em mente sempre a relação de massa por volume; em decoração cerâmica ela está relacionada também à tonalidade da decoração, visto que fluxos e bases cerâmicas possuem baixa densidade, comparativamente à maioria dos corantes; em uma tinta com maior densidade, subentende-se que a porcentagem de corantes presentes é maior do que uma tinta com densidade baixa.

Neste ponto a tradução aos olhos da tonalidade é que, sendo a quantidade de corantes maior, mais intenso será o tom decorado, ou seja; a densidade indica “a quantidade” de cor presente na tinta e por consequência, na decoração.

Viscosidade – o conceito básico diz que a viscosidade é a resistência dos fluidos ao escoamento. Neste caso, a relação da viscosidade com a decoração prende-se em dois fatores que ocorrem em etapas distintas. Primeiro na questão de quão fácil ou como uma determinada tinta flui de dentro do orifício do elemento decorador (feitos a laser na superfície do cilindro de silicone) para a superfície da peça cerâmica e, em uma segunda etapa; como esta gota ou este volume de tinta que foi depositado sobre a peça escoará (ou se espalhará) sobre a superfície do esmalte cerâmico.

Sendo assim a viscosidade relaciona-se à *qualidade* da decoração, é ela uma das determinantes da forma do ponto depositado sobre a peça.

A tonalidade de um produto será tão mais próxima da tonalidade padrão estabelecida, quão mais completa for a descarga do volume de tinta do alvéolo, ou seja, na formação de um ponto completamente esférico, quase a totalidade do volume de tinta foi transferido do orifício à superfície da peça, sendo assim, forma-se uma calota esférica, que é a forma de um ponto ideal. Se o volume de tinta não é completamente depositado, haverá falha na formação do ponto, onde as formas características mais comuns são de pontos tipo “meia-lua”, tipo “arruelas” e pontos disformes, como ilustrado na Figura 3.2.

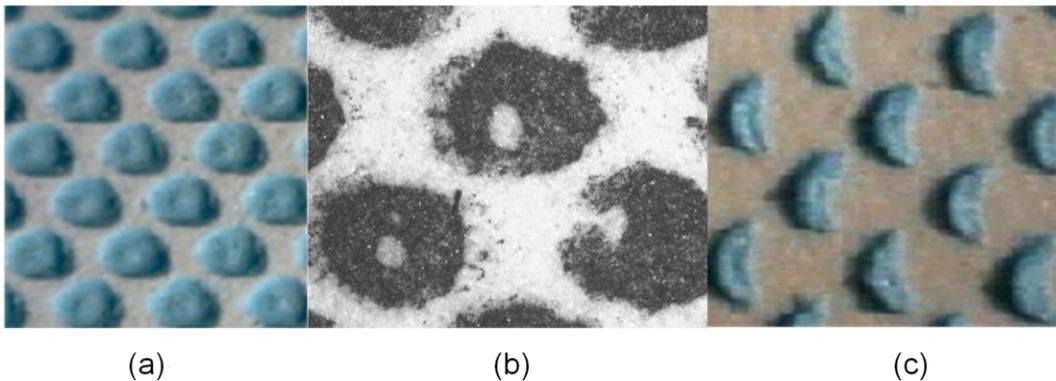


Figura 3.2: Micrografias mostrando (a) uma deposição ideal de pontos [11], (b) defeitos tipo “arruelas” (fonte: Autor) e (c) defeitos de deposição tipo “meia-lua” [11]

Em geral, quanto maior a viscosidade das tintas, maior será a dificuldade de escoamento desta através das paredes dos alvéolos no cilindro de silicone, sendo assim, com os valores de viscosidade decrescentes, os pontos se formam como os de tipos “meia-lua” aos disformes, neste caso particularmente quando a viscosidade é muito baixa e inadequada ao tipo de incisão utilizado.

Na produção de tintas cerâmicas para decoração de revestimentos planos pelo método de cilindros de silicone incididos a laser, são utilizados basicamente corantes, bases ou fluxos cerâmicos e os chamados veículos serigráficos (base em glicóis). As características de viscosidade de densidade são determinadas de acordo com a combinação dos vários tipos dos três componentes. Basicamente o par densidade–viscosidade varia com a porcentagem (geralmente utilizada em massa) de cada um destes componentes.

Realizada uma formulação, com o acréscimo de mais veículo serigráfico, há a diminuição da densidade da tinta serigráfica (relativamente a uma menor quantidade de sólido presente) e, dependendo de características que são intrínsecas dos veículos serigráficos, a tendência na diminuição da viscosidade pode ser mais ou menos acentuada.

Variações na viscosidade sem que haja influência na densidade é obtida através da utilização de tensoativos e espessantes. Em princípio este não é o

objetivo da análise deste trabalho, visto que tais aditivos já fazem parte da formulação básica de veículos serigráficos, sendo assim, o estudo na variação de densidade e viscosidade será realizado somente com a variação nas proporções entre sólido e líquido.

Na indústria de revestimentos cerâmicos a viscosidade não é medida diretamente, mas de forma indireta através do tempo de escoamento da tinta através de um dispositivo padronizado (Copo Ford), onde o tempo é obtido com um cronômetro.

Sendo assim, ao longo de toda esta tese, fique aqui entendido que a variável diretamente medida foi o tempo de escoamento da tinta e não a viscosidade em si; visto que as duas grandezas estão diretamente relacionadas, o termo viscosidade será utilizado neste sentido, visto que é assim utilizado na indústria no ramo de revestimentos cerâmicos planos.

Os valores de densidade e tempo de escoamento (viscosidade) indicados para a faixa de uso no tipo de decoração de cores a que se propõe esta tese, de acordo com os padrões utilizados comumente nas linhas de produção nas empresas estão nas faixas de 1,20~1,70 g/cm³ para a densidade e de 18 a 22s em copo Ford 4 para o tempo de escoamento.

Estabelecido o par densidade–viscosidade de acordo com a formulação base da tinta padrão, foram realizados testes com valores acima e abaixo do considerado a faixa ideal, a fim de se verificar com relação às variáveis estudadas, quais situações resultam em melhores efeitos na formação dos pontos decorados e de manutenção da tonalidade.

Para que o estudo fosse significativo e relevante, as condições e procedimentos de preparo das tintas foram mantidas similares ao realizado nas indústrias.

Inicialmente, estabelecidas as proporções de cada componente na formulação, foi realizado o cálculo da massa, a pesagem dos componentes e a mistura, a tinta final foi sempre peneirada em malha 325 mesh para posterior medições de densidade e viscosidade.

3.2 Ensaios de Temperatura do suporte cerâmico

A temperatura do suporte possui grande influência sobre a decoração; em parte esta influência está ligada à evaporação de água através da superfície de esmalte e em parte ligada à gotícula de tinta que sai do elemento decorador para ser depositada sobre o suporte.

Em geral, a qualidade da decoração é inversamente proporcional à temperatura superficial do suporte no momento de chegada ao equipamento ou sob o elemento decorador (tela serigráfica, cilindro de silicone ou cabeçote de injeção).

Temperatura e a evaporação de água na superfície do suporte.

Após as placas cerâmicas serem conformadas por prensagem e serem transportadas ao secador, elas saem deste em direção à linha de esmaltação com uma temperatura que varia (dependendo da formulação, quantidade de água da massa, tipologia do produto, do formato do suporte e velocidade da linha de esmaltação) de 120°C a 150°C.

Normalmente, independente do processo, após a saída das peças do secador, há aplicação de água através de um ou dois bicos de ar comprimido, com o intuito de homogeneizar a temperatura superficial e livrar a superfície de restos de poeira do processo para que os poros superficiais do suporte prensado sejam abertos, proporcionando uma melhor interface na deposição do engobe e do esmalte base. A partir deste ponto é esperada uma queda na temperatura superficial da peça em cerca de 30°C a 40°C em média. Sopradores posicionados estrategicamente durante o trajeto entre a última aplicação de cobertura (esmalte) até a chegada aos equipamentos decoradores proporcionam (dependendo da velocidade e comprimento da linha de esmaltação) mais uma queda de temperatura, em média, de outros 30 a 40°C nas linhas de decorações tradicionais (telas serigráficas e cilindros de silicone), chegando entre 50°C e 65°C nas linhas de decoração.

A combinação entre os fatores abaixo listados determinarão o grau de evaporação de água acumulada para o ambiente.

- Temperatura de saída da peça do secador;
- Quantidade de água aplicada após o secador;

- Camadas de engobe e esmalte aplicadas;
- Método de aplicação de engobe/esmalte (disco, aerógrafo, campana ou vela);
- Velocidade e comprimento da linha de esmaltação e
- Temperatura ambiente

A evaporação de água ocasiona a formação de um 'filme' de vapor sobre a peça, o qual poderá acarretar dois problemas:

1. Dificultar a transferência da gotícula de tinta que está no elemento decorador para a superfície da peça;
2. Proporcionar a condensação nas partes mais frias dos equipamentos de decoração (tela, espátulas em aço e cabeçotes de decoração) o que ocasionará o futuro gotejamento de água e consequente depredação da decoração.

Neste estudo, o fator importante na variação de tonalidade que segue em congruência com os objetivos propostos é o de dificultar a transferência dos pontos para a peça cerâmica, visto que uma ausência de ponto significa a ausência de uma quantidade de cor que fará a peça, macroscopicamente; chegar ao tom padrão desejado.

Temperatura e a deposição da gota de tinta na superfície do suporte.

Suponha-se que o volume de vapor d'água na superfície da peça seja insignificante ao ponto de não afetar a transferência da gotícula de tinta do elemento decorador para a superfície do esmalte.

Caso a temperatura da peça seja muito elevada, ainda assim haverá um problema de deposição da tinta sobre a peça.

Visto que as dimensões dos alvéolos incididos a laser, no caso deste estudo; são de décimos ou centésimos de milímetros (tanto diâmetro quanto profundidade); o volume associado à forma dos orifícios é muito pequeno, da ordem de nanolitros (no caso de uma incisão $0,4/45^\circ$, teoricamente, o volume da maior gota depositada seria de 60,38nL e da menor gota, de 9,05nL). Neste caso, altas temperaturas superficiais fazem com que este pequeno volume de líquido presente na tinta seja rapidamente evaporado, assim que a gota é depositada sobre o suporte.

Este efeito trará como resultado um ponto de tinta que não está ancorado ao esmalte e, em decorações subsequentes, encontrando um elemento decorador por contato e úmido (cilindro com tinta), este ponto se desprenderá da superfície, aderindo-se ao cilindro de silicone subsequente, carregado de tinta, contaminando esta e deixando a suporte decorado com uma quantidade menor da tinta anterior. Tudo isto somado também acarretará uma variação de tonalidade na decoração.

Foram estudadas as decorações realizadas com o suporte cerâmico com temperaturas mais baixas e superiores àquelas indicadas para o bom andamento da produção e um bom resultado de decoração para equipamentos como o utilizado nesta tese, para estabelecer um comparativo em qualidade de decoração com respeito à deposição de pontos, quando a temperatura é menor e maior do que o indicado.

As peças cerâmicas esmaltadas foram acondicionadas em estufa, com temperatura mais elevada do que a de estudo, para que na sequência estabelecida (aplicação de água e posterior decoração) em laboratório, pudessem ser introduzidas no equipamento de decoração com a temperatura exata pretendida. O registro de temperatura foi realizado através de um pirômetro ótico.

3.3 Ensaio de Velocidade de Produção.

Conseguir um efeito positivo em decoração, dentro dos padrões estabelecidos de qualidade de imagem decorada, tonalidade e definição (independente do método de decoração utilizado) também é função da velocidade com a qual o substrato a ser decorado passa sob o elemento decorador.

Tanto a forma do ponto depositado quanto a descarga de todo o volume de tinta presente nos alvéolos incididos a laser dependem do tempo de contato entre o elemento decorador e o substrato cerâmico.

Os fabricantes de revestimento cerâmico da região de Rio Claro e Santa Gertrudes, em geral; procuram obter o máximo do desempenho dos

equipamentos de decoração, com relação à velocidade de produção; para que possam aumentar a metragem mensal fabricada.

Os fornecedores de equipamentos por sua vez, atuam no sentido de favorecer este mercado, produzindo equipamentos que cada vez proporcionam maior velocidade de produção; em geral se trabalha com velocidades em torno dos 60m/min (podendo chegar aos 70m/min), neste sentido foram estudadas velocidades abaixo e igual a média praticada neste mercado para que o efeito do tempo de contato e transferência de pontos com relação à tonalidade pudesse ser analisado.

Depois de estabelecida a velocidade de decoração, as peças cerâmicas foram retiradas da estufa em laboratório, levadas à aplicação de água, medida a temperatura da superfície e colocadas no equipamento para decoração para posterior análise.

3.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica

Existe uma variedade de tipos de cilindros de silicone cuja dureza superficial varia de acordo com o tipo de silicone empregado na sua fabricação, quantidade de espuma de silicone na camada que faz a interface entre a superfície que receberá a incisão a laser e o corpo metálico da estrutura principal do cilindro e espessura da camada superficial de silicone.

Cada tipo de cilindro, com uma faixa de dureza estabelecida pelo seu fabricante; é indicado para ser utilizado em determinadas tipologias de desenho a serem reproduzidos em combinação com o tipo de aplicação de esmalte sobre o substrato cerâmico e, em alguns casos também com o tipo de incisão.

Por outro lado, os equipamentos de decoração possuem a flexibilidade de ajustar a altura do cilindro de decoração de acordo com a espessura do revestimento a ser decorado e deste modo, proporcionar o preenchimento com a gráfica desejada até os limites das bordas das peças cerâmicas, bem como ajustar-se ao relevo destas, quando necessário.

Neste trabalho, pela tipologia de cilindro adotada como fixa para o estudo (cilindro tipo T1®, dureza no intervalo de 10 a 19 SHORE A [11]), o

fabricante indica uma altura de trabalho não superior a 1,5mm abaixo da espessura da peça, sendo comum o uso de alturas entre 0,8 e 1,0mm. A utilização de medidas fora deste padrão acarreta não somente problemas de decoração, dependendo da tipologia de desenho empregada para a reprodução dos motivos a serem decorados e das incisões escolhidas, mas também proporciona um desgaste acelerado do elemento de decoração.

O que ocorre neste caso, em relação à tonalidade da peça decorada está ligado à forma do ponto e a possibilidade de ocorrer uma mistura não desejada entre pontos decorados por cada uma das cores individuais dos cilindros na formação do produto e da imagem final, além de um aumento na tensão de cisalhamento existente entre as duas superfícies (cilindro de silicone e camada de esmalte do revestimento).

À medida que se aumenta a pressão do cilindro sobre a peça cerâmica, este tende a se deformar, e os orifícios elípticos tendem cada vez tornarem-se mais alongados, dificultando ainda mais a saída do volume de tinta dos alvéolos e a deposição perfeita do ponto de decoração.

Como já mencionado anteriormente, atingir o tom padrão depende da quantidade de cor depositada sobre as peças; deste modo, a análise aqui realizada foi comparar o decréscimo de tinta depositada sobre a peça cerâmica à medida que a pressão do cilindro sobre esta também aumenta. De acordo com cada um dos tipos de revestimentos estudados, foi estabelecida uma altura padrão (em conformidade com o indicado pelo fabricante do equipamento e com aquela utilizada pelos produtores de revestimentos) e analisados os efeitos decorativos com alturas menores e maiores do cilindro em relação à peça cerâmica.

3.5 Ensaio de Pressão da Lâmina Sobre o Cilindro

No modo de decoração por cilindros, quer seja os de tela de serigrafia quer seja os de silicone, ambos em seus equipamentos, possuem um componente chamado de lâmina ou espátula, o qual é responsável por realizar

a transferência da tinta para (cilindros de silicone) ou através (cilindros de tela serigráfica).

O modo como ocorre o contato e a força aplicada entre os dois elementos (cilindro e lâmina) são determinantes para o resultado da decoração.

Nos equipamentos de decoração por cilindros de silicone, como mostrado anteriormente, as lâminas em aço inoxidável são as responsáveis por introduzir a tinta nos alvéolos feitos a laser.

A variação da pressão desta lâmina sobre os cilindros, além de ter grande influência sobre a vida útil de ambos (maior pressão significa maior área de contato devido à flambagem da lâmina sobre o cilindro, o que causa maior atrito e conseqüentemente maior desgaste) também exerce influência no preenchimento dos alvéolos. Existe ainda em algumas empresas a cultura em se acreditar que a maior pressão da lâmina força mais a tinta a entrar; ledo engano.

Quando a lâmina pressiona o cilindro ela o deforma, e deste modo, dois processos ocorrem:

- 1) Há uma deformação ainda maior da entrada do alvéolo, tornando-se cada vez mais elíptico o que dificulta a entrada da tinta e
- 2) Ocasiona um achatamento do alvéolo, ou melhor, torna-o mais raso. Assim, após a deformação, o alvéolo terá um volume menor de tinta.

Deste modo, o volume de tinta que entra no alvéolo não é o volume total que poderia ser adicionado para que a decoração atingisse o tom padrão determinado, ou seja; o formato ideal do ponto depositado na peça cerâmica estará comprometido por este baixo volume de tinta já presente dentro do alvéolo.

3.6 Ensaio de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro

No equipamento de decoração utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, modificar somente o valor do ângulo que a lâmina atua sobre o cilindro significa uma maior ou menor pressão desta mesma lâmina sobre o elemento de decoração.

Para que se tenha uma variação do ângulo somente, sem afetar a pressão que a lâmina exerce sobre o cilindro decorador, um par de variáveis deve ser ajustado: a angulação e a altura da espátula. Desta forma, a lâmina posicionada em um ponto mais alto do cilindro forma um ângulo maior (mais aberto, relativamente mais próximo de 90° com relação à superfície do cilindro).

Em termos do preenchimento dos alvéolos com tinta, quanto maior a tendência da lâmina chegar à perpendicularidade com relação à superfície do cilindro, menor quantidade de tinta será empurrada para dentro dos orifícios; deste modo, quanto mais baixa a posição relativa da lâmina, menor será o ângulo formado entre a superfície do cilindro e a lâmina e sendo assim, mais suavemente será sua atuação o que facilitará a entrada da tinta nos alvéolos.

Resumindo, ângulos maiores combinados à alturas maiores de posicionamento da lâmina significam que o preenchimento dos alvéolos com tinta se afasta da plenitude e deste modo, ocasionará na decoração a formação de pontos de tinta descarregados sobre as peças cerâmicas com formatos irregulares, pois o volume não será suficiente para formar um ponto circular e completamente cheio de tinta (calota esférica). Ângulos menores associados à uma baixa altura da lâmina permitem um maior preenchimento dos alvéolos com tinta, o que possibilitará a descarga de um volume maior, o qual permitirá a formação de um ponto homogêneo e completo, aproximando-se do ponto de decoração ideal.

Novamente neste caso, a boa formação do ponto está ligada diretamente à variação de tonalidade do produto final.

3.7 Ensaios de Umidade Superficial do Suporte Cerâmico

A quantidade de água presente ainda no esmalte de cobertura do revestimento cerâmico, o qual receberá a decoração quando a peça passar sob os cilindros de silicone segue um padrão de influência sobre a qualidade dos pontos decorados semelhante ao efeito causado pela temperatura, visto que estas duas variáveis estão intimamente ligadas.

Porém, para que os dois efeitos possam ser tratados de forma distinta, este ensaio consistiu em uma tentativa de se manter a temperatura fixa variando a quantidade de água aplicada para verificar tal influência sobre a decoração.

A tinta cerâmica que foi acondicionada dentro dos alvéolos pela lâmina ou espátula de decoração; como já dito anteriormente, possui um volume muito pequeno, sendo assim, se esta gota de tinta transferida ao suporte encontrar uma superfície muito seca, a parte líquida do agora ponto depositado será absorvida de maneira muito rápida, o que trará como efeito o abandono da parte sólida da tinta sobre a superfície do esmalte sem qualquer ou com muito pouca penetração da fração sólida (base cerâmica mais corante) na camada de esmalte.

Na sequência da transposição dos desenhos dos cilindros para a peça, quando o revestimento encontrar o próximo cilindro carregado de tinta, este não só depositará os pontos de decoração sobre o substrato como também retirará parte dos pontos que foram decorados pelo primeiro cilindro; isto porque a primeira decoração não ocorreu de modo adequado para que houvesse a ancoragem dos pontos no esmalte, isto é; a penetração de parte da parcela sólida da tinta no esmalte e conseqüente fixação do ponto sobre o mesmo. Os pontos mal ancorados na peça aderem ao próximo cilindro pois este encontra-se com a superfície umida por estar também carregado de tinta.

Este efeito ocorre em cadeia, do primeiro para o segundo cilindro, do segundo para o terceiro e assim por diante até a última decoração.

As conseqüências deste efeito são as seguintes:

- 1) Falha de pontos depositados: visto que uma decoração posterior arranca os pontos depositados pela anterior, alguns pontos estarão ausentes na malha de pontos decorados e macroscopicamente estas falhas serão vistas como pontos brancos.
- 2) Tonalidade da peça fora de padrão: quanto maior for o arrancamento de pontos de uma decoração pela outra menor será a quantidade de tinta de determinada cor para contribuir com a tonalidade final.

- 3) Contaminação: das tintas subsequentes pelas antecessoras devido ao desprendimento dos pontos decorados e adição ao conteúdo da tinta.

Todas as peças decoradas obtidas através dos ensaios acima descritos foram analisadas em espectrofotômetro, por microscopia ótica e análise de imagem para estudo de porcentagem de recobrimento das peças decoradas a verde.

Ao final das análises preliminares, foram estudadas as melhores combinações e os resultados da tonalidade também neste caso.

As imagens dos canais típicos, como dito anteriormente; visto que possuem variações de tons ao longo da área, auxiliaram na análise visual de uma boa decoração de acordo com a variação realizada.

Os ensaios de decoração das peças cerâmicas foram realizados utilizando revestimentos fornecidos pela Cerâmica ARTEC Ltda., situada em Cordeirópolis – SP.

Para aproximar as condições de ensaio àquelas fabris, as peças utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram conformadas e esmaltadas em condições normais de produção do referido fornecedor.

Para atender às limitações determinadas no objetivo de estudo; o esmalte de cobertura das peças ensaiadas sempre foram do mesmo tipo.

Como insumos para a fabricação da tinta cerâmica, foram utilizados materiais fornecidos pela empresa ENDEKA Ltda., situada na cidade de Mogi-Guaçu – SP, cujos códigos são CT1709 e JMTM 1006 para o corante negro e fluxo respectivamente, componentes sólidos da tinta.

Finalizando, para fabricação da tinta o veículo utilizado foi o de código UG1450 fornecido pela empresa ZCHIMMER & SCWARTZ, situada em Santa Gertrudes – SP.

Todas as matérias-primas são pertencentes ao portfólio normal de produtos das empresas citadas acima, escolhidos com a mesma finalidade: manter as condições de ensaio o mais próximo daquelas praticadas nas indústrias cerâmicas de revestimento.

Por fim, os ensaios de decoração das peças cerâmicas foram realizados nas instalações da empresa System Brasil Ltda., situada na cidade de Rio Claro, que forneceram os cilindros de teste, as incisões estudadas e a disponibilidade de uso das suas instalações, estações LaserLab[®] para composição do cilindro e máquinas decoradoras Rotocolor MPA[®].

Para a análise das peças após a decoração foram utilizadas as instalações e o espectrofotômetro MODELO RS232C SPECTRAMAGIC MARCA KONICA MINOLTA do laboratório do LaRC no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

As micrografias e a análise das imagens foram realizadas no laboratório de Ciência dos Materiais da Universidade Federal de Alfenas, Campus Avançado de Poços de Caldas, através do microscópio Zeiss modelo Axio Scope A1, utilizando o software residente de tratamento de imagens Axio Vision versão 4.8.2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de Densidade e Viscosidade.

Assim como realizado nas indústrias cerâmicas de revestimento, o preparo final da tinta a ser utilizada para os testes foi feito com base em cálculos de proporções para uma determinada densidade e viscosidade final padrão.

Os valores de viscosidade determinados para a análise foram de 16, 18, 20, 22, 24 e 26 segundos medidos em Copo Ford nº. 4.

Além dos testes com as tintas nos intervalos especificados pelo fabricante do equipamento, foram realizados testes com valores de viscosidade acima (24 e 26s) e abaixo (16s). Valores inferiores aos 16s não foram possíveis de serem atingidos sem o uso de aditivos para a diminuição da viscosidade, pois o próprio veículo puro possui uma viscosidade de 14 segundos. Visto que o uso de aditivos para ajustes de viscosidade não fazem parte dos objetivos iniciais, o trabalho se limitou à viscosidade de 16s em Copo Ford nº. 4.

Na sequência são mostradas as micrografias das amostras obtidas após a decoração com a evolução dos valores de viscosidade e densidade, para a incidência $0,4/45^\circ$ para 5% de preenchimento da escala de cinza (Figura 4.1.1), 25% da escala de cinza (Figura 4.1.2) e decoração de 85% da escala de cinza (Figura 4.1.3).

A partir dos resultados de micrografias obtidos (Figuras 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3) foi construída uma tabela (Tabela 4.1.1), cujos dados são visualizados no gráfico (Figura 4.1.4) comparando a evolução do preenchimento da peça cerâmica com a decoração em função do aumento da viscosidade.

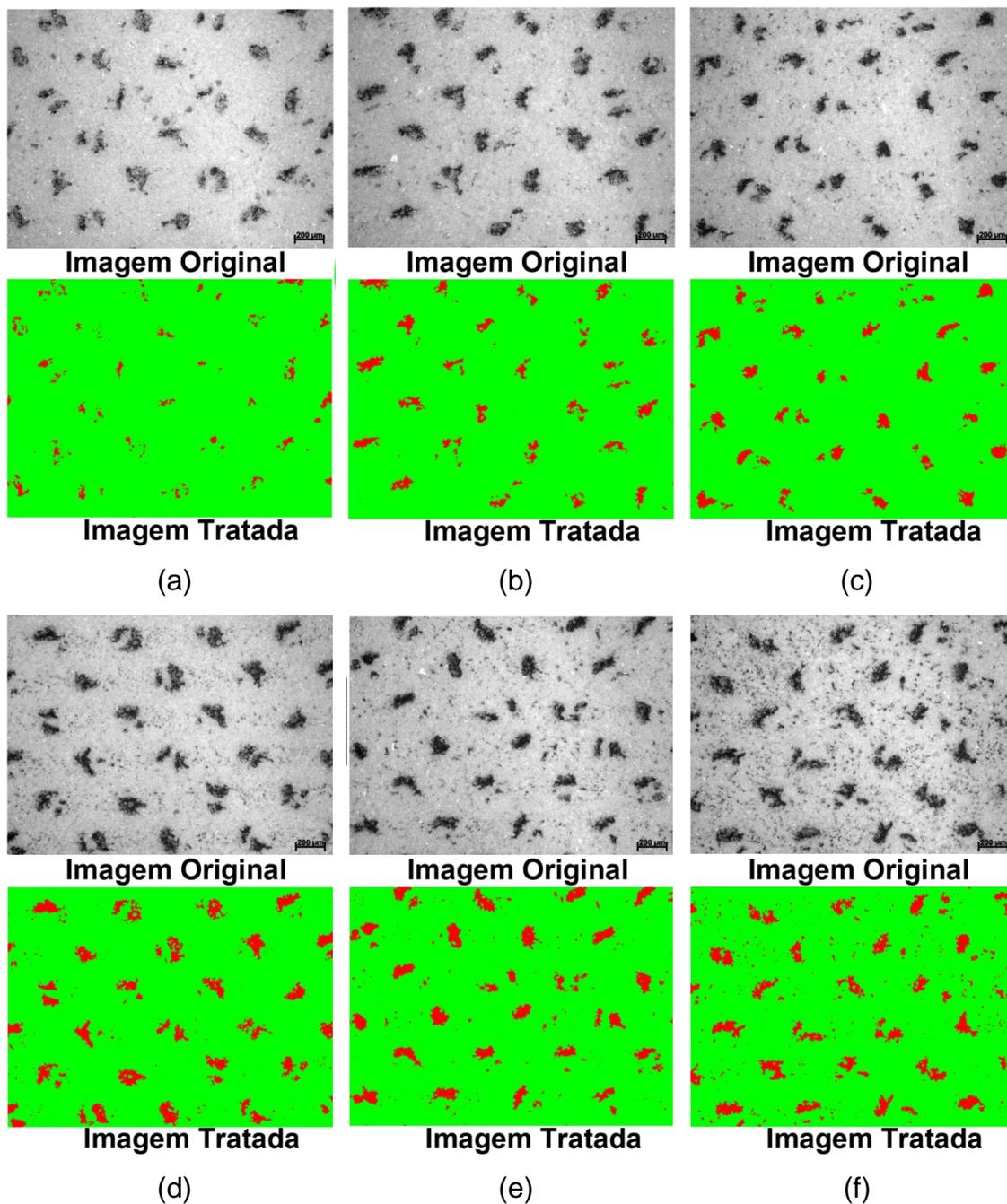


Figura. 4.1.1: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão 0,4/45°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

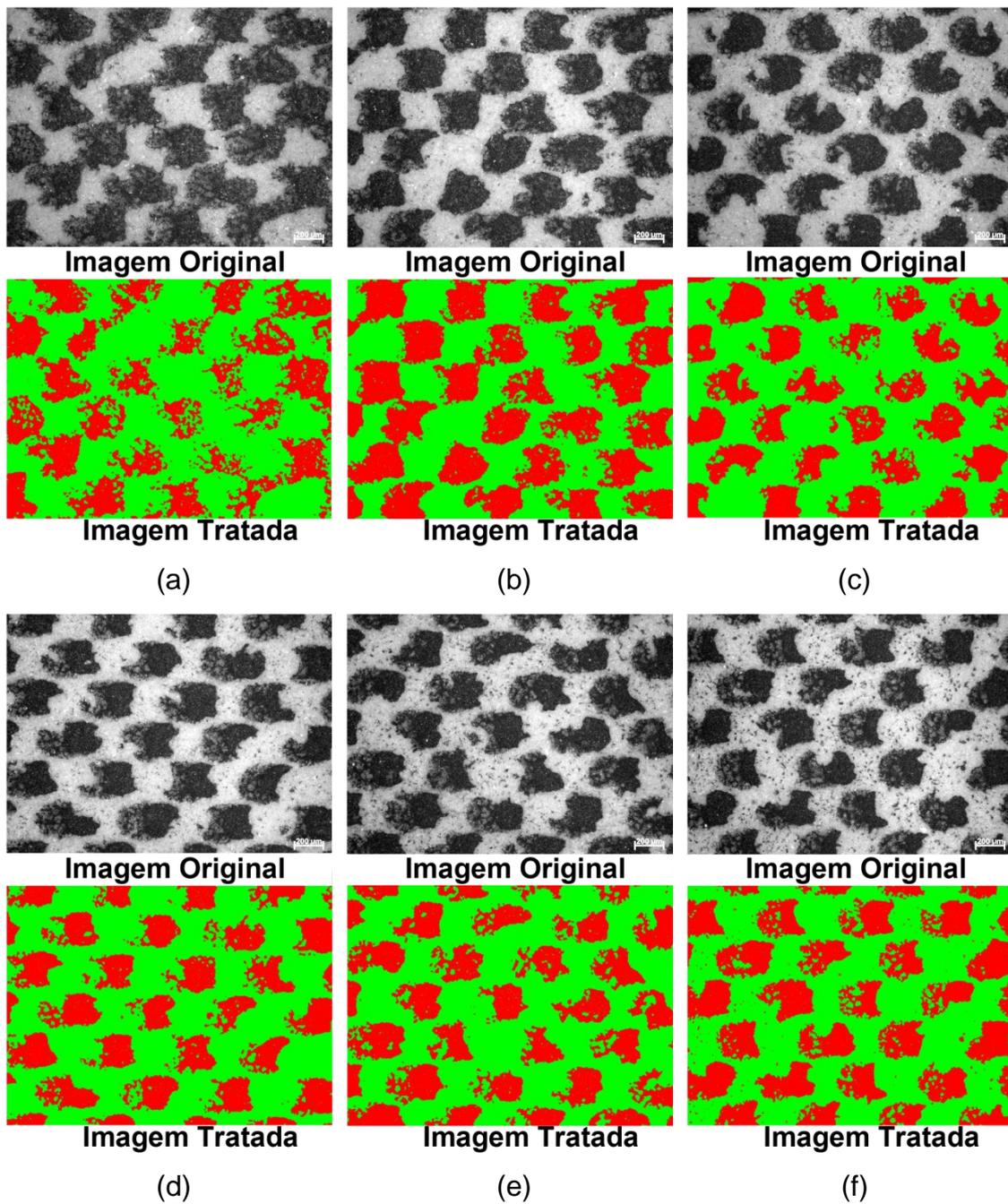


Figura 4.1.2: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão $0,4/45^\circ$, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

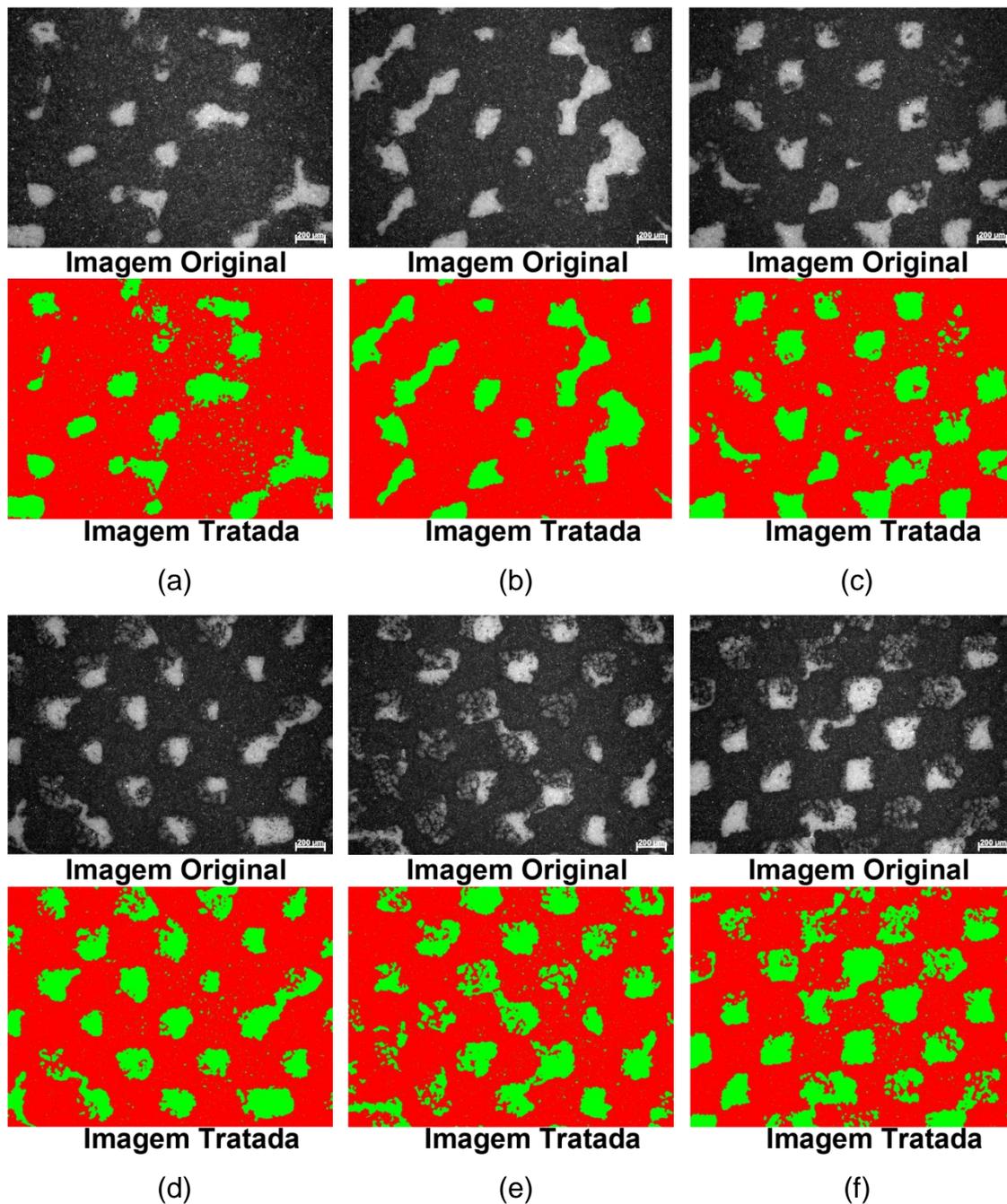


Figura 4.1.3: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta da decoração com a incisão 0,4/45°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

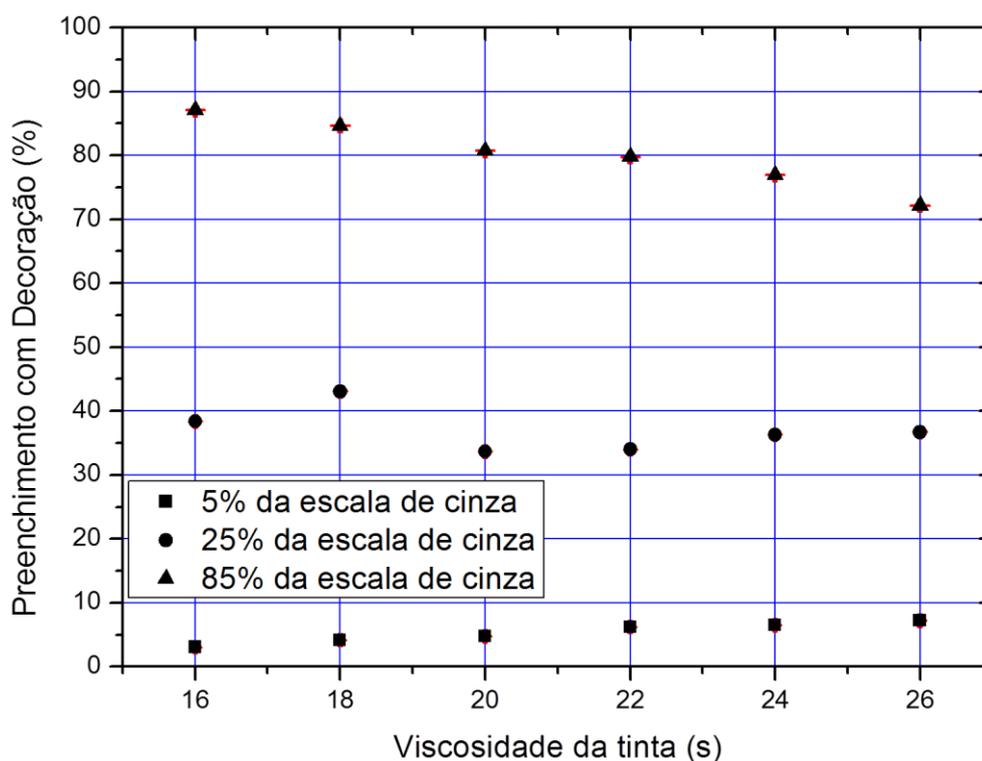


Figura 4.1.4: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

Tabela 4.1.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão 0,4/45°

Viscosidade da tinta (s)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
16	3,04	38,38	87,09
18	4,14	43,07	84,62
20	4,74	33,65	80,68
22	6,22	33,98	79,77
24	6,50	36,27	76,92
26	7,22	36,69	72,13

Pode-se observar nas micrografias da Figura 4.1.1, principalmente através das imagens tratadas das áreas decoradas, que para a incisão dos 5%

da escala de cinza, há uma tendência crescente no preenchimento dos pontos decorados e conseqüentemente da área de decoração realizada sobre o suporte cerâmico, ainda que pelas micrografias, seja possível observar que os pontos decorados são falhos em relação à sua geometria, com formas irregulares (nem circulares nem elípticos).

Observando-se o esmalte de fundo é possível também visualizar a formação de pequenas manchas de tinta à medida que a viscosidade aumenta, conseqüência de uma falha na limpeza da superfície do cilindro pela lâmina metálica; ocasionando a formação de uma película de tinta sobre o silicone a qual, depois de transmitida ao cilindro, pode mascarar os resultados reais de área preenchida por decoração e diminuir a qualidade da imagem resultante das várias sobreposições, revelando um efeito borrado e em alguns casos podendo chegar à formação de cores terciárias (muitas vezes indesejadas) através da combinação das tintas sucessivas.

A formação desta película de tinta sobre o cilindro, quando se trabalha com tintas com alta densidade, é resultante da falta de lubrificação (falta de líquido) da parte sólida da tinta, promovendo uma secagem mais acelerada da mesma na superfície de silicone, a qual durante a produção se aquece pelo contato sucessivo das peças cerâmicas.

Nas Figuras 4.1.5; 4.1.6 e 4.1.7 são mostrados os gráficos resultantes dos dados obtidos através do ensaio de espectrofotometria para as amostras de 5%; 25% e 85% da escala de cinza.

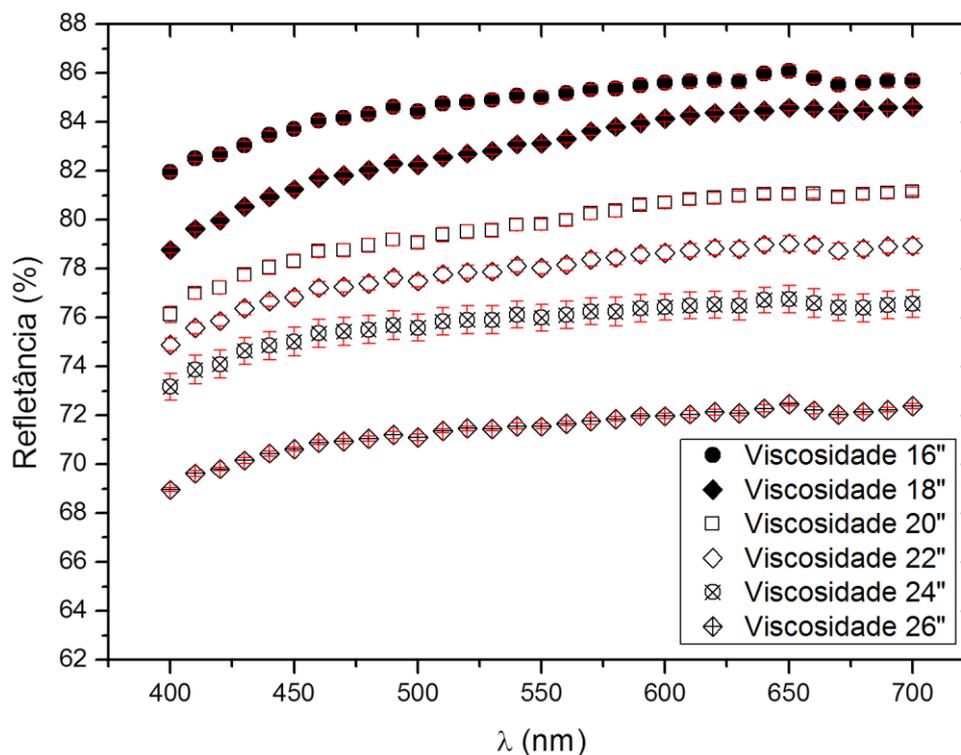


Figura 4.1.5: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

De acordo com a Figura 4.1.5, o que se pode verificar com a análise espectrofotométrica, é que a intensidade de luz refletida pela superfície da peça cerâmica decorada diminui com o aumento da viscosidade e densidade; ou seja, o aumento da densidade significa um aumento na quantidade de material sólido em relação à parte líquida da composição da tinta.

Para uma maior quantidade de sólido presente na tinta; os dados obtidos mostram que há um melhor descarregamento sobre o suporte cerâmico aumentando a área de preenchimento dos pontos e consequentemente uma área maior preenchida pela decoração.

Esta análise está em congruência com os dados apresentados na Figura 4.1.4 e com a análise das micrografias apresentadas anteriormente na Figura 4.1.1.

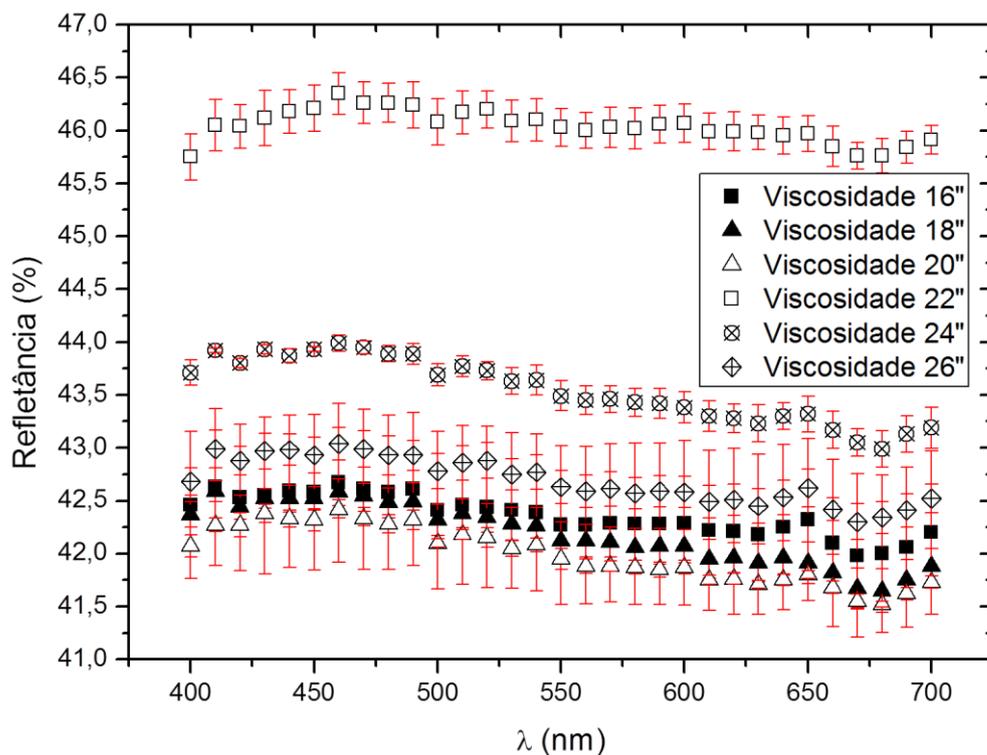


Figura 4.1.6: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

Os dados de refletância para as amostras decoradas com 25% da escala de cinza mostram, através do gráfico da Figura 4.1.6, um leve aumento no preenchimento dos pontos (melhora na descarga da tinta), elevando-se a viscosidade de 16s para 18s, o que pode ser visto entre imagens (a) e (b) da Figura 4.1.2. Aumentando-se a viscosidade para 20s, o que se observa é uma queda na descarga de tinta, comparando-se as imagens (b) e (c).

Embora de acordo com o gráfico da Figura 4.1.4 não exista variação significativa na porcentagem de área preenchida pela decoração, entre as amostras decoradas com viscosidades de 20 e 22 segundos, nas micrografias da Figura 4.1.2 (c) e (d), pode-se observar que os pontos apresentados na imagem (d) são mais uniformes e melhores preenchidos do que os da figura (c), ainda que em ambos os casos, os pontos estejam longe das formas ideais. Esta observação é corroborada pelas curvas do gráfico da Figura 4.1.6, o qual mostra a diferença em refletância das amostras acima citadas.

Através das imagens (d), (e) e (f) da Figura 4.1.2 pode-se observar um aumento na formação de pequenos pontos secundários resultantes do excesso de tinta sobre a superfície de silicone (devido à falha na limpeza da mesma pela lâmina de aço, resultante do aumento da viscosidade e densidade). Embora este efeito tenha afetado os dados da análise de área preenchida pela decoração, mostrando um aumento na porcentagem de preenchimento (Figura 4.1.4), os valores de refletância da Figura 4.1.6 mostram uma diminuição na transferência completa do ponto decorado sobre a peça cerâmica, provocado pela maior dificuldade do escoamento total do volume de tinta de dentro do alvéolo para a peça cerâmica com um aumento dos valores de refletância, interpretados com a tendência das curvas em direção a valores mais altos da porcentagem de luz refletida pela peça.

Observando-se na Figura 4.1.3 de (a) à (f) pode-se constatar que a transferência de tinta do cilindro sobre o esmalte de cobertura é prejudicada e, portanto, diminui com o aumento da viscosidade da tinta. Ainda que o defeito de falha na limpeza da tinta sobre o silicone seja parcialmente mascarado pelo maior volume de tinta na decoração de 85% da escala de cinza, ele ainda pode ser observado, de modo crescente, entre as figuras (d), (e) e (f).

A diminuição dos valores de área preenchida pode ser também verificada através dos dados do gráfico da Figura 4.1.4, efeito confirmado através das curvas mostradas no gráfico da Figura 4.1.7, onde são colocados os resultados do ensaio de refletância para as amostras decoradas com área de 85% da escala de cinza.

Ao se aumentar a viscosidade, observa-se um aumento na porcentagem de luz refletida ainda que exista mais corante preto proporcionalmente com o aumento da densidade, neste caso a refletância aumenta devido à falha de transferência da tinta dos alvéolos para a superfície do suporte cerâmico.

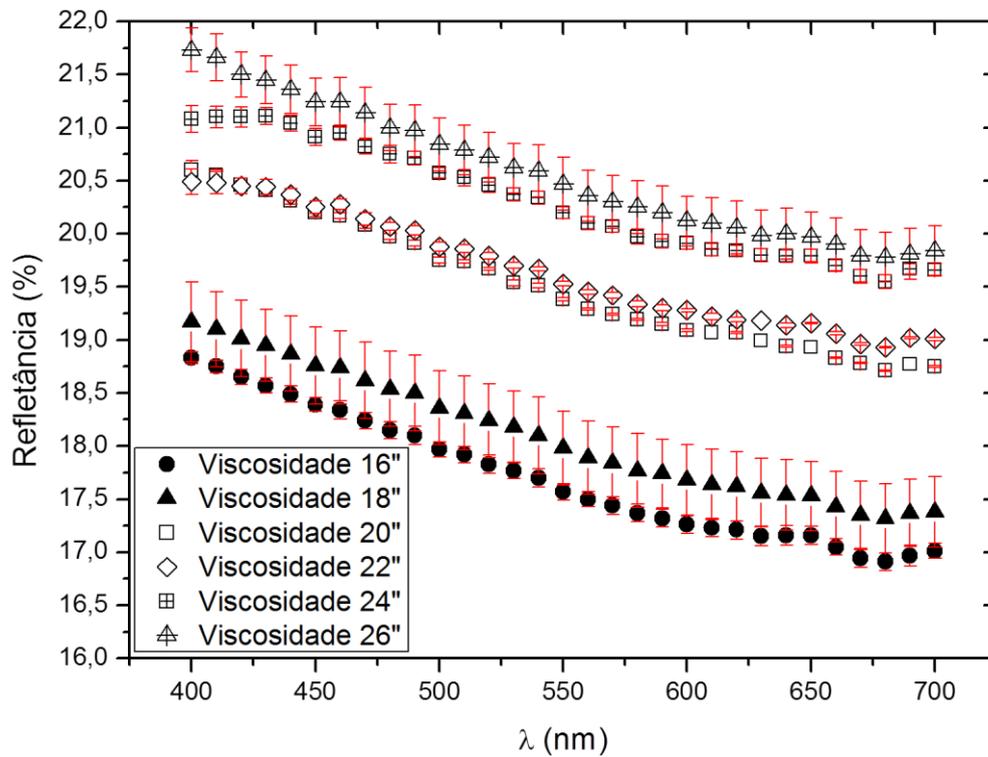


Figura 4.1.7: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

Nas figuras 4.1.8, 4.1.9, 4.1.10 e 4.1.11 são mostradas respectivamente, as microfotografias das decorações de 5%, 25%, 85% da escala de cinza com as imagens tratadas para a obtenção dos valores de área decorada e o gráfico da evolução do preenchimento com a elevação da viscosidade e densidade da tinta para a incisão MTD40/22°.

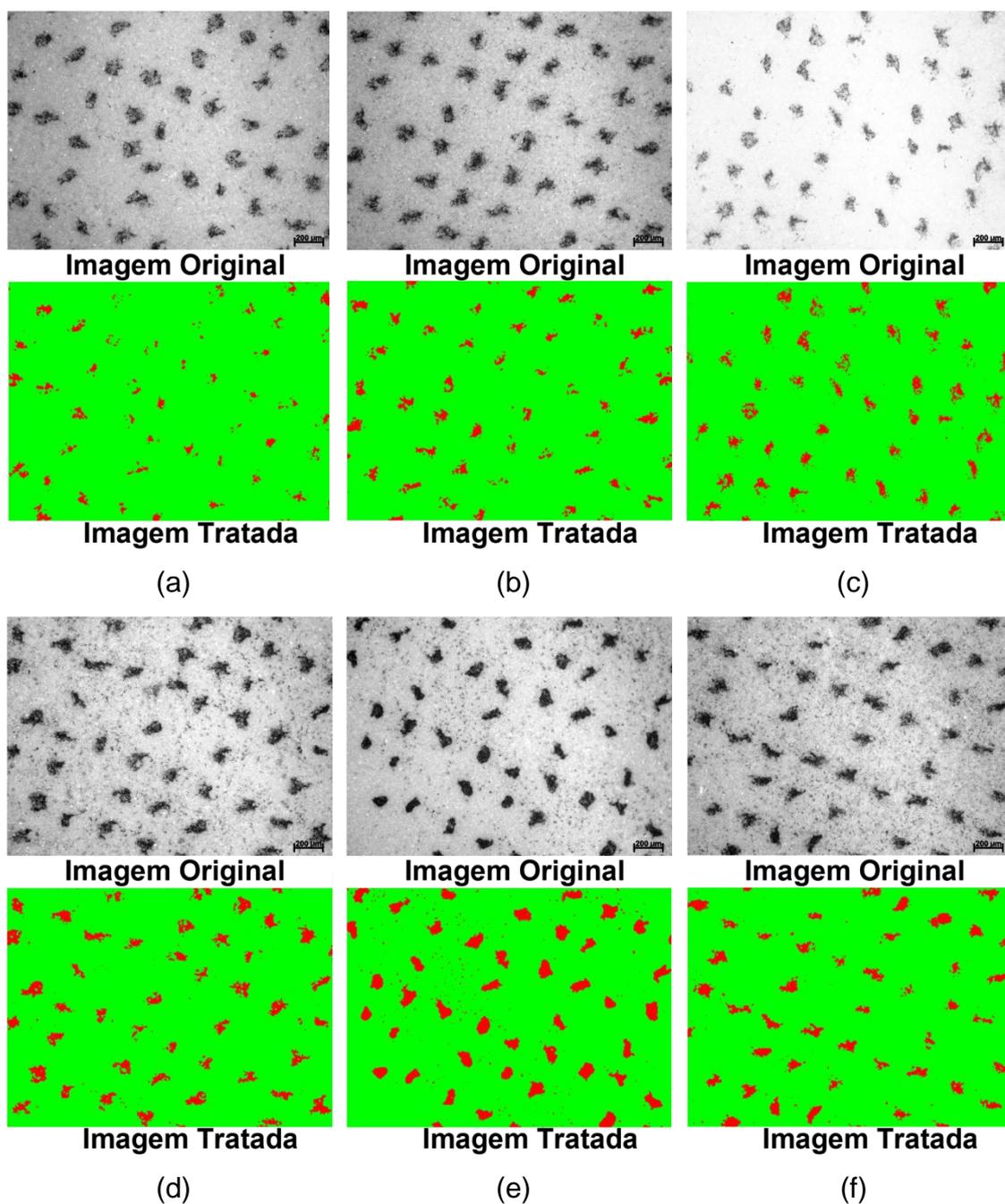


Figura 4.1.8: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

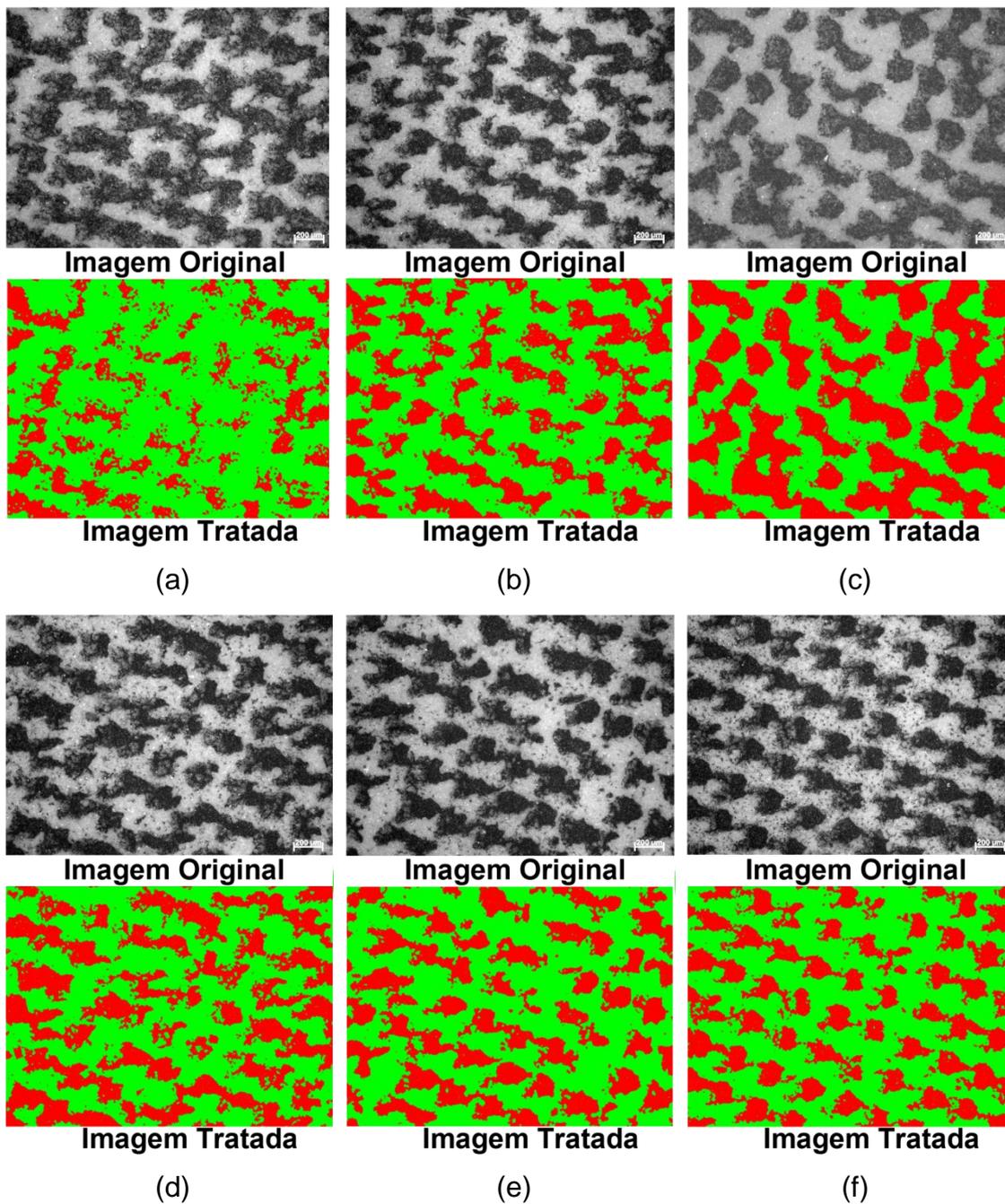


Figura 4.1.9: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

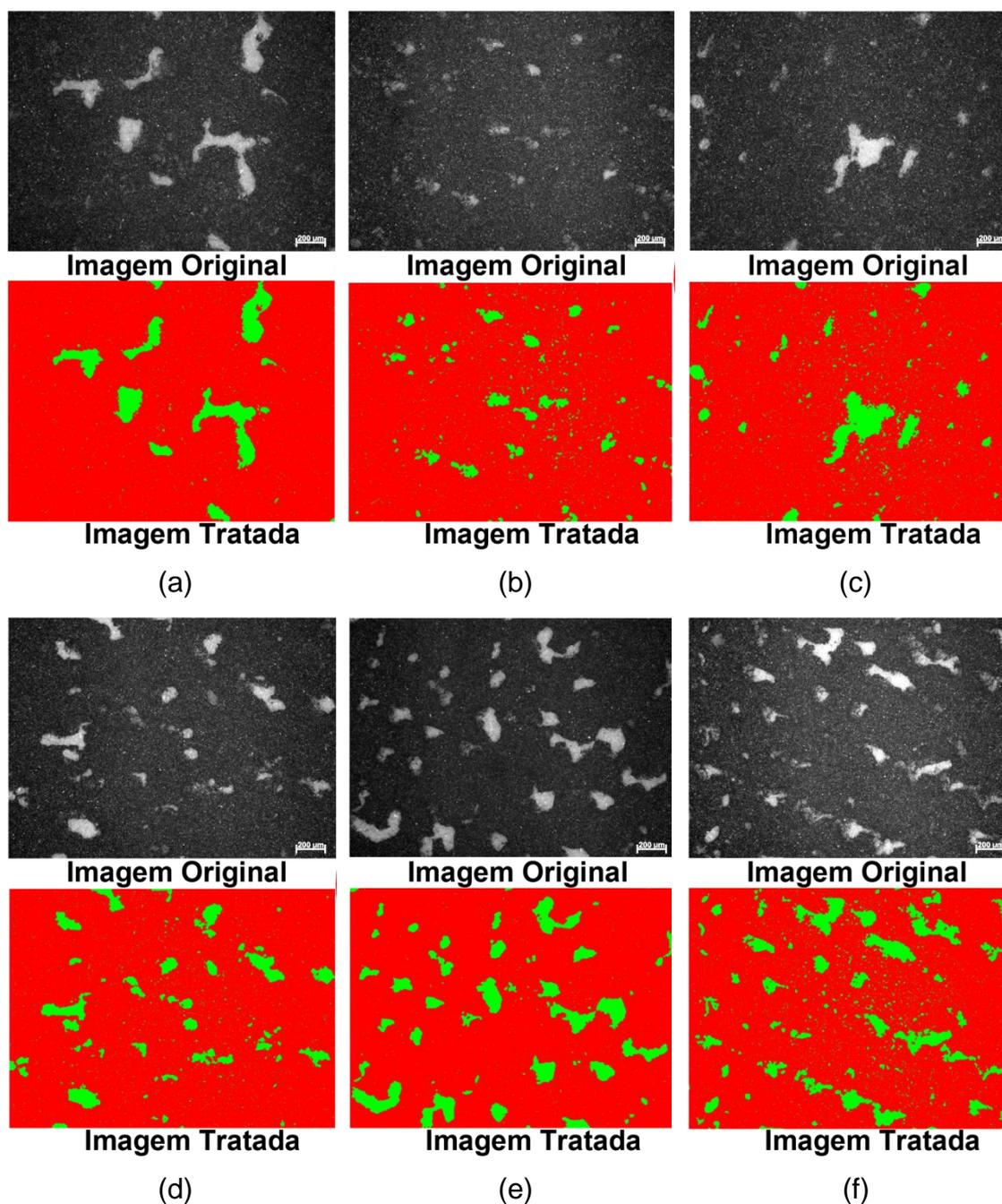


Figura 4.1.10: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD40/22°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

Nas micrografias apresentadas na Figura 4.1.8 verifica-se, através das imagens tratadas; uma crescente melhora na transferência da tinta do cilindro para a peça, com a formação de pontos um pouco mais regulares e mais

cheios. Esta análise é confirmada através dos dados resumidos na Tabela 4.1.2 e no gráfico da Figura 4.1.11.

Nas imagens de (d) à (e) da Figura 4.1.8 pode-se observar o aumento de pequenos pontos de tinta entre os pontos de decoração, decorrentes da falha na limpeza da lâmina devido ao aumento de viscosidade da tinta.

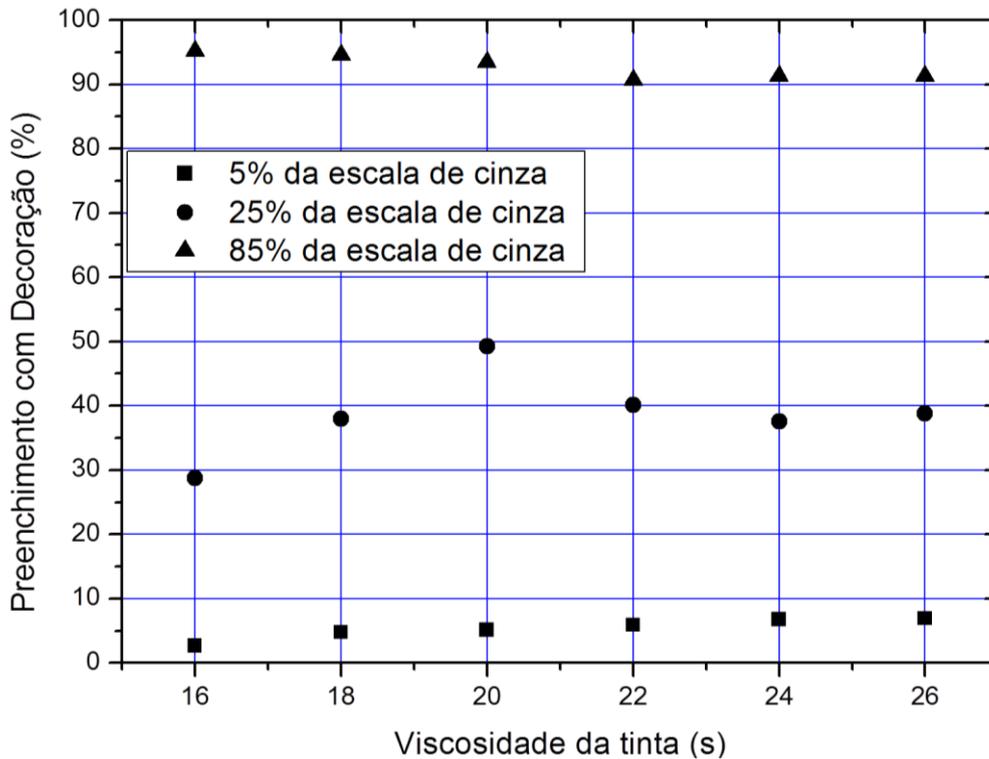


Figura 4.1.11: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

Tabela 4.1.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão MTD 40/22°

Viscosidade da tinta (s)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
16	2,64	28,73	95,2
18	4,73	37,92	94,59
20	5,1	49,28	93,42
22	5,88	40,06	90,69
24	6,7	37,55	91,27
26	6,89	38,8	91,31

Confrontando a análise e os resultados descritos acima com os gráficos apresentados na Figura 4.1.12 para os valores de refletância das amostras decoradas em 5% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°, observa-se que os resultados são congruentes; à exceção da amostra com 20s de viscosidade, a qual apresentou um valor de refletância fora do esperado.

Com o aumento da viscosidade e densidade há uma diminuição dos valores de refletância; ou seja, ocorre uma evolução no que se refere à transferência dos pontos decorados para a superfície do esmalte, favorecendo seu preenchimento.

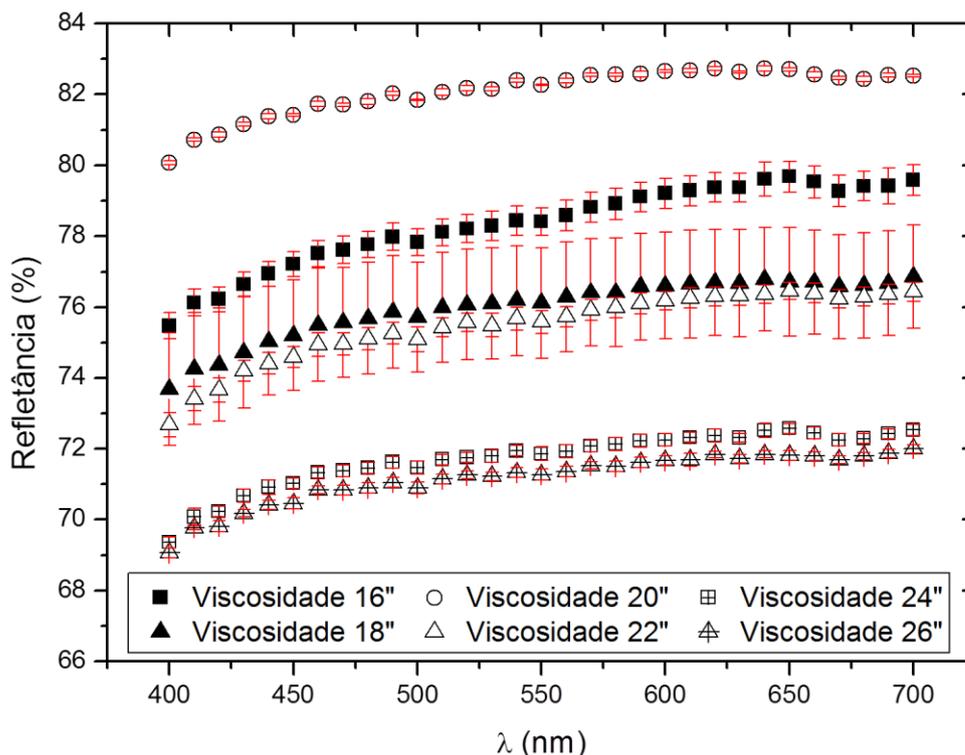


Figura 4.1.12: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

Comparando visualmente as imagens de (a) a (f) da Figura 4.1.9 pode-se confirmar os dados apresentados na Figura 4.1.11 na curva relativa a decoração de 25% da escala de cinza; ou seja, inicialmente com o aumento da viscosidade e densidade o escoamento da tinta do cilindro para a peça cerâmica melhora e, com o aumento ainda maior da viscosidade observa-se, a partir do teste realizado com a tinta a 20s, um decaimento na eficiência de preenchimento dos pontos decorados.

Este efeito também pode ser confirmado realizando a análise das curvas da Figura 4.1.13, onde são apresentados os resultados relativos ao ensaio de refletância das amostras.

Das amostras de 16s às obtidas com a tinta a 20s observa-se um decréscimo na porcentagem de luz refletida, coerente com a análise anteriormente apresentada, visto que há uma menor porcentagem de esmalte de fundo (branco) refletindo a luz incidida.

Pode-se notar que o efeito de falta de limpeza do cilindro pela lâmina de aço passa a ser mais influente, nesta incisão para os 25% da escala de cinza, a partir de uma viscosidade de 26s, o que pode ser visto através do resultado de menor refletância no gráfico da Figura 4.1.13.

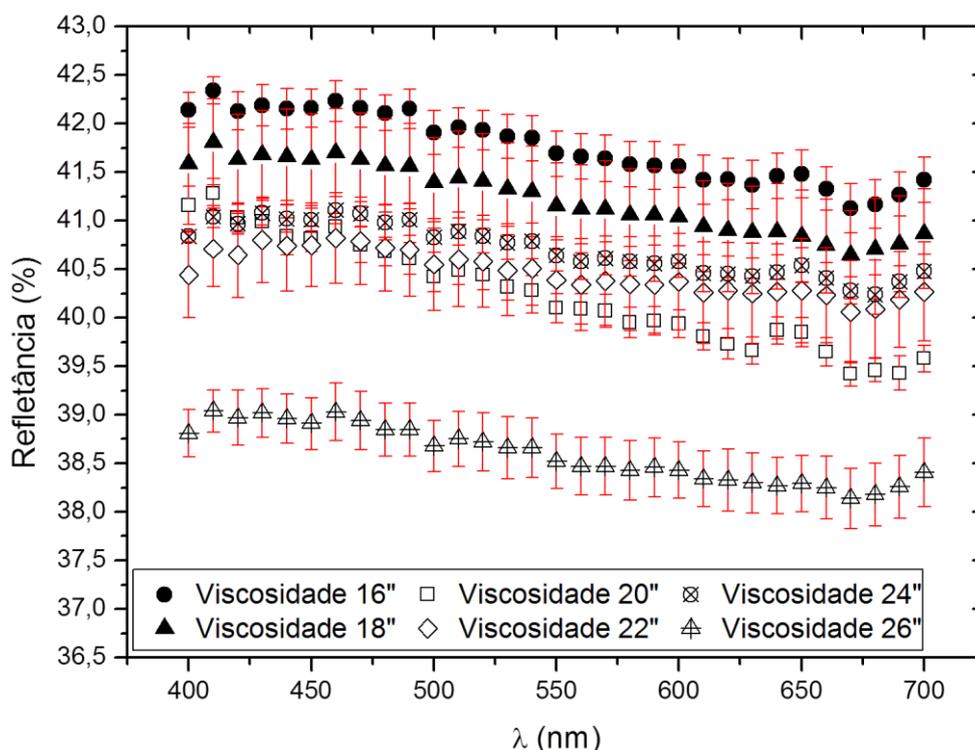


Figura 4.1.13: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

A sequência de imagens de (a) a (f) da Figura 4.1.10 mostra uma diminuição da área da peça que foi preenchida com a tinta de decoração, o que é observado pelo aumento das partes brancas relativas ao esmalte de fundo nas micrografias. De acordo com o gráfico da Figura 4.1.11, este efeito é suave, havendo pouca diferença entre as porcentagens de área preenchida, refletido nos resultados apresentados no gráfico da Figura 4.1.14, onde a variação de porcentagem da luz refletida pela superfície das amostras também é pequena.

O resultado esperado para a variação da porcentagem de refletância na Figura 4.1.14 em decorrência dos resultados de preenchimento apresentados na Figura 4.1.11 seria o aumento da quantidade de luz refletida à medida que o preenchimento da superfície da peça com tinta diminui.

Nesta faixa de valores de escala de cinza, o que se observa também é a forte coalescência dos pontos decorados, no caso da incisão MTD 40/22° este efeito é agravado pela característica peculiar deste tipo de incisão, em comparação com a 0,4/45°, onde cada ponto é formado por somente um disparo do laser. Nas incisões MTD somente em porcentagens muito pequenas da escala de cinza (abaixo dos 5%) é que os pontos são formados por somente um disparo do laser; em todas as outras faixas da escala são gerados grupamentos de disparos do laser na formação do alvéolo.

É provável que, em decorrência desta característica de pontos possa haver uma variação no modo como a tinta flui do alvéolo para a superfície da peça, favorecendo algumas reologias em detrimento a outras ensaiadas, no que diz respeito a porcentagem de líquido presente na tinta que permitiria uma melhor lubrificação e defloculação entre as partículas de sólidos (corante e fluxo serigráfico).

Este fator pode favorecer a transferência da tinta para a peça cerâmica, como seria, por exemplo, o caso da tinta com viscosidade de 20s, a qual apresentou o menor valor de refletância, indicando assim um ponto de inflexão, onde valores maiores de viscosidade não propiciam o mesmo preenchimento ou a mesma facilidade de descarga da parte sólida da tinta.

A mesma interpretação pode ser feita para a amostra com 24s de viscosidade, cuja curva de refletância está pouco acima da curva para a amostra de 20s. O que pode aqui explicar este efeito é que embora a porcentagem de área recoberta para 24s seja menor que aquela apresentada para a tinta com 20s, a porcentagem relativa de corante na primeira é maior que na segunda; ou seja; ou seja, uma maior quantidade de corante negro transferida estaria propiciando uma superfície menos refletora.

A diminuição na quantidade de tinta transferida dos alvéolos do cilindro para a peça é causado pelo aumento da tensão superficial à medida que a viscosidade aumenta.

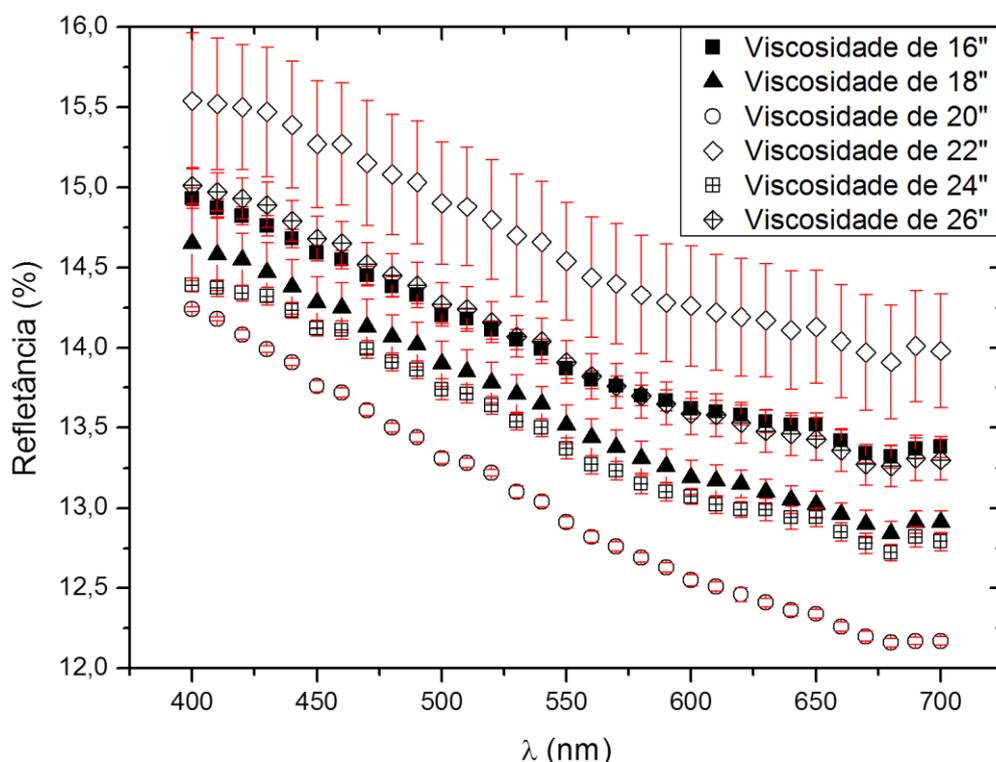


Figura 4.1.14: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

Na sequência são apresentadas as micrografias relativas aos ensaios realizados com a incisão MTD 45/11° para 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente nas Figuras 4.1.15, 4.1.16 e 4.1.17 e o gráfico mostrando a evolução do preenchimento da área de decoração com o aumento da viscosidade da tinta na Figura 4.1.18, com os dados da Tabela 4.1.3.

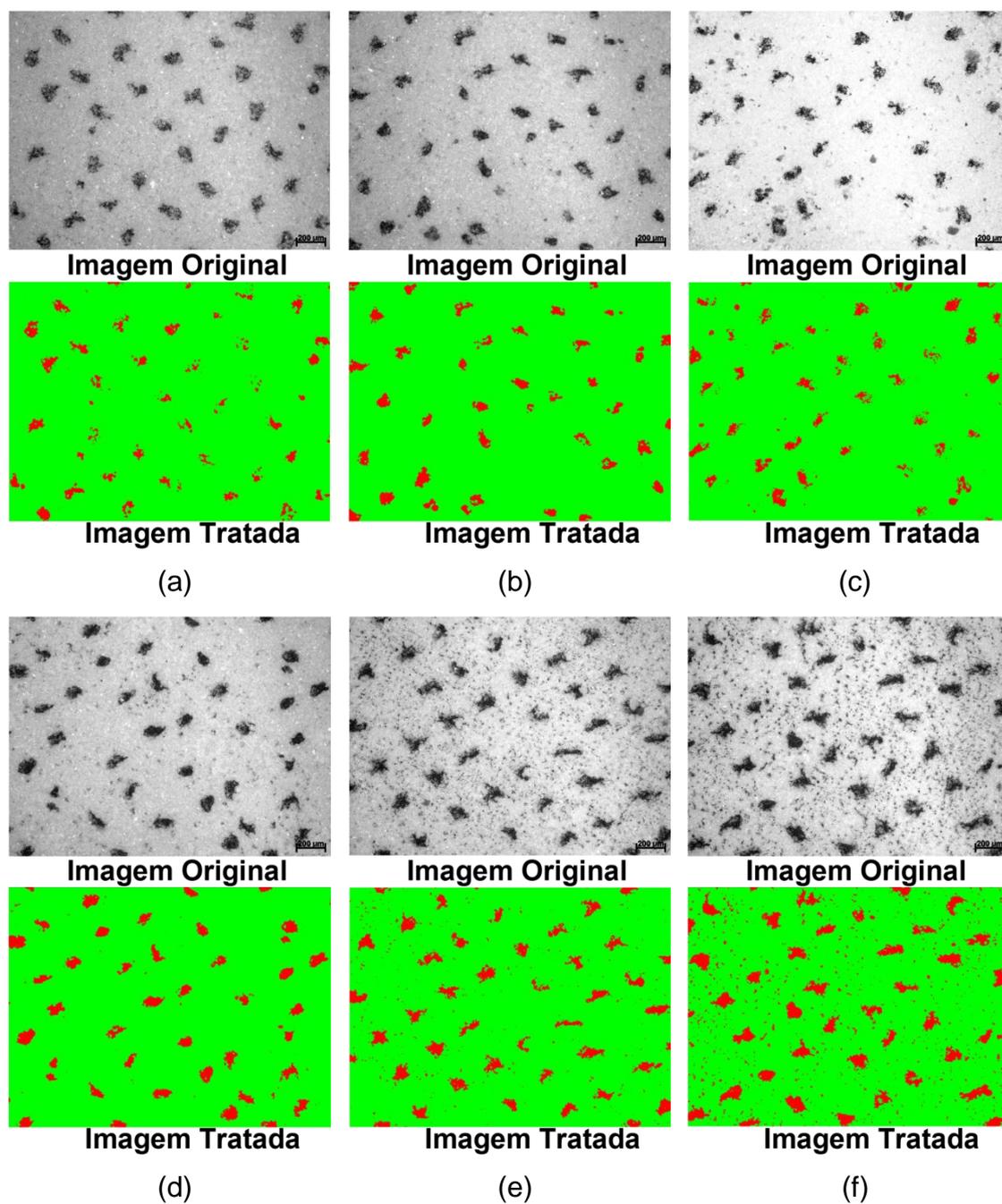


Figura 4.1.15: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

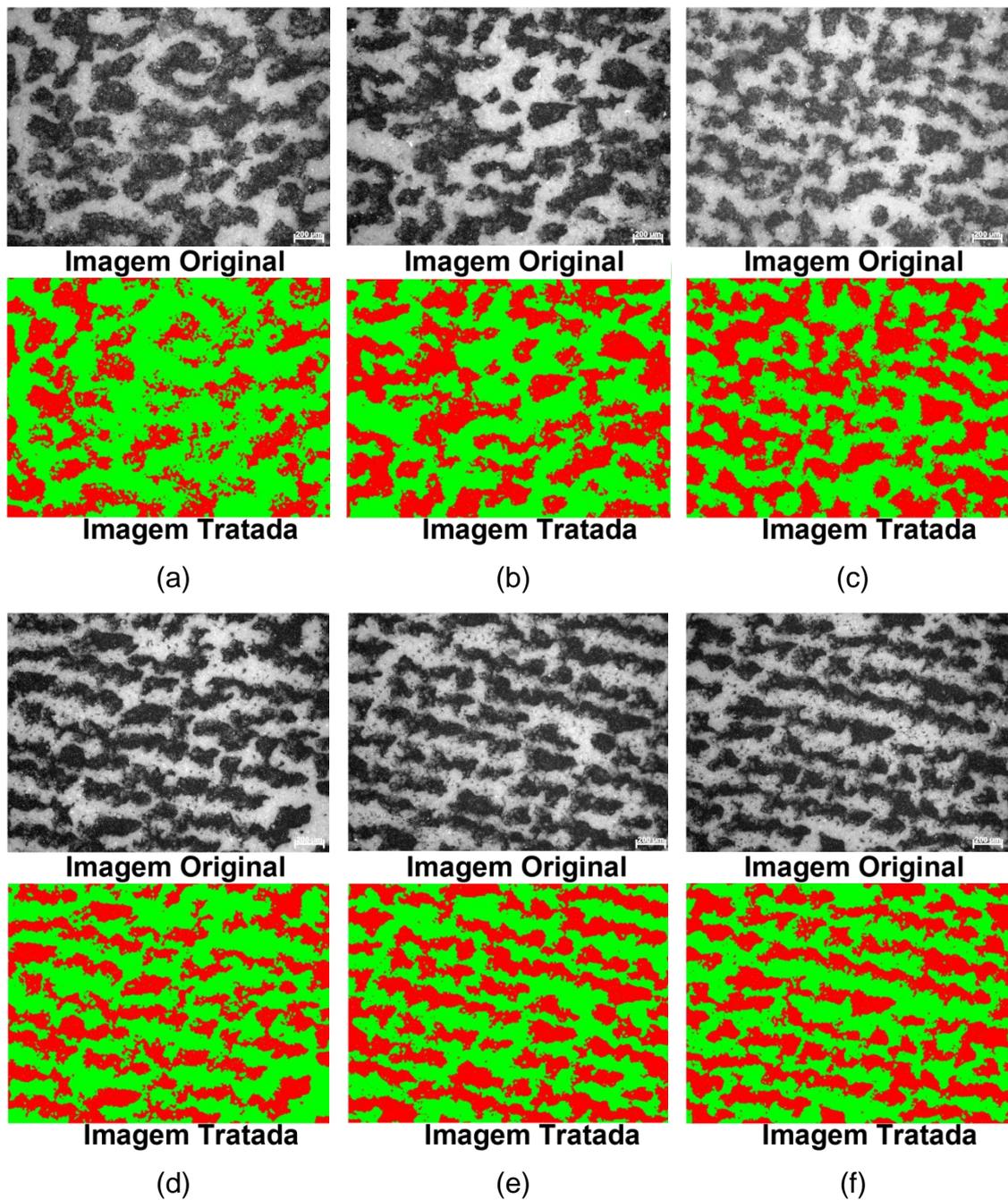


Figura 4.1.16: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

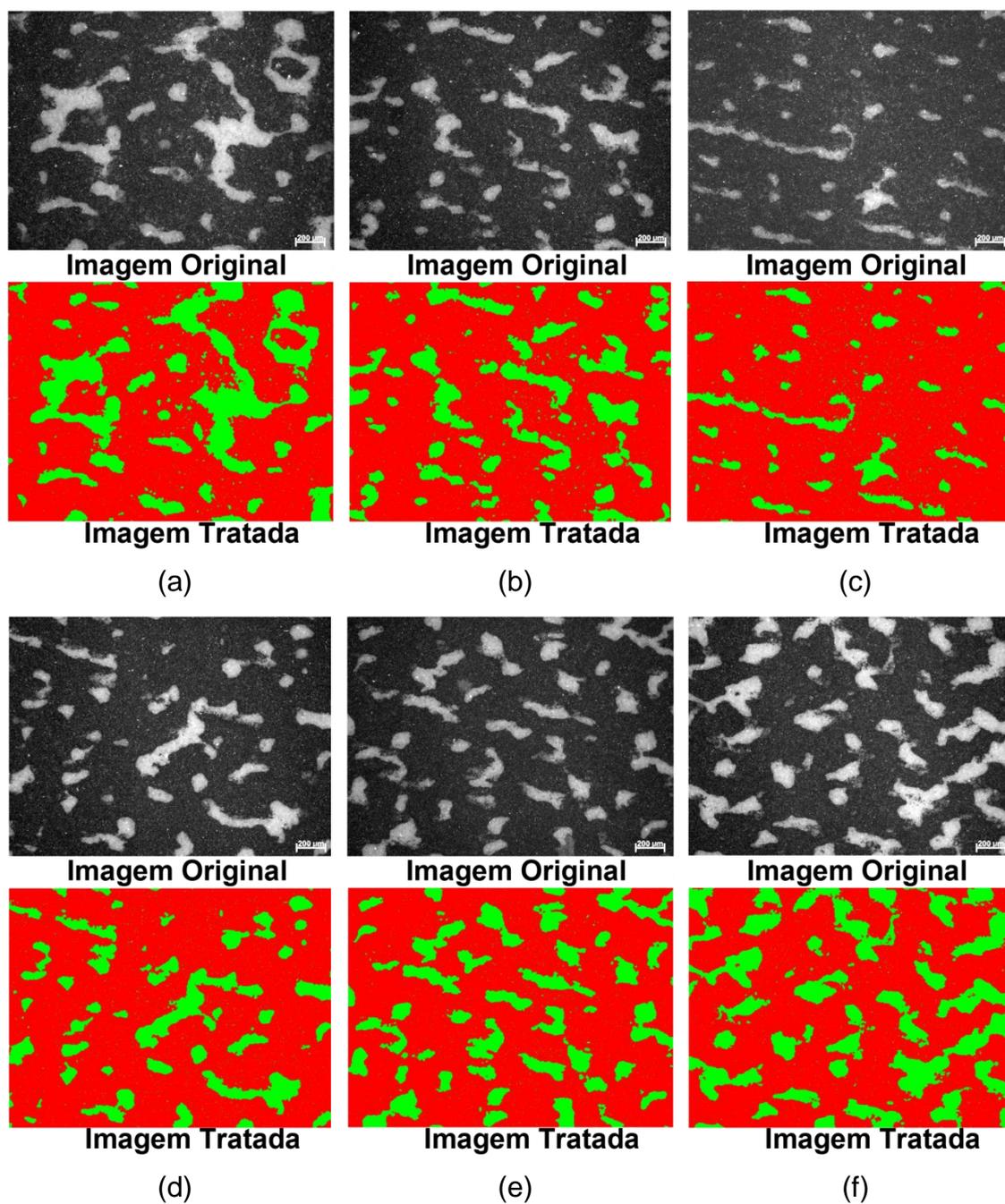


Figura 4.1.17: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração para a incisão MTD45/11°, com viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

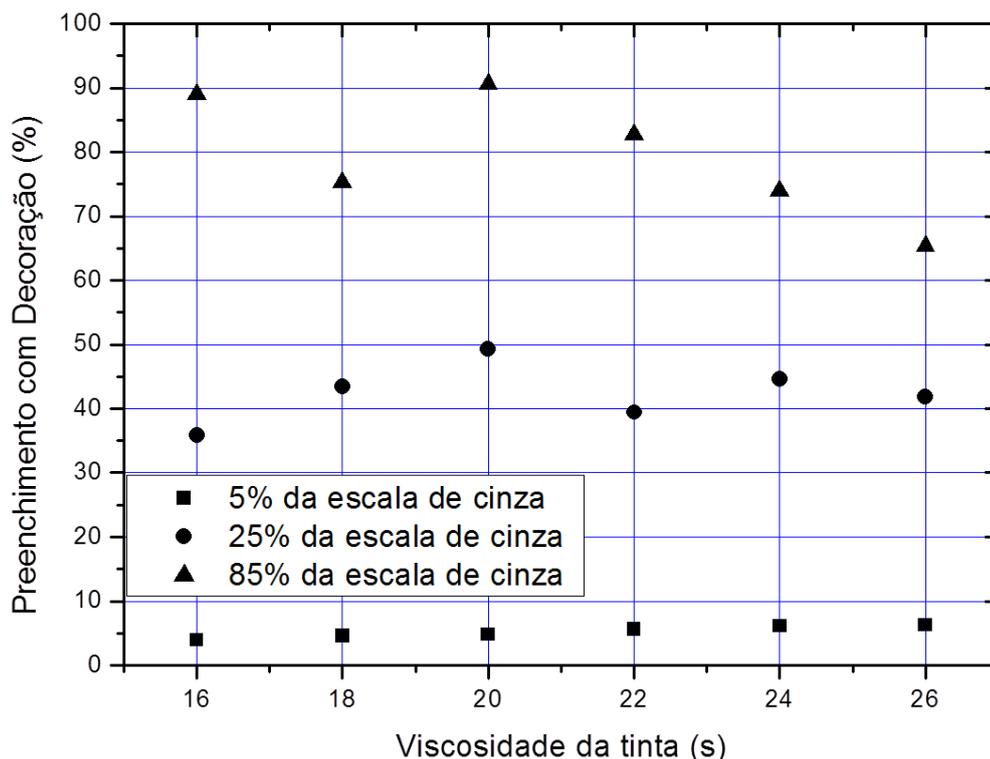


Figura 4.1.18: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as viscosidades de (a) 16s; (b) 18s; (c) 20s, (d) 22s, (e) 24s e (f) 26s.

Tabela 4.1.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da viscosidade. Incisão MTD 45/11°

Viscosidade da tinta (s)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
16	3,98	35,81	89,03
18	4,61	43,39	75,33
20	4,82	49,33	90,59
22	5,63	39,46	82,82
24	6,17	44,64	73,98
26	6,33	41,79	65,37

Assim como nos casos anteriores, através das imagens tratadas da Figura 4.1.15 pode-se verificar um aumento na área recoberta por tinta após a

decoreção com o aumento da densidade e viscosidade da tinta. Também nas micrografias pode-se observar, a partir dos 22s de viscosidade (imagem (d)) que inicia o aparecimento de pequenos pontos de tinta não resultantes das incisões, mas sim da falta de limpeza do cilindro devido à alta viscosidade da tinta.

O gráfico da Figura 4.1.18 mostra os dados de preenchimento com decoreção com o aumento da viscosidade e densidade da tinta. Pode-se observar que existe um incremento suave à medida que a densidade da tinta aumenta.

Confrontando-se a análise anterior com os dados do gráfico da Figura 4.1.19, obtidos através do ensaio de espectrofotometria; em geral as amostras seguem o comportamento anteriormente discutido, ou seja, quanto maior a área preenchida pela decoreção, menor seria a quantidade de luz refletida pela superfície decorada.

O que pode explicar o comportamento da amostra de viscosidade de 20s é que a relação entre as partes de sólido e líquido que compõem a tinta compuseram a melhor combinação para esta incisão, nesta faixa de valores de tons de cinza; ou seja, a relação favorece a descarga mais completa e homogênea com relação à lubrificação dos sólidos e os tamanhos de partículas do fluxo e do corante.

Nas amostras com viscosidades superiores, apesar de apresentarem valores de preenchimento superiores a das amostras de 20s de viscosidade, os valores de refletância maiores podem ser explicados considerando-se uma falha no descarregamento de corante sobre a peça; ou seja, embora a superfície da peça tenha recebido o corante negro junto com o fluxo e o veículo, o poder de recobrimento do corante pode ter sido suficiente para mostrar um incremento na análise de área recoberta, porém insuficiente para revelar a real quantidade de corante transferido para o esmalte, de acordo com o ensaio de espectrofotometria.

Através das imagens de (a) a (f) da Figura 4.1.16 verifica-se o incremento em área decorada até as amostras com viscosidade de 20s para um recobrimento decorado de 25% da escala de cinza, seguindo de um leve

decréscimo na porcentagem de área recoberta, o que pode ser confirmado através da análise de imagens das amostras, com os resultados mostrados no gráfico da Figura 4.1.18.

Baseando-se nas informações anteriores, a evolução esperada para as curvas de refletância seria uma diminuição nos valores de porcentagem de luz refletida incrementando os valores de viscosidade até os 20s e, a partir deste valor, a porcentagem de luz refletida deveria aumentar e oscilar entre incremento e decréscimo até a viscosidade de 26s.

Através das curvas do gráfico da Figura 4.1.19, a qual mostra os resultados do ensaio de espectrofotometria, é inicialmente condizente com a análise anterior até as amostras com viscosidade de 22s; ou seja, uma diminuição da porcentagem de luz refletida (até a viscosidade de 20s) e um aumento para a amostra de 22s. A partir deste valor de viscosidade as curvas que representam a porcentagem de luz refletida nos diversos comprimentos de onda diminuem de valor, o que seria relativo a um aumento na porcentagem de área recoberta, o que não ocorreu de acordo com os resultados obtidos pela análise de imagem das micrografias.

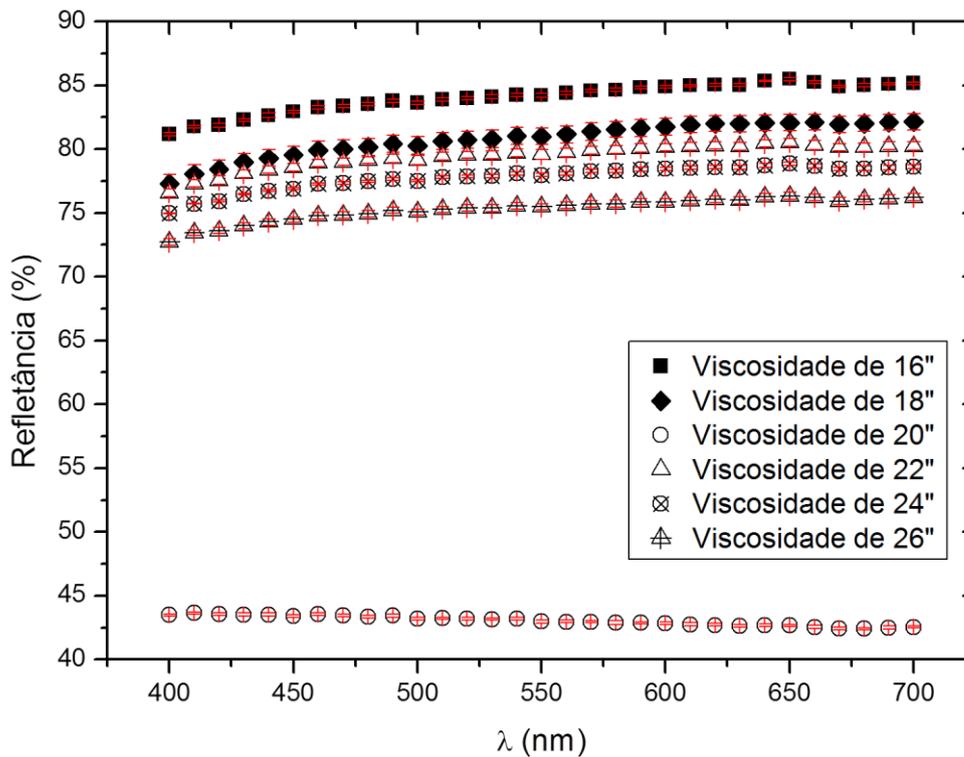


Figura 4.1.19: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

Análise análoga pode ser feita para a Figura 4.1.17 das micrografias das amostras decoradas com 85% da escala de cinza, onde se observa um aumento em porcentagem de área decorada dos 16s para os 20s de viscosidade da tinta. Com a elevação dos valores de viscosidade as amostras decoradas apresentam um decréscimo com relação à porcentagem de preenchimento com tinta, podendo ser explicado pela dificuldade de escoamento da tinta de dentro dos alvéolos devido às características reológicas desfavoráveis resultantes da combinação pobre em veículo.

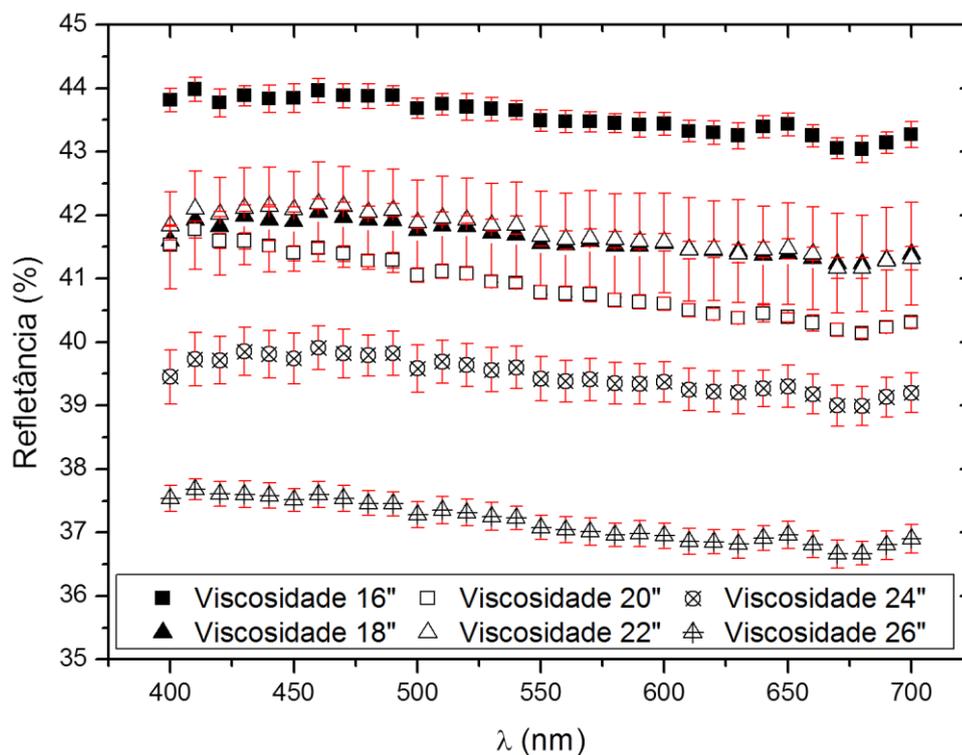


Figura 4.1.20: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

Com relação aos resultados do teste de espectrofotometria apresentados através da Figura 4.1.21, há aumento da porcentagem de luz refletida dos 16s aos 18s de viscosidade, congruente com a diferença em preenchimento da superfície do esmalte pela tinta, seguida de uma diminuição da intensidade para os 20s de viscosidade, coerente tanto com a maior porcentagem de área recoberta por tinta quanto com o aumento da porcentagem relativa de corante em relação à parte líquida da tinta, ou seja, há um aumento da concentração de corante, o que escurece a superfície da peça recoberta pela tinta serigráfica.

Embora os resultados das amostras de 22s aos 26s mostrem um decaimento em área preenchida da ordem de aproximadamente 15%, os valores de porcentagem de luz refletida aumentam das amostras de 22s em uma proporção bem menor (em torno de 2%), mantendo-se quase constante entre os testes de 24 e 26s de viscosidade.

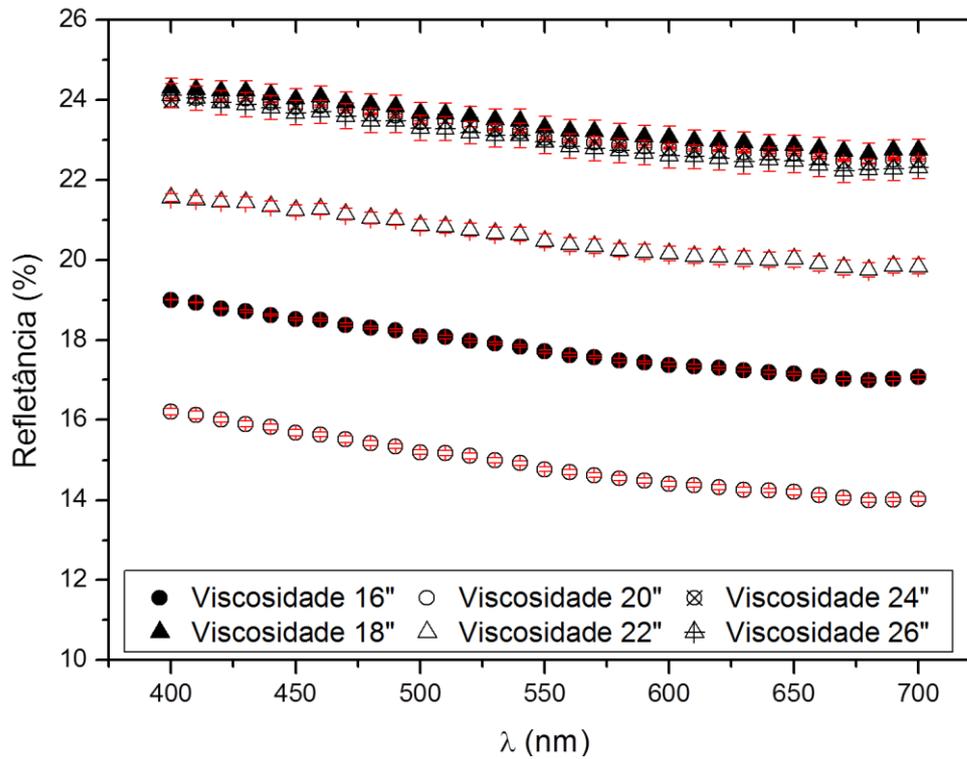


Figura 4.1.21: Variação da refletância com o aumento viscosidade e densidade para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

O resumo dos resultados obtidos para as três incisões, dentro dos limites da escala de cinza estudados são resumidos na Tabela 4.1.4.

Tabela 4.1.4: Resumo dos resultados obtidos com aumento do tempo de escoamento (viscosidade) da tinta em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida
25%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida
85%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta %de luz refletida~cte

4.2 Ensaios de Temperatura do suporte cerâmico

Os resultados obtidos dos ensaios de espectrofotometria para as amostras decoradas com incisão 0,4/45°, para as áreas de preenchimento de tons de 5%, 25% e 85% da escala de cinza são apresentadas através da Figura 4.2.1, Figura 4.2.2 e Figura 4.2.3, respectivamente. Os ensaios foram realizados variando-se a temperatura do suporte cerâmico em aproximadamente 30°C; 40°C; 50°C; 80°C e 90°C.

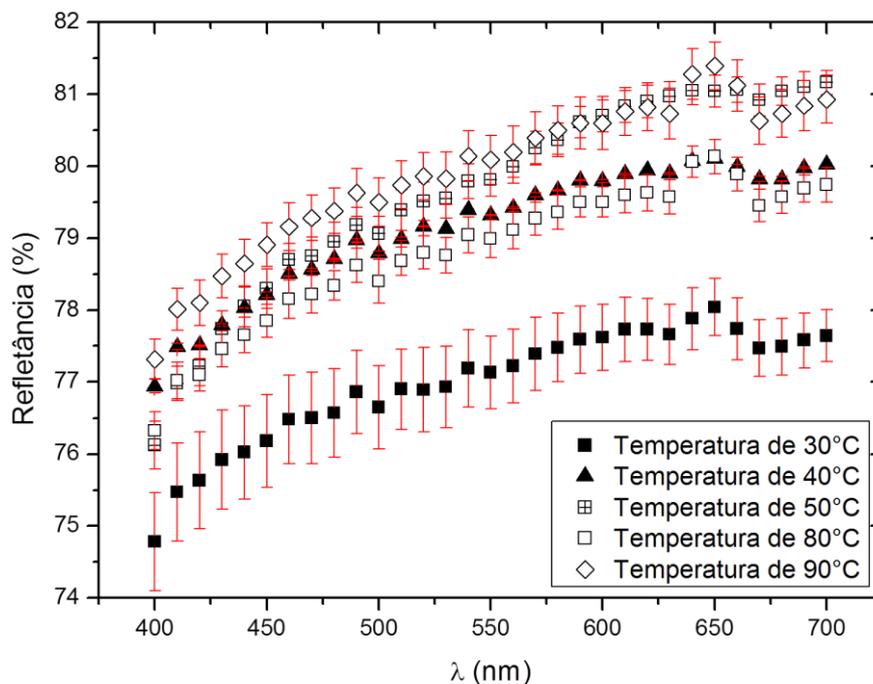


Figura 4.2.1: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação $0,4/45^\circ$

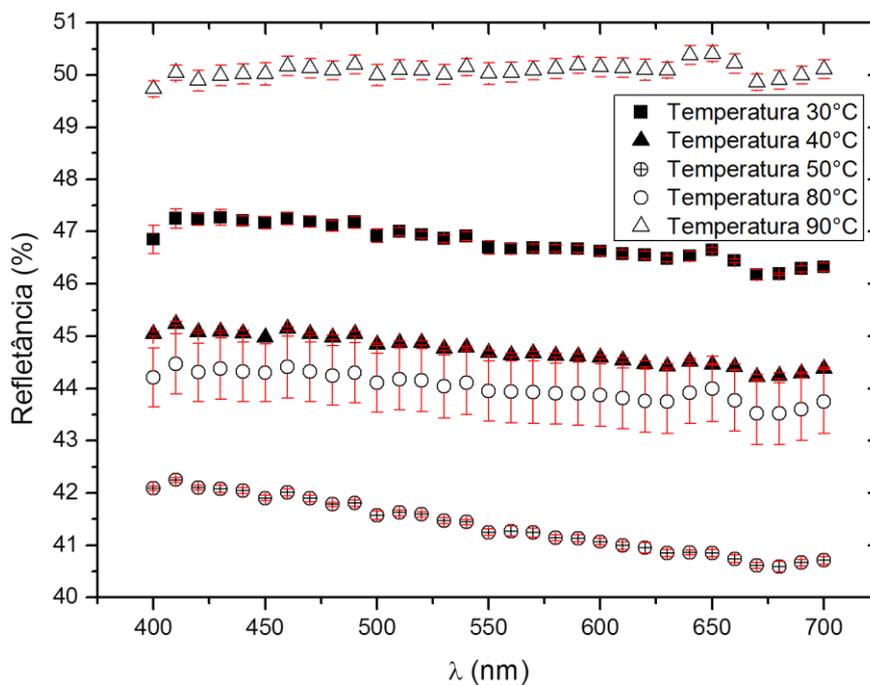


Figura 4.2.2: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação $0,4/45^\circ$

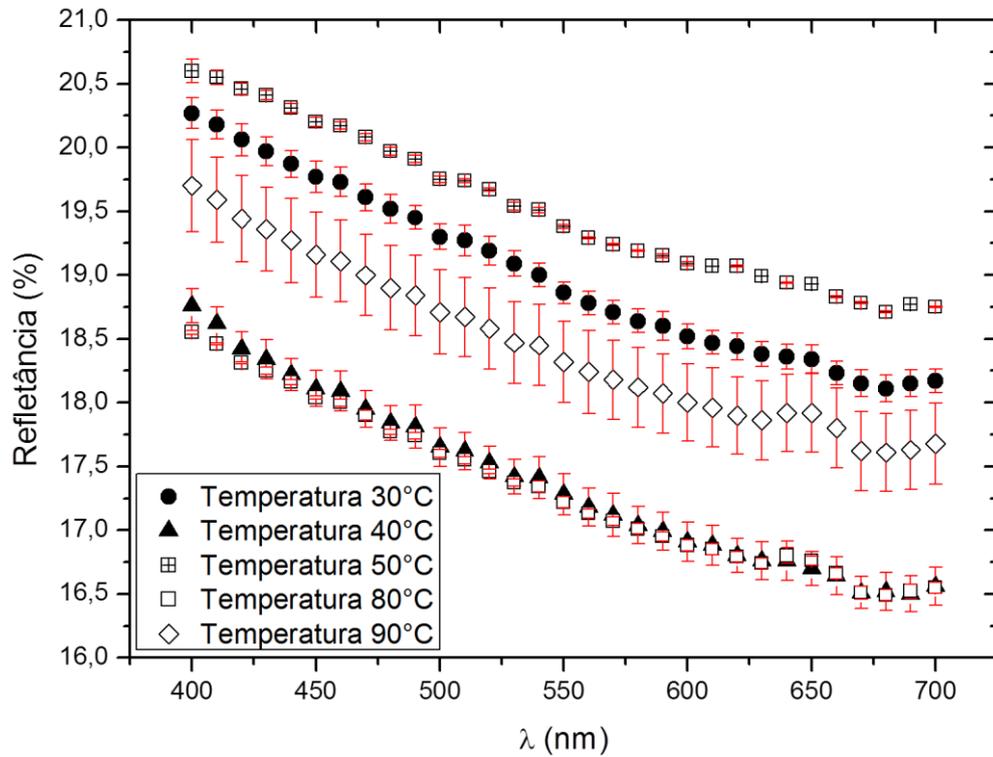


Figura 4.2.3: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

As Figuras 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6 apresentam as micrografias obtidas para este ensaio, bem como as imagens tratadas pelo programa de análise de imagem para a obtenção da porcentagem em área recoberta pela decoração.

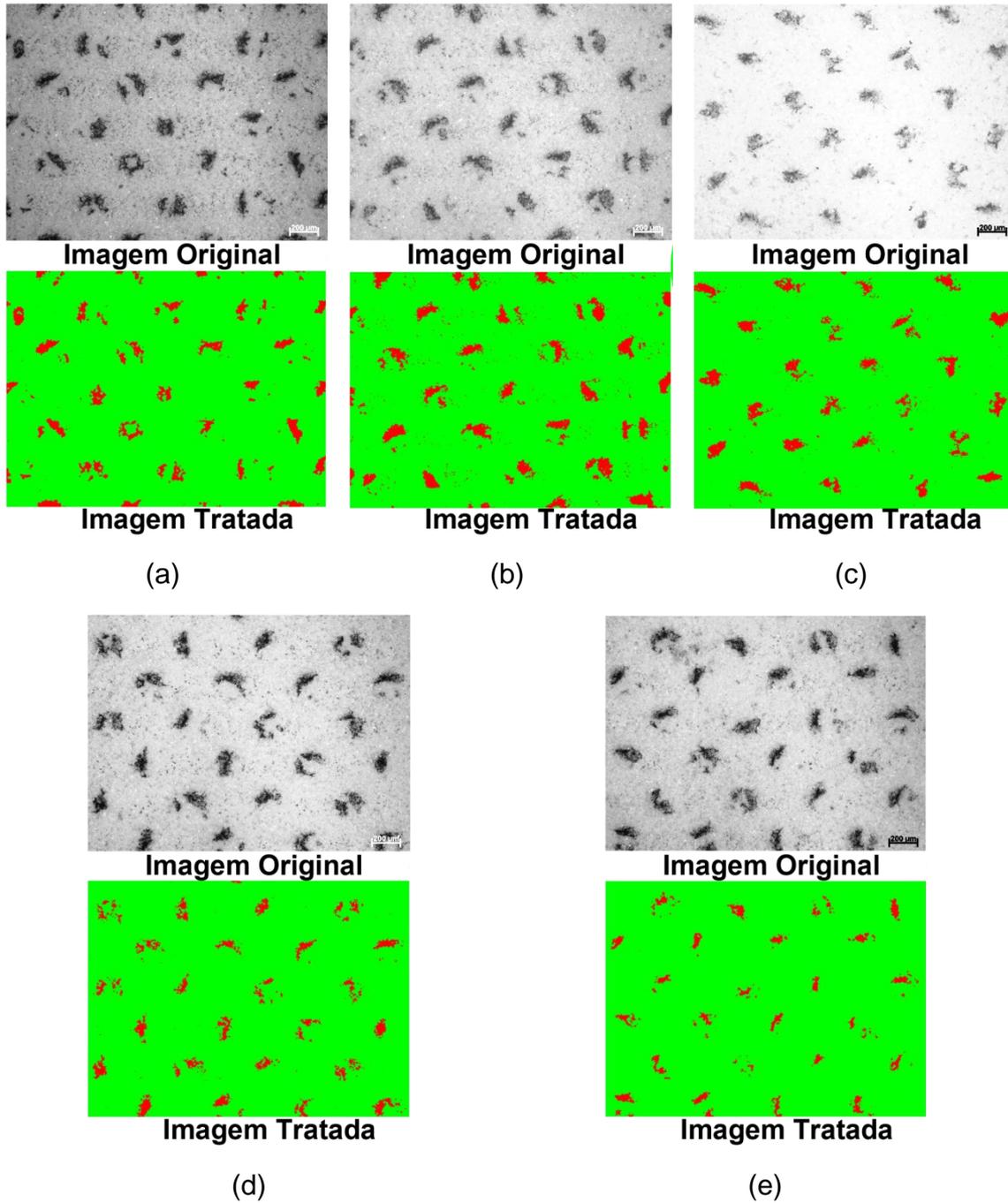


Figura 4.2.4: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°

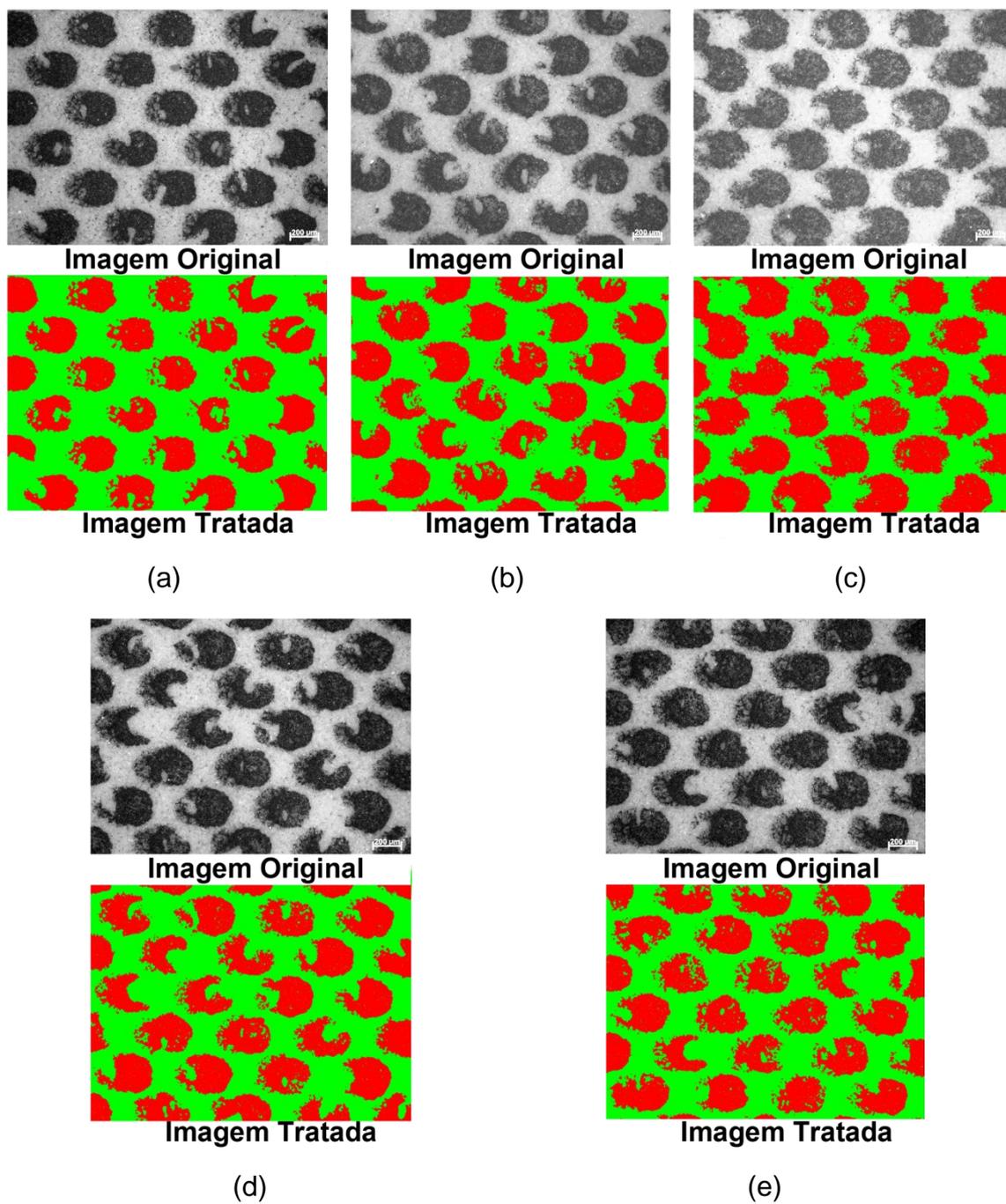


Figura 4.2.5: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°

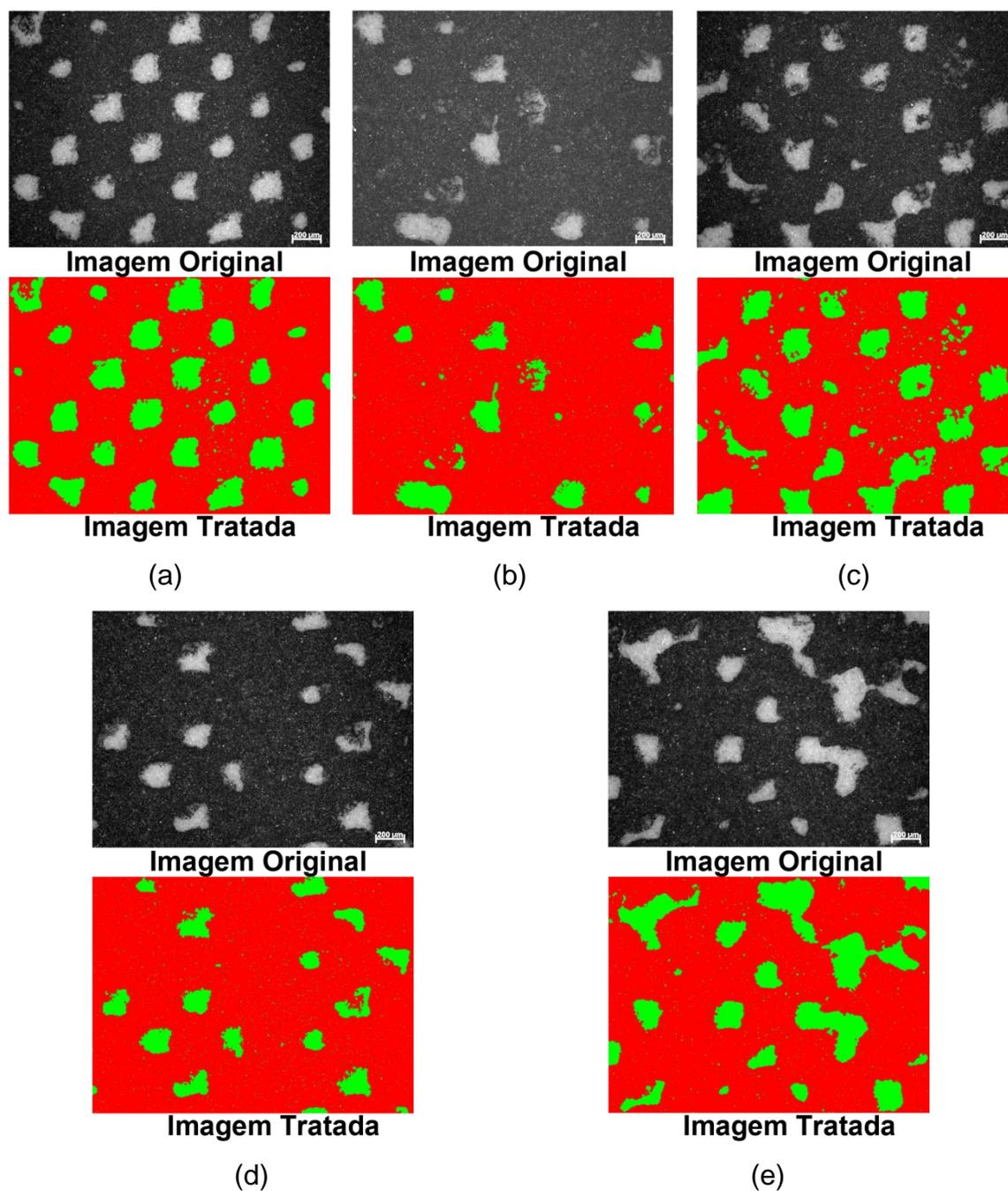


Figura 4.2.6: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas de aproximadamente (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação 0,4/45°

Tabela 4.2.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura do suporte. Incisão 0,4/45°

Temperatura aproximada da peça (°C)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
30	5,01	34,59	83,13
40	7,22	41,48	90,81
50	4,93	50,10	80,68
80	4,01	42,11	90,53
90	3,30	43,88	89,82

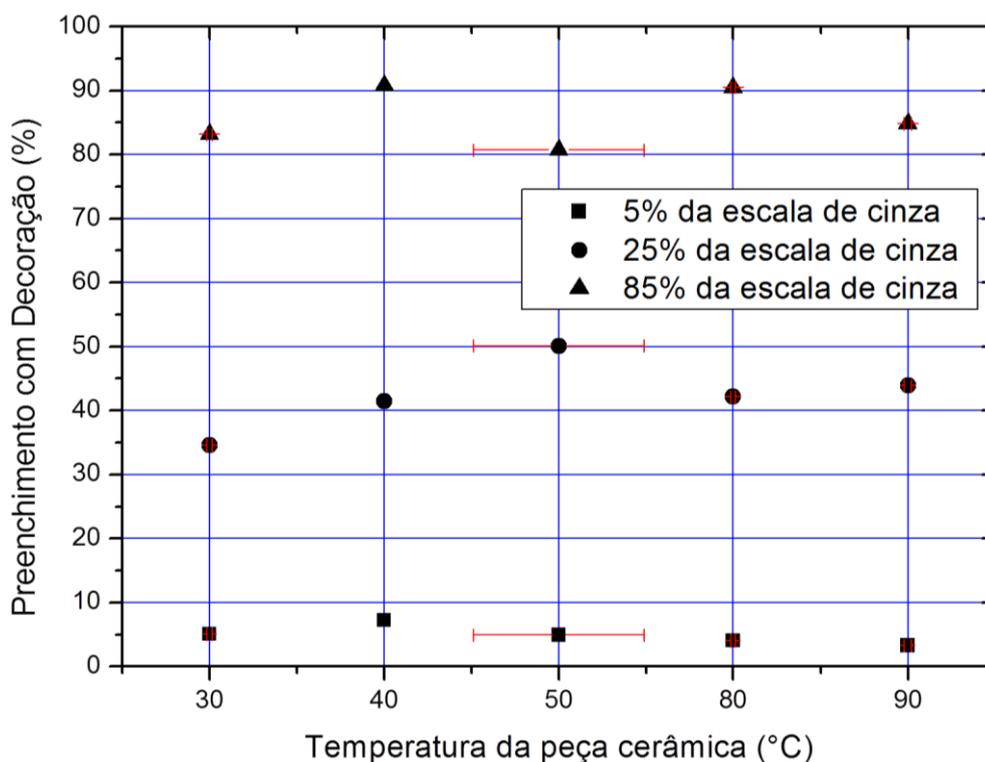


Figura 4.2.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as temperaturas aproximadas de 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.

Na Figura 4.2.1 as curvas de porcentagem de luz refletida pela peça variando-se a temperatura do suporte cerâmico tendem a aumentar em valor,

na faixa de tons baixos da escala de cinza (neste caso 5%); pois há um aumento na dificuldade na transferência da tinta dos alvéolos ocasionado principalmente por dois efeitos:

- (a). Com a maior temperatura superficial aumenta também a evaporação da água do esmalte, formando uma fina camada de vapor sobre a peça.
- (b). Dado que a quantidade de líquido presente em cada pequeno volume de tinta que se encontra nos alvéolos do cilindro é relativamente baixa, ocorre que esta parte líquida é puxada do alvéolo em uma taxa muito elevada e, deste modo, deixa para trás (ainda dentro do alvéolo) certa quantidade da parte sólida da tinta (corante e base serigráfica) responsável por formar um ponto de decoração completo, o qual daria a cor final e tom desejado na cobertura; ou seja, a porcentagem em área coberta pela decoração diminui.

No teste a 80°C o que se nota é uma leve diminuição na porcentagem de luz refletida, possivelmente causada pela secagem da tinta serigráfica na superfície do cilindro e a 90°C, há um aumento na reflexão, causada pelo aumento na quantidade de vapor de água que é eliminada pela peça cerâmica, superando o efeito do acúmulo de tinta seca sobre o cilindro.

Confrontando-se a análise acima com os resultados mostrados na Figura 4.2.7 e os dados da Tabela 4.2.1, é nítida a incongruência dos dados. Elevando-se a temperatura dos 30 aos 40°C a tabela mostra um aumento na área decorada, o que se esperaria de tal fato é uma diminuição da porcentagem de luz refletida. Deste valor, aumentando-se gradualmente a temperatura, os valores de porcentagem de área recoberta por decoração vão diminuindo; ou seja, deveria ser esperado um aumento na porcentagem de luz refletida, visto que existe menos corante preto sendo transferido para a peça cerâmica.

Na faixa dos tons médios para a incidência 0,4/45° o que se pode observar no comportamento das curvas de refletância é que à medida que a temperatura aumenta, inicialmente, há uma diminuição na porcentagem de luz refletida pela

amostra até a faixa de 50°C. Este resultado está coerente com o apresentado na Tabela 4.2.1 e no gráfico da Figura 4.2.7, onde se observa um aumento na porcentagem de área recoberta por decoração.

Neste caso por haver uma maior quantidade de tinta nos alvéolos, a elevação da temperatura até os 50°C pode ter auxiliado na descarga, promovendo uma diminuição localizada na viscosidade da tinta contida em cada alvéolo, o que pode ter facilitado o escoamento da mesma para a superfície da peça. Outra justificativa para este efeito é que, sendo a quantidade de tinta maior, o gradiente de temperatura não é alto o suficiente para puxar rapidamente a porcentagem de líquido da tinta sem arrastar consigo os sólidos, neste caso trazendo toda a “gota” de tinta interna aos alvéolos.

Elevando-se ainda mais a temperatura o que se observa é um aumento sequencial na porcentagem de luz refletida pela superfície decorada.

Em temperaturas muito mais elevadas, assim como foi explicado para as áreas de 5% da escala de cinza, o efeito da alta temperatura pode ocasionar a retirada muito rápida da parte líquida da tinta, não permitindo assim o escoamento conjunto da parte sólida para a superfície do esmalte, o que promoveria o escurecimento geral da peça diminuindo a porcentagem de luz refletida pela mesma.

Na faixa de tons altos o que se observa na Figura 4.2.3 é uma diminuição inicial da porcentagem de luz refletida, ao se elevar a temperatura da peça para 40°C. Comparando-se com os dados resumidos na Tabela 4.2.1, o aumento da porcentagem em área decorada corrobora a análise anterior.

Elevando-se em mais 10°C a temperatura, há um aumento na porcentagem de luz refletida, novamente congruente com a análise de porcentagem de área recoberta a qual diminui no teste com temperatura de 50°C.

Esta porcentagem volta a aumentar no ensaio realizado a 80°C (com a diminuição da porcentagem de luz refletida) e novamente aumentar em 90°C, mesmo com uma leve diminuição da quantidade de área decorada sobre o esmalte.

Os resultados dos testes com as amostras decoradas em incidência MTD 40/22° são elencados a seguir. Nas Figuras 4.2.8, 4.2.9 e 4.2.10 são apresentados os resultados dos ensaios de refletância em função do comprimento de onda, variando-se a temperatura do suporte cerâmico, respectivamente para 5%, 25% e 85% da escala de cinza utilizada na decoração.

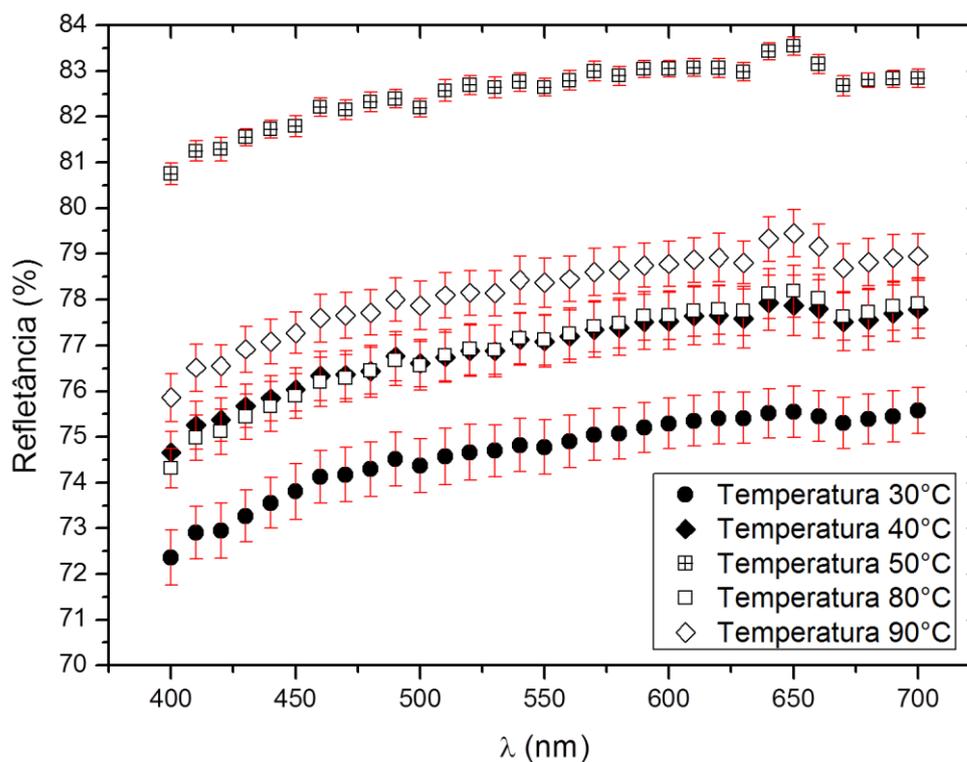


Figura 4.2.8: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

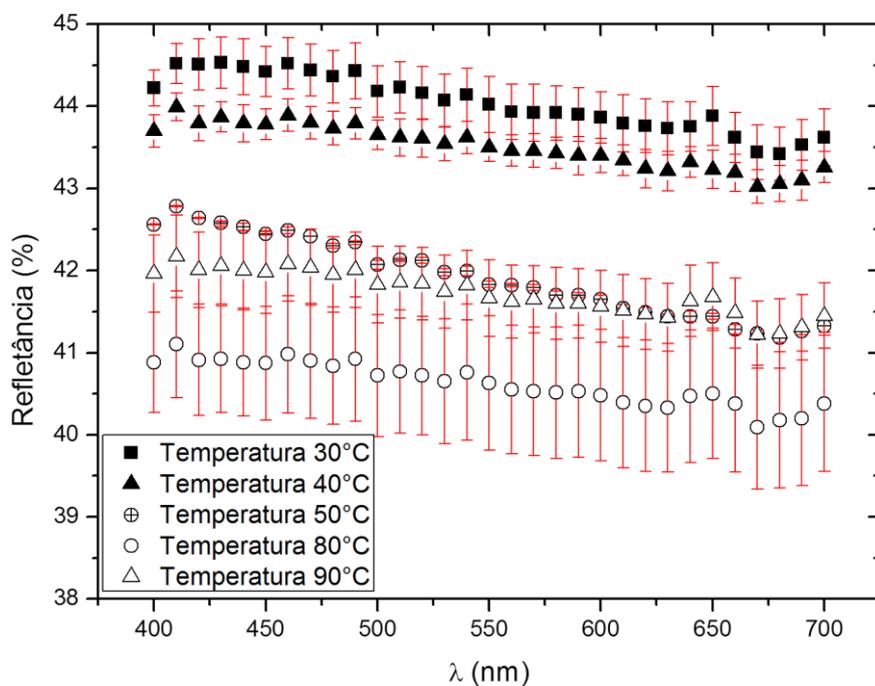


Figura 4.2.9: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

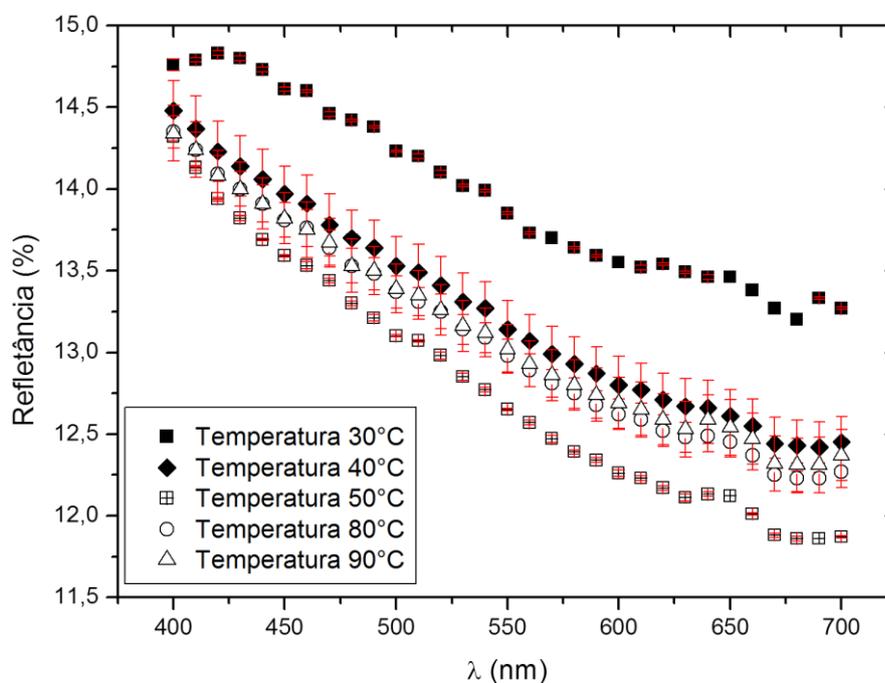


Figura 4.2.10: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

A Figura 4.2.11; 4.2.12 e 4.2.13 mostram as micrografias e as fotos após o tratamento de imagem para a obtenção da porcentagem em área recoberta por decoração (em incisão MTD40/22°) com 5%, 25% e 85% respectivamente.

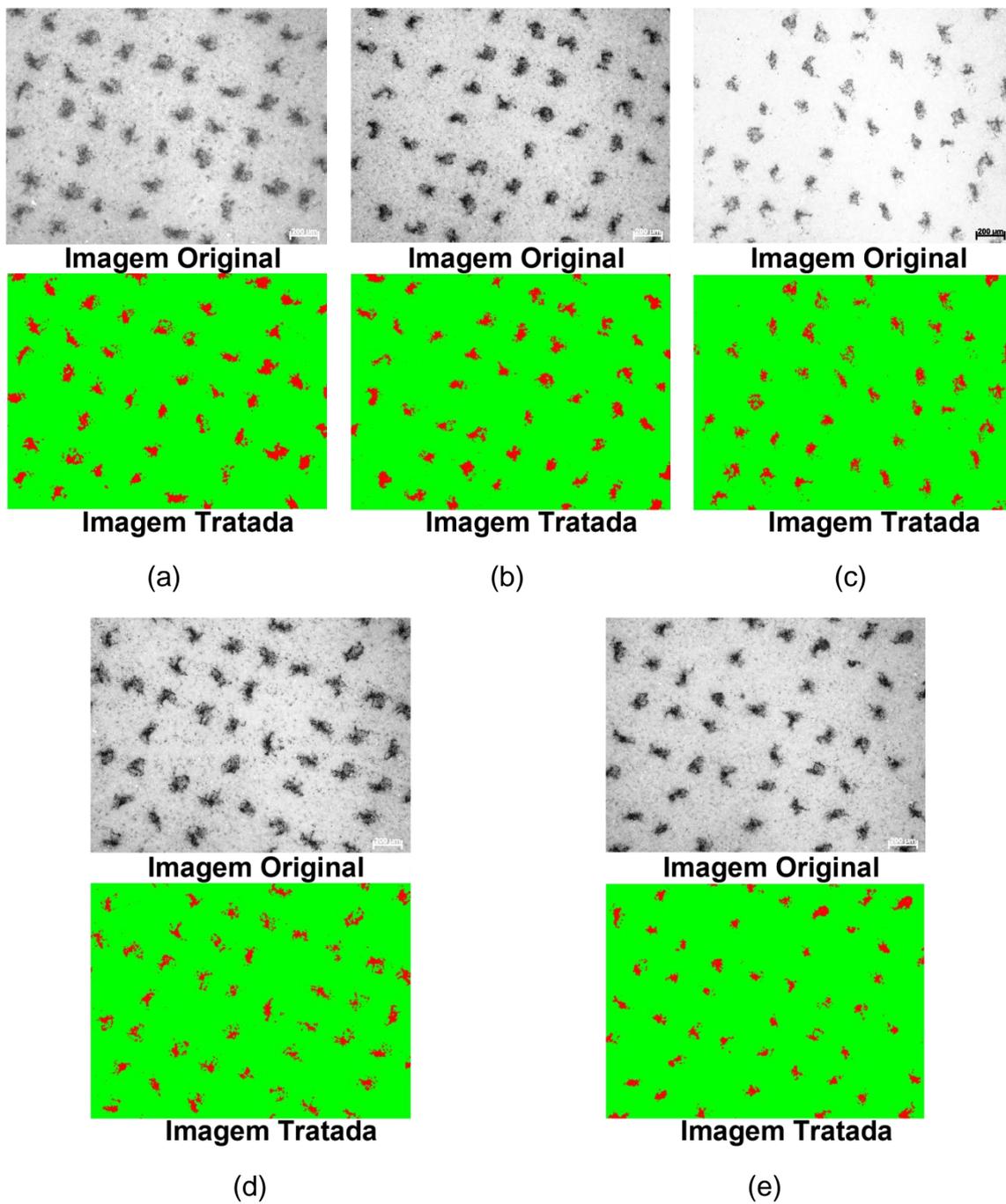


Figura 4.2.11: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°

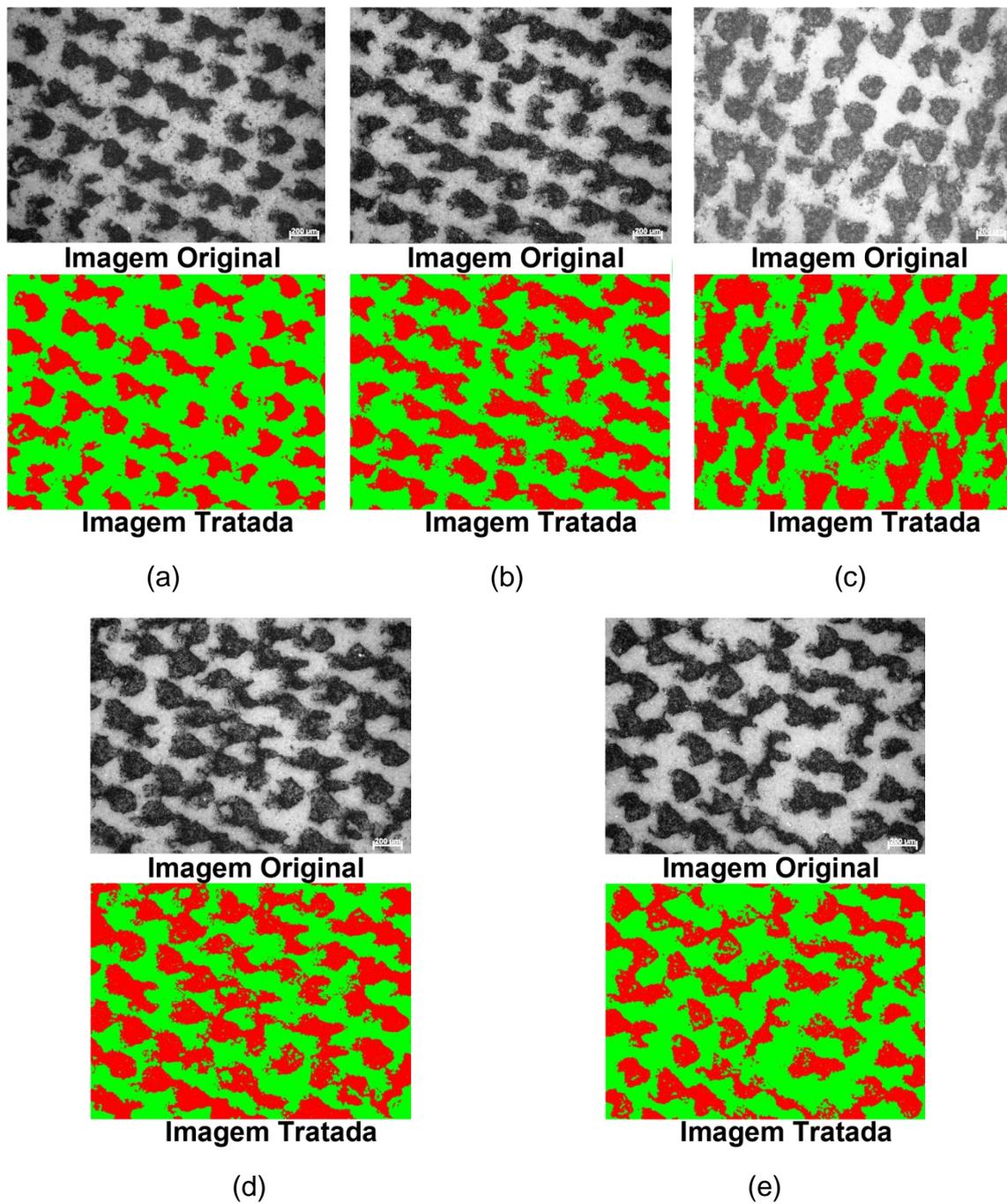


Figura 4.2.12: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°

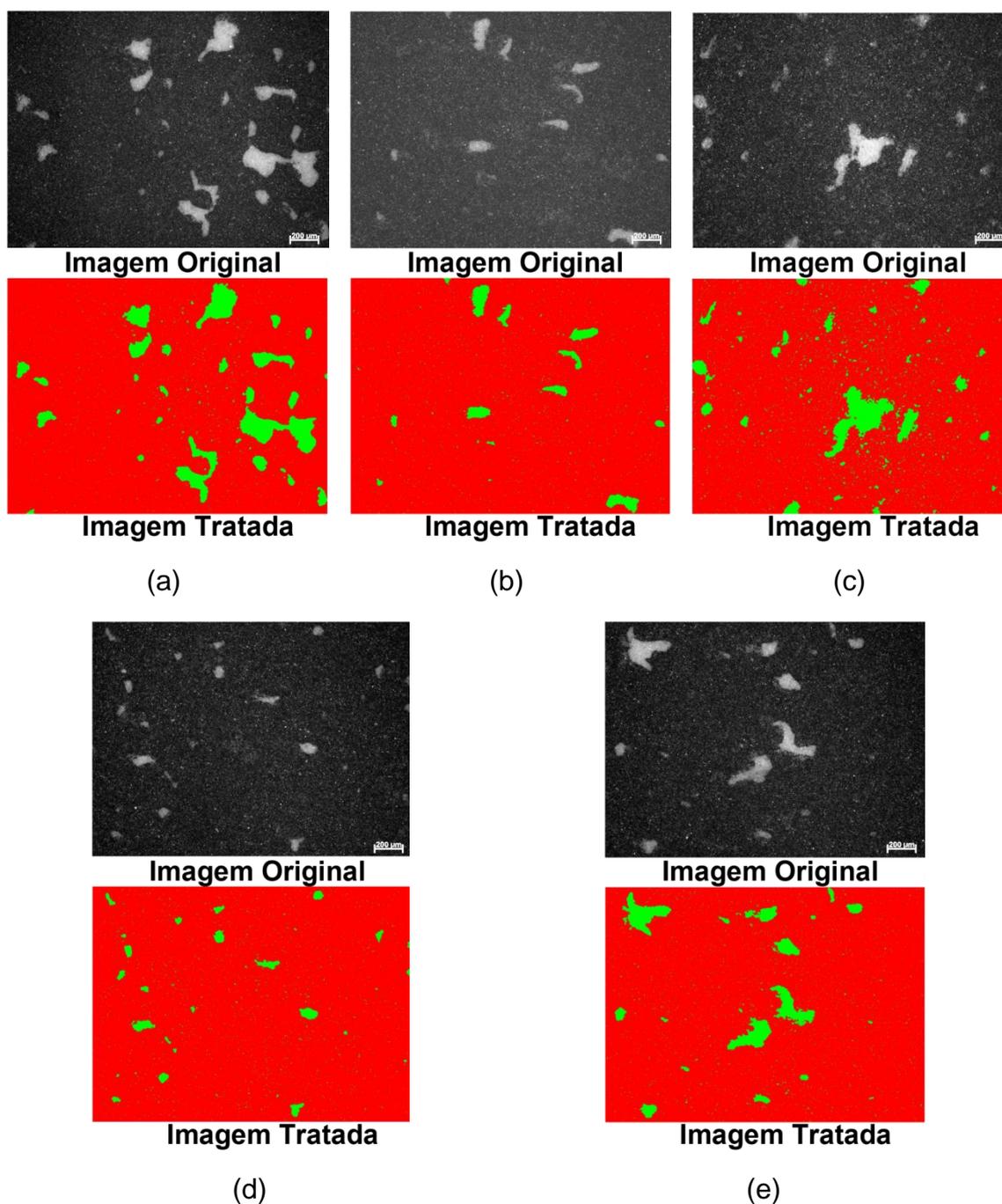


Figura 4.2.13: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 40/22°

Abaixo, são resumidos os valores de porcentagem em área recoberta para as decorações das amostras decoradas em incisão MTD 40/22°, na Tabela 4.2.2 e na Figura 4.2.14.

Tabela 4.2.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura. Incisão MTD 40/22°

Temperatura aproximada da peça (°C)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
30	6,16	33,92	91,64
40	5,76	42,01	96,18
50	5,10	49,28	93,42
80	5,13	48,99	95,08
90	4,15	40,14	93,86

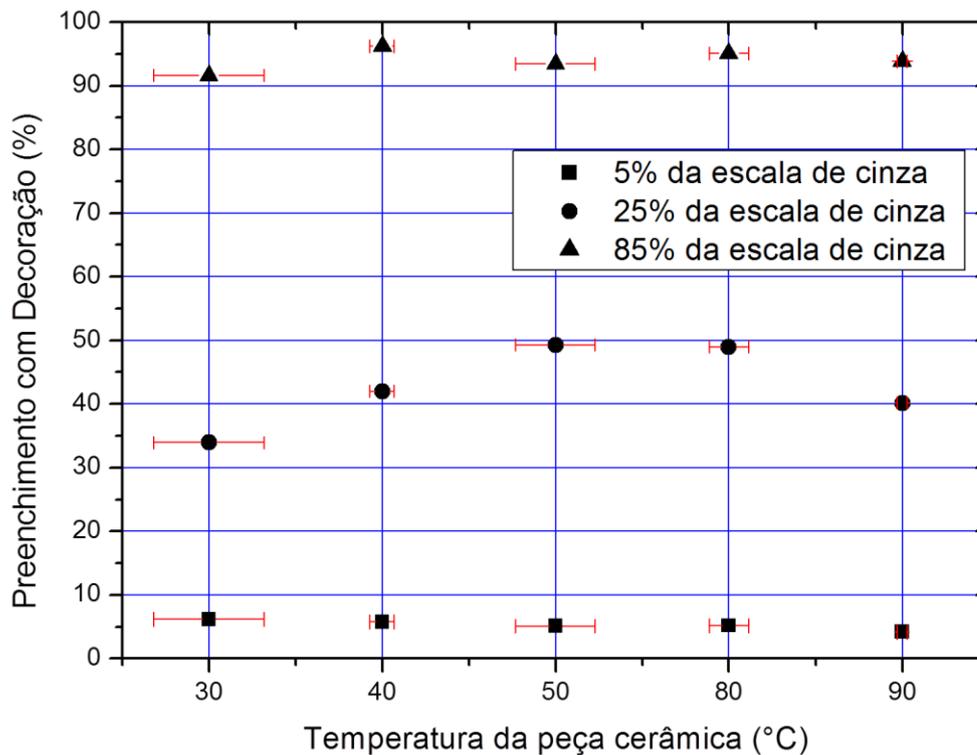


Figura 4.2.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as temperaturas aproximadas de 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.

Na Figura 4.2.8, em 5% da escala de cinza para a incisão MTD40/22°, observa-se que o incremento em temperatura leva a um aumento na

porcentagem de luz refletida pela superfície decorada, até a temperatura de 50°C. Pode notar que na Tabela 4.2.2, os valores de porcentagem de área recoberta por decoração diminuem ao longo destes valores de temperatura.

No ensaio com temperatura de 80°C verifica-se que há uma queda, em relação ao valor de refletância a 50°C; a variação em porcentagem de luz refletida é maior do que o que ocorre para a variação em recobrimento da amostra por decoração, como pode ser visto na Tabela 4.2.2.

Logo em seguida uma leve elevação na porcentagem de luz refletida no ensaio realizado para a temperatura de 90°C ocorre, em congruência com a queda na porcentagem de área decorada (Figura 4.2.14 e Tabela 4.2.2).

Neste caso, por se tratar de uma incisão com pontos individuais muito menores que os encontrados na incisão do teste anterior (0,4/45°), a influência da quantidade de vapor d'água superficial na peça cerâmica e a influência da elevação da temperatura, com relação à absorção acelerada do esmalte sobre a parte líquida da composição da tinta, são muito maiores. Isso pode ser verificado pela crescente queda na porcentagem de tinta transferida do cilindro para a peça ao longo de todo o ensaio de variação de temperatura.

Particularmente, embora entre os testes a 50 e 80°C a variação na porcentagem de área coberta por decoração seja muito pequena, a variação na porcentagem de luz refletida é considerável, a qual pode ser considerada como resultante da tinta que secou sobre o cilindro de decoração e causou o escurecimento geral da superfície decorada.

Dos resultados dos ensaios realizados com as amostras decoradas em 25% da escala de cinza, apresentados na Figura 4.2.9, pode-se verificar que à medida que a temperatura foi sendo elevada, a porcentagem em luz refletida pela superfície decorada foi diminuindo até o ensaio em aproximadamente 80°C. Esta análise é confirmada pelos dados da Tabela 4.2.2, a qual apresenta o aumento em porcentagem de área decorada, embora entre os testes de 50 e 80°C tenha ocorrido uma pequena queda neste valor.

Para esta incisão, nos tons médios da escala de cinza (25%) nota-se que a influência da temperatura com relação à descarga de tinta dos alvéolos do cilindro é benéfica, porém este efeito também é devido em parte à

deposição da película de tinta sobre toda a superfície esmaltada, o que auxilia no escurecimento do esmalte, levando a um resultado não completamente verdadeiro da percentagem de luz refletida.

O menor valor em reflexão da luz pela superfície decorada para o ensaio com temperatura de 90°C pode ser devido ao calor excessivo, o qual faz a peça absorver rapidamente a parte líquida da tinta deixando para trás parte do corante necessário para a formação dos pontos decorados, como pode ser visto pela diminuição da área decorada através dos dados da Tabela 4.2.2.

Com relação aos tons mais altos da escala de cinza (85%) na incisão MTD 40/22° verifica-se através da Figura 4.2.10 que a elevação da temperatura do suporte cerâmico faz com que a percentagem em luz refletida pela superfície decorada diminua (como visto até o ensaio a 50°C), aumentando pouco nos ensaios com temperaturas de 80 e 90°C.

Comparando-se com os resultados apresentados na Tabela 4.2.2 e na Figura 4.2.14, a variação na percentagem em área decorada não segue o padrão de aumento ou diminuição dos valores ao se elevar a temperatura de teste. Inicialmente ocorre uma elevação na percentagem em área decorada (entre 30 e 40°C), seguido de uma queda (entre 40 e 50°C), elevando-se novamente (entre 50 e 80°C) e voltando a diminuir entre os ensaios de 80 e 90°C.

Os resultados para os testes com incisão MTD 45/11° são mostrados a seguir.

Na Figura 4.2.15; 4.2.16 e 4.2.17 são apresentados os gráficos com os resultados dos testes de espectrofotometria realizados para as coberturas de 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

As micrografias, bem como as imagens tratadas para a obtenção dos dados de preenchimento da área útil com decoração, são mostradas na Figura 4.2.18, 4.2.19 e 4.2.20.

Na Tabela 4.2.3 estão agrupados os valores de percentagem em área decorada obtidos através do ensaio anteriormente mencionado, assim como colocados em forma de gráfico na Figura 4.2.21.

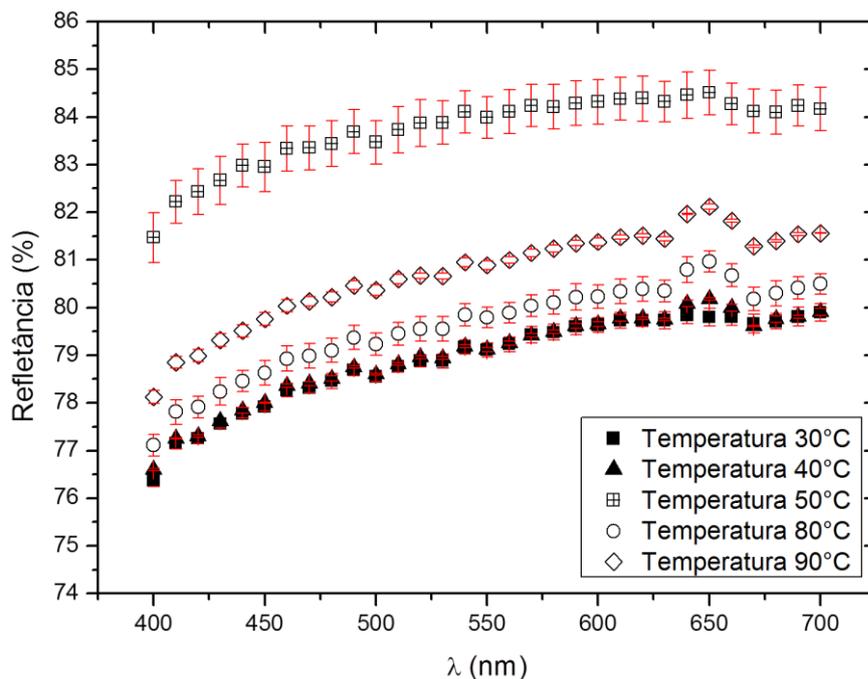


Figura 4.2.15: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

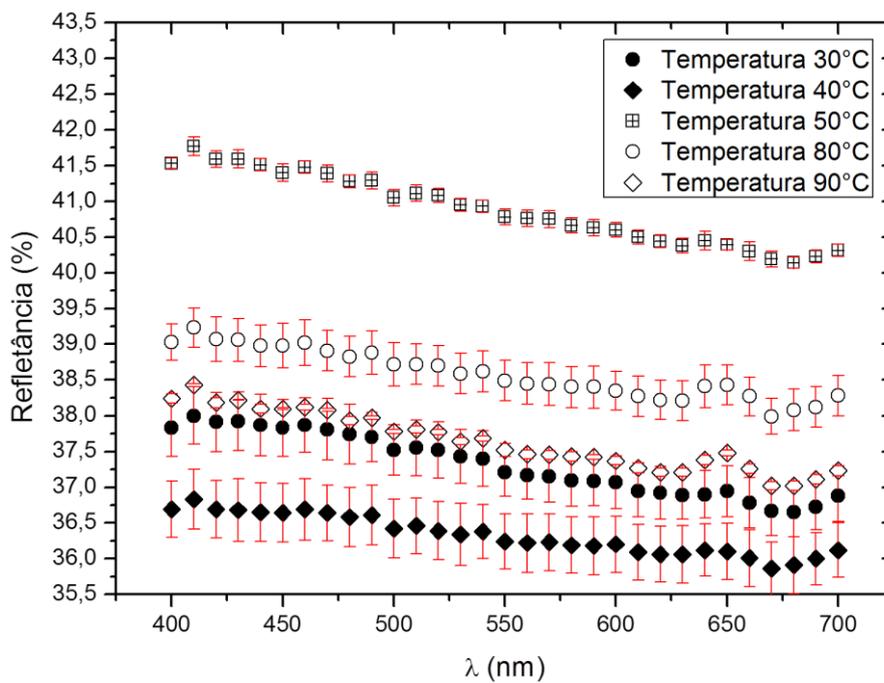


Figura 4.2.16: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

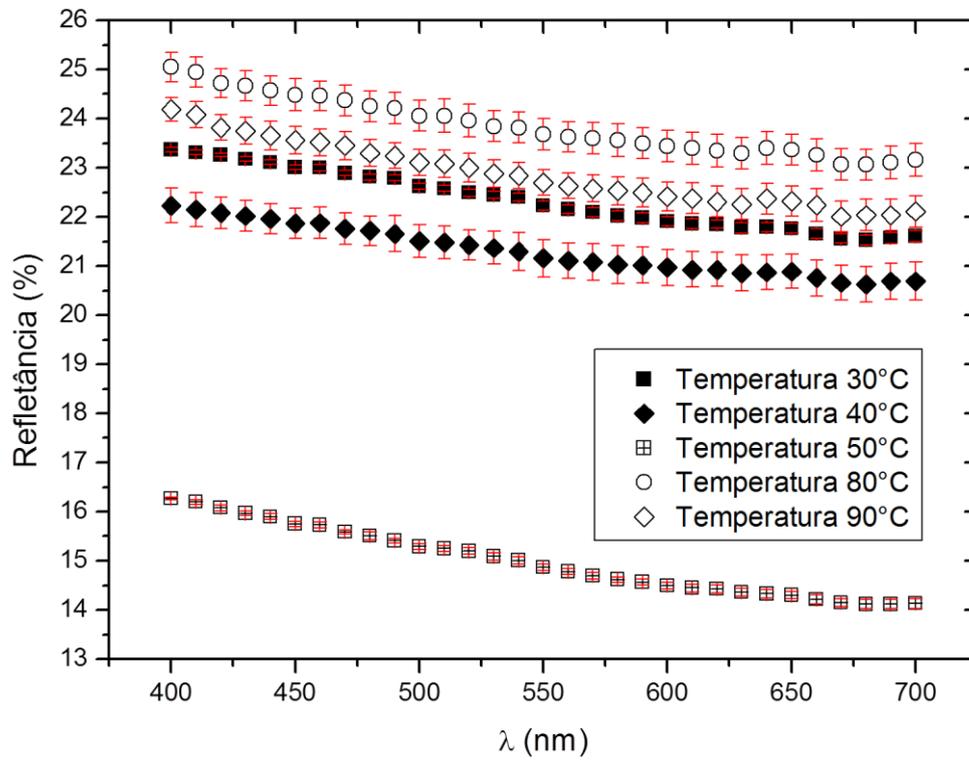


Figura 4.2.17: Variação da refletância com o aumento da temperatura da peça para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

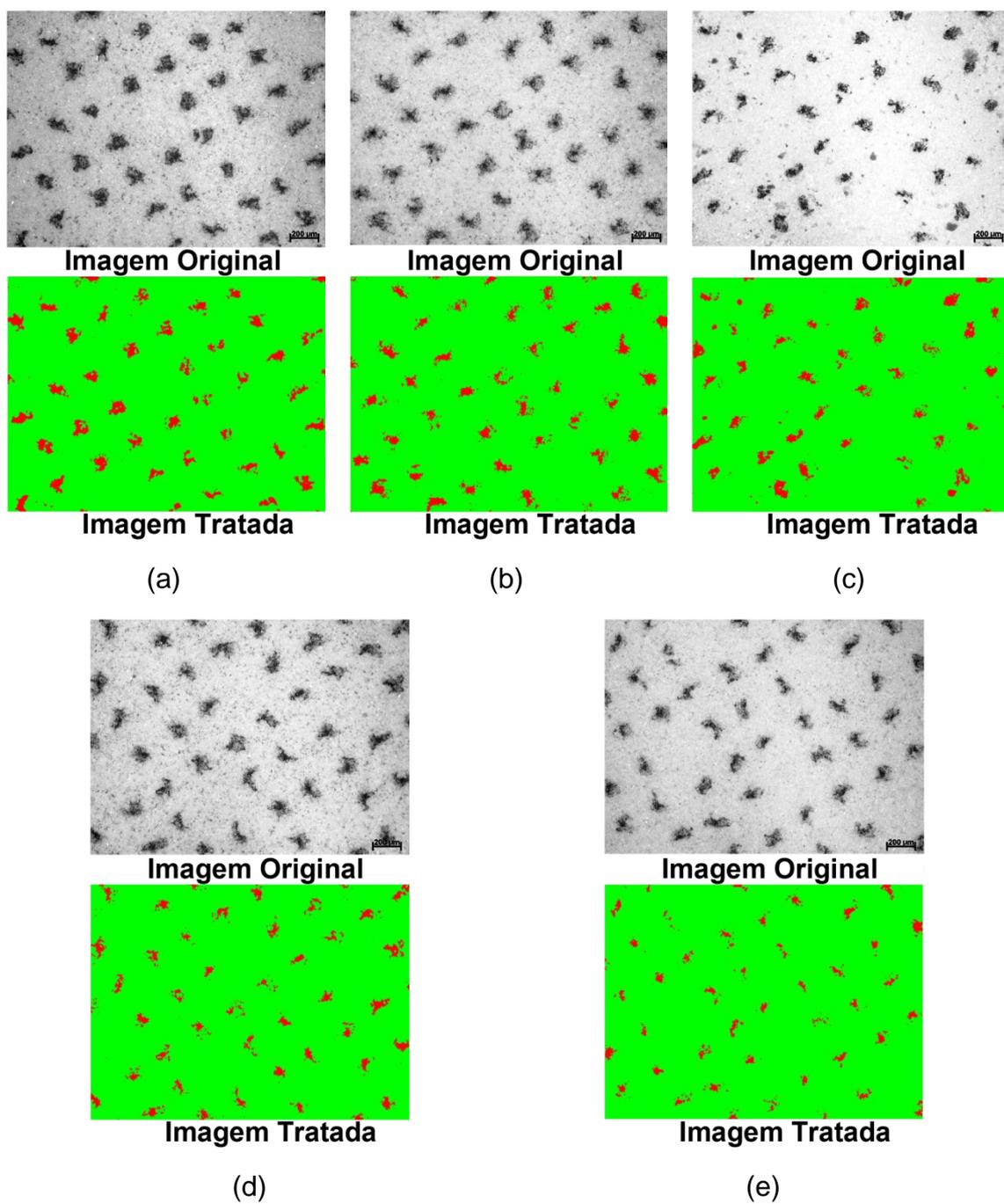


Figura 4.2.18: Área de 5% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°

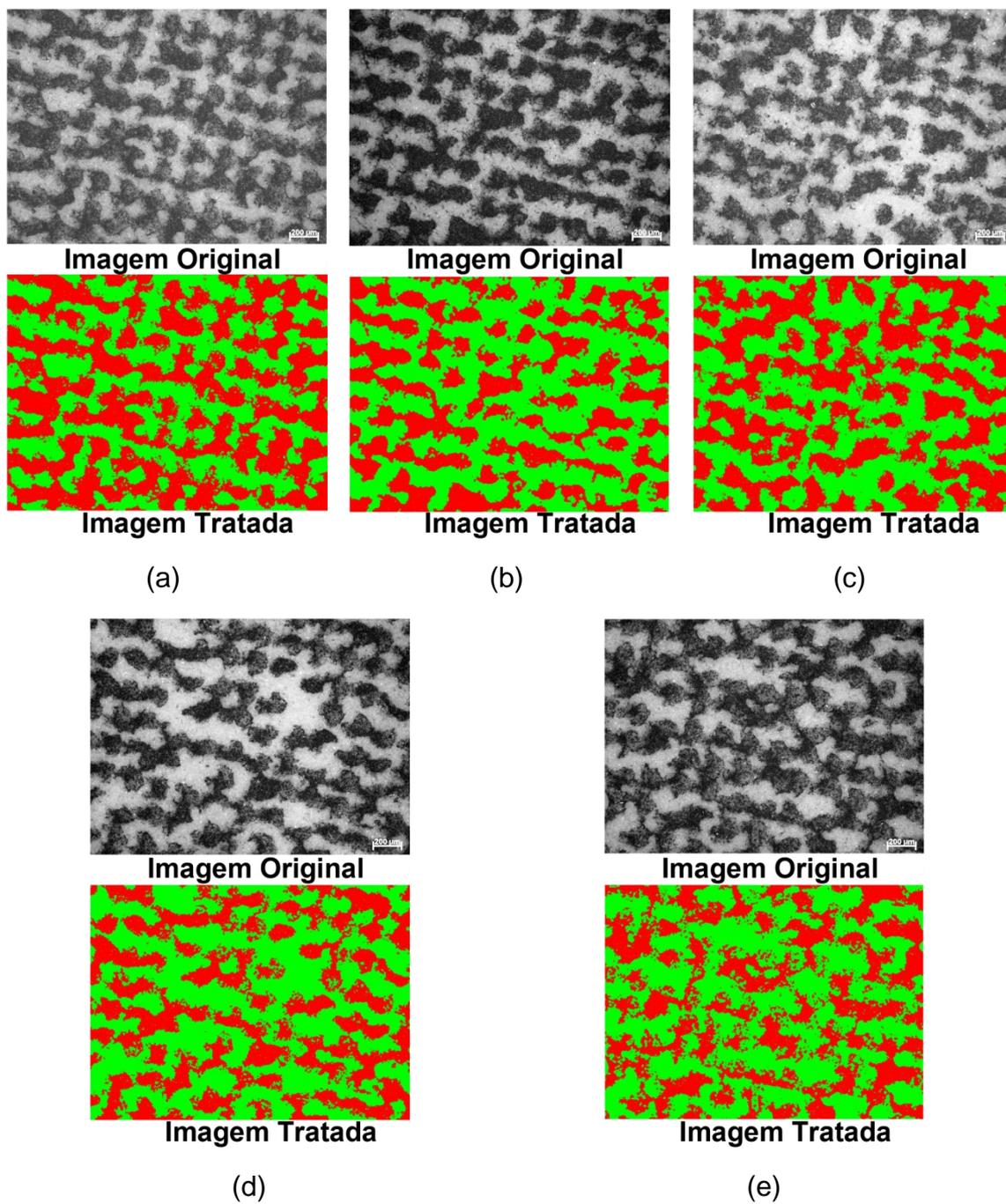


Figura 4.2.19: Área de 25% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°

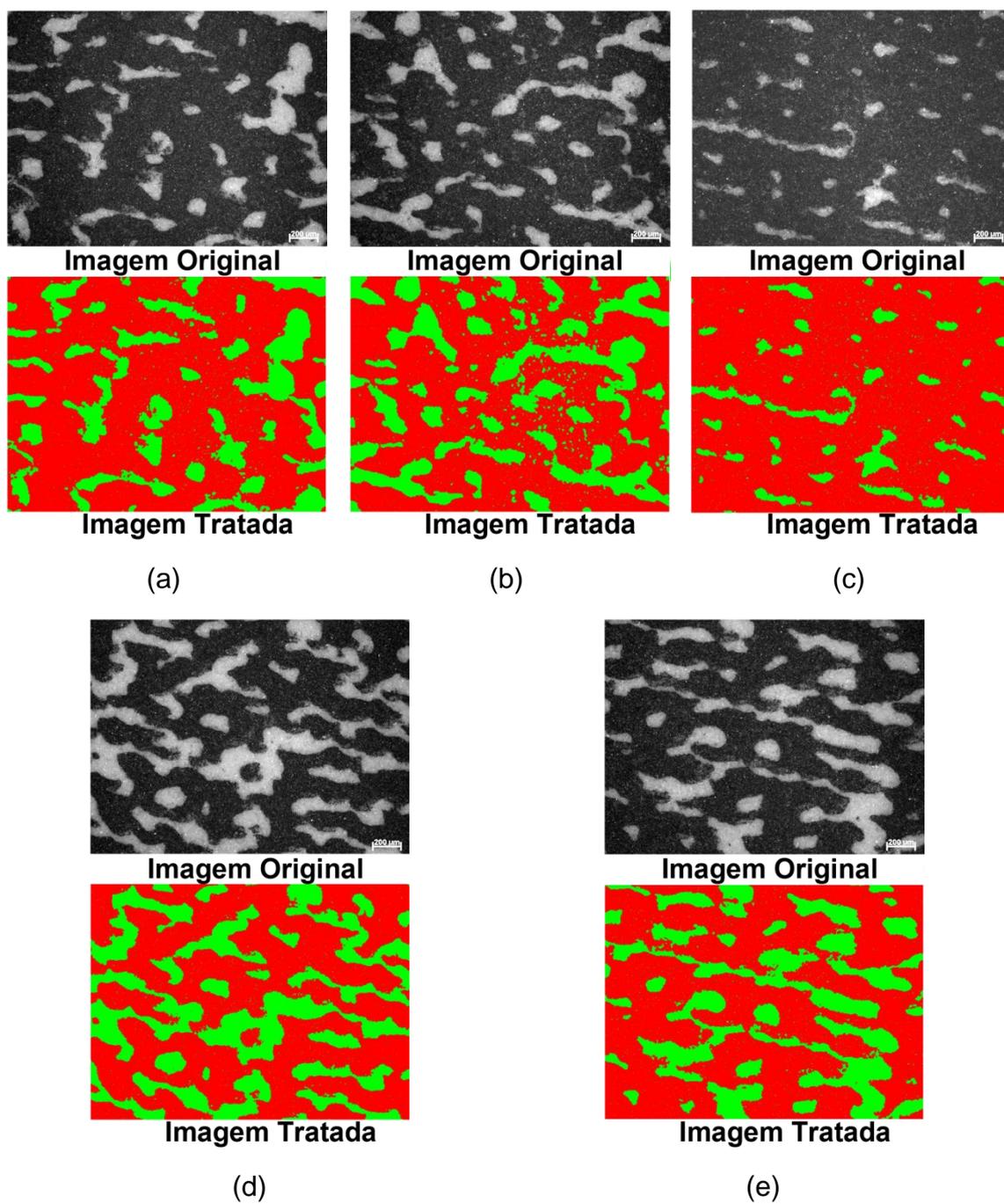


Figura 4.2.20: Área de 85% da escala de cinza para as temperaturas aproximadas de (a) 30°C; (b) 40°C; (c) 50°C; (d) 80°C e (e) 90°C. Gravação MTD 45/11°

Tabela 4.2.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da temperatura. Incisão MTD 45/11°

Temperatura aproximada da peça (°C)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
30	5,12	40,37	70,50
40	5,18	49,31	73,63
50	4,82	49,33	90,59
80	4,05	46,46	69,80
90	3,34	44,95	71,23

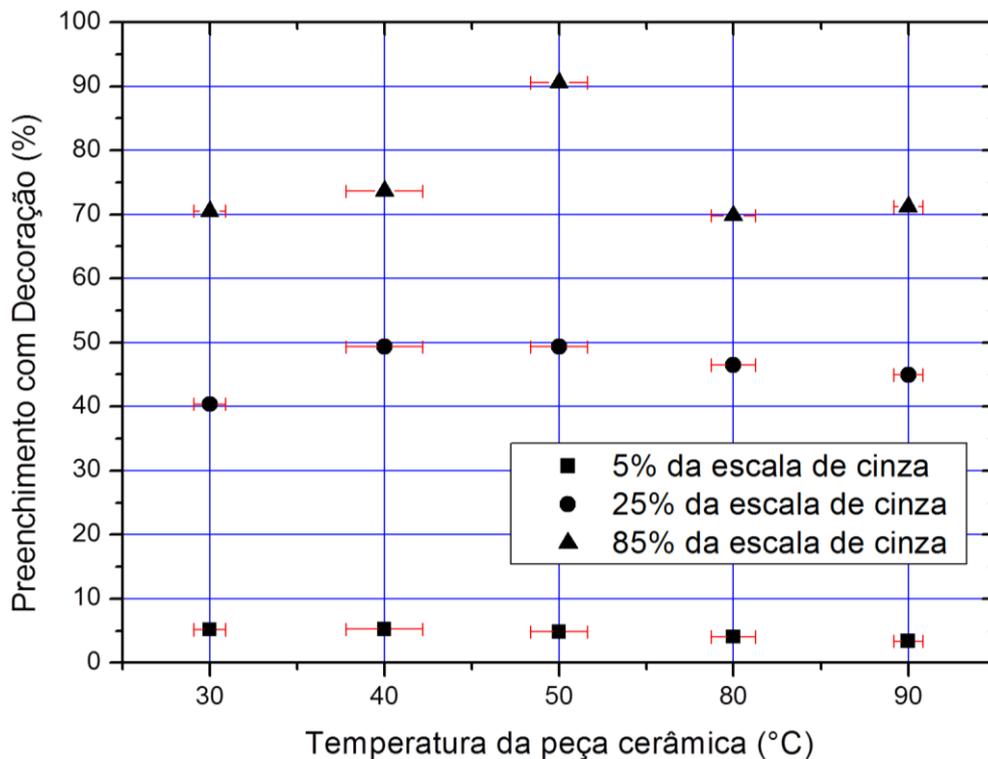


Figura 4.2.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5, 25 e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as temperaturas de aproximadamente 30°C; 40°C; 50°C; 80°C; 90°C.

A influência da elevação da temperatura na quantidade de luz refletida pela superfície decorada para a incisão MTD 45/11° em 5% da escala de cinza,

mostrada na Figura 4.2.15 não sofre variação significativa em temperaturas entre 30 e 40°C, este resultado pode ser confirmado através dos dados da Tabela 4.2.3 onde se observa a diminuta variação na porcentagem de área coberta pela decoração.

O ensaio a 50°C já apresenta valores de porcentagem de luz refletida maiores. Este valor cai no ensaio a 80°C e eleva-se sutilmente quando realizado à temperatura de 90°C.

Esta variação de porcentagem de luz refletida não ocorre em congruência com os dados obtidos através do tratamento das micrografias. Na Tabela 4.2.3 o que se observa é um decaimento gradativo na porcentagem em área recoberta pela decoração, o que deveria proporcionar um quadro crescente na porcentagem de luz refletida pela superfície decorada.

Como se trata também de uma incisão com pontos individuais muito pequenos, é possível que a influência da elevação da temperatura e conseqüentemente o aumento da quantidade de vapor d'água sobre a peça seja o fator causador destes resultados. Com a elevação ainda maior da temperatura, o mesmo efeito já explicado anteriormente para os outros ensaios (secagem da tinta devido à elevada temperatura em 0,4/45° e MTD 40/22°) pode ter influenciado nos resultados finais.

Nos tons médios para a incisão MTD 45/11° o que se observa é uma leve diminuição inicial na porcentagem de luz refletida (entre 30 e 40°C), seguida por um aumento significativo, quando a temperatura do ensaio é elevada para 50°C, retornando a decrescer gradativamente à medida que a temperatura do suporte aumenta.

Na Tabela 4.2.3 pode-se verificar que a porcentagem em área recoberta aumenta no mesmo intervalo inicial (entre 30 e 40°C), condizente com a análise anterior de refletância. Elevando-se a temperatura de 40°C para 50°C, a porcentagem em área recoberta permanece praticamente a mesma, embora tenha ocorrido um aumento significativo em porcentagem de luz refletida neste intervalo.

Elevando-se a temperatura em amostras com porcentagem de área decorada entre os tons altos da escala de cinza (85%) o que se observa na

Figura 4.2.17 é que há uma queda constante (até os 50°C), o que pode ser confirmado pela elevação em porcentagem em área decorada pelos dados da Tabela 4.2.3.

Com temperaturas mais elevadas, a porcentagem de luz refletida aumenta quase aos níveis iniciais de ensaio, fato que pode ser confirmado também pela queda nos valores de porcentagem em área recoberta por decoração na Tabela 4.2.3.

A Tabela 4.2.4 trás um resumo geral dos resultados obtidos com a variação da temperatura do suporte cerâmico e os efeitos sobre o preenchimento por decoração e a refletância.

Tabela 4.2.4: Resumo dos resultados obtidos com aumento da temperatura do suporte cerâmico em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	<p style="text-align: center;">↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até 50°C ↓ % de luz refletida T > 50°C</p>		
25%	<p style="text-align: center;">↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até 50°C ↓ % de luz refletida T > 50°C</p>	<p style="text-align: center;">↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida</p>	<p style="text-align: center;">Até 50°C: ↓ % de luz refletida e ↑ % em área recoberta T > 50°C: ↓ % de luz refletida e ↓ % em área recoberta</p>
85%	<p style="text-align: center;">% em área recoberta~cte ↓ % de luz refletida</p>	<p style="text-align: center;">% em área recoberta~cte ↓ % de luz refletida</p>	<p style="text-align: center;">Até 50°C: ↓ % de luz refletida T > 50°C: ↑ % de luz refletida % em área recoberta~cte</p>

4.3 Ensaios de Velocidade de Produção.

Os dados obtidos pela análise de microscopia para a incisão $0,4/45^\circ$ após a decoração com as velocidades de 25, 40, 50 e 60 m/min. são mostrados na Figura 4.3.1 para 5% da escala de cinza, na Figura 4.3.3 para 25% da escala de cinza e na Figura 4.3.5 para 85% da escala de cinza com os respectivos dados de área coberta.

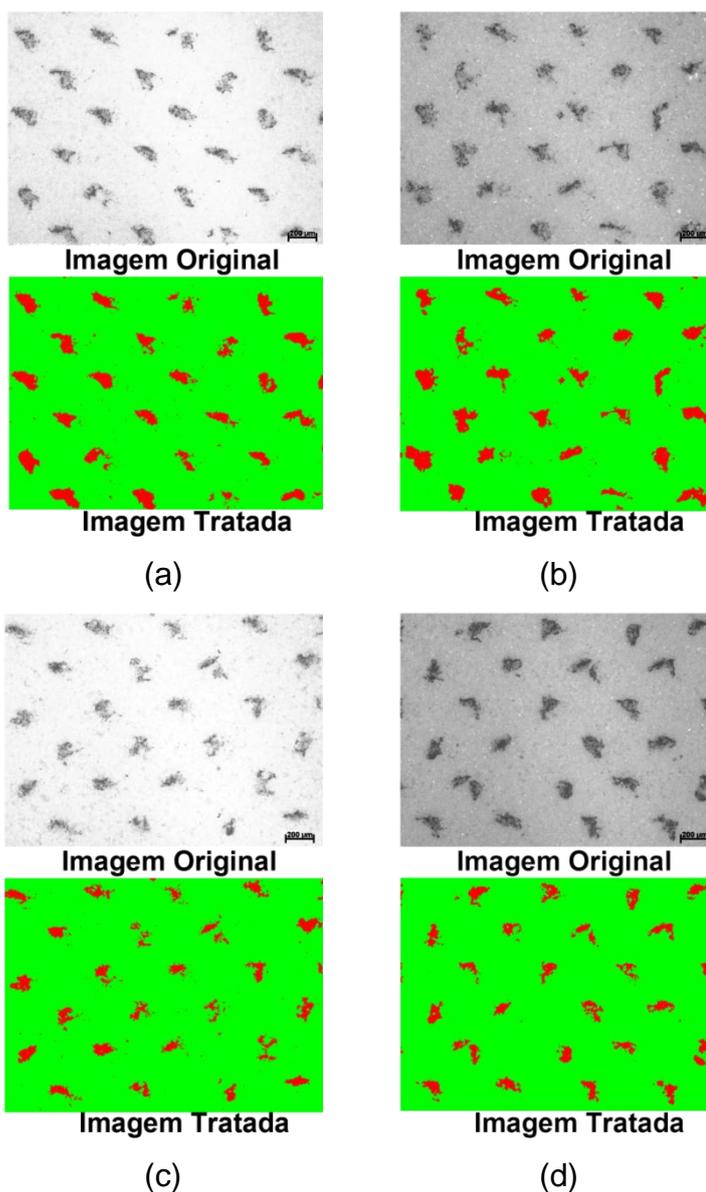


Figura 4.3.1: Decoração de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.

A Figura 4.3.2 mostra a variação nas curvas de refletância com o aumento da velocidade para as amostras decoradas com 5% da escala de cinza.

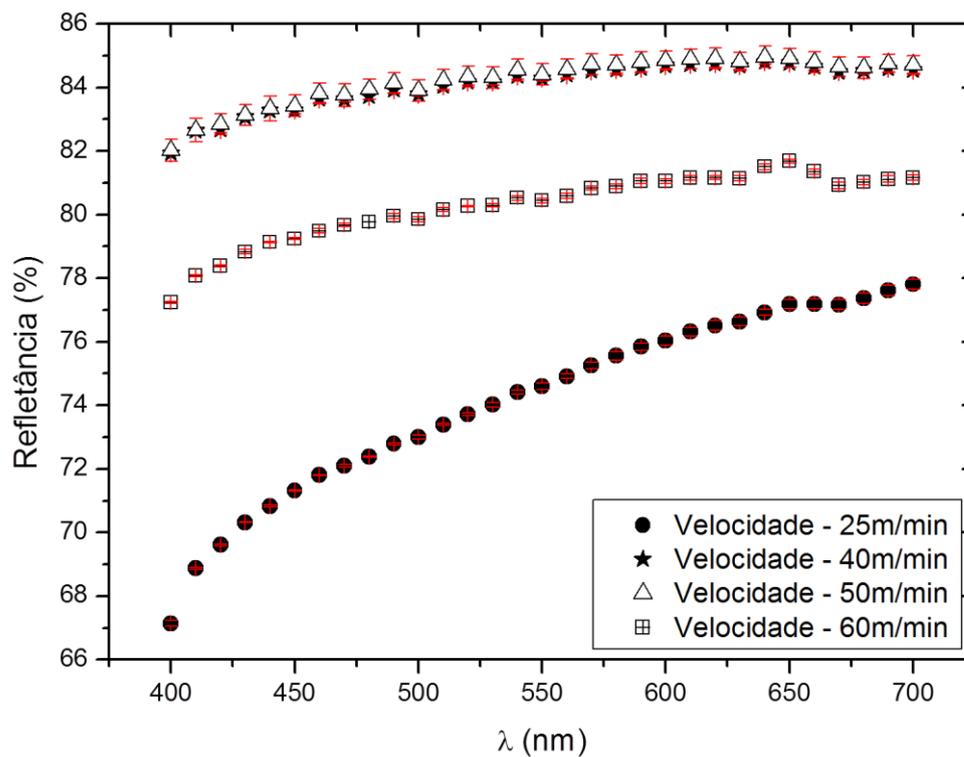


Figura 4.3.2: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão $0,4/45^\circ$

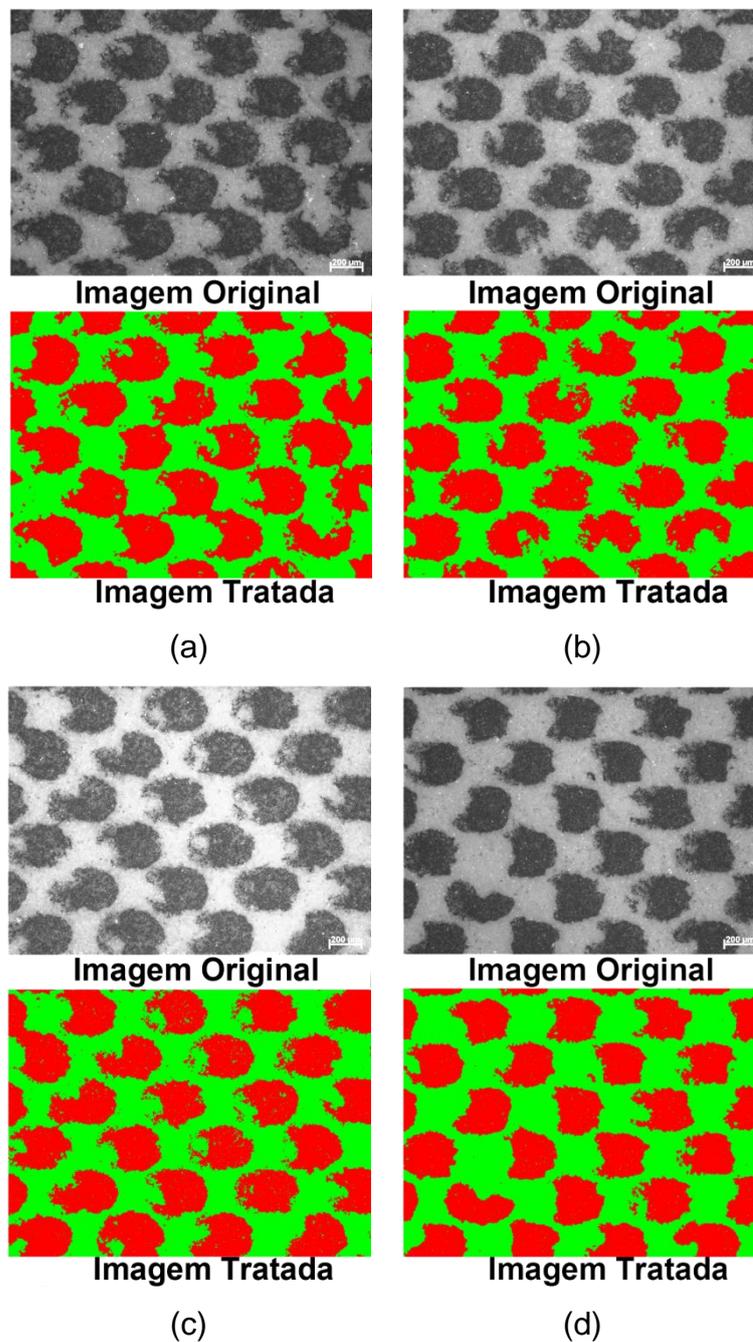


Figura 4.3.3: Decoração de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.

A variação das curvas de refletância com a velocidade para as amostras decoradas com 25% da escala de cinza são mostradas na Figura 4.3.4.

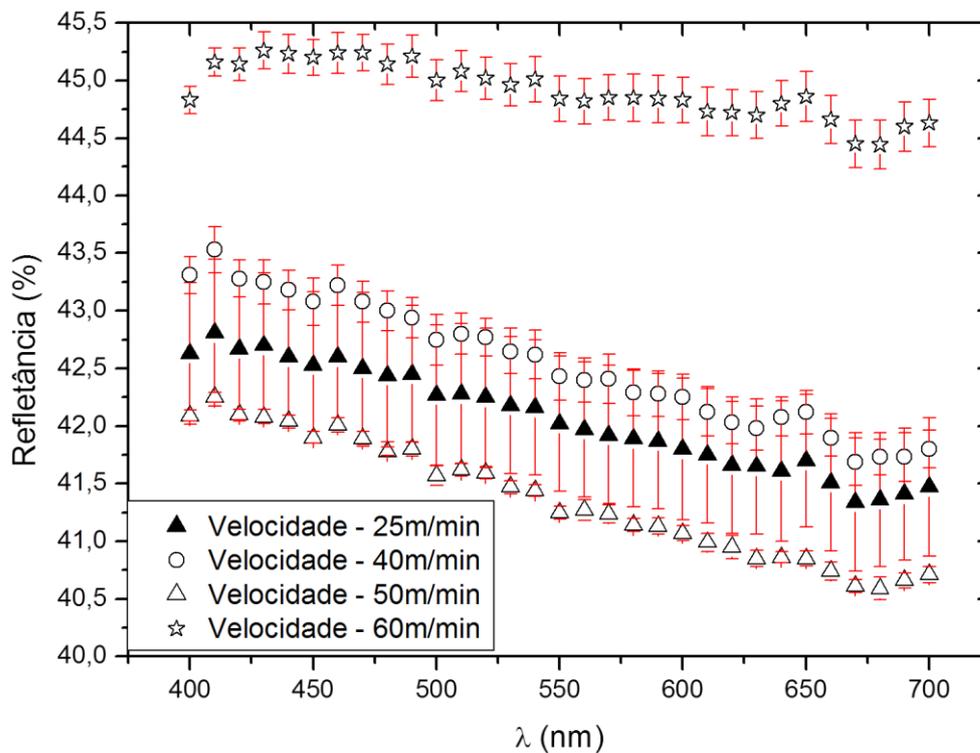


Figura 4.3.4: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incidência $0,4/45^\circ$.

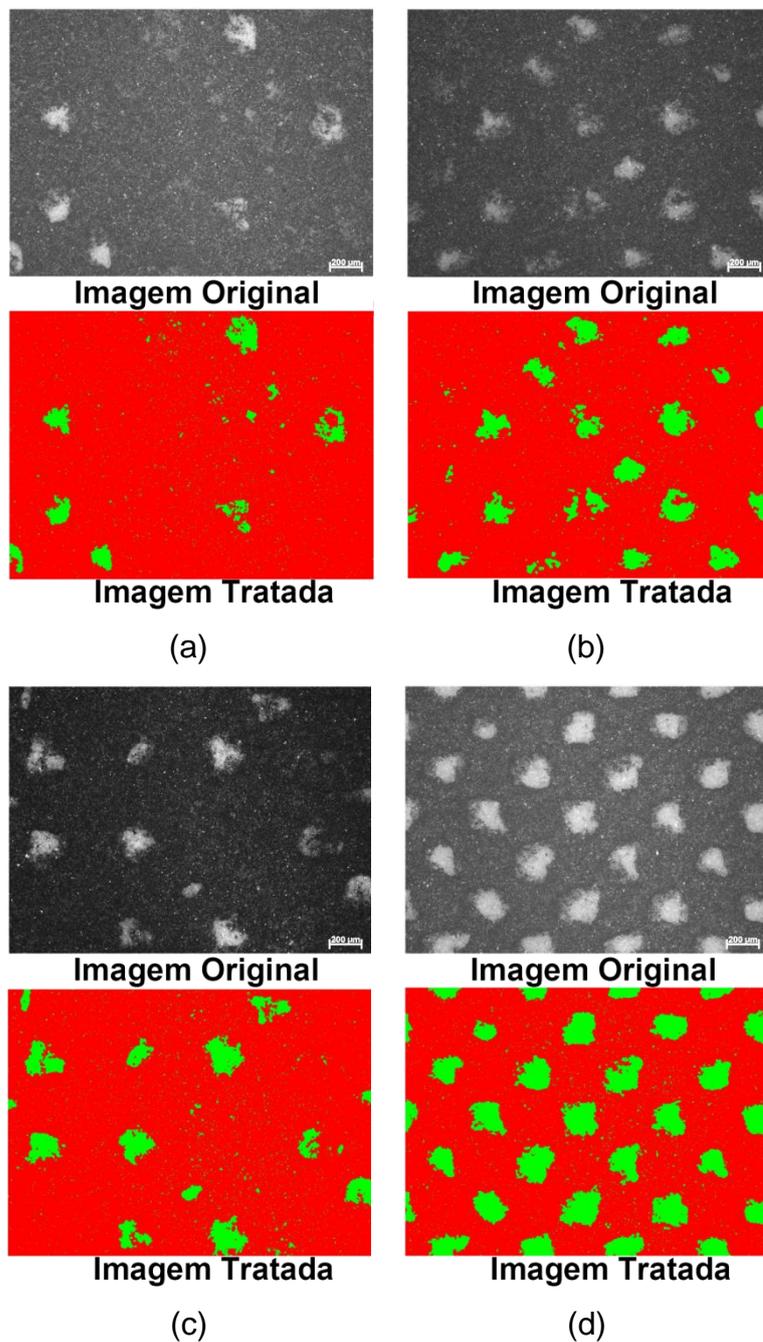


Figura 4.3.5: Decoração de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área recoberta pela decoração com velocidade de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min.

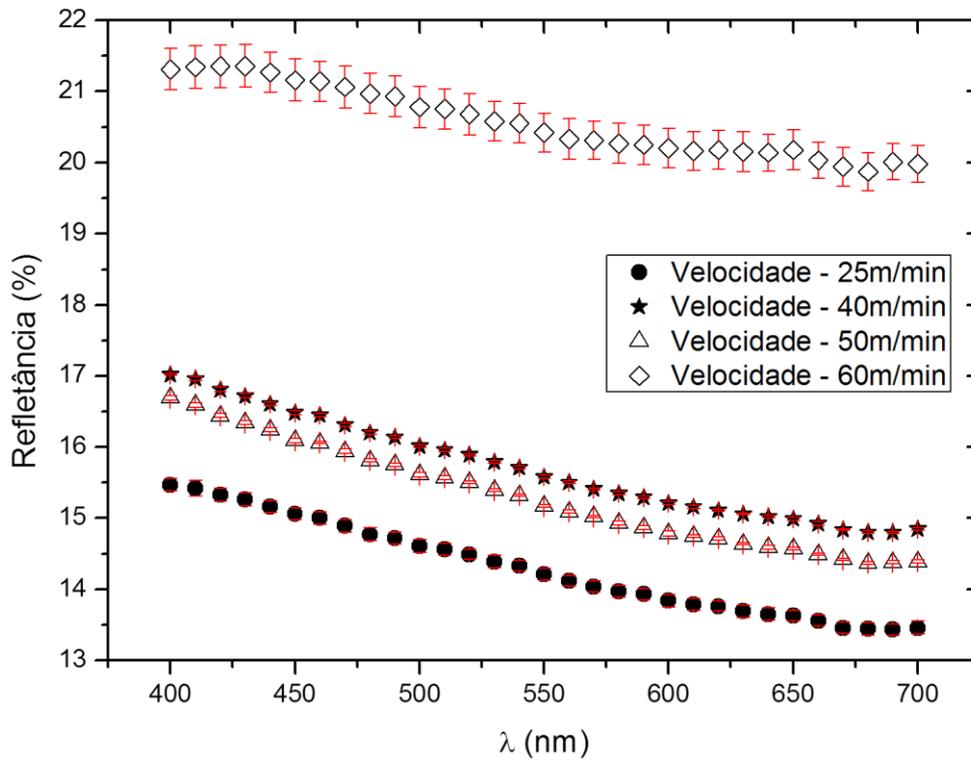


Figura 4.3.6: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão 0,4/45°.

O resumo das porcentagens de área recoberta após a decoração pode ser visto na Tabela 4.3.1. O gráfico da Figura 4.3.7 mostra a variação da porcentagem de preenchimento com o incremento na velocidade de decoração.

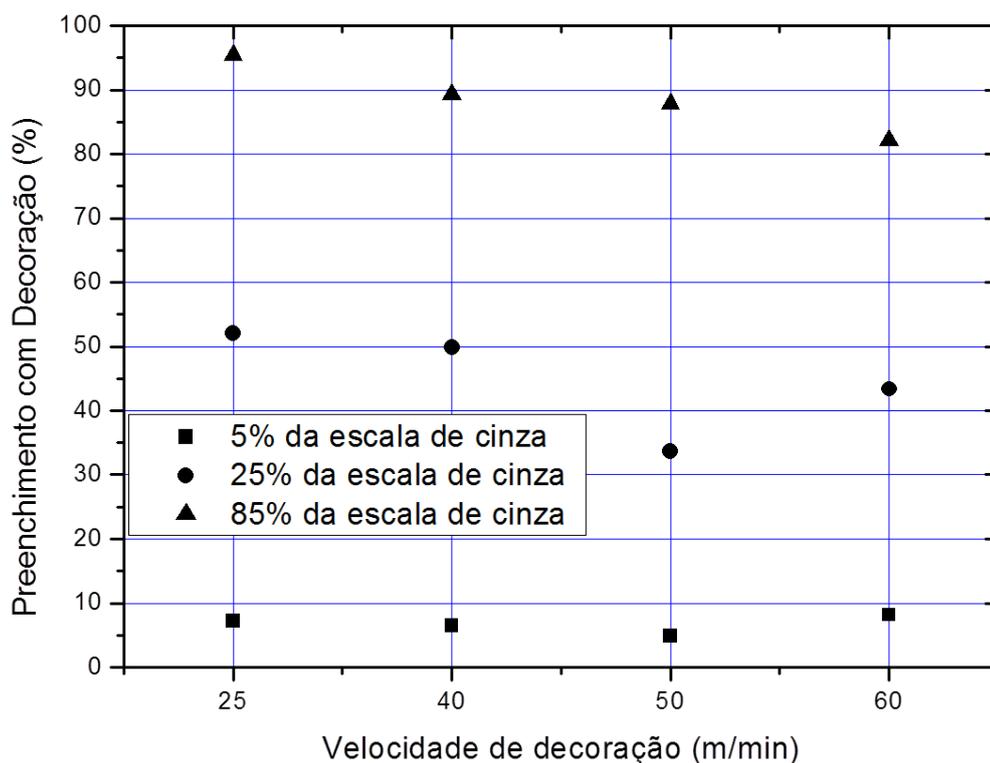


Figura 4.3.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min

Tabela 4.3.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão 0,4/45°

Velocidade (m/min)	Área recoberta pela tinta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
25	7,28	52,01	95,46
40	6,49	49,83	89,27
50	4,93	33,65	87,89
60	8,18	43,38	82,22

Após o tratamento computacional da Figura 4.3.8, Figura 4.3.9 e Figura 4.3.10 foram obtidos os valores de área coberta para cada combinação, apresentados na Tabela 4.3.1.

Observa-se o decaimento dos valores relativos ao preenchimento da área decorada pela tinta que deveria ser transferida do cilindro para a peça cerâmica nas regiões chamadas de tons baixos (5% da escala de cinza), uma variação um pouco menos acentuada na região de tons médios (25% da escala de cinza) assim como os valores de área recoberta apresentados na região de tons altos (85% da escala de cinza).

Para as decorações em 5% e 25% da escala de cinza, os aumentos na porcentagem de área preenchida devem-se à dificuldade da lâmina em aço promover a limpeza da tinta sobre o cilindro, formando assim uma película de tinta sobre toda a superfície do mesmo. A fim de superar este problema o indicado seria modificar a angulação e/ou a pressão da lâmina sobre o cilindro. Tal procedimento, porém estaria em desacordo com a proposta inicial de se manter algumas das variáveis constantes invalidando assim qualquer comparação.

Como pode ser visto na Figura 4.3.1, a forma dos pontos decorados é irregular, longe da forma circular ideal e da forma oblonga real, o que significa que nem todo o volume de tinta contido nos alvéolos foi descarregado.

A área teórica coberta por um ponto para a decoração de 5% da escala de cinza supondo uma forma circular perfeita deveria ser de $4,52 \times 10^{-8} \text{m}^2$ (para um diâmetro mínimo de 0,12mm – 1% da escala de cinza)[16].

O aumento no valor de porcentagem de área preenchida nas imagens decoradas com 5% da escala de cinza, entre as velocidades de 50m/min e 60m/min na Tabela 4.3.1 é explicado pela falha na limpeza completa do cilindro realizado pela espátula causada pela própria velocidade, formando um filme de tinta sobre toda a superfície do cilindro; a qual causa a divergência dos valores e uma refletância menos intensa na Figura 4.3.2.

Para que uma limpeza completa fosse realizada, a pressão da lamina sobre o cilindro ou o ângulo de ataque da lâmina deveria ser modificado, o que significa que os parâmetros iniciais deveriam ser modificados, levando assim a uma análise sem padrões de comparação.

Na Figura 4.3.2 a porcentagem de luz refletida pela peça diminui quando a velocidade aumenta de 50 para 60m/min. Este fato está em direta

concordância com a explicação anterior da formação de uma película de tinta sobre o cilindro com o aumento da velocidade de decoração, a qual é transferida para a superfície do esmalte cerâmico, deixando-a mais escura devido à presença do corante negro e impossibilitando a maior reflexão esperada.

O mesmo efeito pode ser visto na decoração de 25% da escala de cinza; à medida que a velocidade aumenta a porcentagem de área recoberta também diminui. Pode ser visto na Figura 4.3.3 que a forma dos pontos é elíptica (incompletos) e não circular.

Na Figura 4.3.4, assim como ocorreu na análise da área de 5% da escala de cinza, o problema de falha na limpeza do cilindro pela lâmina aparece para a velocidade de 50m/min; o aumento do valor de porcentagem de área preenchida para a velocidade de 60m/min também pode ser explicado pelo mesmo fator já discutido acima.

Na Figura 4.3.4, observa-se que a diminuição da porcentagem de luz refletida passando-se dos 40 para os 50m/min na velocidade de decoração, efeito este explicado de forma análoga ao que ocorreu para as amostras decoradas com 5% da escala de cinza.

Com relação o efeito de aumento da porcentagem de luz refletida quando se aumentou a velocidade de decoração dos 50 para os 60m/min, apesar da formação da película de tinta sobre o cilindro de decoração, é que o incremento na velocidade chegou a um valor crítico que impossibilitou que o volume total de tinta contido nos alvéolos seja transferido para a peça; como mostrado na Tabela 4.3.1 e no gráfico da Figura 4.3.7, mesmo havendo um incremento em área preenchida visto pela análise computacional, o que o ensaio de espectrofotometria indica é que nem toda quantidade de corante negro foi transferido para a peça.

Na Tabela 4.3.1 para a decoração dos 5% e 25% da escala de cinza, a área dos pontos reduz constantemente com o aumento da velocidade na decoração, aumentando na maior velocidade devido à falha de limpeza da lâmina sobre o cilindro.

Por fim, para os 85% da escala de cinza na Figura 4.3.5 a maioria dos pontos decorados coalesceram, mas mesmo assim pode-se ver que os valores de área recoberta diminuem gradativamente com o aumento da velocidade de decoração.

O efeito na tonalidade pode também ser visto na Figura 4.3.6 com as curvas de refletância, onde à medida que a velocidade aumenta, sua intensidade diminui. A explicação para o comportamento das curvas de porcentagem de luz refletida pode ser entendida analogamente ao comentado para a Figura 4.3.4.

As imagens de microscopia ótica para a incisão MTD 45/11° após a decoração podem ser vistas na Figura 4.3.8 para 5%, Figura 4.3.9 para 25% e Figura 4.3.10 para 85% da escala de cinza. Todas as figuras mostram a imagem original e a imagem tratada para determinação da porcentagem de área recoberta pela tinta.

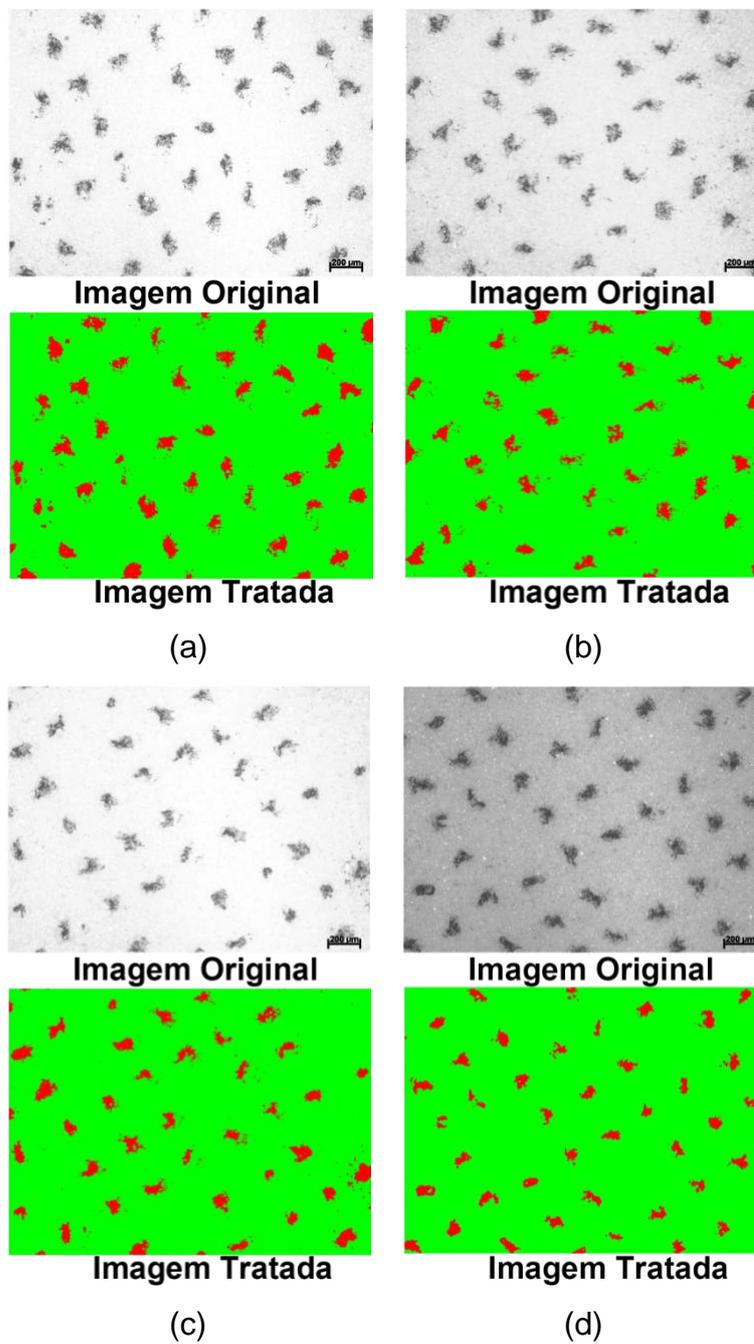


Figura 4.3.8: Decoração da área de 5% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°.

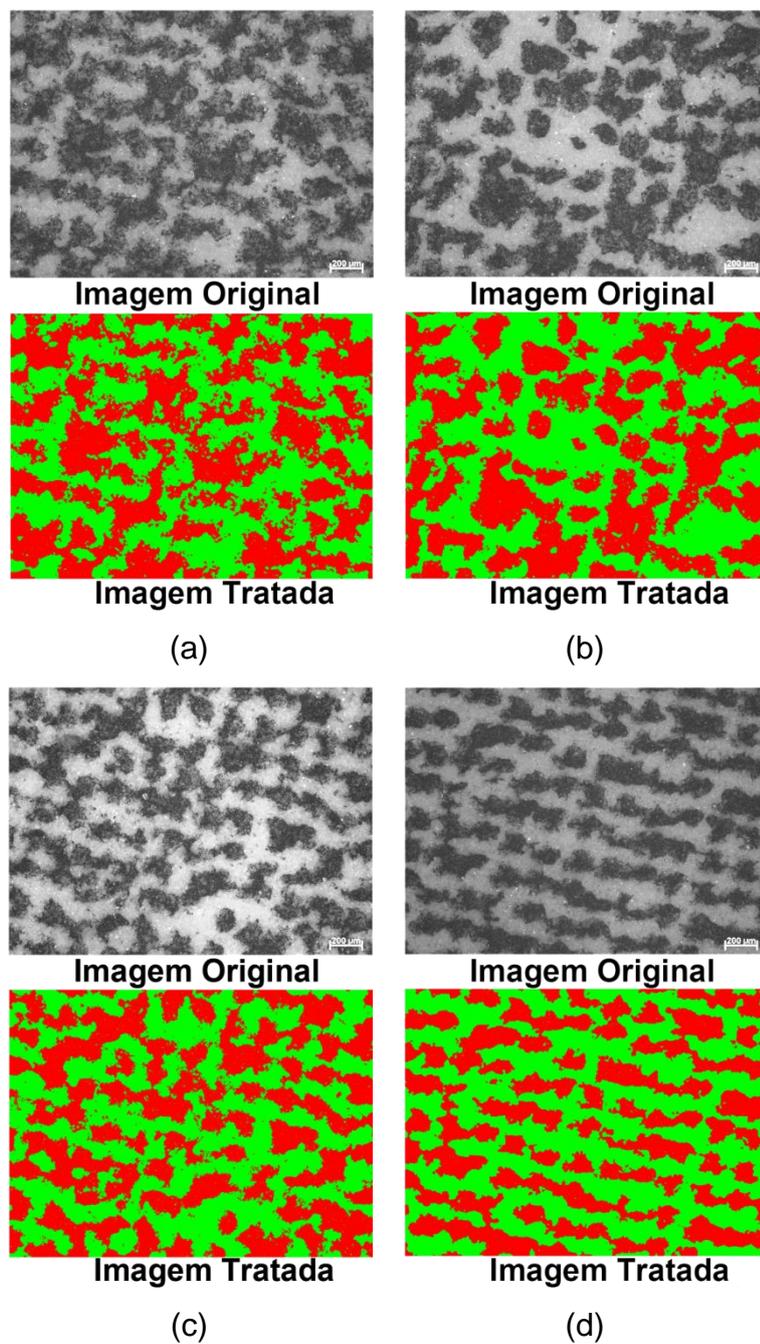


Figura 4.3.9: Decoração da área de 25% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°.

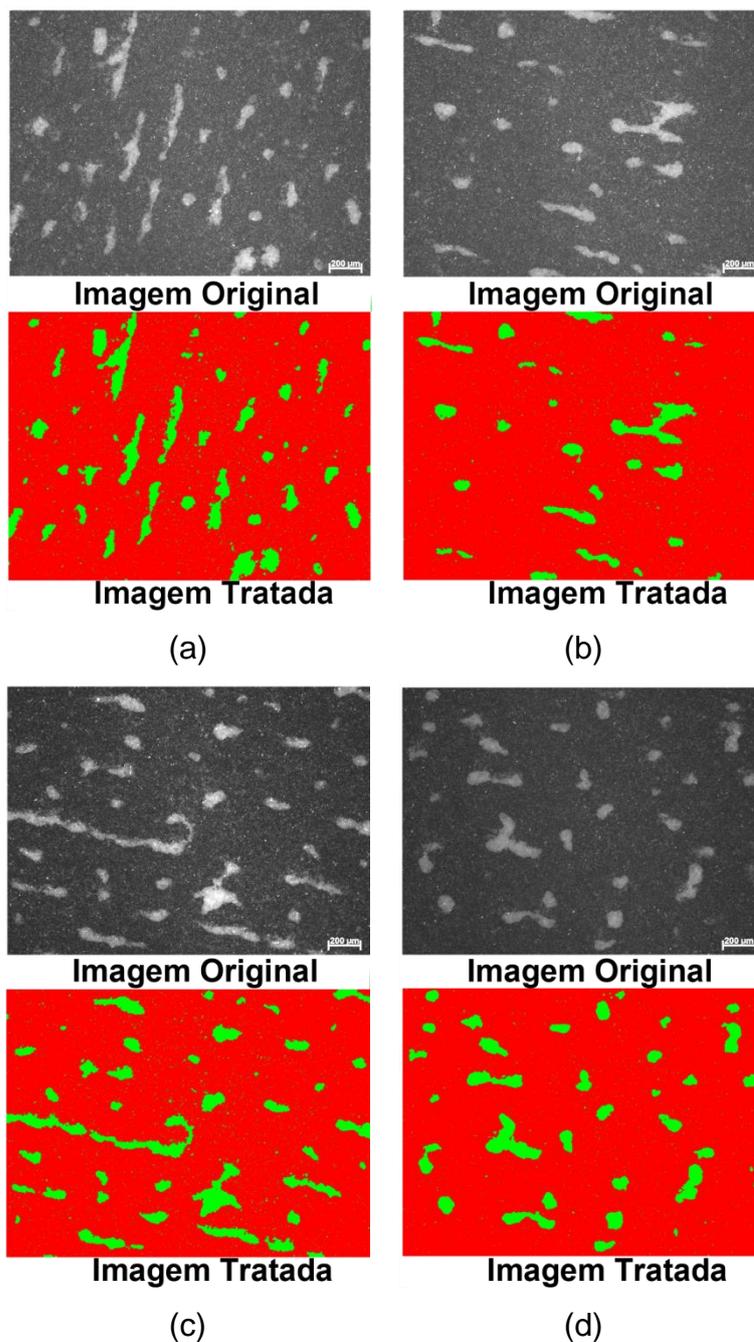


Figura 4.3.10: Decoração da área de 85% da escala de cinza para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação MTD 45/11°.

Através das micrografias apresentadas na Figura 4.3.8 pode-se verificar que os pontos decorados são falhos (não totalmente preenchidos por tinta) e com formato irregular, afastando-se da geometria esperada (pontos elípticos). Pelas imagens tratadas da Figura 4.3.8, observa-se que na medida em que a

velocidade aumenta, os pontos tendem a ser ainda mais irregulares. Na Figura 4.3.9 também pode ser observada a irregularidade dos pontos, bem como alguma coalescência entre os mesmos. Na Figura 4.3.10 pode-se ver que todos os pontos decorados coalesceram.

Na Figura 4.3.11 são mostradas as curvas de porcentagem de luz refletida com o aumento da velocidade de produção para as amostras decoradas com gravação MTD 45/11° para as amostras de 5% da escala de cinza. A Figura 4.3.12 e Figura 4.3.13 mostram, respectivamente, os gráficos de refletância para as amostras decoradas com 25% e 85% da escala de cinza.

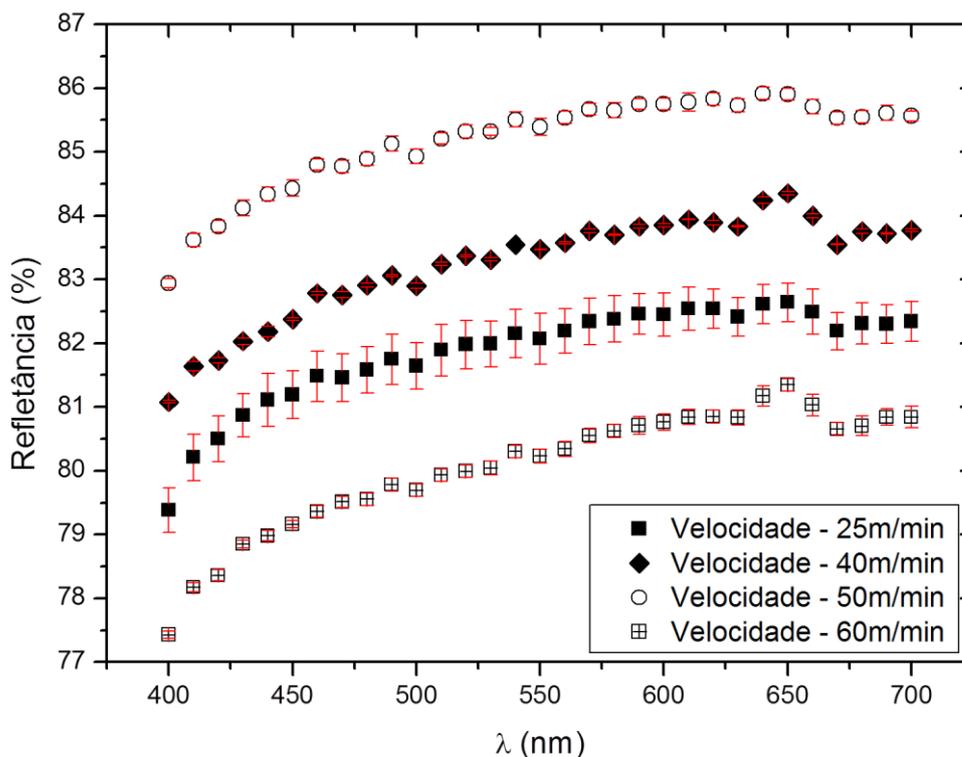


Figura 4.3.11: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.

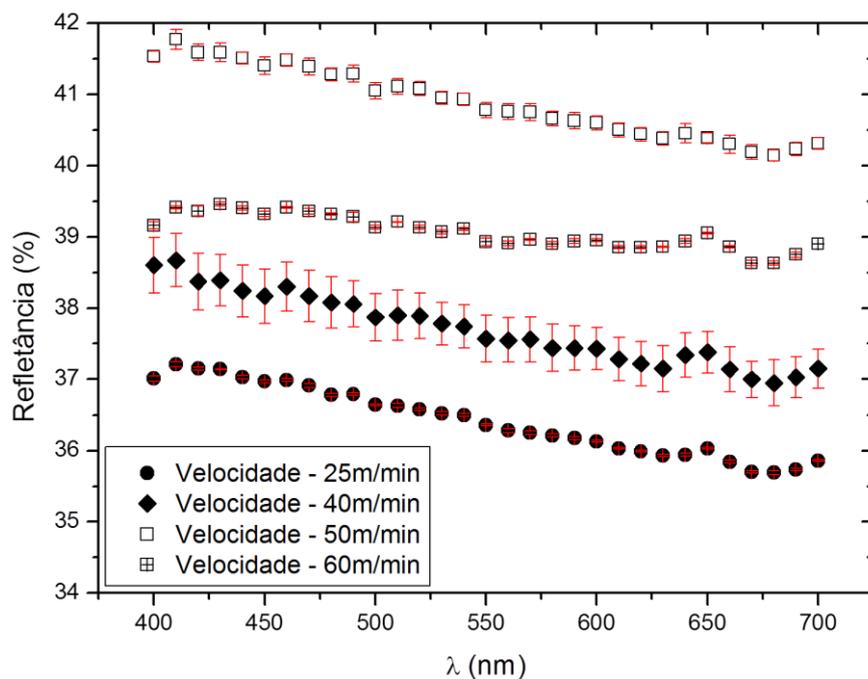


Figura 4.3.12: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.

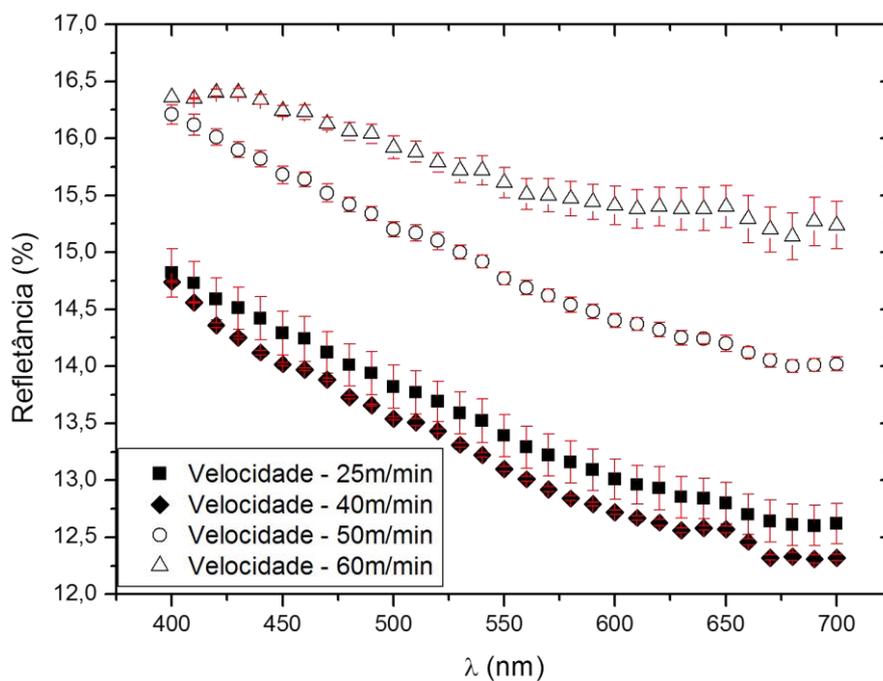


Figura 4.3.13: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.

As porcentagens de área coberta por tinta após a decoração (medidas através da análise de imagens com o microscópio) nessa incisão são mostradas na Tabela 4.3.2 para as áreas plenas de 5, 25 e 85% da escala de cinza com a variação da velocidade de decoração. Na Tabela 4.3.2 encontram-se os valores teóricos da área média dos pontos e as porcentagens de área coberta pelas áreas plenas.

Na Figura 4.3.11 o comportamento da variação da porcentagem de luz refletida segue uma tendência de aumento de valores, correspondendo à uma diminuição na porcentagem de área preenchida, o que pode ser comprovado através da Figura 4.3.14 e os valores apresentados na Tabela 4.3.2 na coluna de 5% da escala de cinza.

A diminuição do valor de porcentagem de luz refletida pela superfície da peça passando-se de 50 para 60m/min pode ser explicada pela deposição geral sobre a peça da película de tinta formada na superfície do cilindro, decorrente da alta velocidade de rotação do cilindro apesar da diminuição da porcentagem de área apresentados na Figura 4.3.14 e na Tabela 4.3.2, por possuir uma porcentagem em área de esmalte não preenchida com decoração, a influência da camada de tinta devido à falha de limpeza do cilindro é muito mais marcante nos casos de decorações com imagens de baixos valores da escala de cinza.

Para as amostras com decoração de 25% da escala de cinza, os dados de porcentagem de luz refletida com relação ao aumento de velocidade são apresentados na Figura 4.3.12.

Do mesmo modo, observa-se um aumento crescente na porcentagem de luz refletida pela superfície da peça na medida em que a velocidade de decoração aumenta. O efeito da falta de limpeza da superfície do cilindro pode ser constatado quando se observam os dados do aumento de velocidade de 50 para 60m/min, onde há uma queda na porcentagem de luz refletida.

No gráfico da Figura 4.3.13 são apresentados os dados de variação de luz refletida pela peça em função do comprimento de onda, variando a

velocidade de decoração. Neste caso o que se observa é a diminuição gradativa da refletância com o aumento da velocidade.

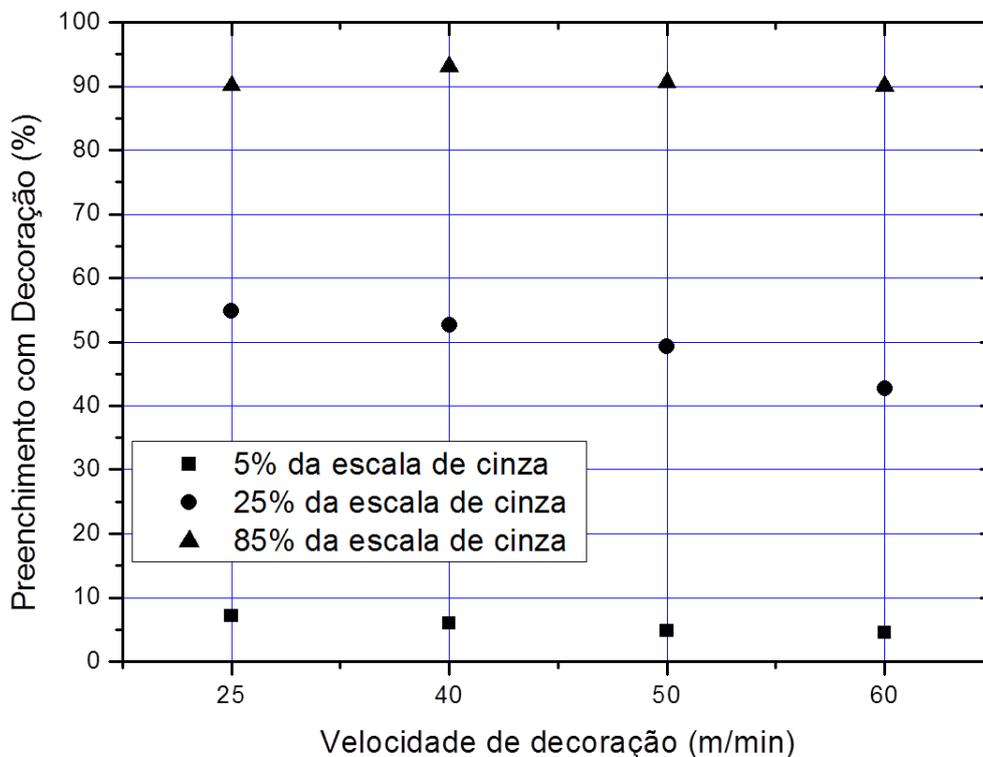


Figura 4.3.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min

Tabela 4.3.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão MTD 45/11°

Velocidade (m/min)	Área coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
25	7,12	54,81	90,10
40	6,00	52,63	93,14
50	4,82	49,33	90,64
60	4,54	42,75	90,06

Ensaio análogos de microscopia ótica e refletância foram realizados para a incisão MTD 40/22° após a decoração para 5%, 25% e 85% da escala de cinza.

Assim como no teste anterior, pelas imagens pode-se observar a coalescência dos pontos decorados em 25% da escala de cinza, e principalmente em 85%, quase preenchendo totalmente a área decorada. Mesmo nestes casos onde a área recoberta é maior que a teórica calculada, através da análise dos resultados das curvas de refletância pode-se observar que os valores aumentam, indicando também a ausência de parte do corante negro necessário para proporcionar um tom mais escuro na decoração, mostrando que apesar da grande área recoberta, nem todo o volume de tinta dos alvéolos foi descarregado.

As porcentagens de área coberta por tinta após a decoração para a incisão MTD 40/22° são mostradas na Tabela 4.3.3.

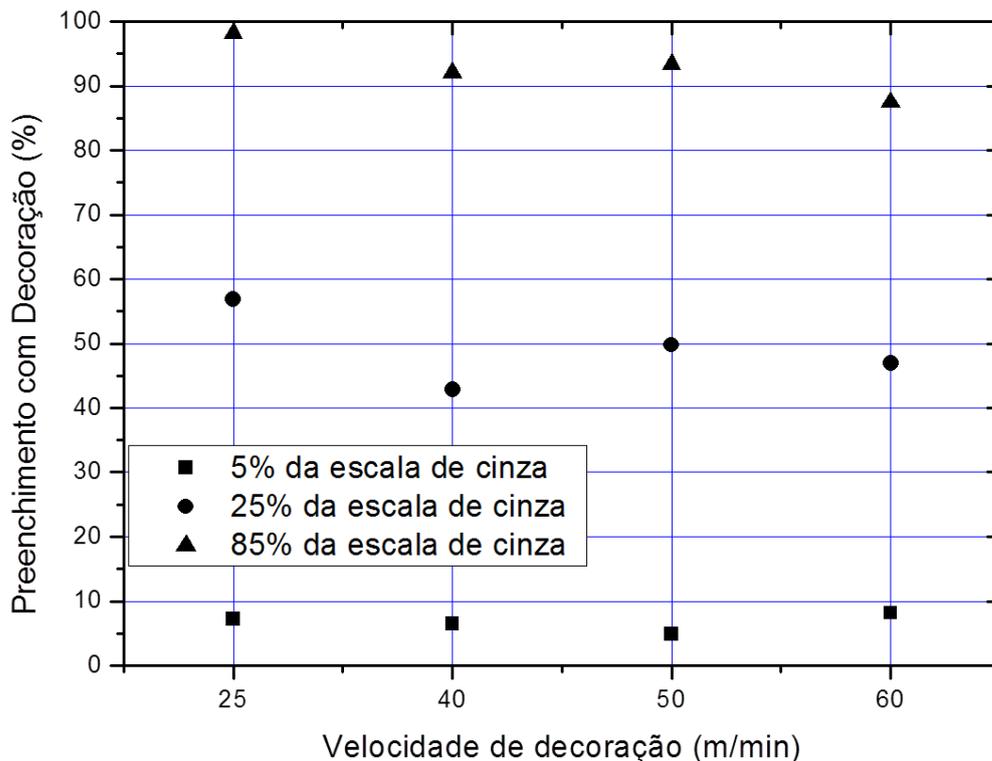


Figura 4.3.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as velocidades de 25, 40, 50 e 60m/min

Tabela 4.3.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da velocidade da linha de produção. Incisão MTD 40/22°

Velocidade (m/min)	Área coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
25	5,87	56,95	96,28
40	7,17	49,82	92,04
50	8,79	49,28	93,42
60	5,81	48,78	87,47

Na Tabela 4.3.3 os valores de porcentagem de área coberta após a decoração para incisão MTD 40/22° mostram um crescimento para os 5% da escala de cinza, mostrando uma boa evolução de descarga de tinta, porém caindo drasticamente com valores extremos de velocidade. Nos tons médios há uma perda em torno 8,2% em área preenchida passando-se dos 25 para os 60m/min. Apesar do efeito coalescente entre os pontos decorados para os 85% da escala de cinza, a perda em área recoberta é de cerca 8,8%.

Os dados obtidos através da microscopia para a incisão MTD 40/22° nas áreas plenas, após a decoração com velocidades de 25, 40, 50 e 60 m/min. podem ser vistos na Figura 4.3.16 para 5%, Figura 4.3.17 para 25% e Figura 4.3.18 para 85% da escala de cinza.

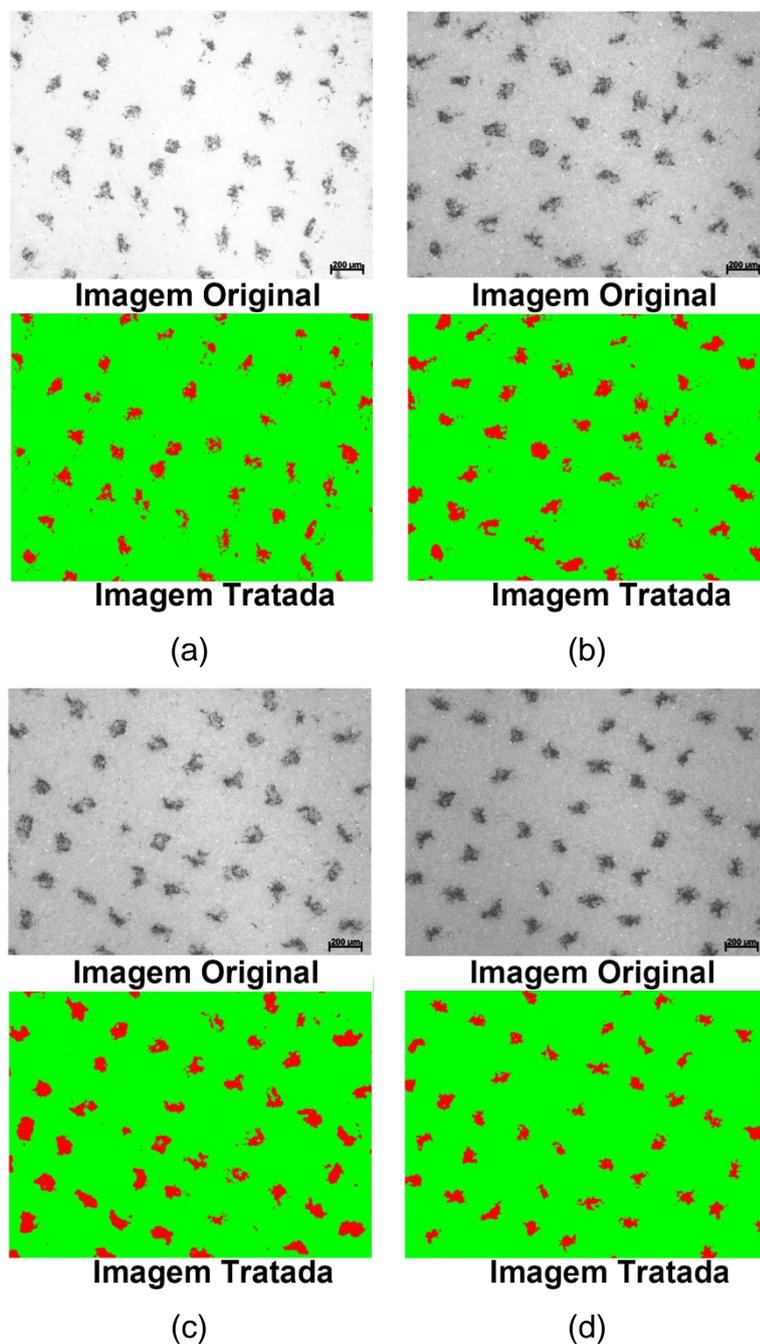


Figura 4.3.16: Decoração da área de 5% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.

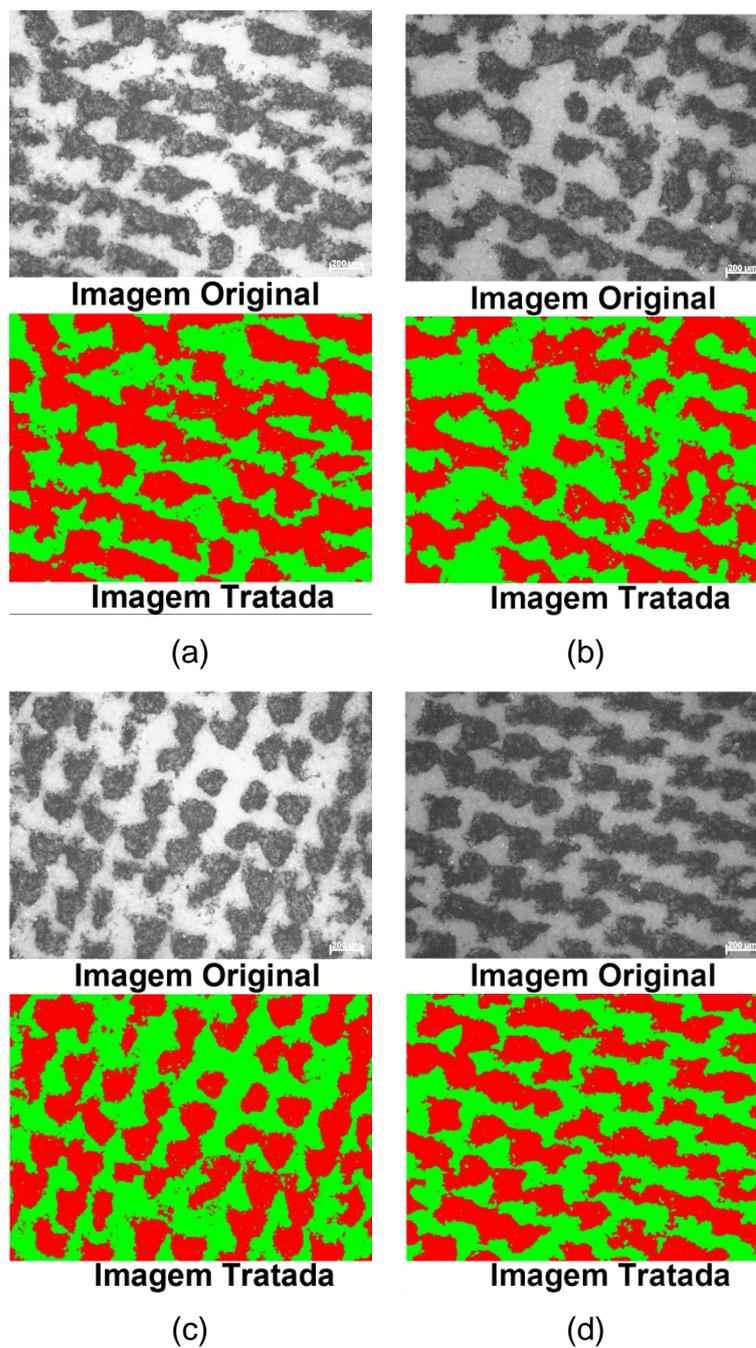


Figura 4.3.17: Decoração da área de 25% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.

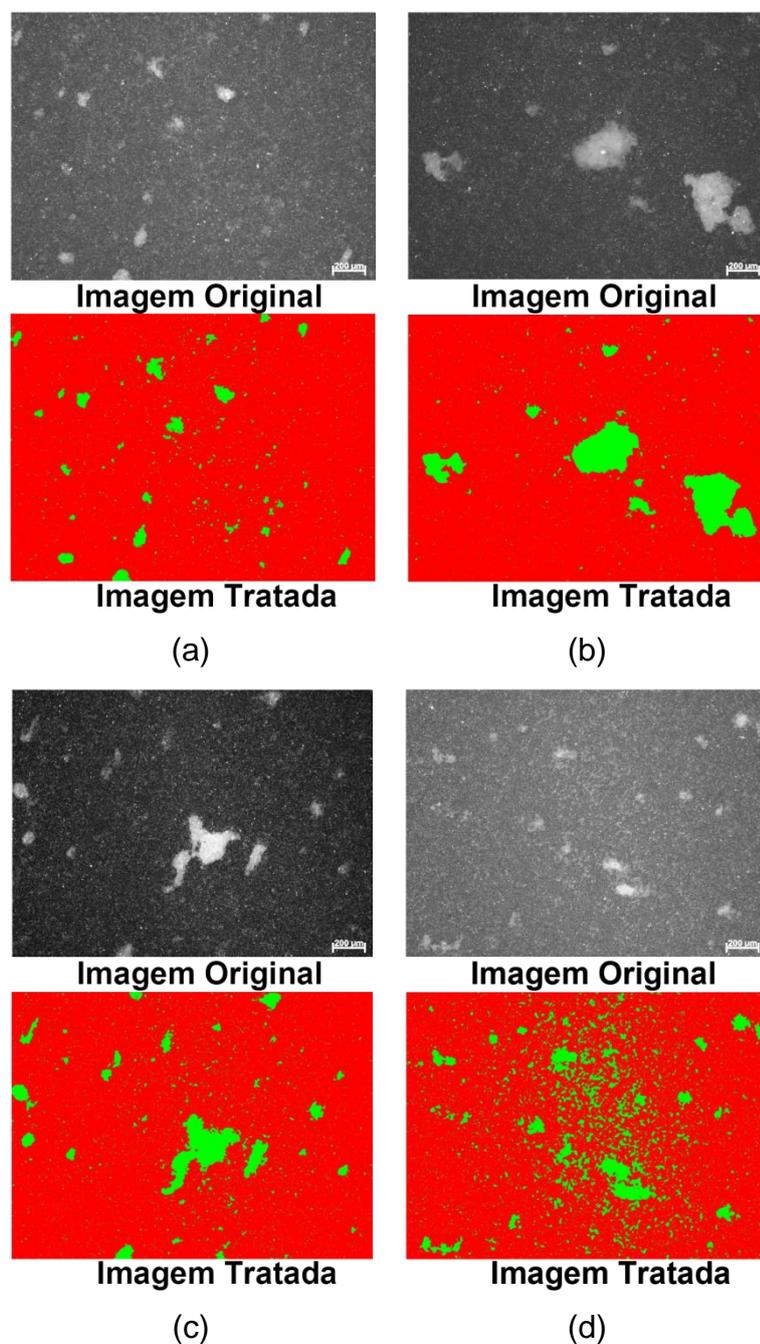


Figura 4.3.18: Decoração da área de 85% da escala de cinza com análise de imagem e porcentagem de área coberta para as velocidades de (a) 25m/min; (b) 40m/min; (c) 50m/min e (d) 60m/min. Gravação em MTD 40/22°.

Na Figura 4.3.19, Figura 4.3.20 e Figura 4.3.21 são mostradas, respectivamente; as curvas de refletância com o aumento da velocidade de

produção para as amostras decoradas com 5%, 25% e 85% da escala de cinza com gravação MTD 40/22°.

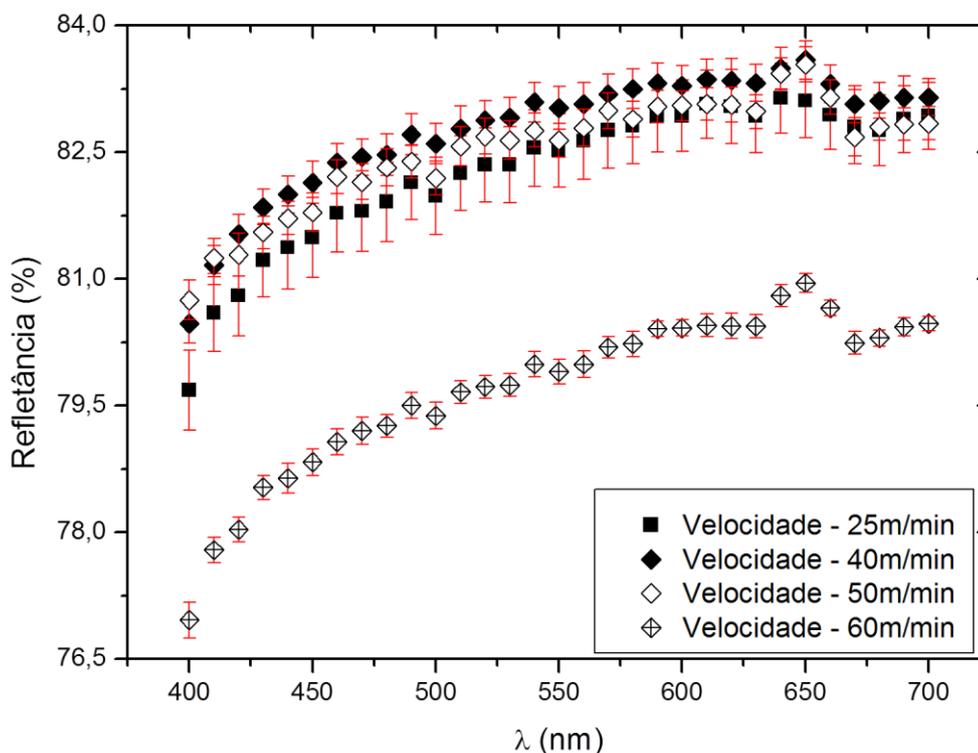


Figura 4.3.19: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 5% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.

Correlacionando o gráfico da Figura 4.3.19 com os dados da Tabela 4.3.3 e a Figura 4.3.15, pode-se verificar que à medida que a porcentagem de preenchimento da peça aumenta, a porcentagem de luz refletida diminui. A variação dos valores de porcentagem de área preenchida para a transição dos 50m/min para os 60m/min de velocidade de decoração segue o mesmo padrão das anteriores, ou seja, a porcentagem de luz refletida tende a diminuir devido ao acúmulo de tinta sobre o cilindro, o qual foi transferido para a peça. Caso tal efeito não estivesse presente, a porcentagem em área continuaria a cair e a porcentagem de luz refletida continuaria aumentando nesta faixa de transição de velocidades.

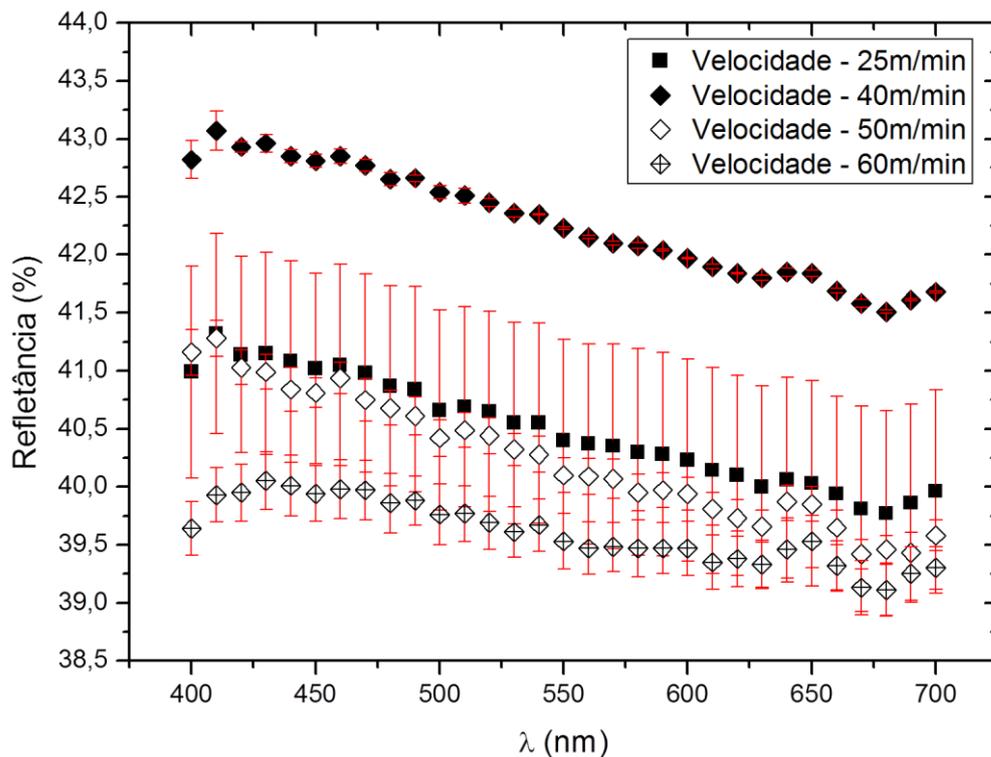


Figura 4.3.20: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 25% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.

Confrontando os dados apresentados no gráfico da Figura 4.3.15 com os da Figura 4.3.20 pode-se observar, dentro de uma faixa de velocidades, uma concordância entre o esperado para a relação entre porcentagem em área preenchida por decoração e a porcentagem de luz refletida pela superfície da peça decorada.

Entre os 25 e os 40m/min houve um aumento da porcentagem de área recoberta, indicando uma diminuição na porcentagem de luz refletida pela amostra. Dos 40 para os 50m/min os dados mostram um leve aumento no preenchimento da peça pela decoração, o que acarreta a queda na porcentagem de reflexão na Figura 4.3.20. Por fim, a queda na refletância quando a velocidade de decoração aumentou de 50 para 60m/min não segue o esperado que seria um aumento nos valores, já que a porcentagem de recobrimento mostrou uma queda como mostrado na Figura 4.3.15. Tal fato pode ter sido causado também pelo recobrimento não intencional das áreas

sem decoração pela tinta extra resultante da falha na limpeza geral da superfície do cilindro.

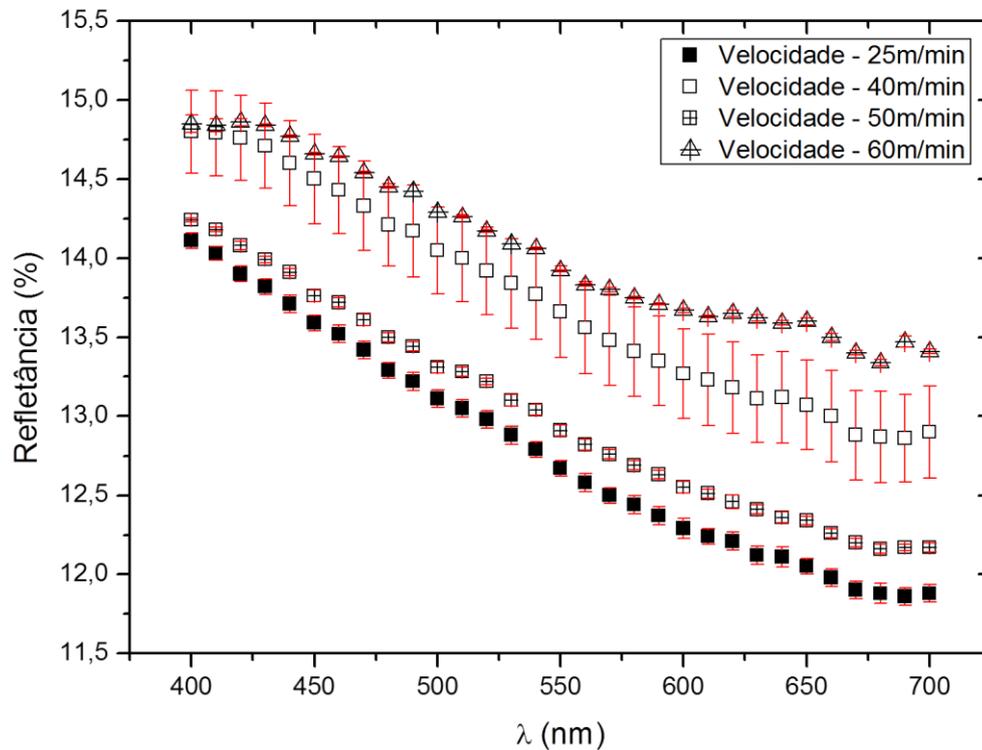


Figura 4.3.21: Gráfico da variação da refletância com a velocidade para as áreas cobertas com 85% da escala de cinza para a incisão MTD 40/22°.

Para as amostras decoradas com 85% da escala de cinza, os resultados do ensaio de espectrofotometria corroboram as análises de tratamento das imagens de micrografias para a obtenção da porcentagem de área recoberta pela tinta serigráfica.

Com a diminuição inicial da área recoberta no aumento de velocidade de 25 para 40m/min, observa-se um aumento na porcentagem de luz refletida pela amostra; o leve incremento em área observado na Figura 4.3.15 entre 40 e 50m/min é mostrado como uma diminuição na porcentagem de reflexão da curva mostrada no gráfico da Figura 4.3.20. Por fim, no incremento em velocidade de 50 para 60m/min, o que se observa na Figura 4.3.15 é uma diminuição em porcentagem de área preenchida com decoração e um aumento na porcentagem de luz refletida, mostrado no gráfico da Figura 4.3.20. Para áreas com decoração em altas porcentagens da escala de cinza, dependendo

da incisão; o efeito causado pela película extra de tinta sobre a peça não é muito influente devido à alta porcentagem de recobrimento com decoração que podem proporcionar.

Abaixo, a Tabela 4.3.4 resume os resultados gerais obtidos neste ensaio.

Tabela 4.3.4: Resumo dos resultados obtidos com o aumento da velocidade da linha de produção em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida
25%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida
85%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta % de luz refletida~cte

4.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica

Os valores das legendas dos gráficos das Figuras 4.4.1; 4.4.2 e 4.4.3 mostram a altura do cilindro em relação à esteira de transporte (H) e os valores entre parênteses referem-se à altura que o cilindro foi posicionado em relação à superfície da peça ($h = H - \text{espessura da peça}$) como mostrado na Figura 4.4.

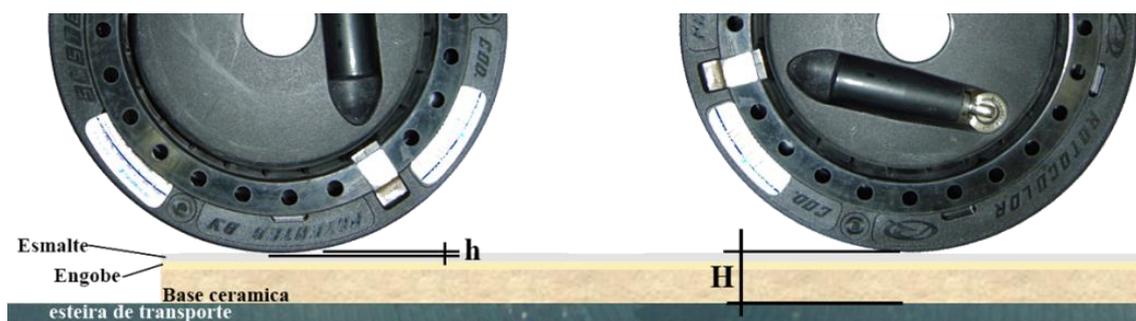


Figura 4.4 – Marcações de altura do cilindro: H e h

Os ensaios de variação da altura do cilindro forneceram amostras decoradas, que após analisadas proporcionaram os gráficos da Figura 4.4.1, Figura 4.4.2 e Figura 4.4.3 para a incidência $0,4/45^\circ$, das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

A Figura 4.4.4, Figura 4.6.5 e Figura 4.4.6 são relativas às micrografias das peças decoradas em $0,4/45^\circ$ para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente. São apresentadas as micrografias e as imagens tratadas para análise de porcentagem de recobrimento.

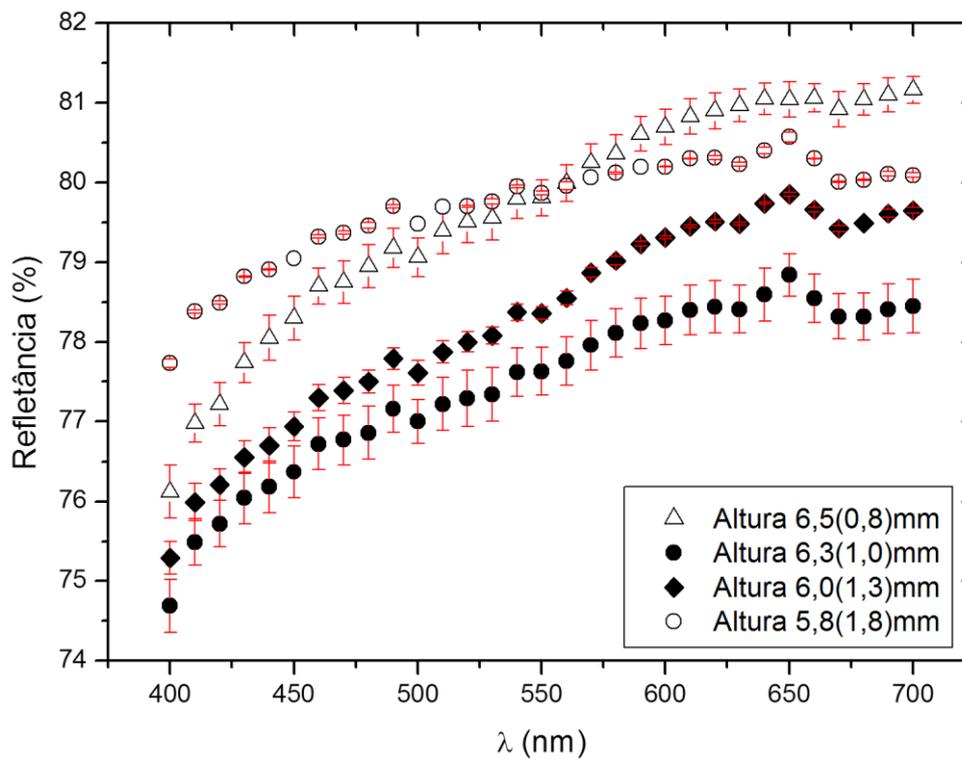


Figura 4.4.1: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

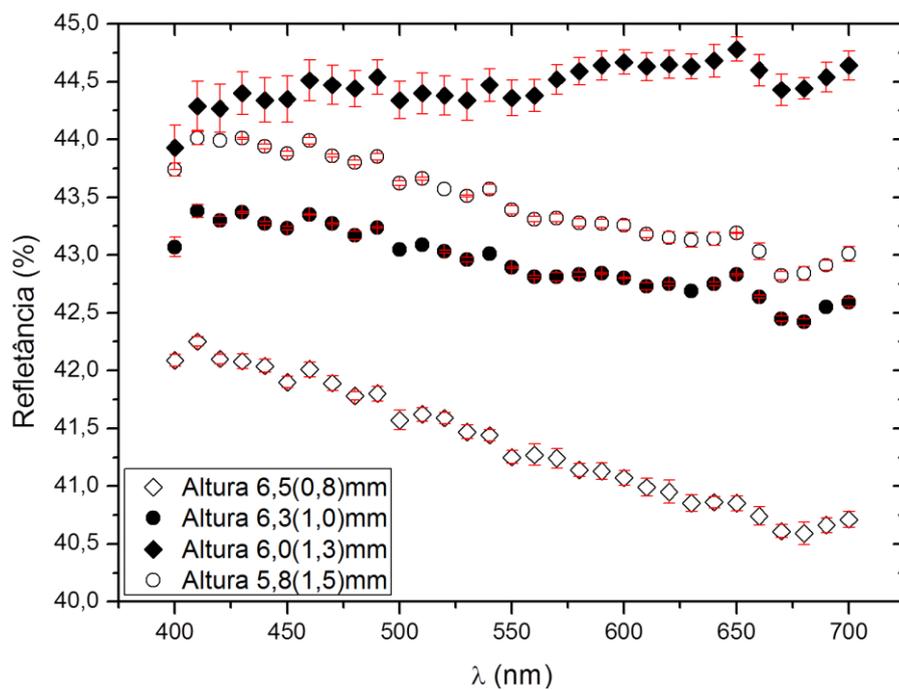


Figura 4.4.2: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

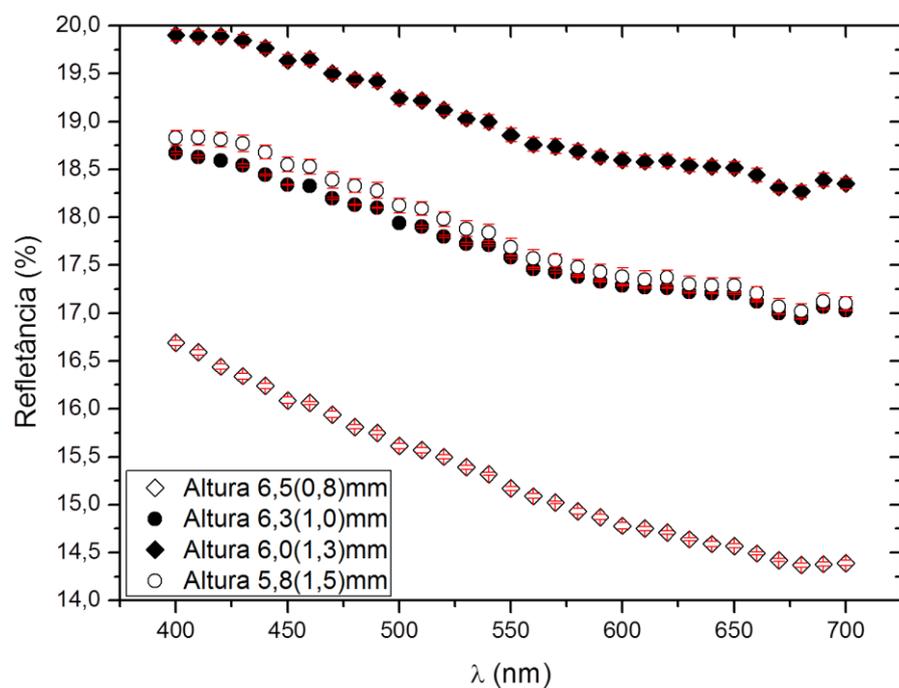


Figura 4.4.3: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

Neste ensaio, observando os resultados apresentados acima, na Figura 4.4.1 nota-se que o valor de refletância inicialmente diminui com a diminuição da altura (de 6,5 para 6,3mm), indicando que ocorre uma maior descarga de tinta sobre a peça cerâmica. Este fato pode ser explicado através da deformação da abertura do alvéolo, permitindo que o volume de tinta interno seja descarregado com maior facilidade. Para as duas variações de altura seguintes observa-se que a refletância aumenta com a diminuição da altura, indicando uma menor deposição de tinta sobre a peça. Neste caso, a partir da altura de 6,3mm começa ser observada uma obstrução na saída da tinta de dentro dos alvéolos, pois a deformação da abertura dos orifícios é no sentido de fechá-la, devido ao aumento da pressão exercida do cilindro sobre a peça cerâmica.

Já nas Figuras 4.4.2 e 4.4.3, o fato explicado anteriormente ocorreu a partir da altura de 6,0mm, indicando que a pressão necessária para iniciar o fechamento da abertura dos orifícios (maiores) foi atingida com valores maiores de pressão devido aos maiores diâmetros de abertura nestas faixas de tons de cinza.

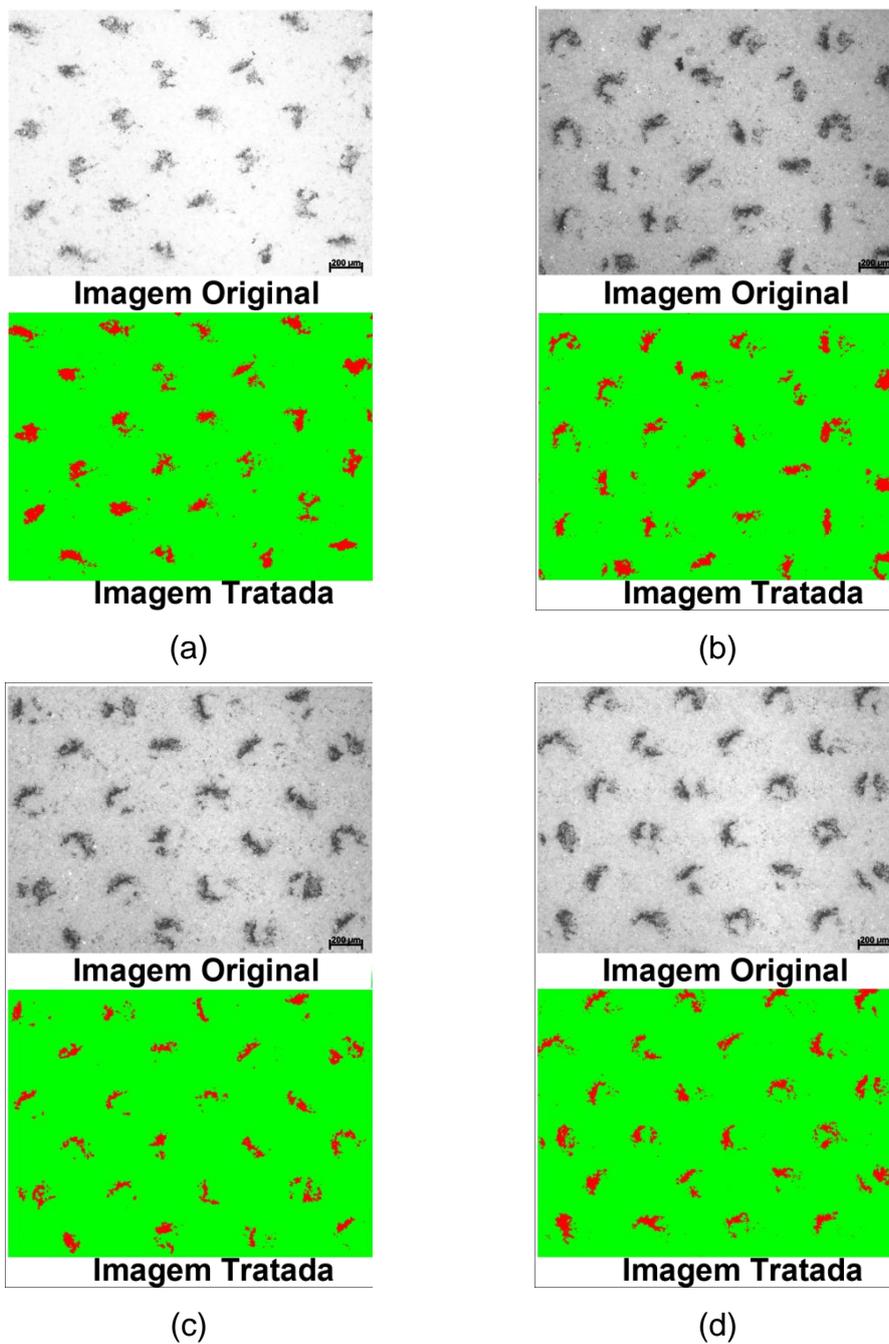


Figura 4.4.4: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°

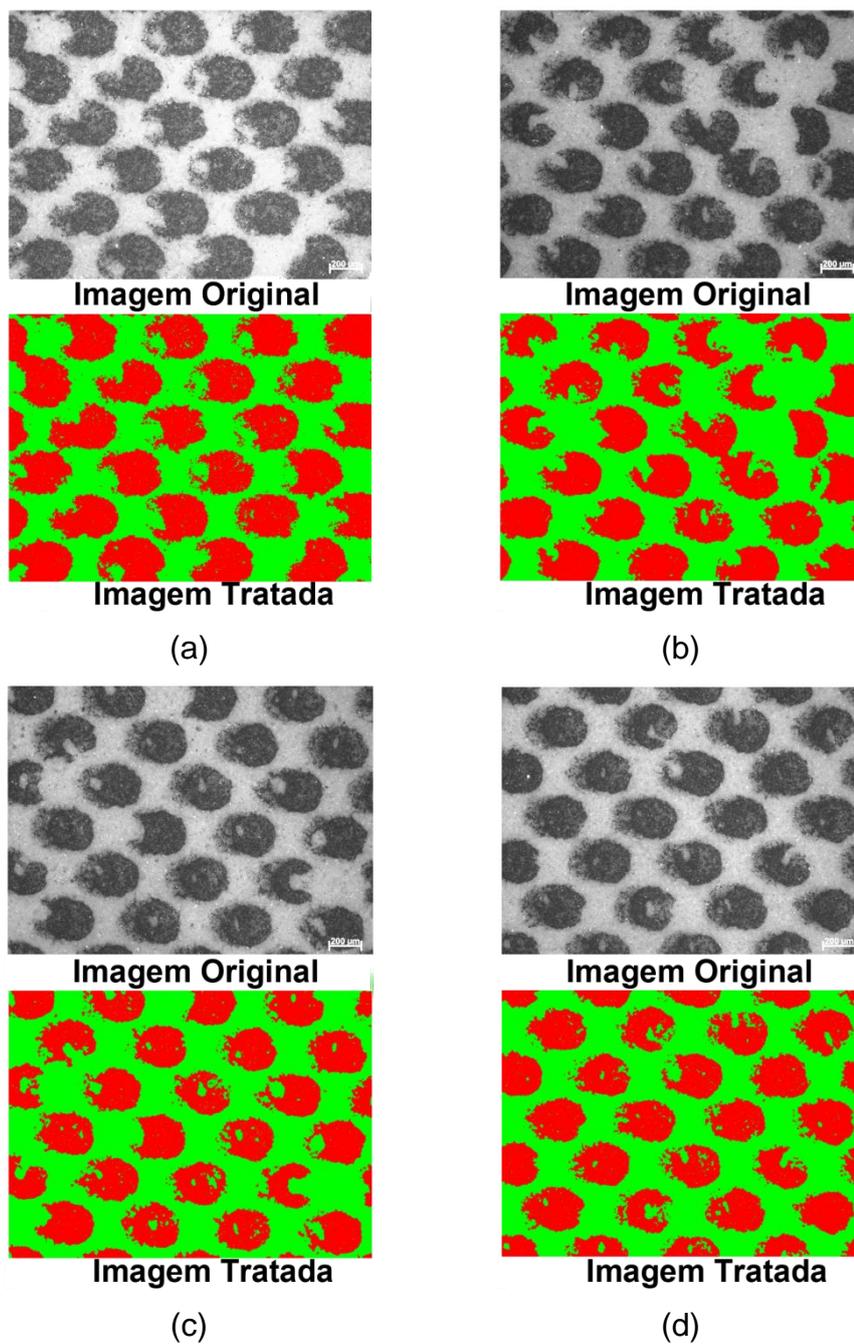


Figura 4.4.5: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°

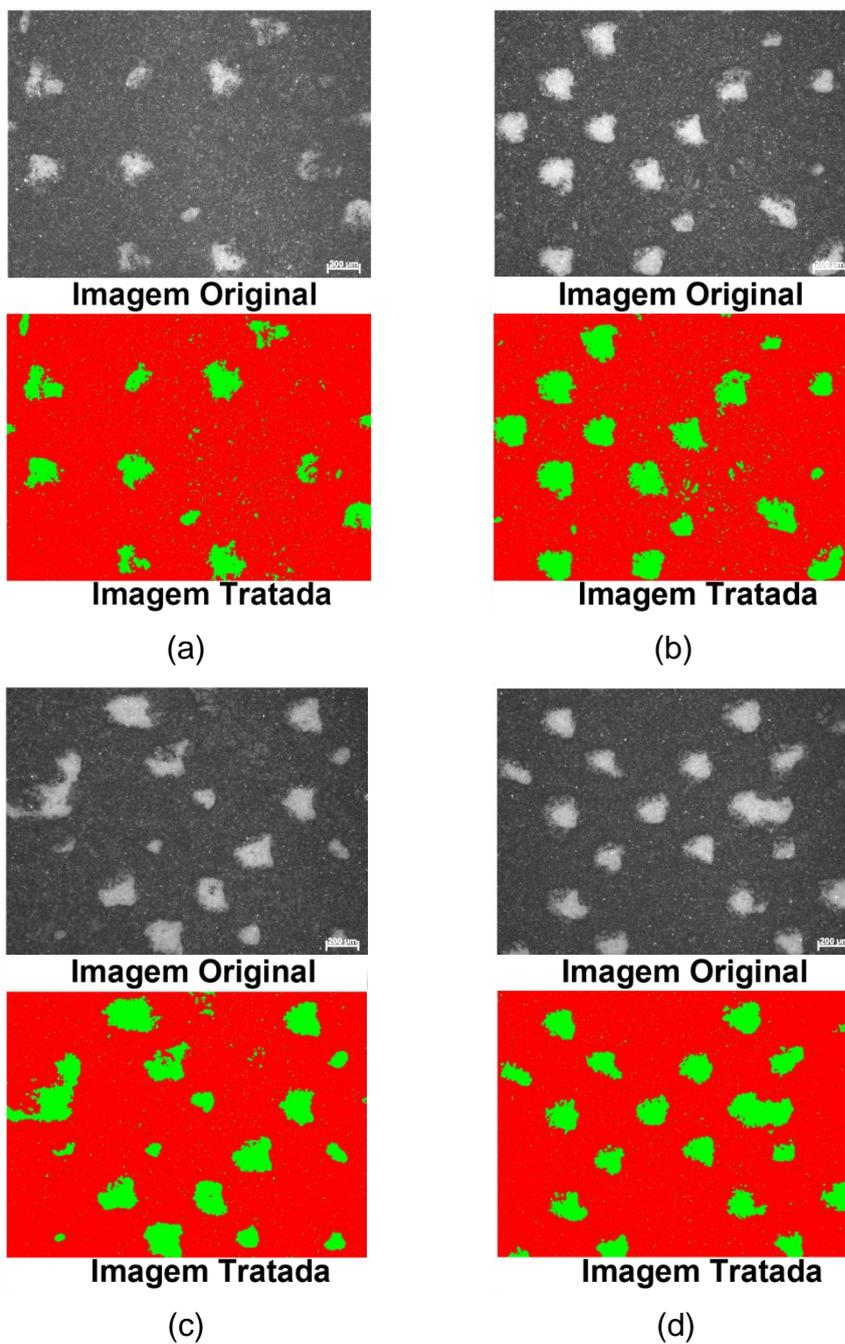


Figura 4.4.6: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação 0,4/45°

A Tabela 4.4.1 mostra os resultados da porcentagem em área recoberta obtidos através da análise de imagens das micrografias.

Tabela 4.4.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão 0,4/45°

Altura do cilindro (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
6,5	4,74	50,10	87,89
6,3	6,27	42,51	86,41
6,0	5,78	41,54	85,87
5,8	5,44	42,53	87,06

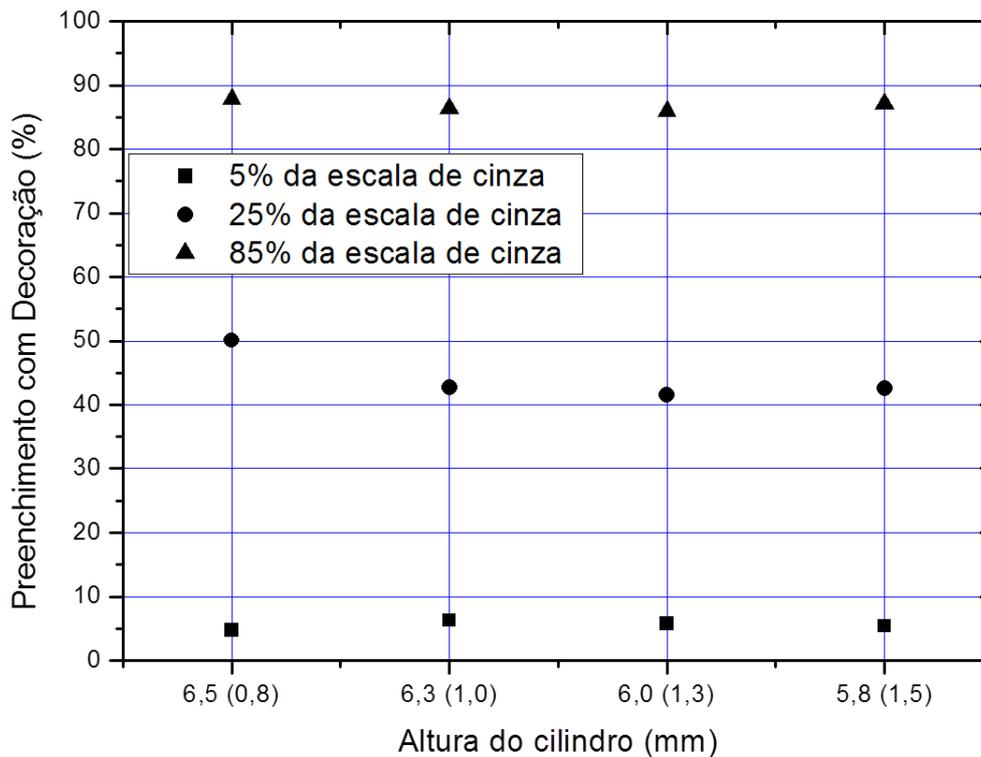


Figura 4.4.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm

A análise das micrografias para o ensaio de variação da altura do cilindro mostra para a área de 5% de preenchimento da escala de cinza (Figura 4.4.4) e com os dados da Tabela 4.4.1 que ao incrementar a pressão que o cilindro exerce sobre a peça, inicialmente ocorreu a abertura dos alvéolos

auxiliando a transferência de tinta sobre a peça (de 6,5 para 6,3mm), logo em seguida observou-se uma diminuição da porcentagem de área recoberta, pois neste caso a pressão limite foi ultrapassada e o volume de tinta depositado diminuiu (de 6,3 para 6,0mm). O comportamento seguinte; ou seja, um novo aumento em área recoberta deve-se ao achatamento dos pontos depositados pela maior pressão exercida sobre o cilindro.

Os resultados discutidos acima são condizentes com os resultados mostrados no gráfico da Figura 4.4.1 das porcentagens de luz refletida pela superfície da peça com a variação da altura do cilindro para os diversos comprimentos de onda. Inicialmente há uma diminuição nos valores de refletância (de 6,5 para 6,3mm), seguido de um leve incremento (de 6,3 para 6,0mm) e por fim, um aumento na porcentagem de luz refletida.

Foi observado nas peças que a decoração mostrava-se “borrada”, o que na produção acarretaria uma falha de decoração e a possibilidade de descarte destas peças.

Para os 25% da escala de cinza o que se observa através da Tabela 4.4.1 e o gráfico da Figura 4.4.7, é que gradualmente os alvéolos vão se fechando, pois há uma diminuição da área recoberta por tinta (de 6,5 a 6,0mm). Ao se diminuir a altura para 5,8mm observa-se que há um leve aumento na área recoberta, indicando que os pontos depositados a partir desta medida começaram a se achatar, aumentando a área individual de cada ponto. Tal fato pode ser observado na Figura 4.4.5 (d) na Imagem Original; através da Imagem Tratada comparando-se entre as imagens (b) e (d) pode-se confirmar visualmente os valores próximos entre as porcentagens de recobrimento.

Novamente, utilizando como base os dados da Tabela 4.4.1 e o gráfico da Figura 4.4.7 comparados com os resultados do gráfico da Figura 4.4.2 pode-se observar que os resultados de área são corroborados pela análise espectrofotométrica: passando-se da altura de 6,5 para 6,3mm, a porcentagem em área diminui e a porcentagem de luz refletida aumenta; dos 6,3 para os 6,0mm, há uma pequena diminuição da área recoberta por tinta e um leve crescimento na quantidade de luz refletida pela superfície de esmalte. Por fim,

dos 6,0mm para os 5,8; observa-se um leve incremento em área decorada e uma queda na porcentagem de luz refletida.

Efeito similar ocorrido para os 25% da escala de cinza também pode ser observado na Figura 4.4.6 e nos dados da Tabela 4.4.1 para a área de 85% da escala de cinza.

Na Figura 4.4.3 há um aumento na porcentagem de luz refletida com a diminuição inicial da altura do cilindro e um aumento em área recoberta por tinta. Passando-se da altura de 6,3 para 6,0mm observa-se um aumento na porcentagem de luz refletida, embora a porcentagem em área recoberta permaneça quase inalterada, efeito este que pode ser explicado pelo início do achatamento dos pontos decorados. Com a próxima diminuição da altura do cilindro (de 6,0 para 5,8mm) observa-se um aumento na área recoberta e uma diminuição da porcentagem de luz refletida.

Os gráficos da Figura 4.4.8, Figura 4.4.9 e Figura 4.4.10 mostram os resultados para a refletância das amostras com incisão MTD40/22° referentes ao teste de altura do cilindro, para as decorações das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

As micrografias das peças decoradas na incisão MTD40/22° com 5%, 25% e 85% da escala de cinza, são mostradas na Figura 4.4.11, Figura 4.4.12 e Figura 4.4.13 respectivamente, para as variações de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm de altura do cilindro.

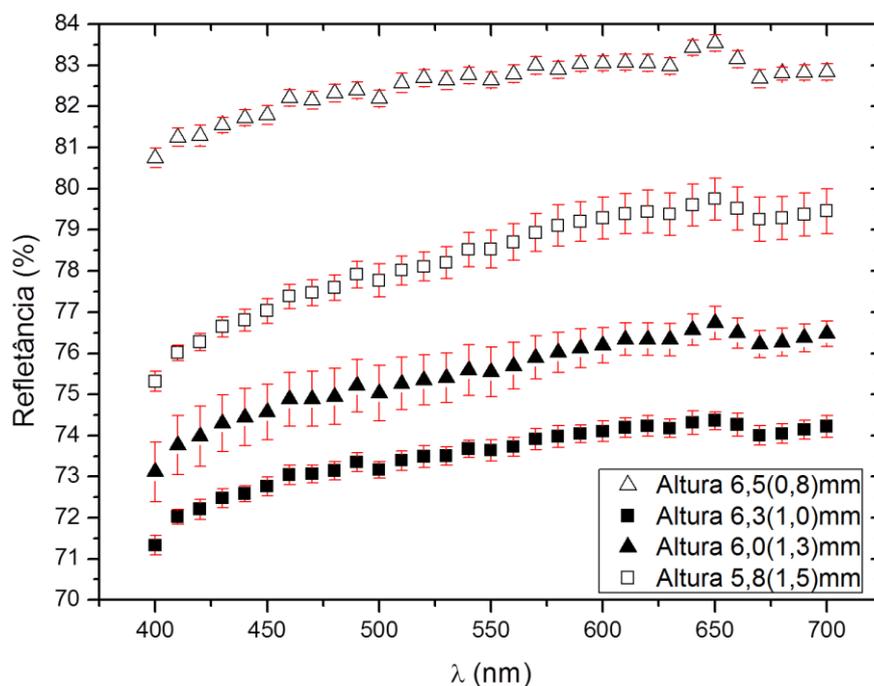


Figura 4.4.8: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

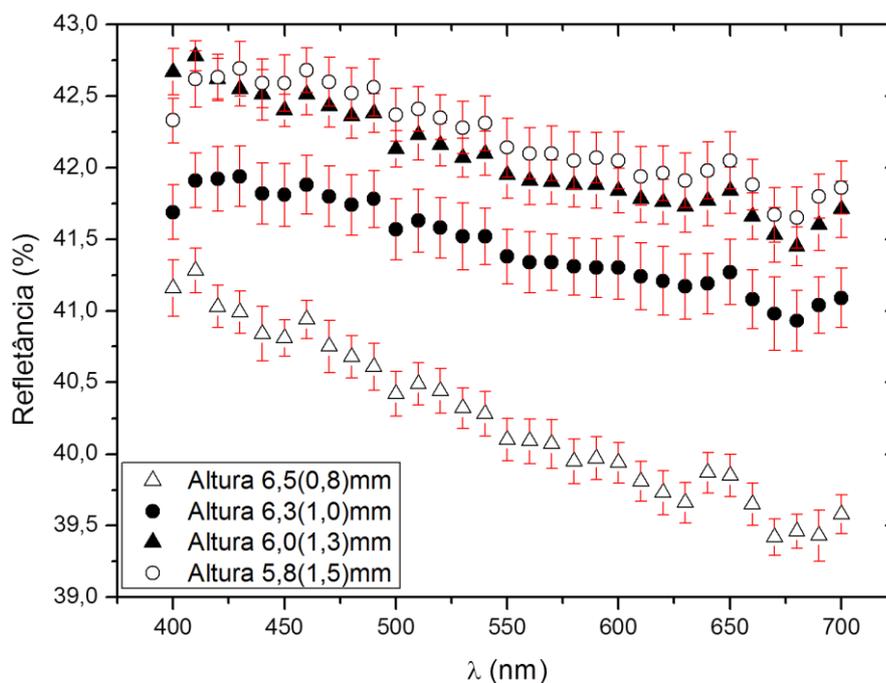


Figura 4.4.9: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

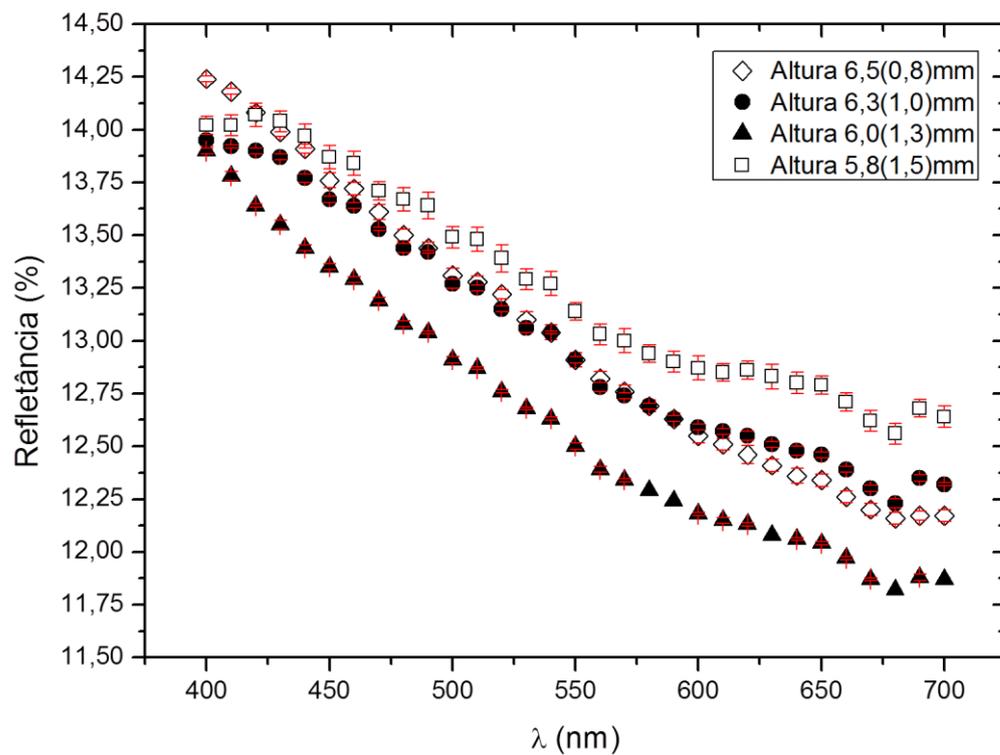


Figura 4.4.10: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

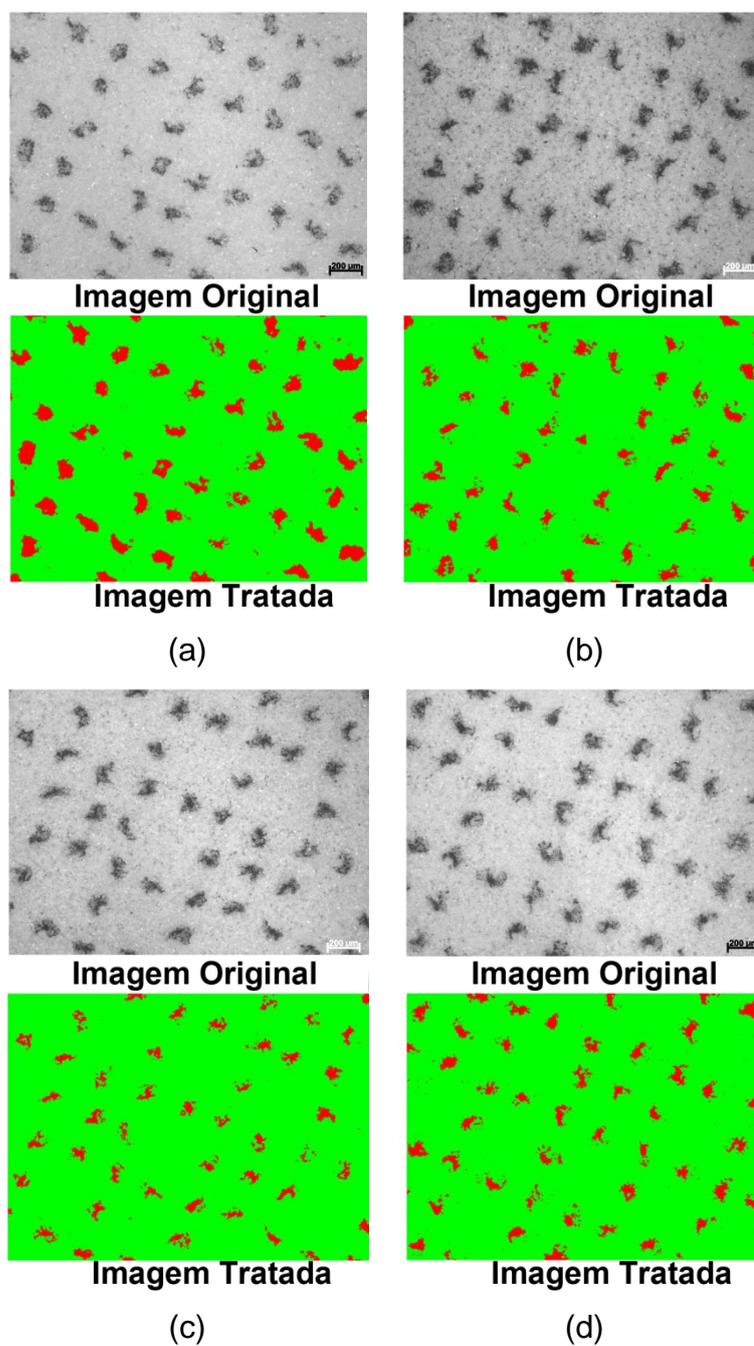


Figura 4.4.11: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°

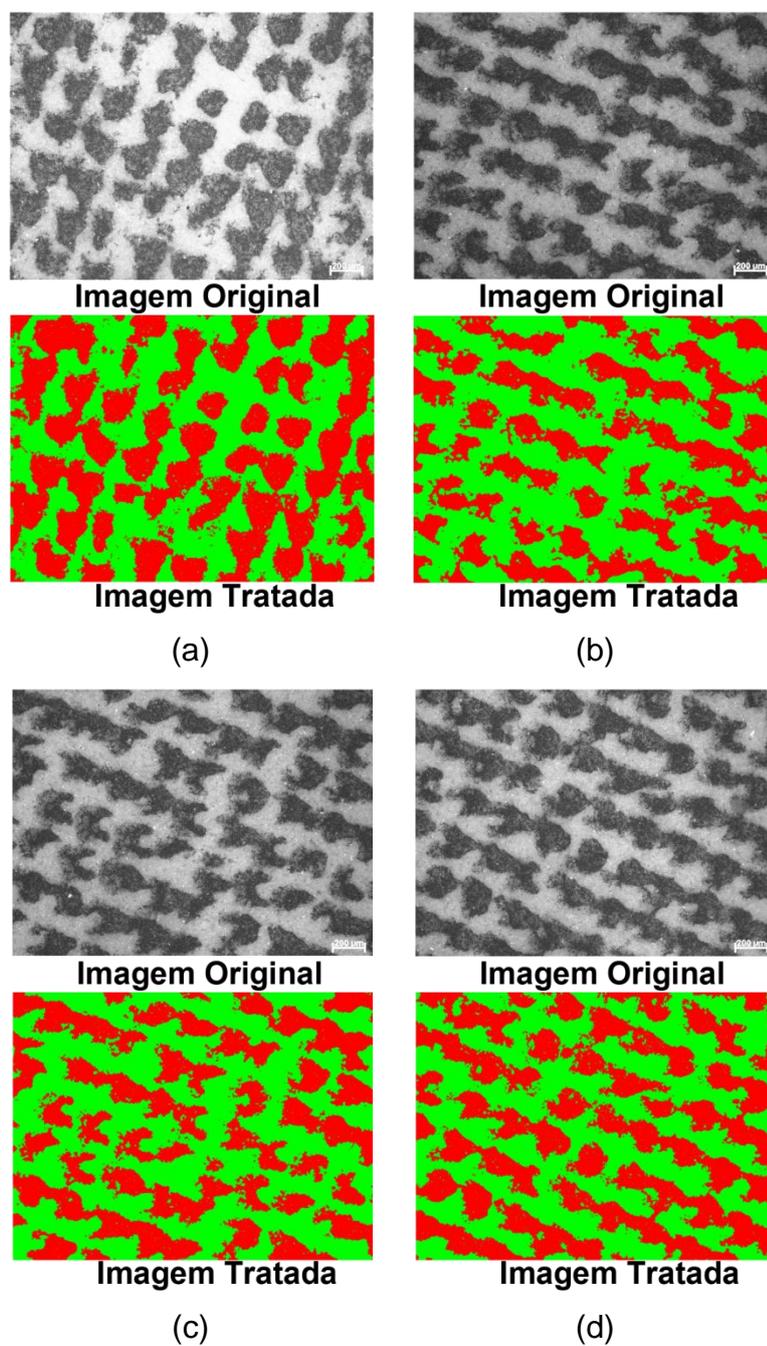


Figura 4.4.12: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°

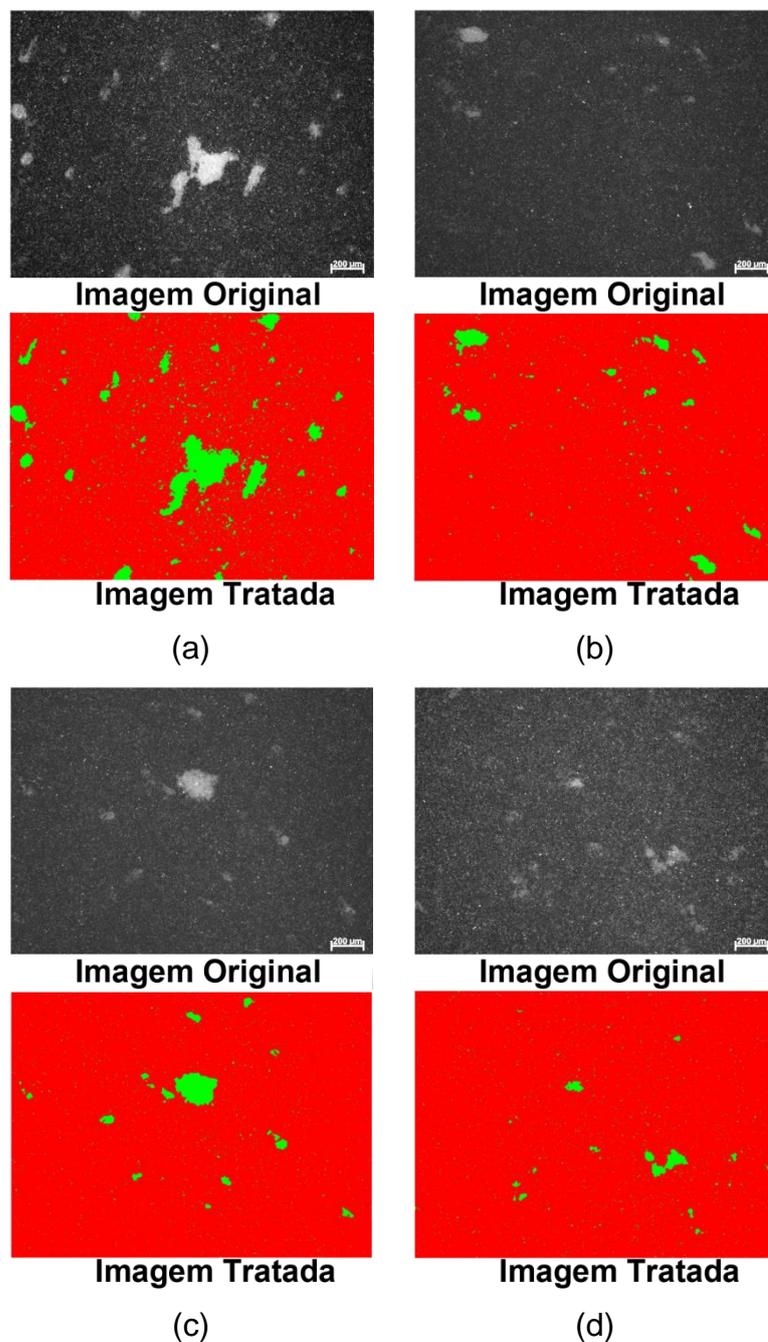


Figura 4.4.13: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD40/22°

Na Tabela 4.4.2 estão agrupados os resultados da porcentagem em área recoberta resultante da análise de imagens das micrografias para a incisão MTD40/22°.

Tabela 4.4.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão MTD40/22°

Altura do cilindro (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
6,5	5,10	49,82	93,42
6,3	6,40	42,35	96,45
6,0	4,55	41,47	97,99
5,8	5,81	44,44	96,88

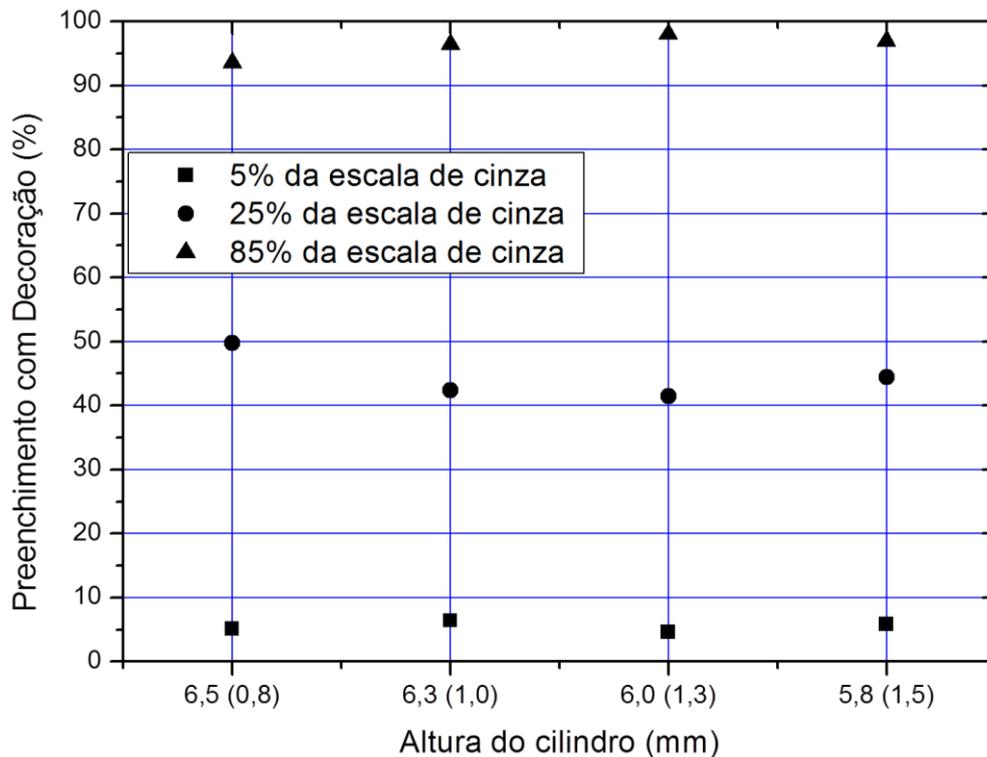


Figura 4.4.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm

Confrontando os resultados mostrados na Figura 4.4.8, Figura 4.4.14 e a Tabela 4.4.2, pode-se verificar para a incisão MTD 40/22°, analisando a área de 5% de decoração da escala de cinza que incrementando a pressão inicial do

cilindro sobre a peça, há um aumento no preenchimento da superfície de esmalte pelos pontos decorados, o que causa a diminuição nos valores de luz refletida obtidos apelo ensaio de espectrofotometria. Diminuindo ainda mais a altura do cilindro (de 6,3 para 6,0mm) a área superficial de esmalte preenchida pela decoração apresenta uma nova queda, porém há um aumento na porcentagem de luz refletida.

Este fato pode ser explicado do seguinte modo; quando se aumenta a pressão que o cilindro exerce sobre a peça cerâmica, o orifício de saída da tinta, neste caso, é diminuído pela deformação causada na camada de silicone onde se encontram as incisões; o que acarreta uma diminuição da porcentagem de corante transferido dos alvéolos para a superfície e conseqüente aumento na porcentagem de luz refletida e a diminuição da área de decoração.

Passando-se do valor de 6,0 para 5,8mm na altura do cilindro, há um aumento na porcentagem de área recoberta, causado pelo espalhamento da tinta devido à pressão excessiva, porém com pouco corante negro transferido; e um aumento da porcentagem de luz refletida pelo esmalte de cobertura.

Confrontando os ensaios de espectrofotometria da Figura 4.4.9 e as análises realizadas sobre as micrografias da Figura 4.4.12, a qual fornece os dados da Tabela 4.4.2 e o gráfico da Figura 4.4.14; verifica-se um aumento crescente em porcentagem de luz refletida pelas amostras e uma queda na porcentagem de recobrimento por decoração do 6,5 aos 6,0mm de altura. Com a seguinte diminuição na altura do cilindro para 5,8mm o que se observa é uma pequena diminuição na porcentagem de luz refletida, mas um aumento em porcentagem de área recoberta; mais uma vez explicado pelo achatamento os pontos decorados sobre a superfície do esmalte de cobertura.

Para as amostras decoradas com 85% da escala de cinza, os resultados obtidos são expressos na Figura 4.4.10 e na Figura 4.4.14 respectivamente sobre o ensaio de espectrofotometria e os dados de porcentagem de área recoberta por decoração.

Observa-se que apesar dos dados apresentarem um aumento em porcentagem de área preenchida, os valores de porcentagem de luz refletida permanecem quase que inalterados para as alturas de 6,5 e 6,3mm.

A elevação na porcentagem de preenchimento com pontos decorados de 6,3 para 6,0mm de altura do cilindro fizeram o valor da refletância diminuir em relação aos valores anteriores e, com a diminuição do preenchimento entre os testes de 6,0 e 5,8mm de altura, a porcentagem de luz refletida aumentou.

Os dados relativos ao ensaio de espectrofotometria com a variação da altura do cilindro, com a incisão MTD45/11°, são mostrados na Figura 4.4.15, 4.4.16 e 4.4.17 para as amostras com decorações das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

A Figura 6.4.18, Figura 4.4.19 e Figura 4.4.20 são relativas às peças decoradas em MTD45/11°, para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm em 5%, 25% e 85% da escala de cinza. São apresentadas as micrografias e as imagens tratadas para análise de porcentagem de recobrimento.

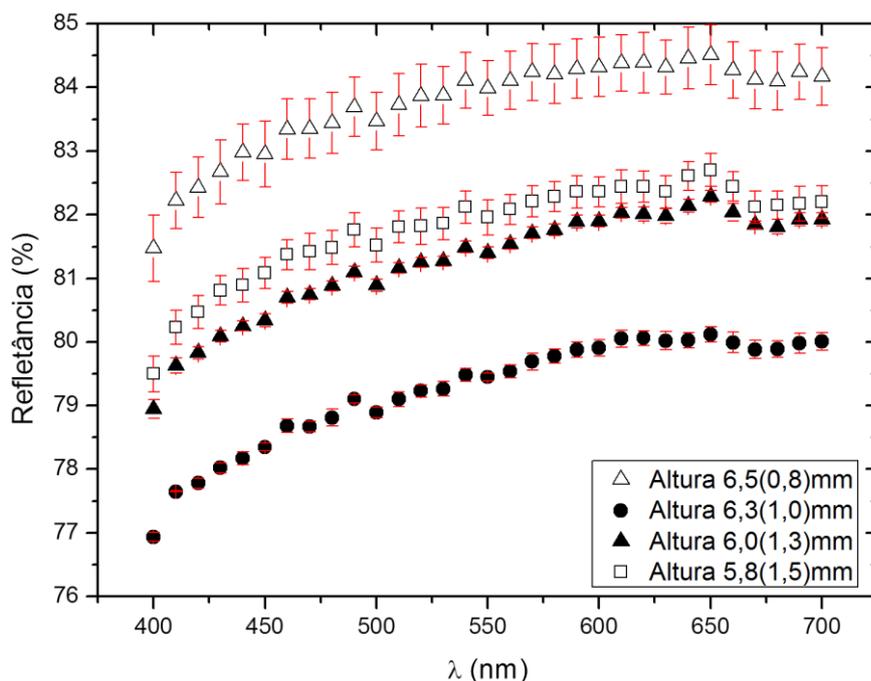


Figura 4.4.15: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

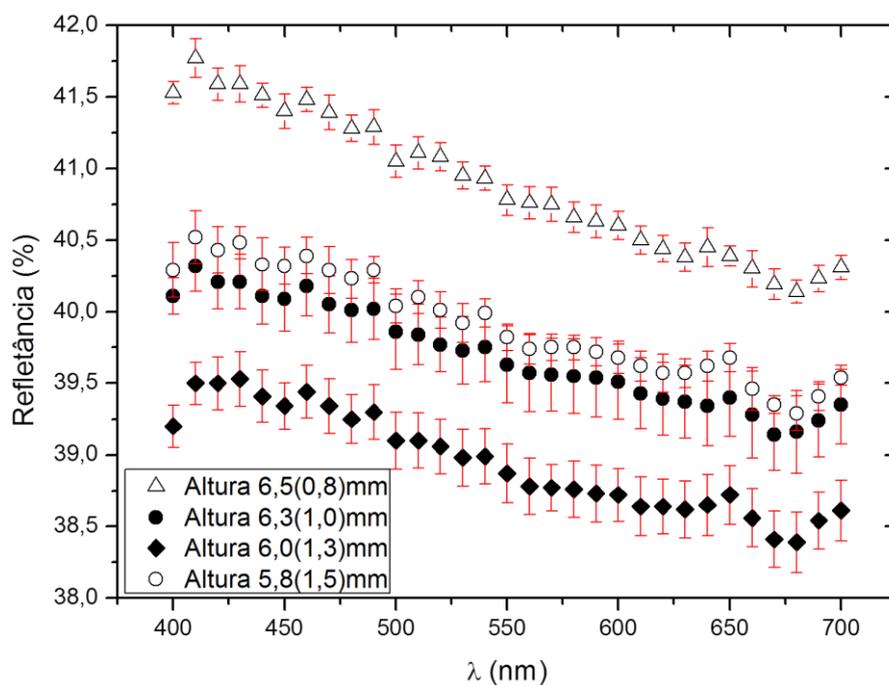


Figura 4.4.16: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

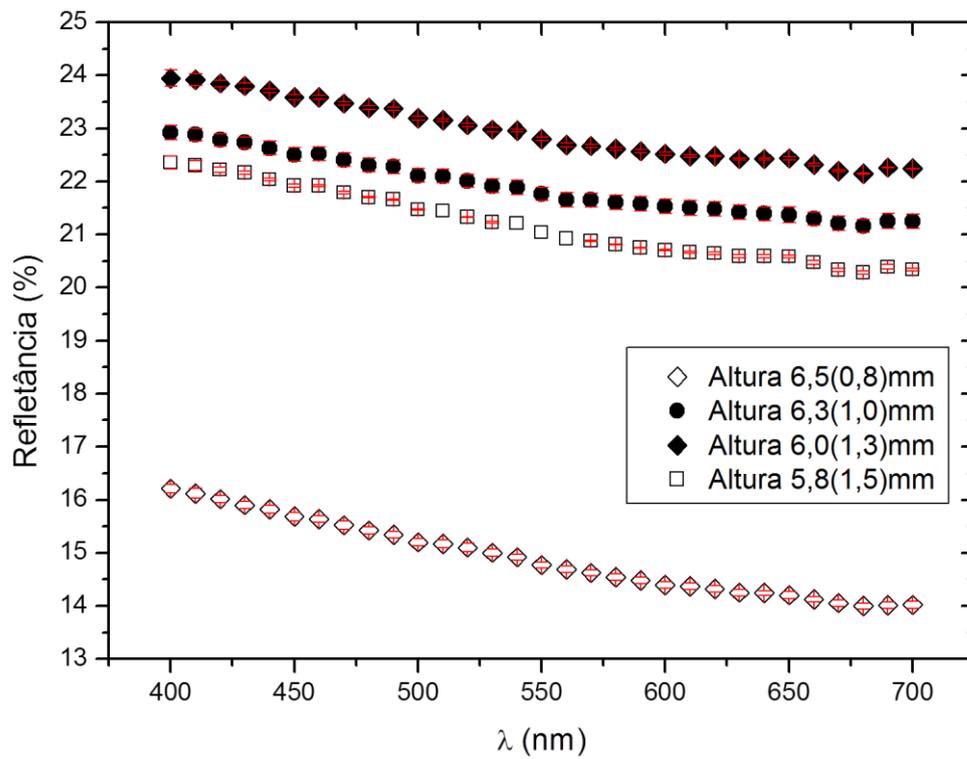


Figura 4.4.17: Variação da refletância com o aumento da altura do cilindro para áreas de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

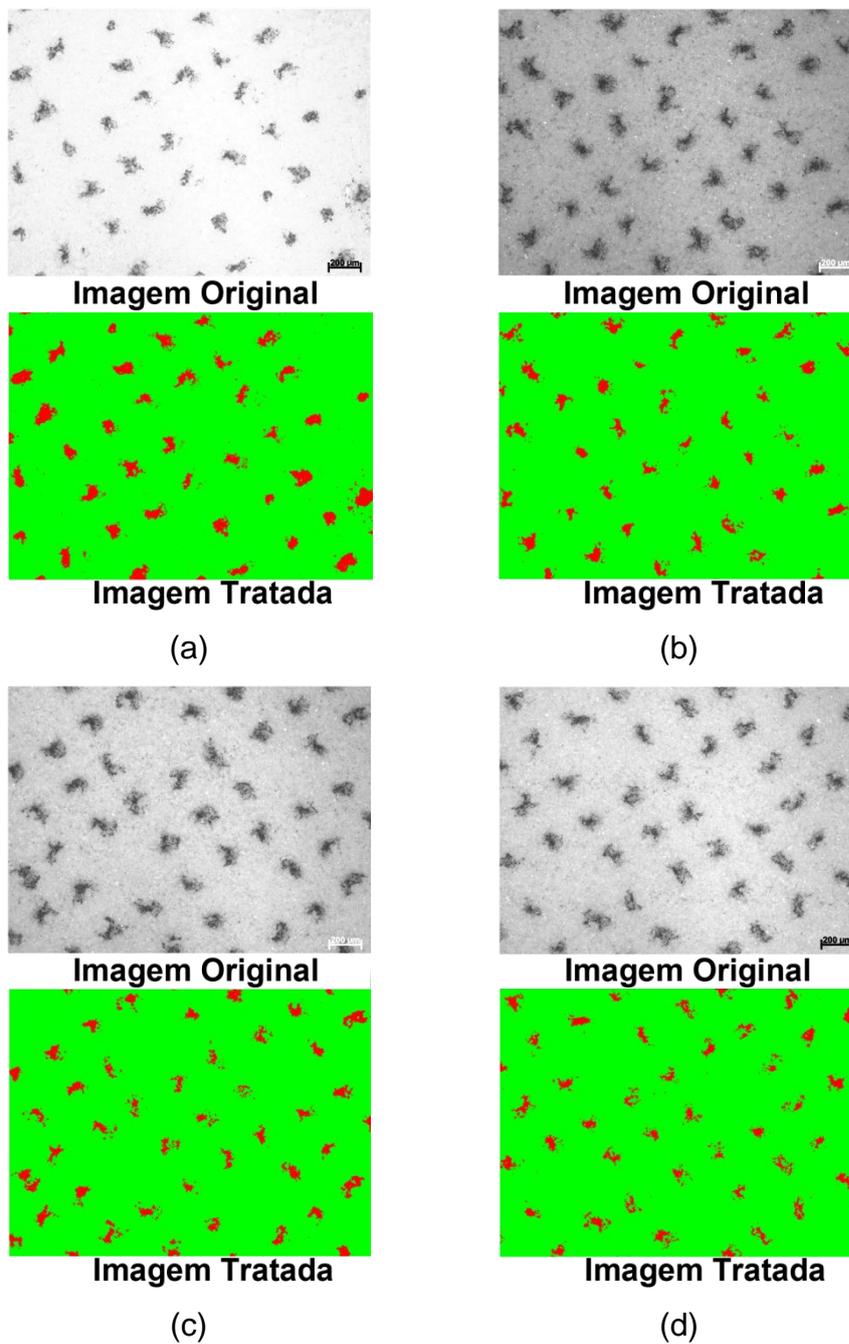


Figura 4.4.18: Área de 5% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°

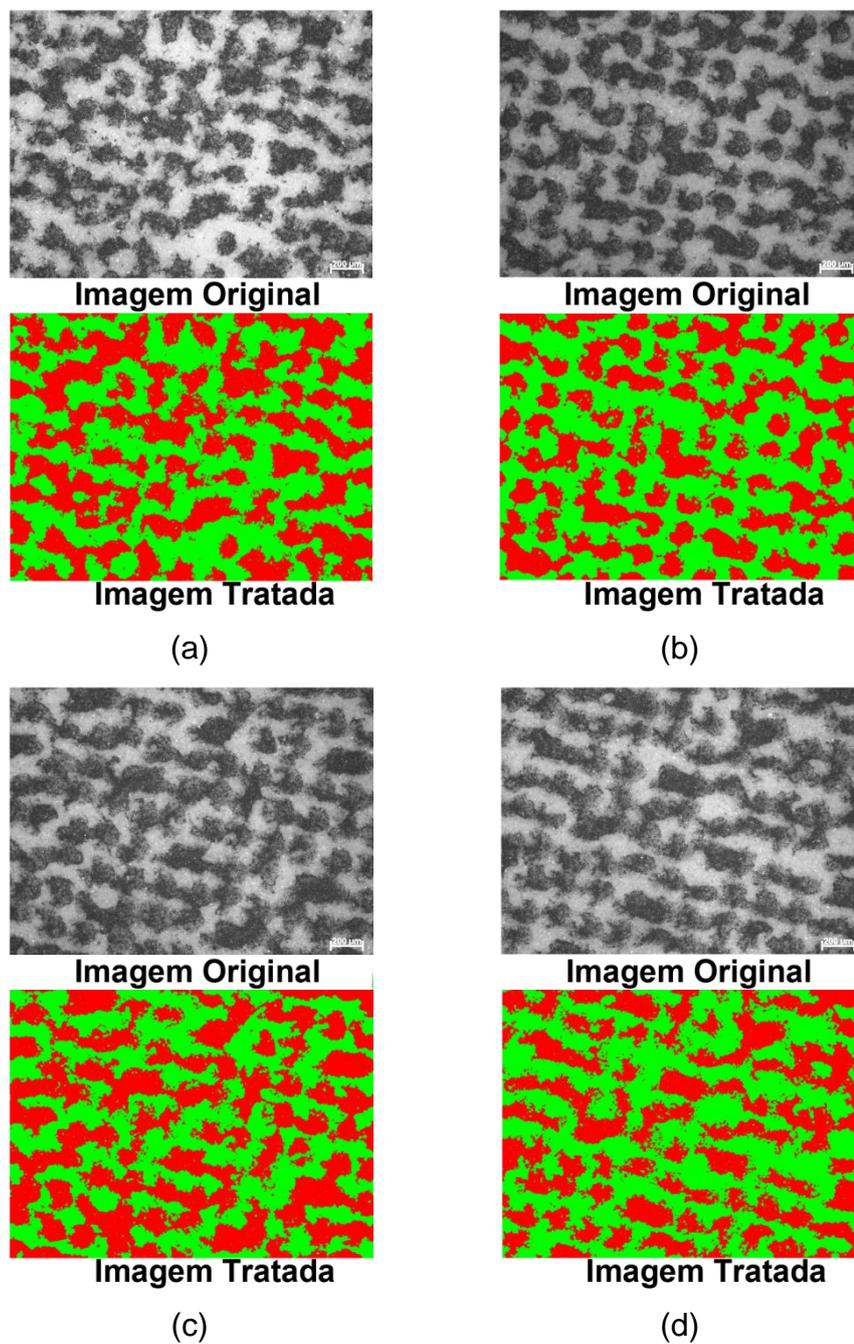


Figura 4.4.19: Área de 25% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°

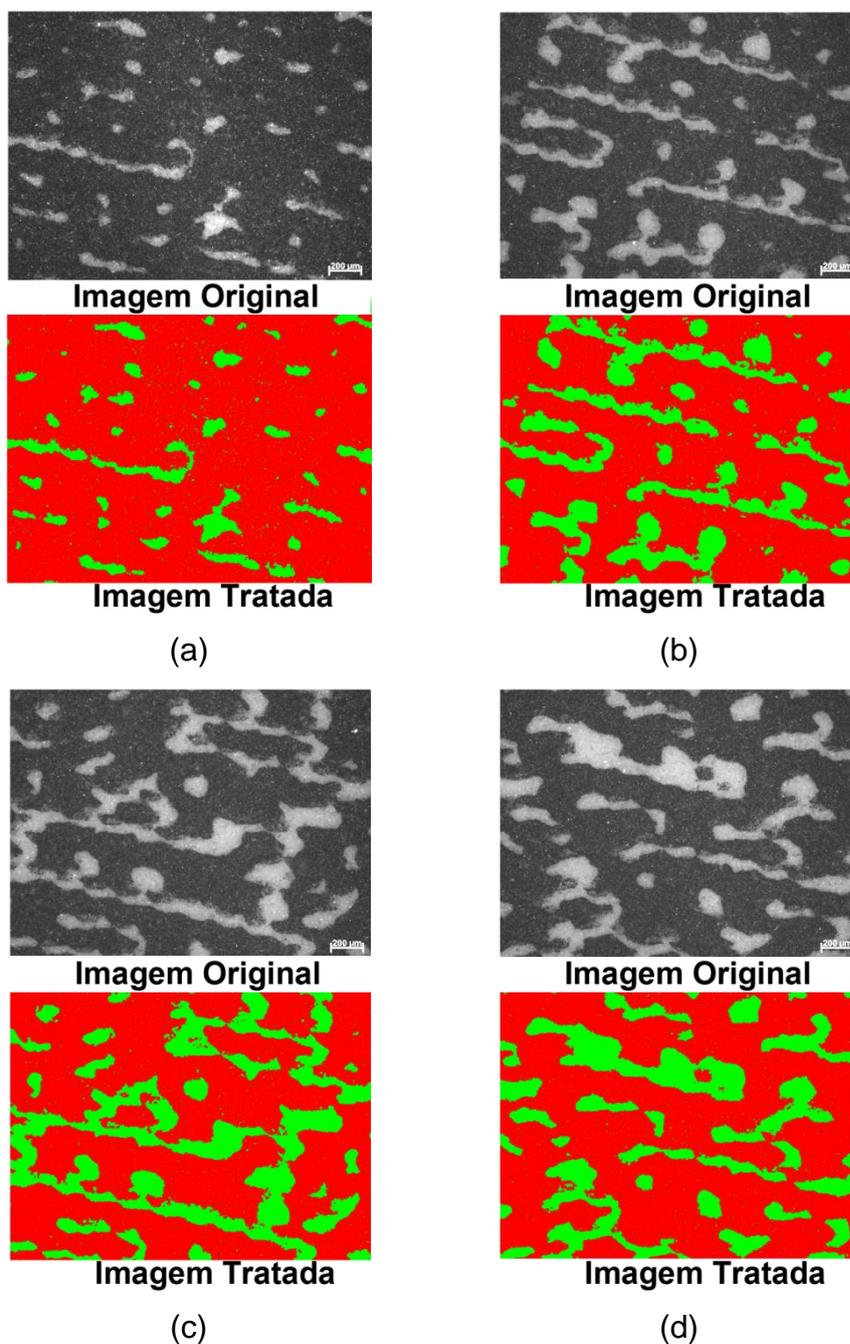


Figura 4.4.20: Área de 85% da escala de cinza para as alturas do cilindro de (a) 6,5mm, (b) 6,3mm, (c) 6,0mm e (d) 5,8mm. Gravação MTD45/11°

Os dados referentes às análises de porcentagem de área recoberta obtidos através das micrografias tratadas para as decorações em MTD45/11° são apresentadas na Tabela 4.4.3 e no gráfico da Figura 4.4.21.

Tabela 4.4.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta variando a pressão do cilindro sobre a peça. Incisão MTD45/11°

Altura do cilindro (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
6,5	6,05	49,33	90,64
6,3	4,28	46,40	86,15
6,0	4,59	45,93	76,16
5,8	4,38	45,97	77,15

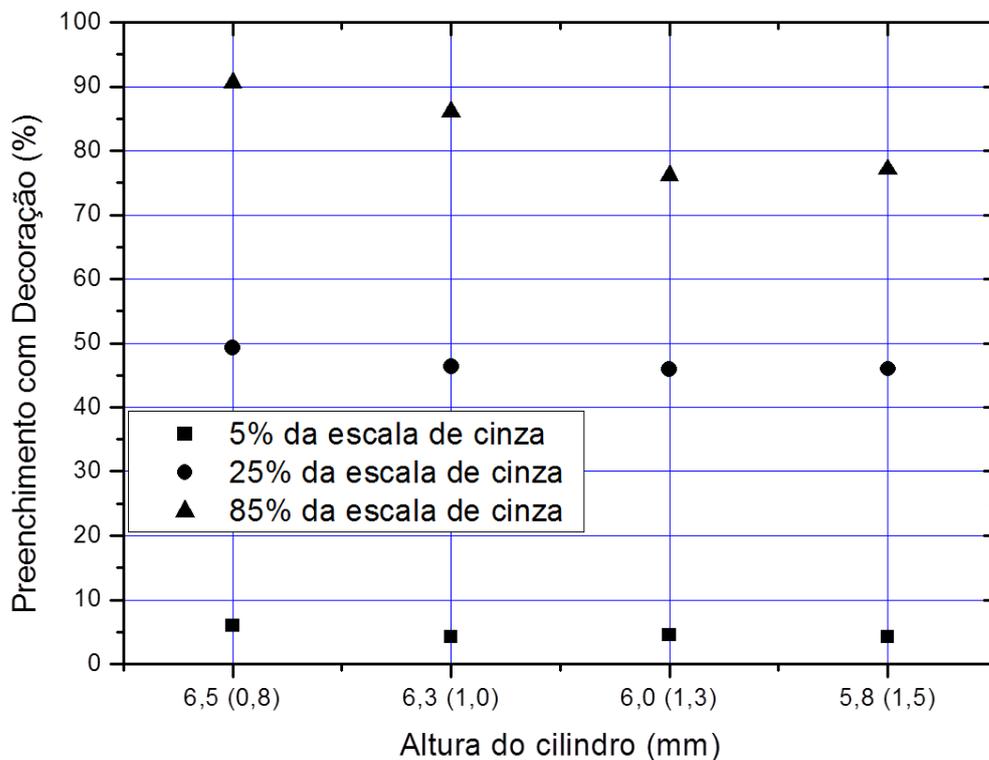


Figura 4.4.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as alturas do cilindro de 6,5; 6,3; 6,0 e 5,8mm

Os dados do gráfico da Figura 4.4.15 mostram uma grande queda na porcentagem de luz refletida pela superfície quando se diminui a altura do cilindro de decoração de 6,5 para 6,3mm, a qual deveria corresponder a um

aumento porcentagem de área decorada; o qual não é apontado pelos dados da Figura 4.4.21 e os dados da Tabela 4.4.3. A partir do valor de 6,3mm de altura até o teste final em 5,8mm; o que se observa na Figura 4.4.21 com relação à porcentagem em preenchimento de decoração é uma variação percentual muito pequena; o que não é refletido nas curvas da Figura 4.4.15, onde após a altura de 6,3mm há um aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície até o ensaio final em 5,8mm de altura. Como em tons baixos da escala de cinza, neste caso com 5%; os alvéolos individuais que formam os grupamentos de pontos, por sua pequena dimensão ($\sim 50,45 \times 10^{-3}$ mm teóricos) tendem a deformar o orifício de saída de tinta, diminuindo ainda mais a sua abertura devido à pressão exercida pelo cilindro sobre a peça cerâmica.

Analisando os conjuntos de dados da Figura 4.4.16, Figura 4.4.21 e a Tabela 4.4.3 pode-se chegar as seguintes reflexões.

Através das curvas da Figura 4.4.16 observa-se uma queda gradual da porcentagem de luz refletida variando-se a altura do cilindro de 6,5 a 6,0mm. Para o recobrimento com decoração observa-se um decréscimo inicial entre 6,5 e 6,3mm e quase nenhuma mudança nos valores de porcentagem de área recoberta, através dos dados da Figura 4.4.21. Quando a altura do cilindro diminui ainda mais, chegando ao limite estipulado de 5,8mm, o que se observa é um aumento na porcentagem de luz refletida.

Para áreas de cobertura em tons maiores da escala de cinza, como neste caso para 25% o que se observa é uma grande influência da pressão do cilindro sobre a porcentagem de área decorada, ao contrário do que se imaginaria, o aumento de pressão não favorece a descarga de tinta sobre a peça, proporcionando assim um efeito contrário, onde não há incremento significativo em área, porém uma grande influência com relação à porcentagem de luz refletida pela superfície, já que inicialmente a pressão excessiva acaba por deformar tanto os alvéolos quanto os pontos decorados, o que impede a saída de todo o corante negro necessário para diminuir ainda mais os valores de refletância, invertendo o sentido esperado para tal, como pode ser visto na Figura 4.4.16.

Confrontando as análises de refletância e porcentagem de área coberta por decoração através da Figura 4.4.17 e 4.4.21 respectivamente, na primeira pode-se observar um aumento em porcentagem de luz refletida à medida que a altura do cilindro diminui, assim como a porcentagem de área recoberta entre os ensaios de 6,5mm até 6,0mm (Figura 4.4.21). Um leve incremento em área pode ser visto no gráfico da Figura 4.4.21 e uma diminuição na porcentagem de luz refletida quando se observa o resultado das amostras decoradas com 5,8mm de altura do cilindro.

Abaixo, a Tabela 4.4.4 resume os resultados para as tendências gerais obtidos neste ensaio.

Tabela 4.4.4: Resumo dos resultados obtidos com o aumento da pressão do cilindro sobre a peça em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	<p>↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $h = 6,3$ ↑ % de luz refletida para $h < 6,3$</p>	<p>↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $h = 6,3$ ↑ % de luz refletida para $h < 6,3$</p>	<p>↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $h = 6,3$ ↑ % de luz refletida para $h < 6,3$</p>
25%	<p>↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $h = 6,0$ ↓ % de luz refletida para $h < 6,0$</p>	<p>↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida</p>	<p>↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $h = 6,0$ ↑ % de luz refletida para $h < 6,0$</p>
85%	<p>↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $h = 6,0$ ↓ % de luz refletida para $h < 6,0$</p>	<p>↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $h = 6,0$ ↑ % de luz refletida para $h < 6,0$</p>	<p>↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $h = 6,0$ ↓ % de luz refletida para $h < 6,0$</p>

4.5 Ensaios de Altura da Lâmina Sobre o Cilindro

A altura da lâmina refere-se à distância entre o suporte do conjunto de lâmina e o centro do cilindro de decoração, como é mostrado na Figura 4.5.1.

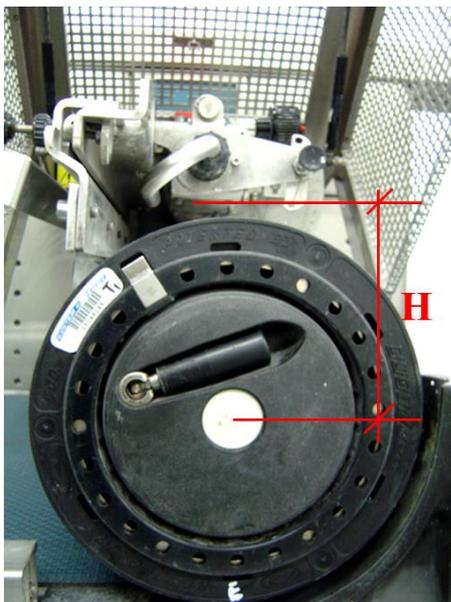


Figura 4.5.1: A altura da lâmina

Para a incisão $0,4/45^\circ$ são apresentados a seguir os resultados de refletância para as decorações das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente na Figura 4.5.2, Figura 4.5.3 e Figura 4.5.4 no teste de variação da altura da lâmina.

As imagens obtidas através da microscopia ótica, para as peças decoradas na incisão $0,4/45^\circ$ com 5%, 25% e 8% da escala de cinza, são mostradas na Figura 4.5.5, Figura 4.5.6 e Figura 4.5.7 respectivamente. São apresentadas as micrografias e abaixo as imagens tratadas para a determinação da porcentagem de área recoberta pela decoração. As variações de altura ensaiadas foram (a) 210, (b) 220, (c) 230 e (d) 240mm de altura.

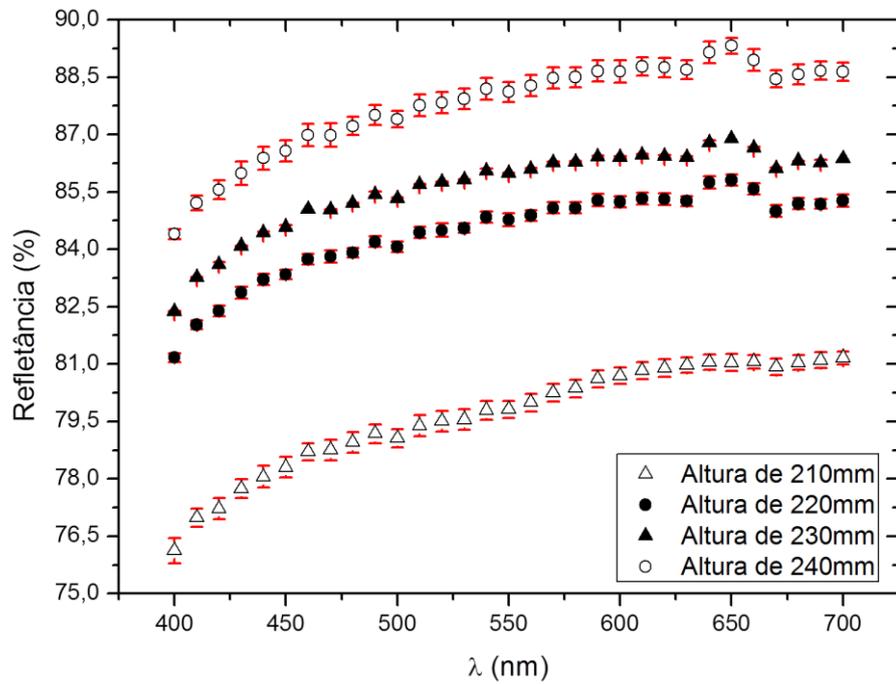


Figura 4.5.2: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

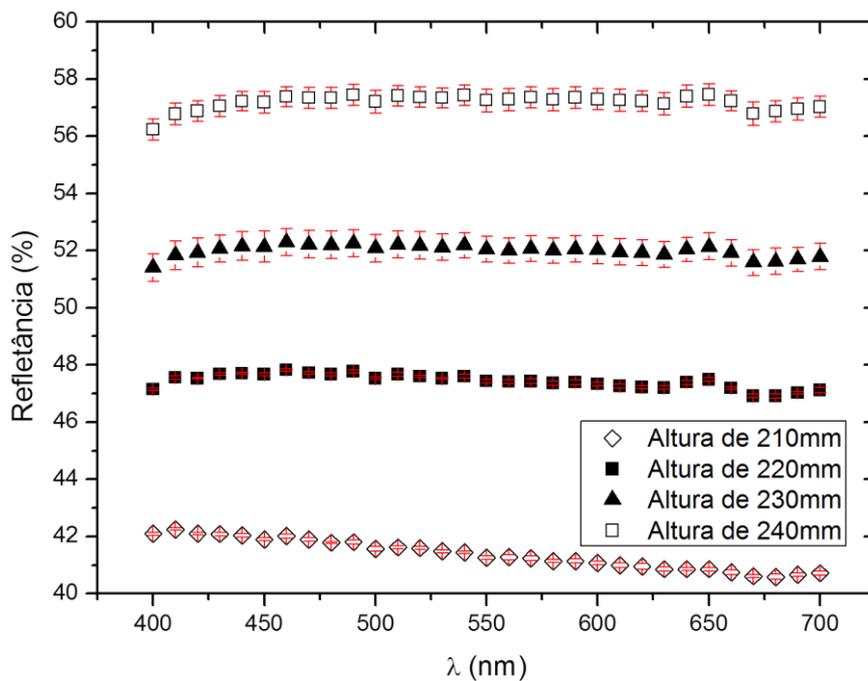


Figura 4.5.3: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

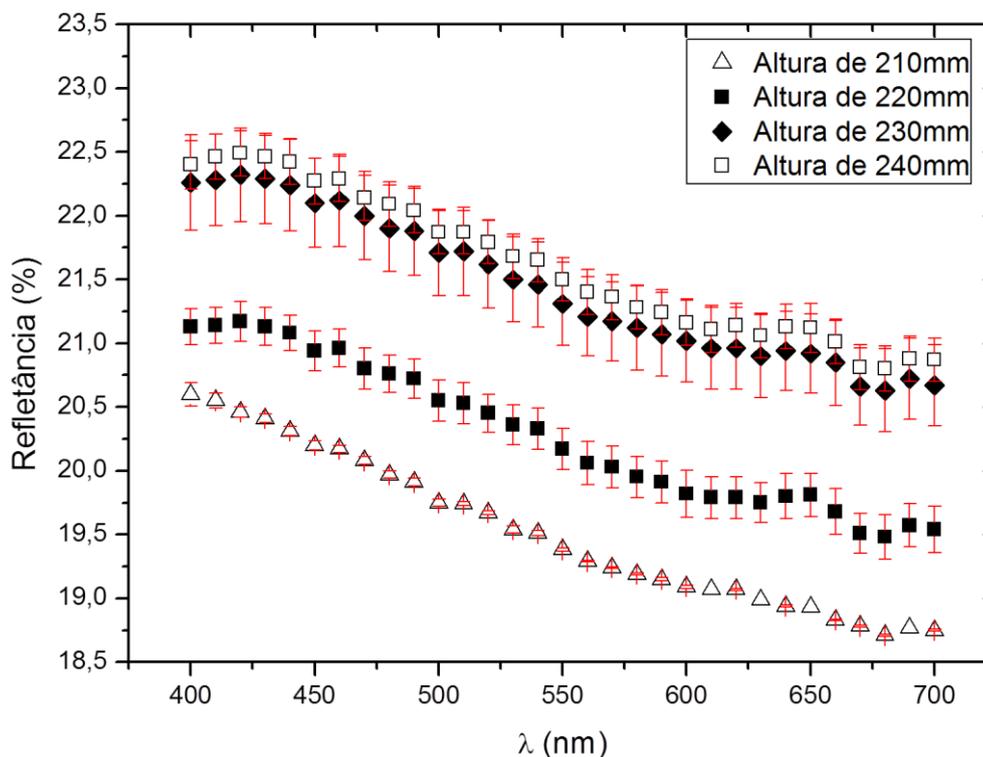


Figura 4.5.4: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

Comparando-se os resultados dos gráficos apresentados na Figura 4.5.2, Figura 4.5.8 e os resultados da Tabela 4.5.1, pode-se verificar que à medida que há um aumento na altura da lâmina em relação ao cilindro, o carregamento de tinta dos alvéolos diminui (lâmina passa a limpar melhor a superfície de silicone), o que resulta em uma diminuição da quantidade de tinta depositada sobre a peça cerâmica; isso resulta na diminuição da porcentagem de área recoberta por decoração (Figura 4.5.8 e Tabela 4.5.1) e aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície do esmalte (Figura 4.5.2).

Tal resultado é congruente com uma análise baseada nas forças aplicadas; utilizando um sistema de eixos cartesianos ortogonais com o eixo y perpendicular à superfície do cilindro e o eixo x tangente ao mesmo, a força exercida pela lâmina tende ao seu valor máximo na média que o ângulo formado tende a 90°.

Através das micrografias ou mesmo das imagens tratadas apresentadas na Figura 4.5.5 pode-se verificar que os pontos de decoração vão gradativamente diminuindo e tornando-se cada vez mais incompletos e sem forma definida.

Análise análoga pode ser feita confrontando os resultados obtidos para as amostras decoradas com 25% da escala de cinza, mostrados na Figura 4.5.3, Figura 4.5.8, Tabela 4.5.1 e Figura 4.5.6; assim como para as amostras decoradas com 85% da escala de cinza: Figura 4.5.4, Figura 4.5.8, Tabela 4.5.1 e Figura 4.5.7.

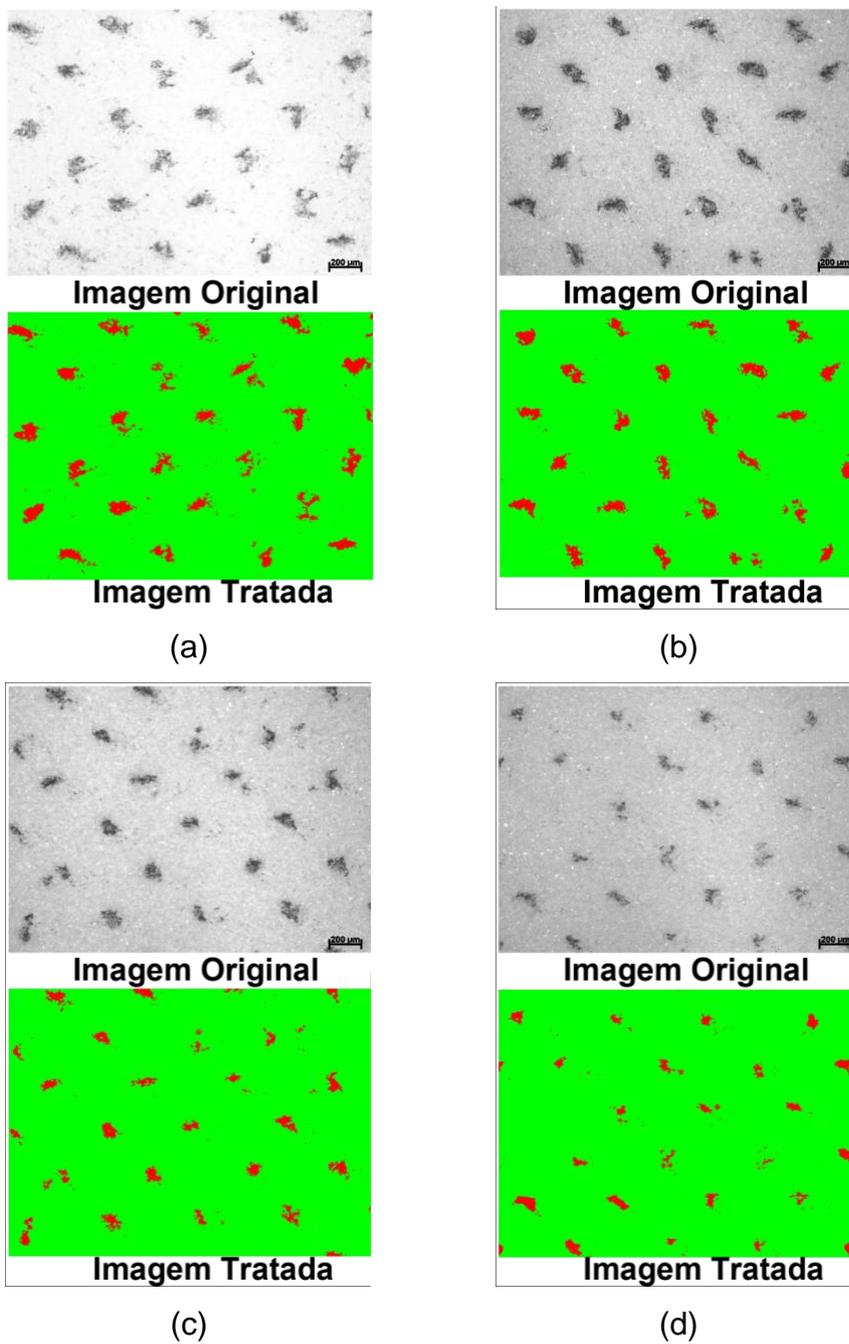


Figura 4.5.5: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°

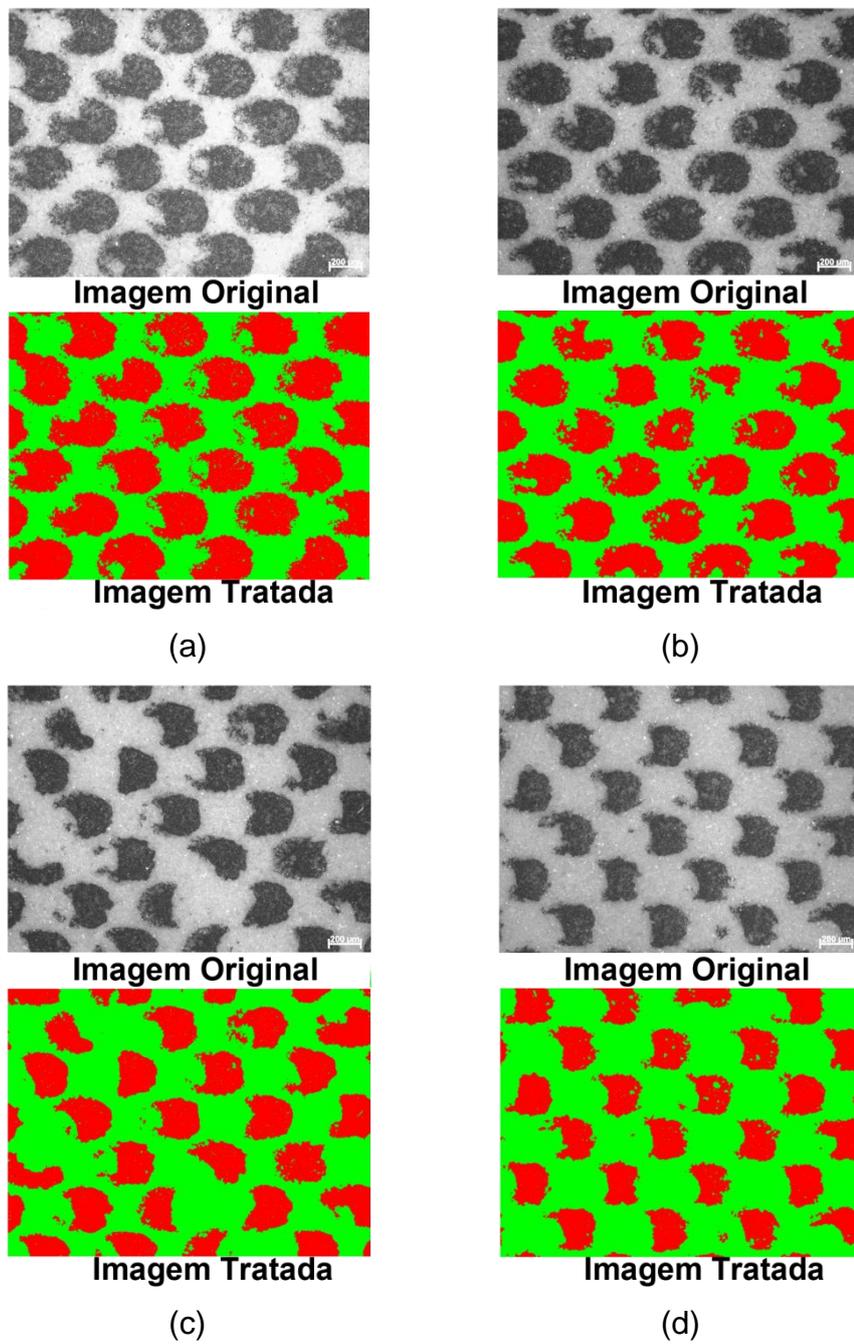


Figura 4.5.6: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°

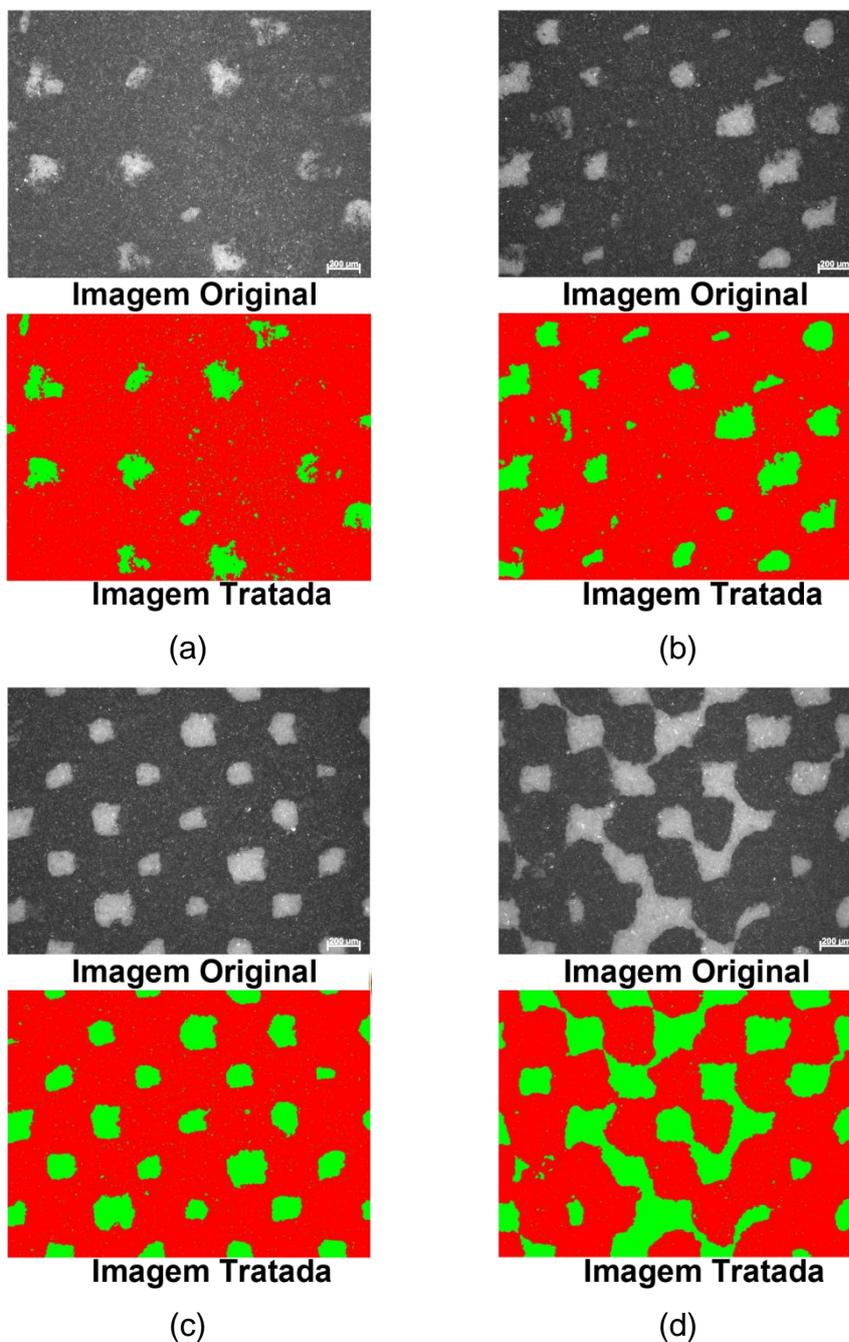


Figura 4.5.7: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação 0,4/45°

A Tabela 4.5.1 resume os valores de área recoberta, em porcentagem; para decoração em 0,4/45°; nas alturas de lâmina previamente estabelecidas.

Tabela 4.5.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão 0,4/45°

Altura da lâmina (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
210	4,93	50,10	84,28
220	4,40	40,20	83,67
230	3,43	38,09	81,25
240	2,45	29,42	77,55

Nos ensaios realizados com a incisão padrão 0,4/45°, analisando as micrografias, as imagens tratadas (Figuras 4.5.5, 4.5.6 e 4.5.7), o gráfico de variação da porcentagem de área recoberta versus o aumento na altura da lâmina (Figura 4.5.8) e os gráficos de porcentagem de luz refletida versus elevação na altura da lâmina (Figura 4.5.2, 4.5.3 e 4.5.3) pode-se observar quatro características:

- A diminuição do tamanho dos pontos decorados;
- A tendência dos mesmos a perderem a definição da forma;
- A diminuição da área recoberta por tinta e
- Aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície do esmalte.

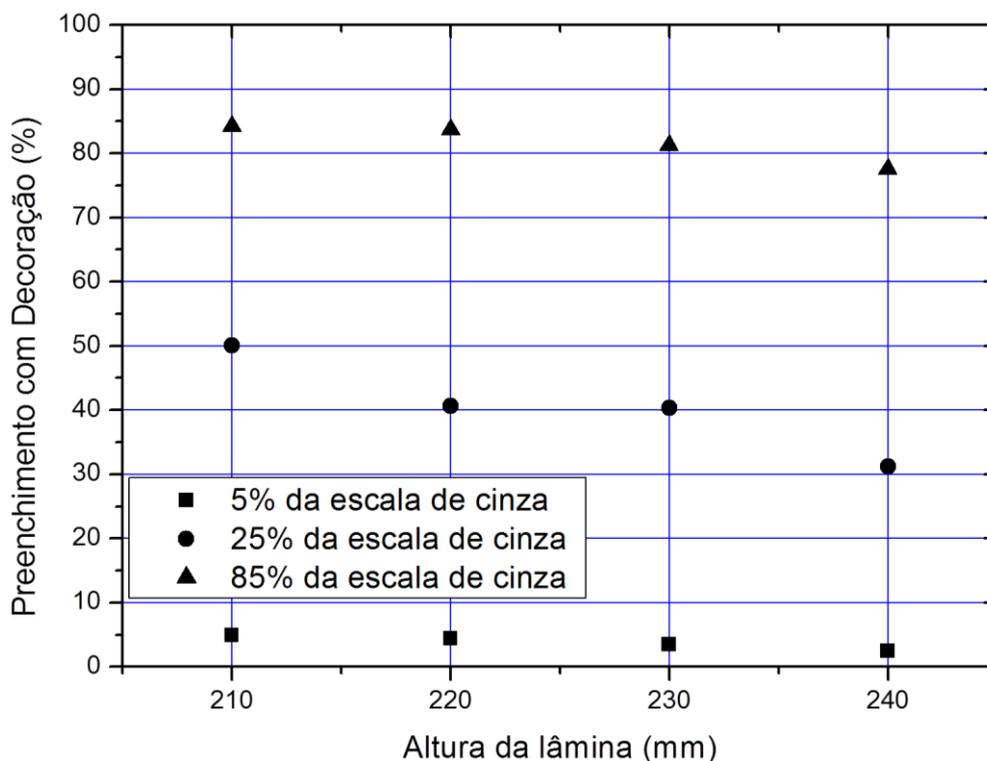


Figura 4.5.8: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão $0,4/45^\circ$, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm

Os dados obtidos para a refletância das amostras com incisão $MTD40/22^\circ$ são apresentados a seguir, para as decorações das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente na Figura 4.5.9, 4.5.10 e 4.5.11 para o teste de altura da lâmina de decoração.

As micrografias das amostras decoradas em $MTD40/22^\circ$, para as peças decoradas com 5%, 25% e 85% da escala de cinza, são mostradas na Figura 4.5.12, Figura 4.5.13 e Figura 4.5.14 respectivamente.

Assim como apresentado na análise anterior, as imagens abaixo das micrografias foram tratadas para a determinação da porcentagem de área recoberta pela decoração. São mostradas as variações de altura da lâmina de (a) 210, (b) 220, (c) 230 e (d) 240mm.

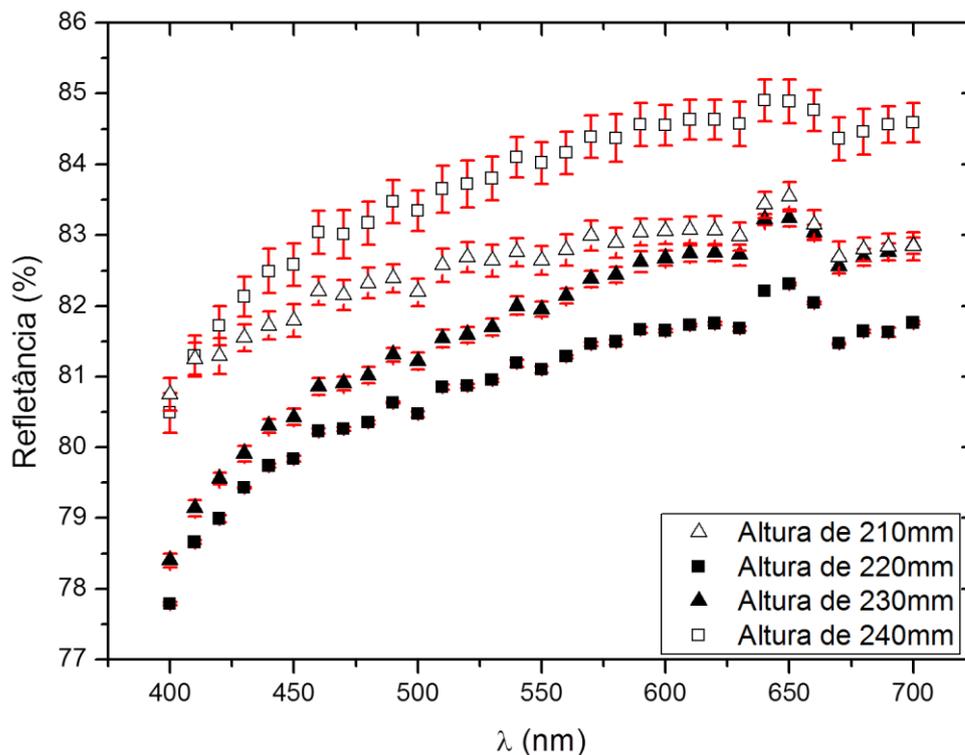


Figura 4.5.9: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

Analisando a Figura 4.5.9, inicialmente com a elevação da altura da lâmina para 220mm observa-se uma diminuição na porcentagem de luz refletida pela peça. Os resultados da Figura 4.5.15 e da Tabela 4.5.2 mostram que a porcentagem em área média recoberta diminui com o aumento da altura da lâmina; ou seja, mostrando um comportamento inverso ao observado no ensaio de refletância.

Em uma sequente elevação na altura da lâmina (para 230mm), a quantidade de decoração sobre a peça diminui (Tabela 4.5.2), o que provoca o aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície da peça. Ao se elevar a lâmina para a altura de 240mm, o esperado seria uma diminuição ainda maior na porcentagem de área recoberta pela decoração e um aumento na porcentagem de luz refletida, através do ensaio de espectrofotometria, o que pode ser comprovado analisando-se a Figura 4.5.15 e Figura 4.5.9, respectivamente.

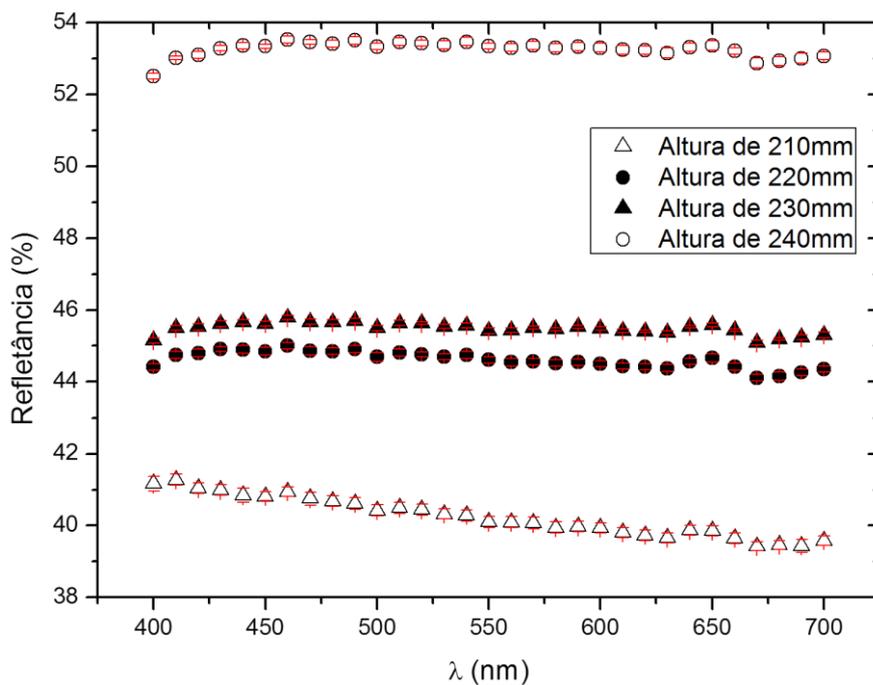


Figura 4.5.10: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

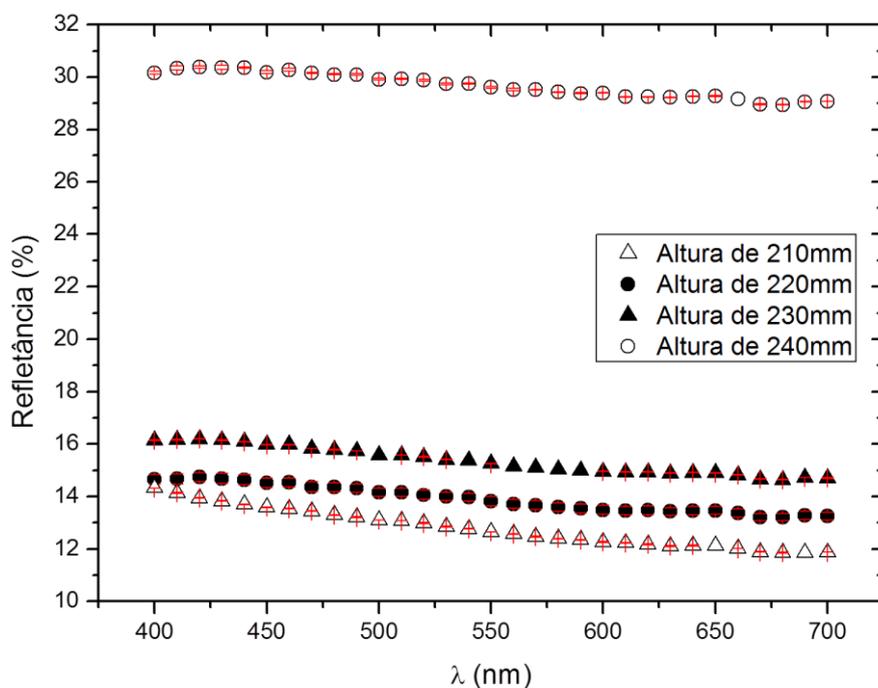


Figura 4.5.11: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD40/22°

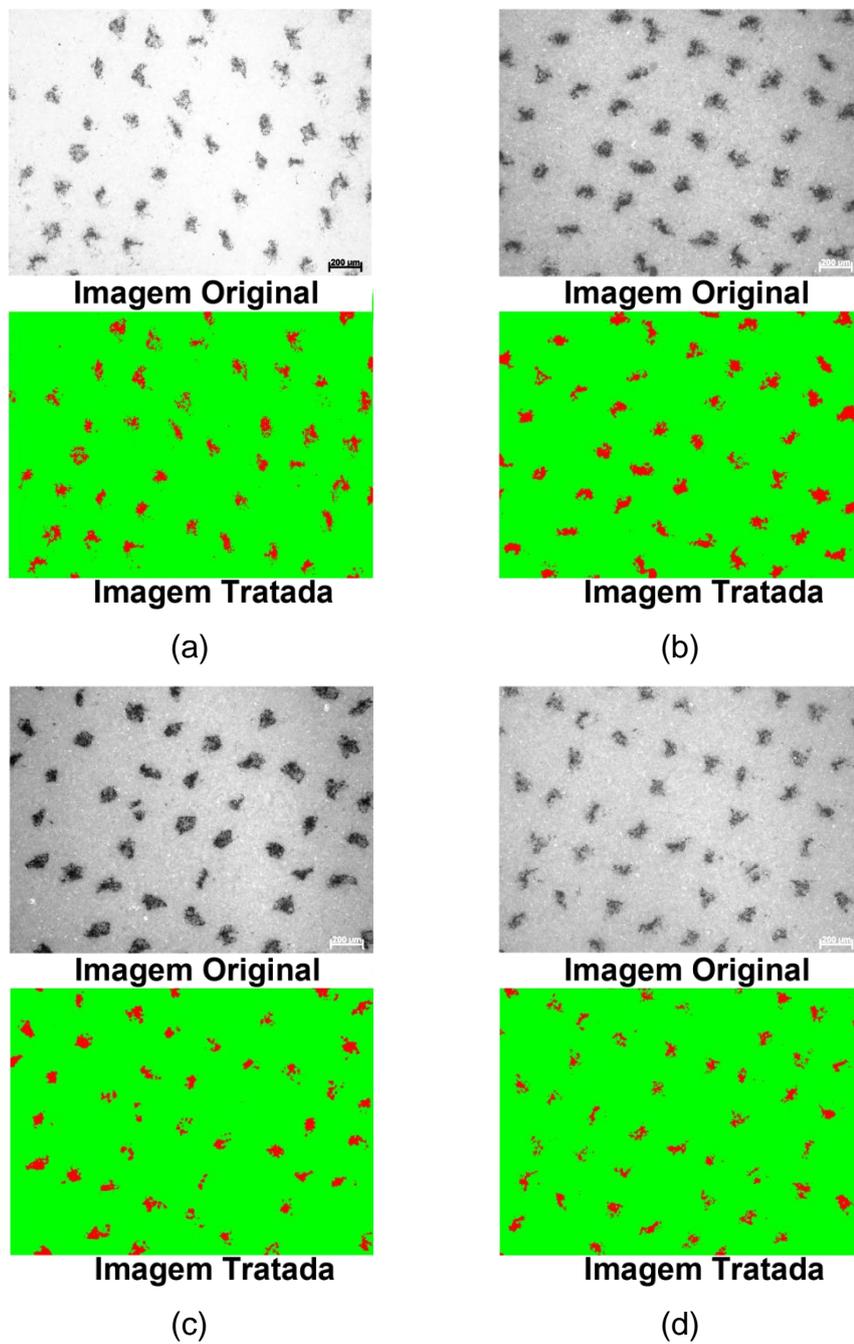


Figura 4.5.12: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°

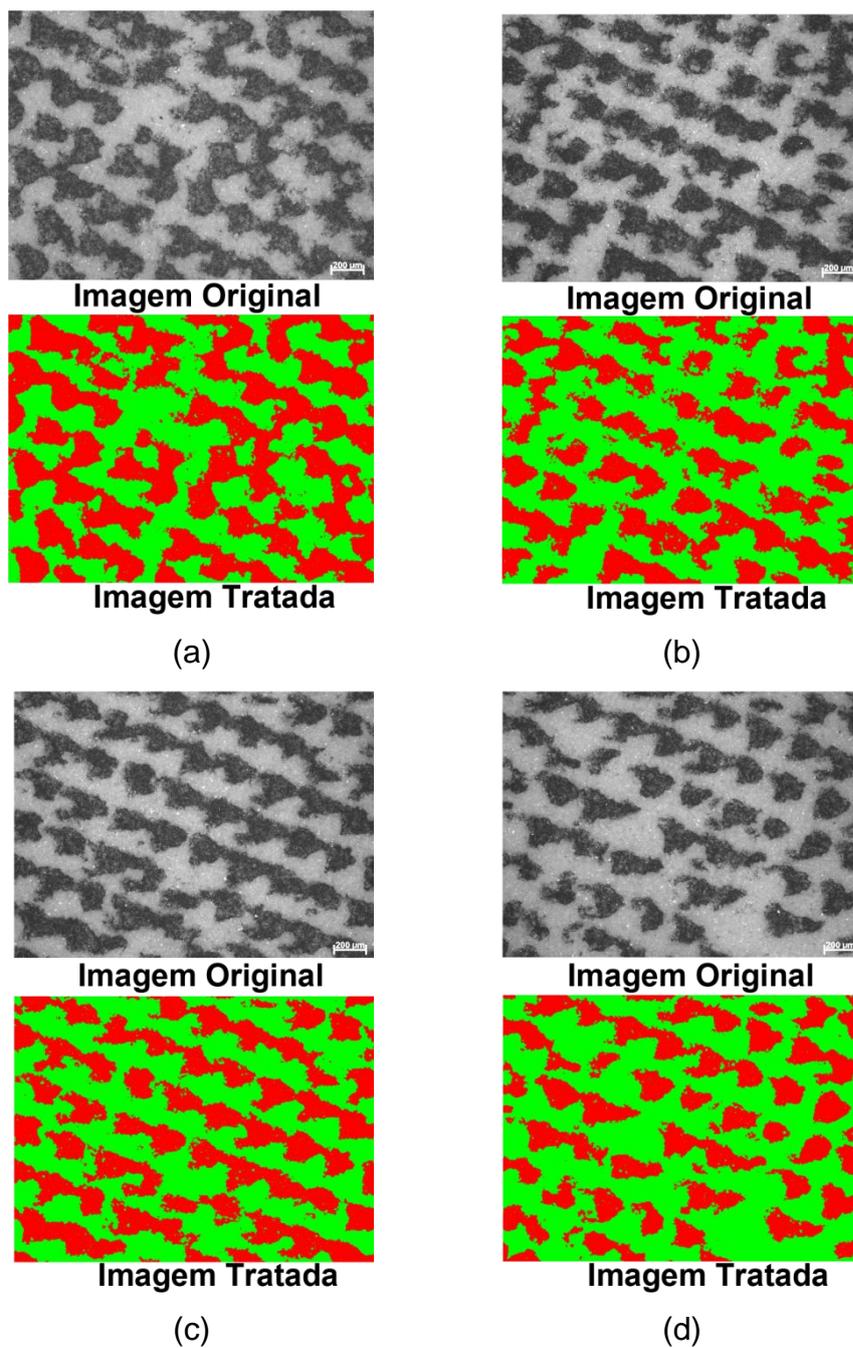


Figura 4.5.13: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°

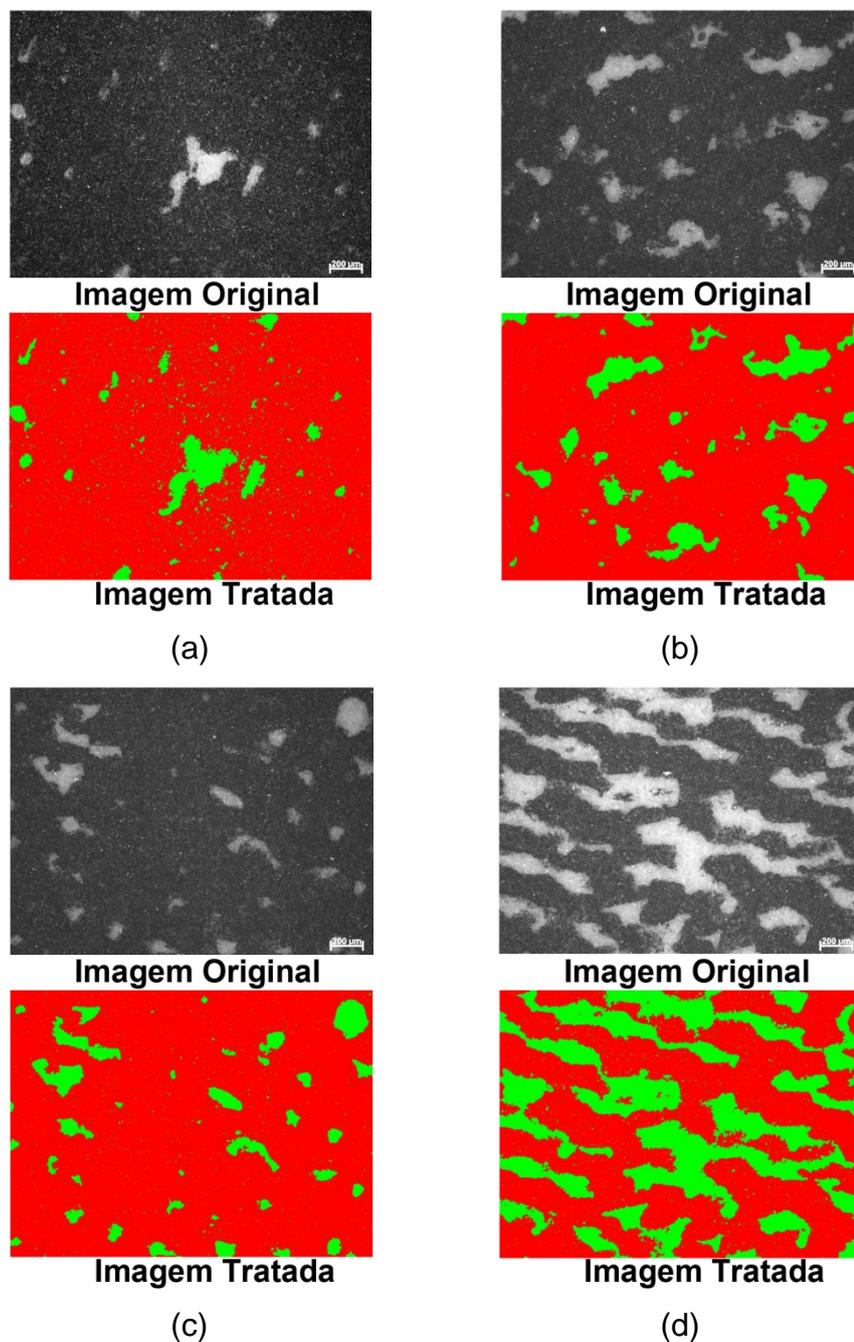


Figura 4.5.14: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 40/22°

Na Tabela 4.5.2 estão agrupados os valores de área recoberta, em porcentagem; para decoração em MTD 40/22° nas alturas de lâmina previamente estabelecidas.

Tabela 4.5.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão MTD 40/22°

Altura da lâmina (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
210	6,95	49,55	93,42
220	5,93	38,13	92,08
230	5,15	32,55	91,08
240	5,05	32,51	71,48

Confrontando-se os resultados mostrados na Figura 4.5.10 (amostras de 25% da escala de cinza) com os da Figura 4.5.15 e a Tabela 4.5.2, observa-se uma congruência nos dados, analogamente ao ocorrido para as amostras com incisão 0,4/45°; ou seja, com a elevação da altura da lâmina os valores de porcentagem de área decorada tendem a diminuir devido à maior dificuldade em transferir a tinta para dentro dos alvéolos. Este fato leva ao aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície do esmalte, justamente pela crescente ausência de pontos decorados; ou seja, o preenchimento da superfície branca com as gotículas de tinta preta.

O mesmo pode ser dito para as análises da Figura 4.5.11, Figura 4.5.8 e Tabela 4.5.2 para as amostras decoradas com 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°.

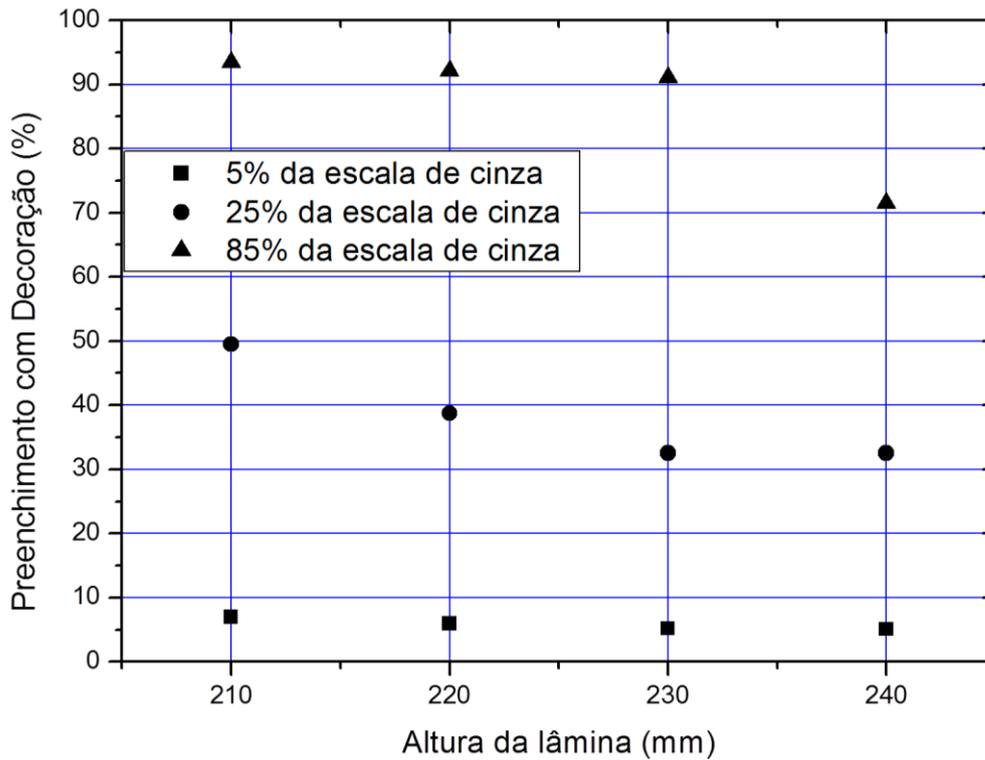


Figura 4.5.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm

Os gráficos da Figura 4.5.16, 4.5.17 e 4.5.18 são referentes ao teste de altura da lâmina, os quais mostram os resultados para a refletância das amostras com incisão MTD45/11°, para as decorações das áreas de preenchimento pleno em 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

A Figura 4.5.19, Figura 4.5.20 e Figura 4.5.21 mostram as imagens obtidas para as amostras decoradas em MTD45/11°, para as peças com 5%, 25% e 85% da escala de cinza.

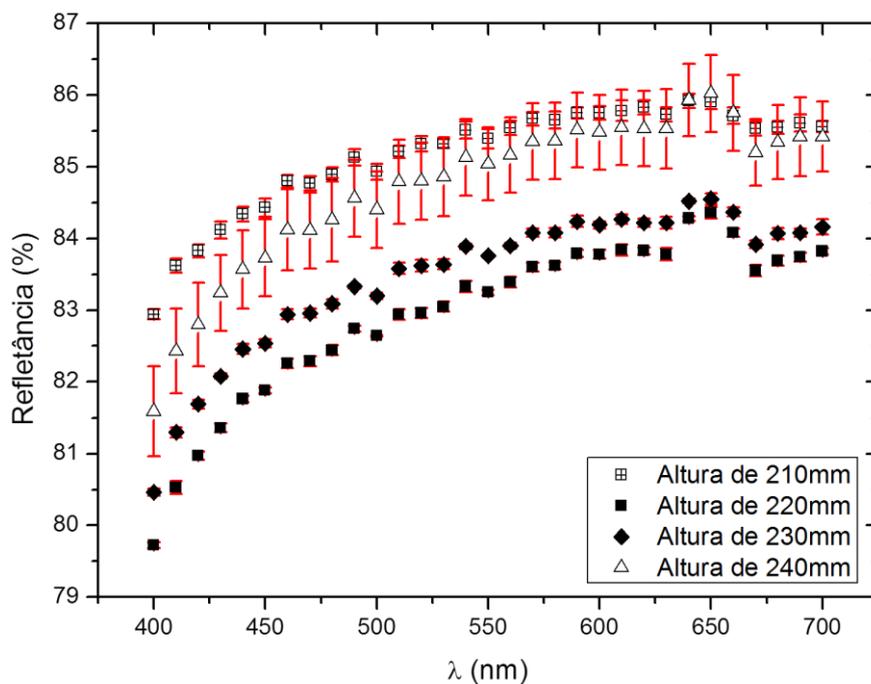


Figura 4.5.16: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

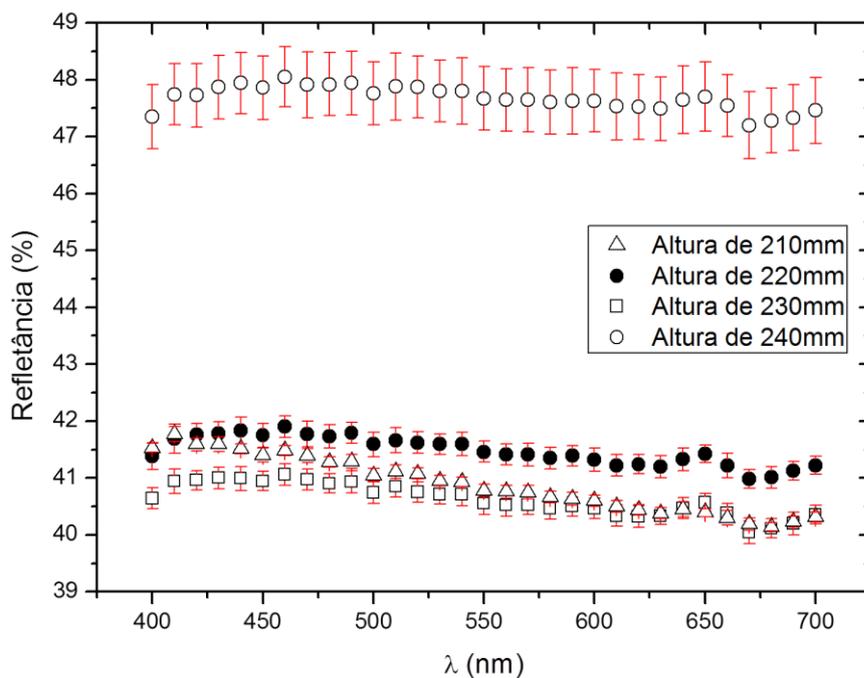


Figura 4.5.17: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

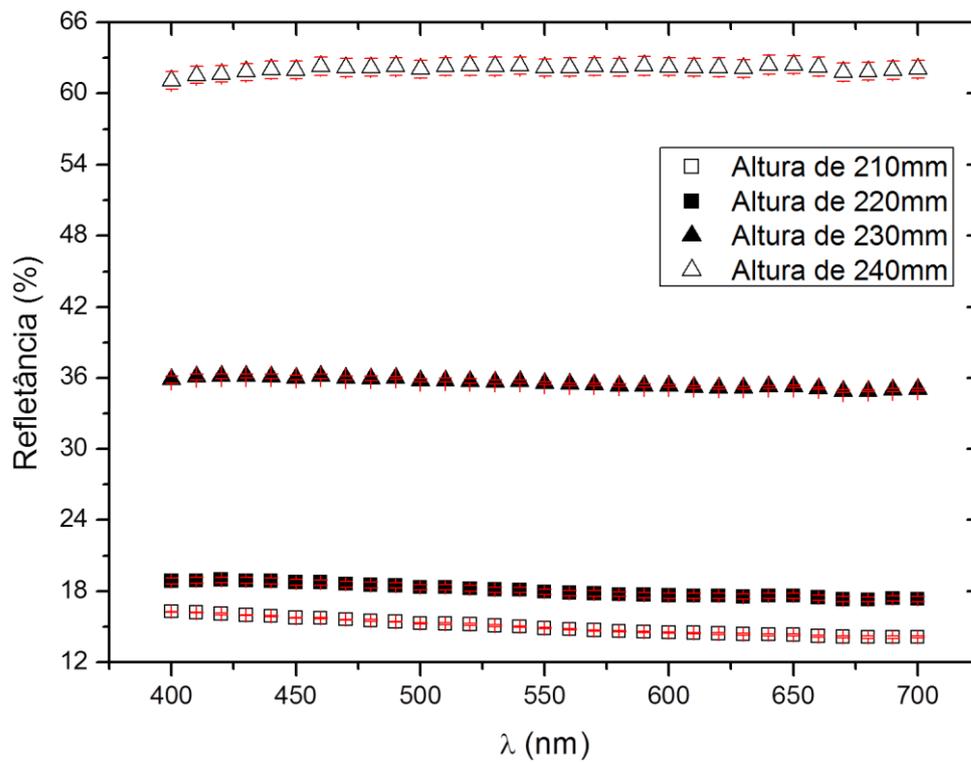


Figura 4.5.18: Variação da refletância com o aumento da altura da lâmina para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD45/11°

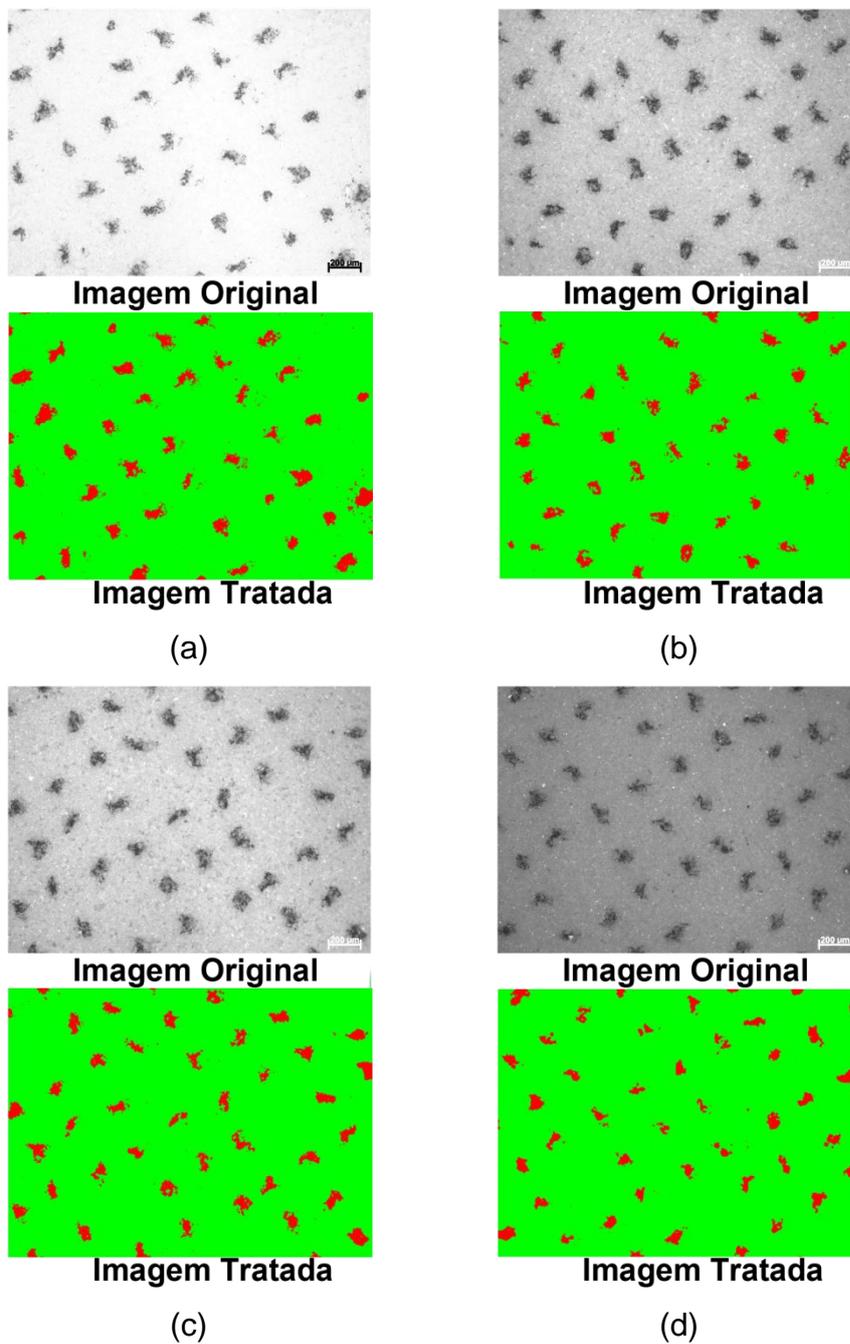


Figura 4.5.19: Área de 5% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°

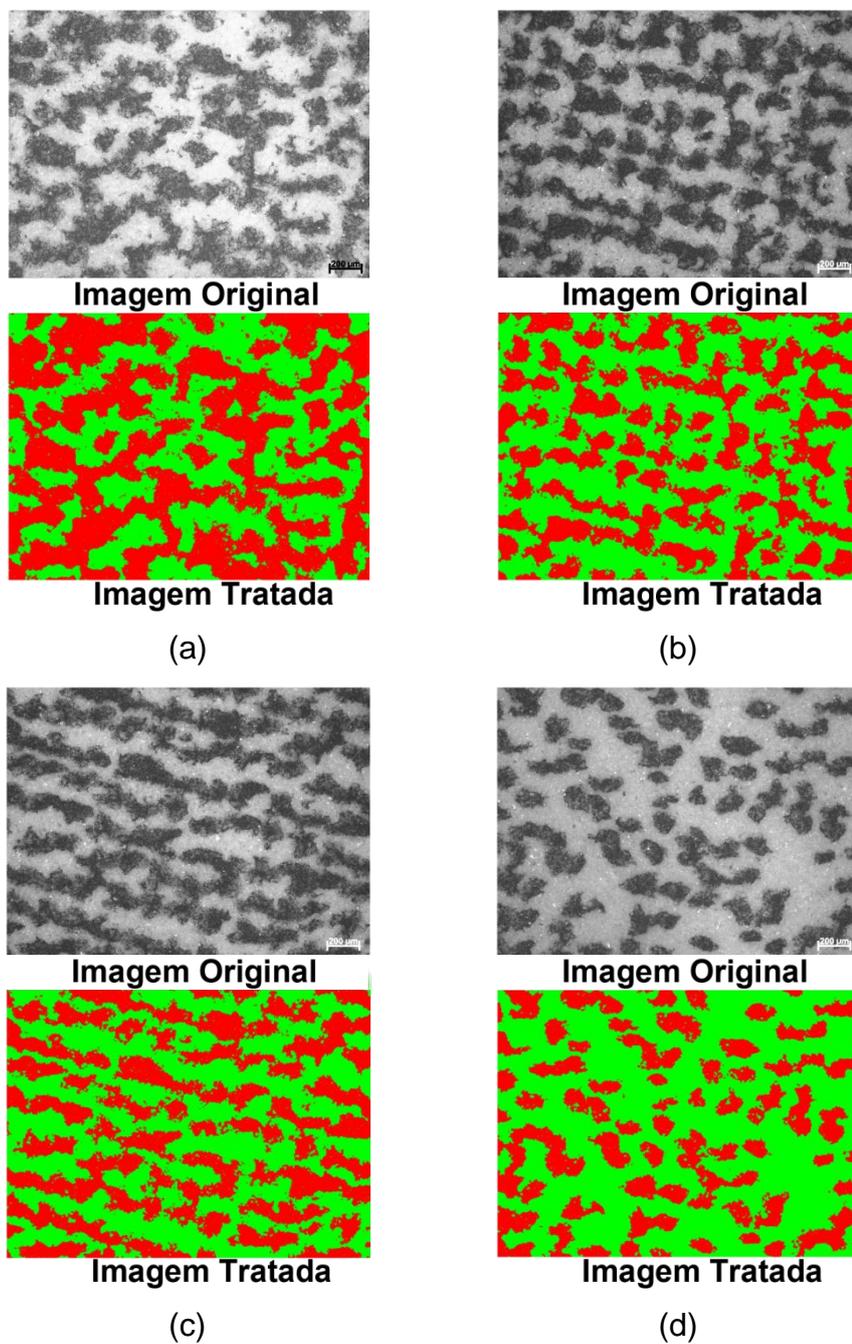


Figura 4.5.20: Área de 25% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°

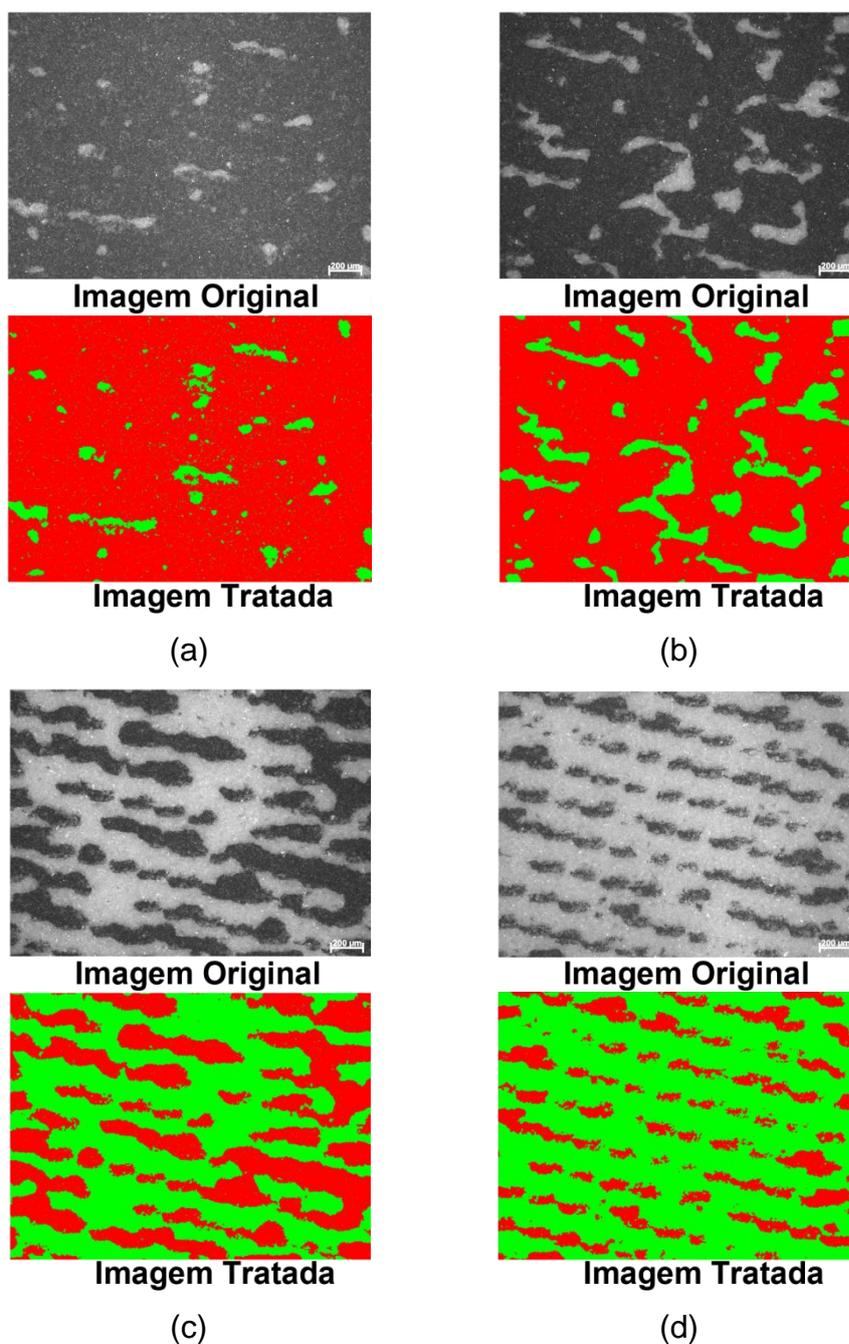


Figura 4.5.21: Área de 85% da escala de cinza para as alturas de (a) 210mm, (b) 220mm, (c) 230mm e (d) 240mm. Gravação MTD 45/11°

Na Tabela 4.5.3 estão agrupados os dados de porcentagem de área coberta após a decoração.

Tabela 4.5.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da altura da lâmina sobre o cilindro. Incisão MTD 45/11°

Altura da lâmina (mm)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
210	6,05	49,33	90,59
220	5,39	43,65	72,67
230	5,21	41,51	48,19
240	4,64	35,78	19,06

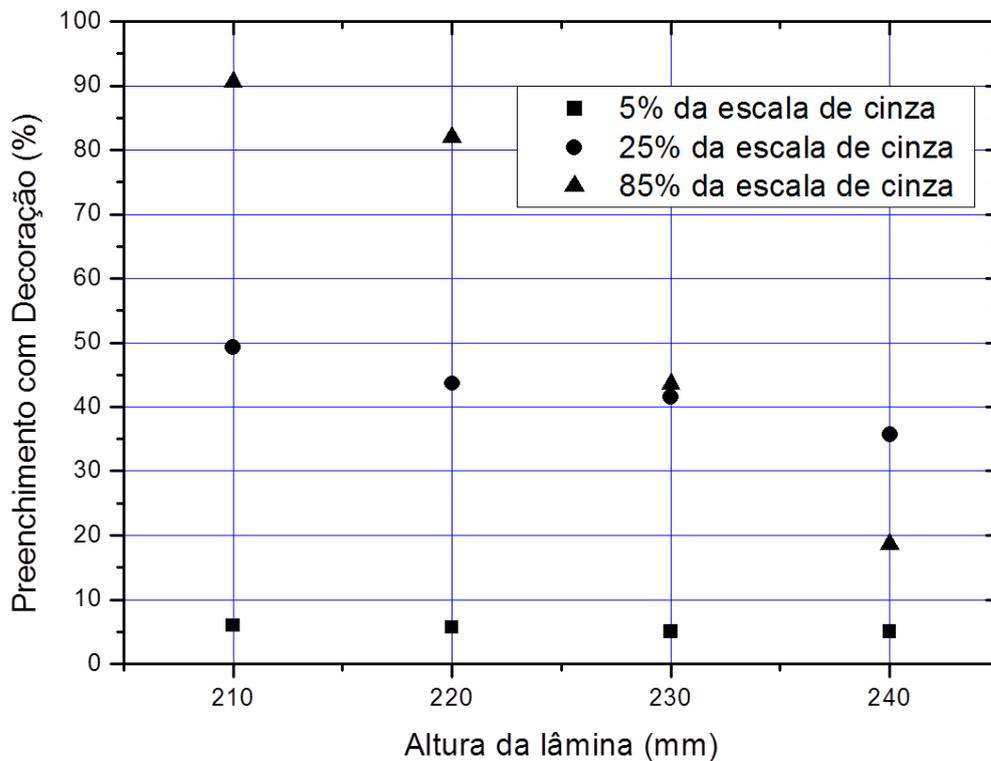


Figura 4.5.22: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as alturas de lâmina de 210; 220; 230 e 240mm

Para os 5% da escala de cinza, a interpretação dos resultados do gráfico da Figura 4.5.16 indica que a partir da altura de 210mm, elevando-se a mesma para 220mm o que se observa é uma diminuição na porcentagem de luz refletida pela amostra, relacionada ao aumento da área recoberta por

decoração, o que não está em acordo com o mostrado na Figura 4.5.22 e nos resultados da Tabela 4.5.3.

O que ocorreu neste caso foi uma diminuição da porcentagem em área recoberta, inconsistente com os resultados de porcentagem de luz refletida.

Em sequente elevação da lâmina para 230mm o que se verifica é o aumento da porcentagem de luz refletida, com uma diminuição da porcentagem em área recoberta (Figura 4.5.22 e Tabela 4.5.3).

Com a elevação final no teste de altura da lâmina, para 240mm; há novamente um aumento em porcentagem de luz refletida e queda na porcentagem em área recoberta.

Para as amostras decoradas com 25% de preenchimento da escala de cinza, nos resultados mostrados na Figura 4.5.17, as variações entre a porcentagem de luz refletida com a elevação da altura da lâmina não são significativas, para este tipo de incisão em tons médios, até que se atinja a altura de 240mm, a qual leva a um considerável aumento na refletância. Embora haja uma diferença de 5,63% de 21 para 230mm de altura e de 2,14% entre 220 e 230mm.

Dos resultados da Figura 4.5.22 e Tabela 4.5.3 observa-se que há uma diminuição crescente na porcentagem em área recoberta, a qual de acordo com a análise apresentada no parágrafo anterior; não segue o padrão esperado de aumento da porcentagem de luz refletida com o diminuição da porcentagem em área recoberta por decoração.

Para as amostras decoradas com 85% de preenchimento da escala de cinza, os resultados obtidos através dos ensaios de espectrofotometria e de análise de imagens das micrografias óticas, seguem a hipótese inicial conhecida de que ao se elevar a altura da lâmina de decoração, esta preencheria menos os alvéolos incididos a laser no cilindro de silicone, o que levaria a uma diminuição na porcentagem em área recoberta por tinta, acarretando um aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície de decoração.

A Tabela 4.5.4 resume os resultados gerais obtidos neste ensaio.

Tabela 4.5.4: Resumo dos resultados obtidos em variação da altura da lâmina sobre o cilindro em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	↑ <i>altura da lâmina</i>		
25%	↓ <i>porcentagem em área recoberta</i>		
85%	↑ <i>porcentagem de luz refletida</i>		

4.6 Ensaios de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro

Devido à geometria de construção dos equipamentos de decoração utilizados neste trabalho, o ângulo da lâmina sobre o cilindro diminui em valor à medida que a lâmina se aproxima da superfície do mesmo.

Nos ensaios de variação do ângulo que a lâmina de aço realiza através do contato com a superfície do cilindro de silicone, um efeito secundário ocorre devido à flexibilidade da lâmina de aço: há um aumento maior na *força* aplicada e em menor escala, um aumento na *área de contato* da lâmina com o cilindro; sendo assim, o que se observa é um aumento na pressão que a lâmina passa a exercer sobre o cilindro.

Na Figura 4.6.1 são mostradas duas situações extremas e oposta. Na figura (a) é mostrada uma fotografia com o ângulo inicial testado de $-3,0$; nesta configuração a lâmina toca o cilindro com uma mínima área de contato (com o fio) a qual é suficiente para realizar a limpeza completa da superfície do cilindro.

Na imagem (b) é mostrada a angulação final de teste ($-5,0$) onde pode-se ver a curvatura da lâmina de aço. Neste caso, há um aumento na área de contato entre a lâmina e o cilindro e dois efeitos principais são decorrentes desta configuração:

1. Aumento da pressão que o conjunto de lâminas exerce sobre a superfície do cilindro

2. Falha na limpeza da superfície do cilindro com a formação de uma película de tinta ao longo de toda a superfície.

Estes efeitos trazem prejuízos na qualidade da decoração independente do tipo de incisão utilizado, variando, porém em intensidade entre as incisões e também entre as diversas porcentagens de preenchimento da área de incisão utilizadas, relativas às porcentagens da escala de cinza (5%, 25% e 85%).

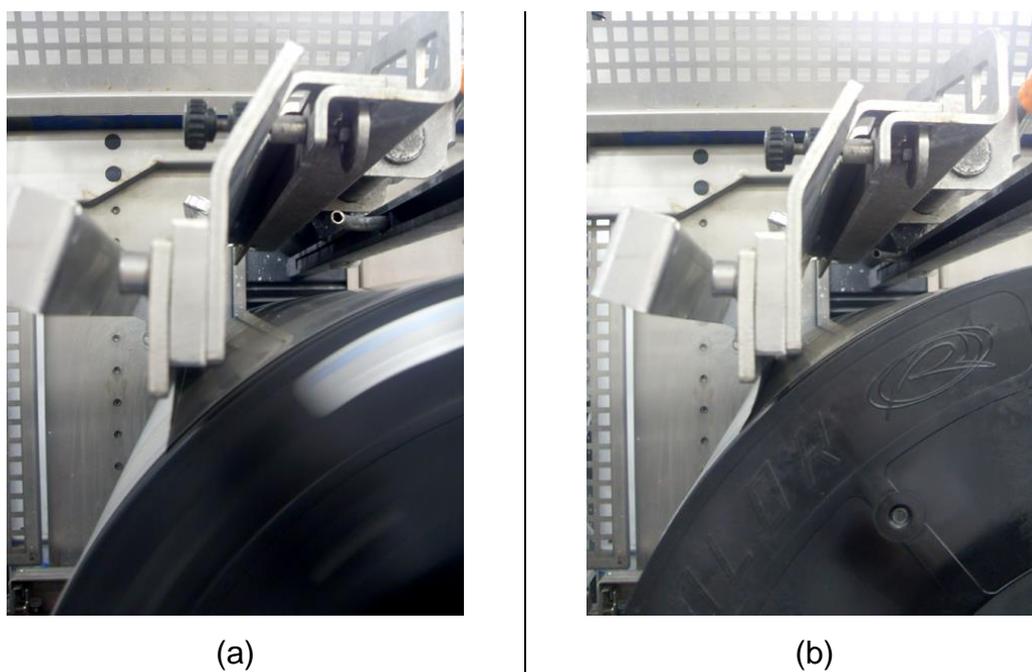


Figura 4.6.1: A angulação da lâmina (a) aproximação mínima e (b) aproximação máxima ensaiada.

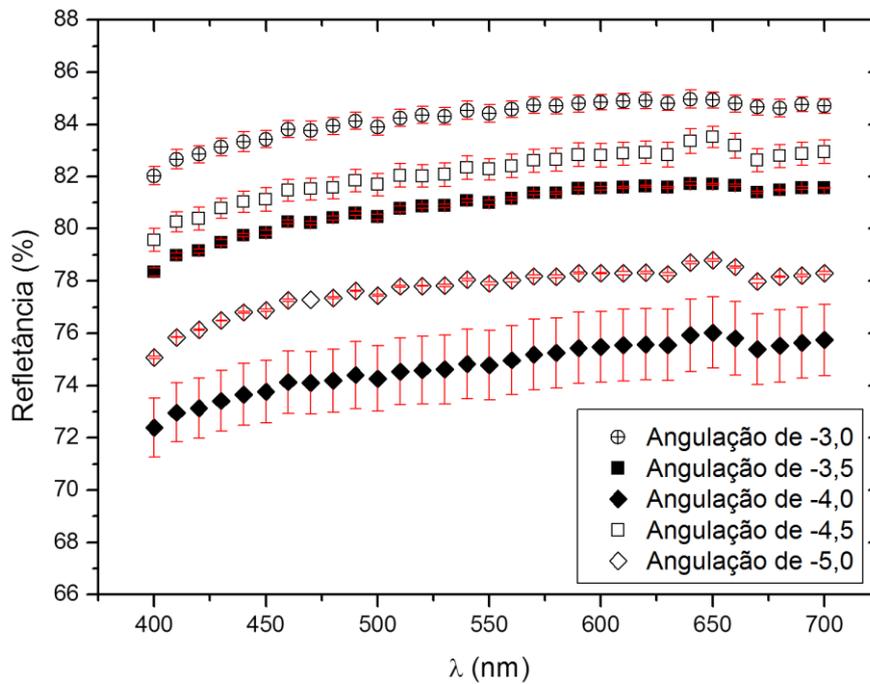


Figura 4.6.2: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

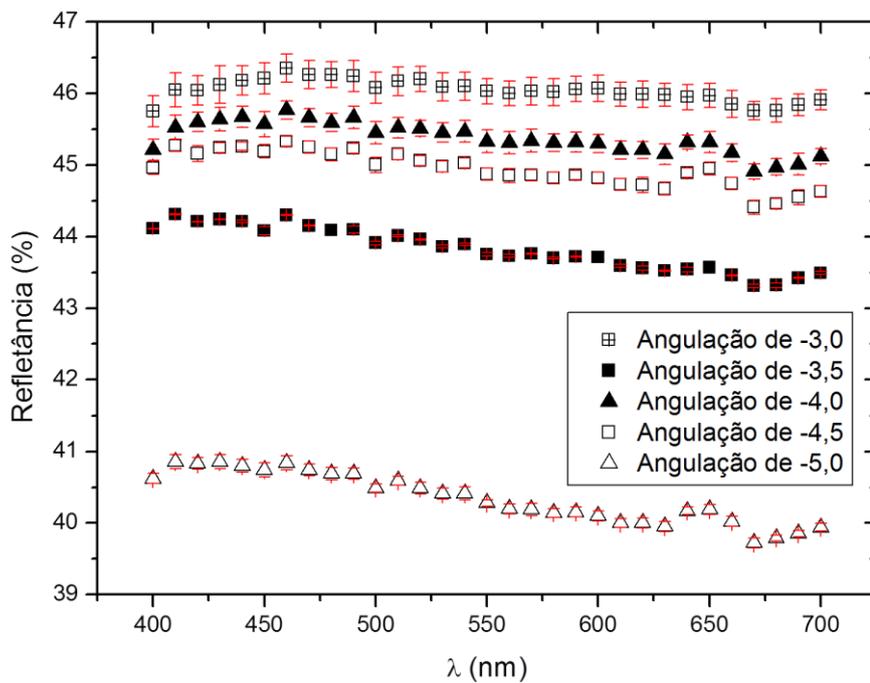


Figura 4.6.3: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

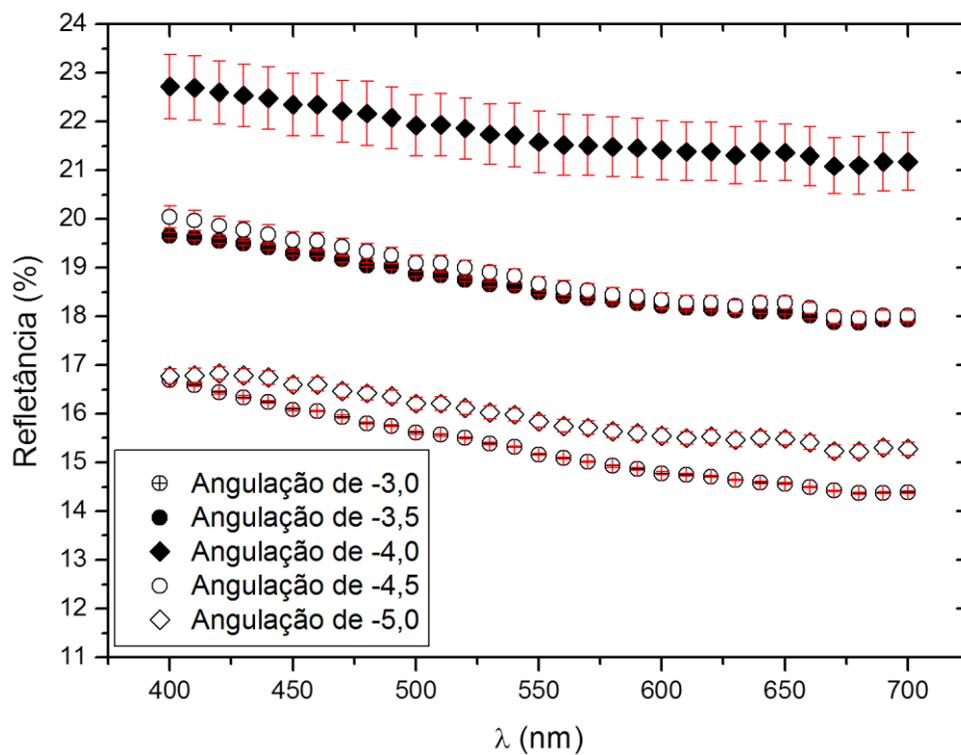


Figura 4.6.4: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (ângulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

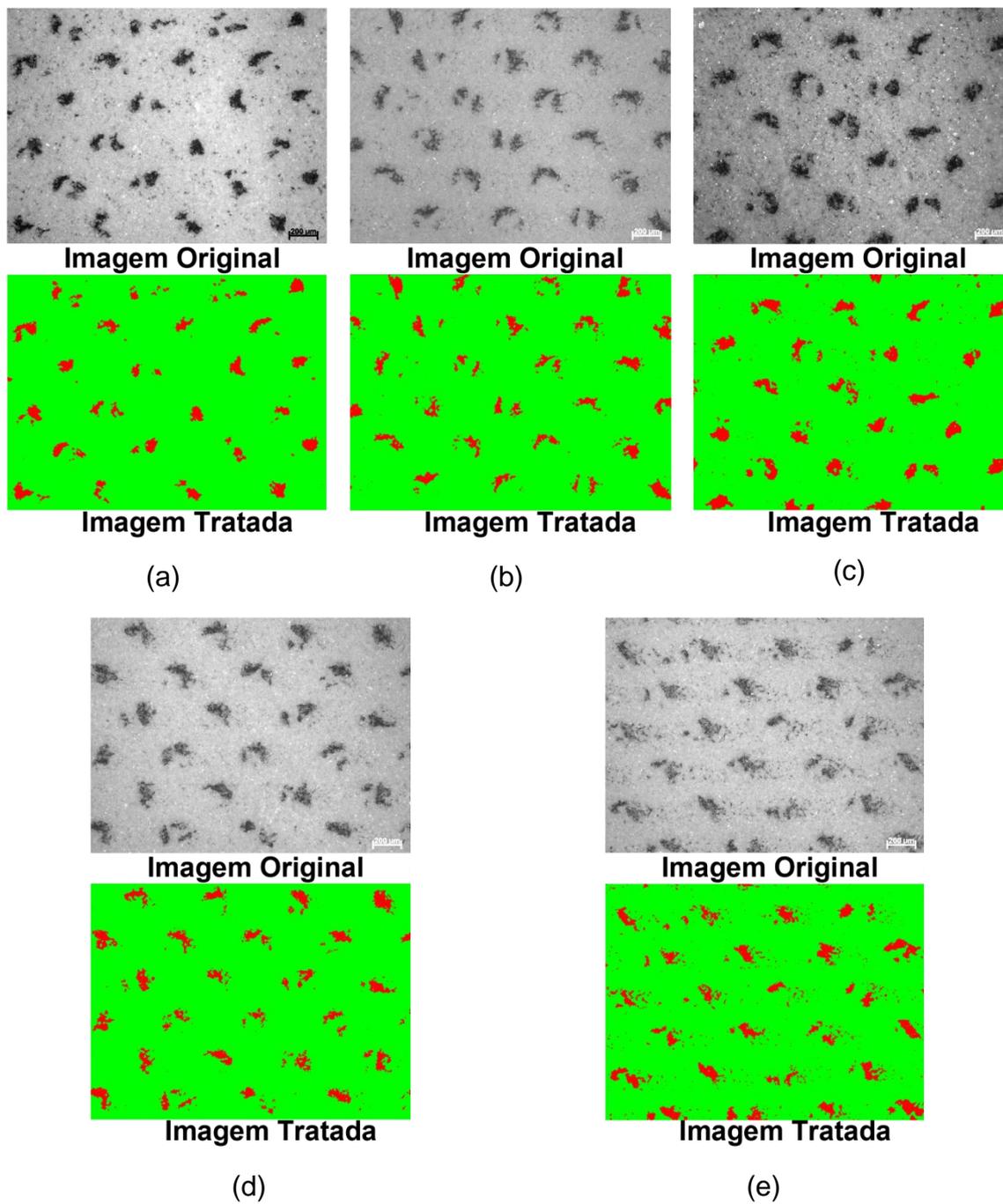


Figura 4.6.5: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°

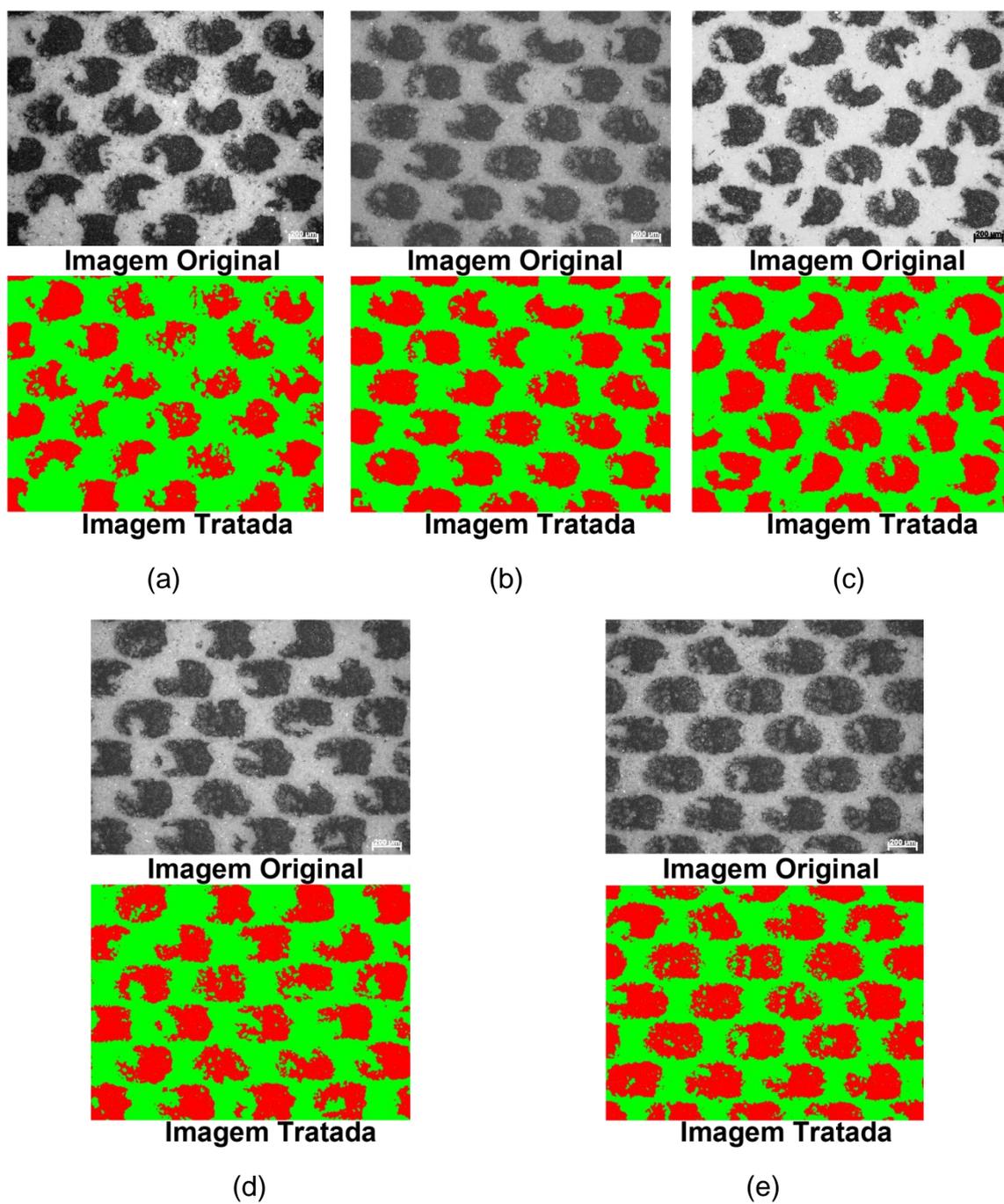


Figura 4.6.6: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°

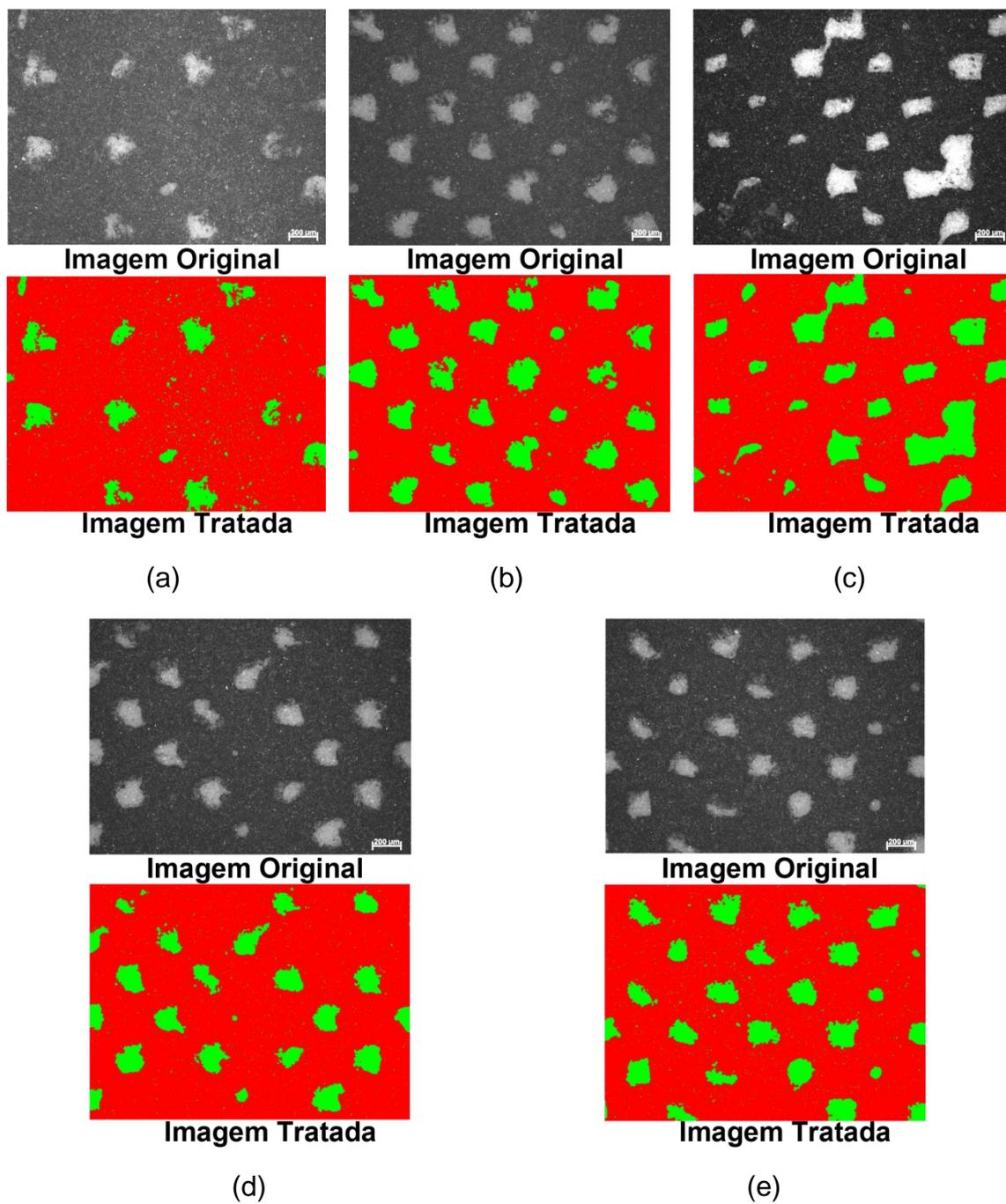


Figura 4.6.7: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação 0,4/45°

Tabela 4.6.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão 0,4/45°

Angulação da lâmina	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
-3,0	4,84	41,88	84,29
-3,5	4,61	43,25	85,14
-4,0	5,50	41,51	83,52
-4,5	5,13	42,56	85,16
-5,0	7,67	45,49	89,57

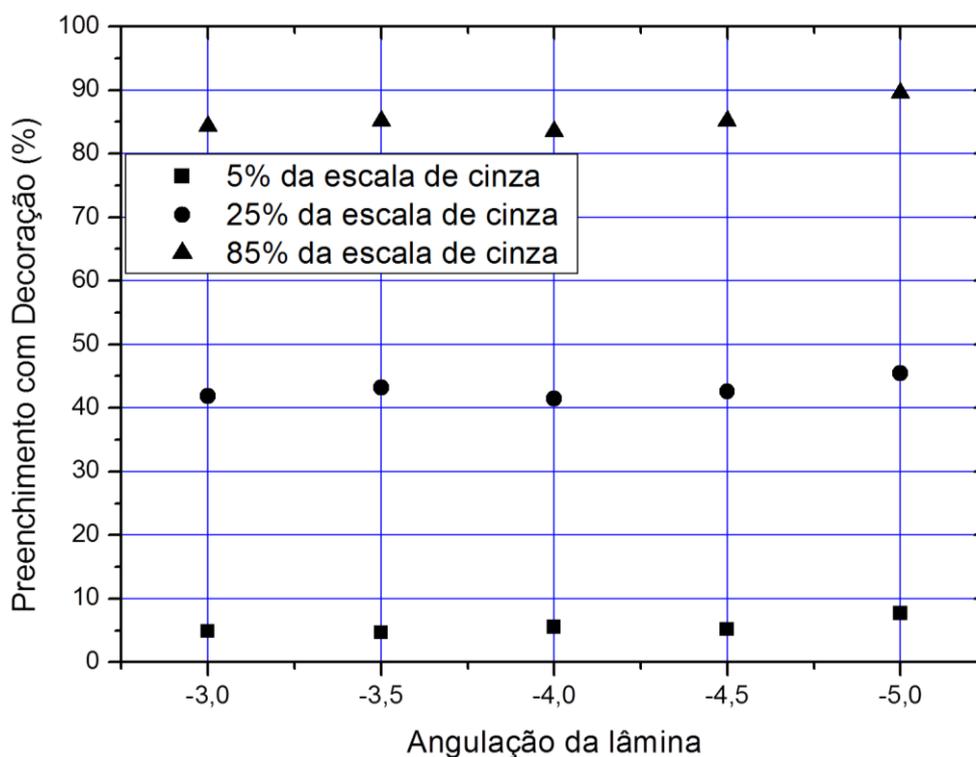


Figura 4.6.8: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão 0,4/45°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0

Através da Figura 4.6.2 pode-se observar que, inicialmente; incrementando-se a aproximação da lâmina ao cilindro há uma diminuição da

porcentagem de luz refletida pela peça, isto seria equivalente a dizer que a porcentagem em área preenchida estaria aumentando (superfície refletindo menos) até a angulação de $-4,0$; ou seja, o incremento na angulação estaria auxiliando a entrada de tinta nos alvéolos e conseqüentemente, promovendo um melhor preenchimento destes o que levou a um maior volume de tinta possível de ser descarregado sobre a peça.

Comparando esta hipótese com os dados da Tabela 4.6.1 e da Figura 4.6.8, os resultados são parcialmente congruentes, visto que no incremento inicial (de $-3,0$ para $-3,5$) ocorre uma leve diminuição na porcentagem em área preenchida e em seguida (de $-3,5$ para $-4,0$) um incremento na área decorada.

Uma leve influência do fenômeno de formação da película de tinta sobre a superfície do cilindro começou a se fazer presente à partir da angulação de $-4,0$, intensificando-se até o ângulo de $-5,0$.

Neste ponto, retornando à análise dos dados, o excesso de pressão promove a deformação acentuada do orifício de entrada de tinta para os alvéolos, o que marca a diminuição porcentagem em área decorada (Figura 4.6.8 e Tabela 4.6.1) e a conseqüente elevação na porcentagem de luz refletida (da Figura 4.6.2) para a angulação de $-4,5$.

Por fim, o aumento final em porcentagem de área decorada e a diminuição na porcentagem de luz refletida foram causados pela tinta excedente resultante da falta de limpeza da superfície de silicone, o que causou um escurecimento geral da superfície de esmalte.

Os resultados para as áreas decoradas com 25% de preenchimento da escala de cinza seguem comportamento similar ao que foi explanado anteriormente para as amostras em tons baixos da escala de cinza.

Através da Figura 4.6.3 pode-se notar que a angulação de $-3,5$ marca o ponto onde a partir do qual a pressão exercida pela lâmina passa a ser excessiva, resultando em uma diminuição do preenchimento dos alvéolos e conseqüentemente diminuindo a descarga de tinta e aumentando a porcentagem de luz refletida.

A partir deste ângulo, a influência do manchamento da superfície da peça cerâmica pela deposição indesejada de tinta resultante da dificuldade da

lâmina em limpar o cilindro é vista como a diminuição da porcentagem de luz refletida. Comportamento similar pode ser visto através dos dados da Figura 4.6.8 e da Tabela 4.3.1.

Para as regiões de tons altos da escala de cinza, como os das amostras decoradas com 85% de preenchimento, o ponto crítico na pressão inicia-se ainda mais cedo, à partir do ângulo inicial testado. Pode ver este resultado através do gráfico da Figura 4.6.4, onde a porcentagem de luz refletida aumenta com a diminuição da quantidade de decoração na peça cerâmica (Figura 4.6.8 e Tabela 4.6.1) até o ponto onde a falha de limpeza da superfície de silicone se intensifica, auxiliando no escurecimento do esmalte (diminuição da porcentagem de luz refletida na Figura 4.6.4) e aumento na porcentagem de decoração transferida ao esmalte cerâmico.

A seguir, na Figura 4.6.9, Figura 4.6.10 e Figura 4.6.11, são apresentados os resultados obtidos através do ensaio de espectrofotometria para as amostras com incisão MTD 40/22° em 5%, 25% e 85% de preenchimento da escala de cinza respectivamente.

A Figura 4.6.12, Figura 4.6.13 e Figura 4.6.14 mostram as micrografias das amostras decoradas com 5%, 25% e 85% da escala de cinza respectivamente.

Na Tabela 4.6.2 são resumidos os valores médios de porcentagem de preenchimento da superfície da peça com decoração. Estes valores são apresentados também no gráfico da Figura 4.6.15

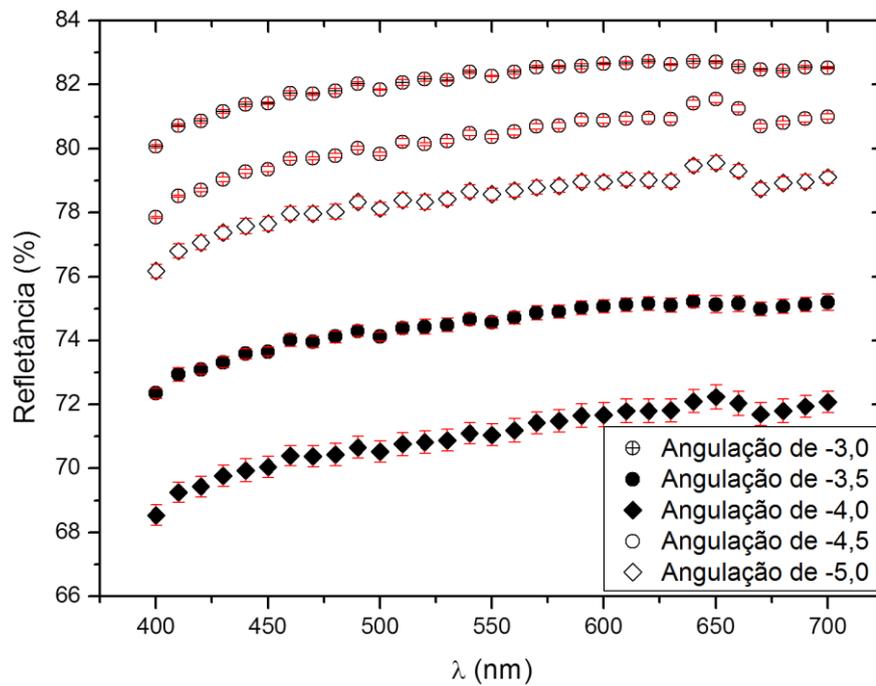


Figura 4.6.9: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

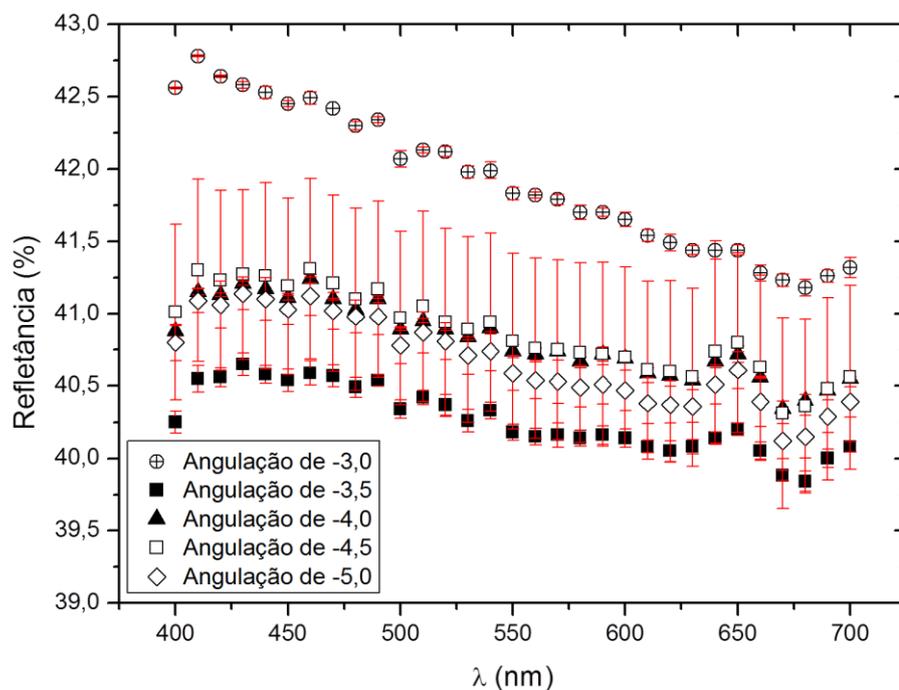


Figura 4.6.10: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

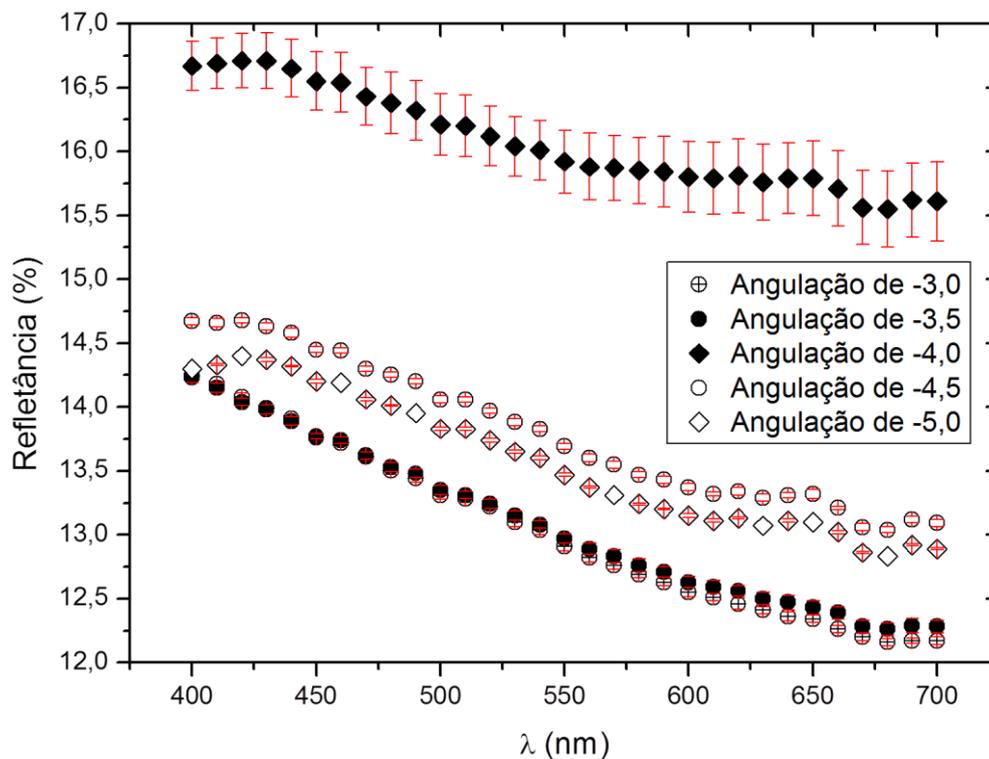


Figura 4.6.11: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

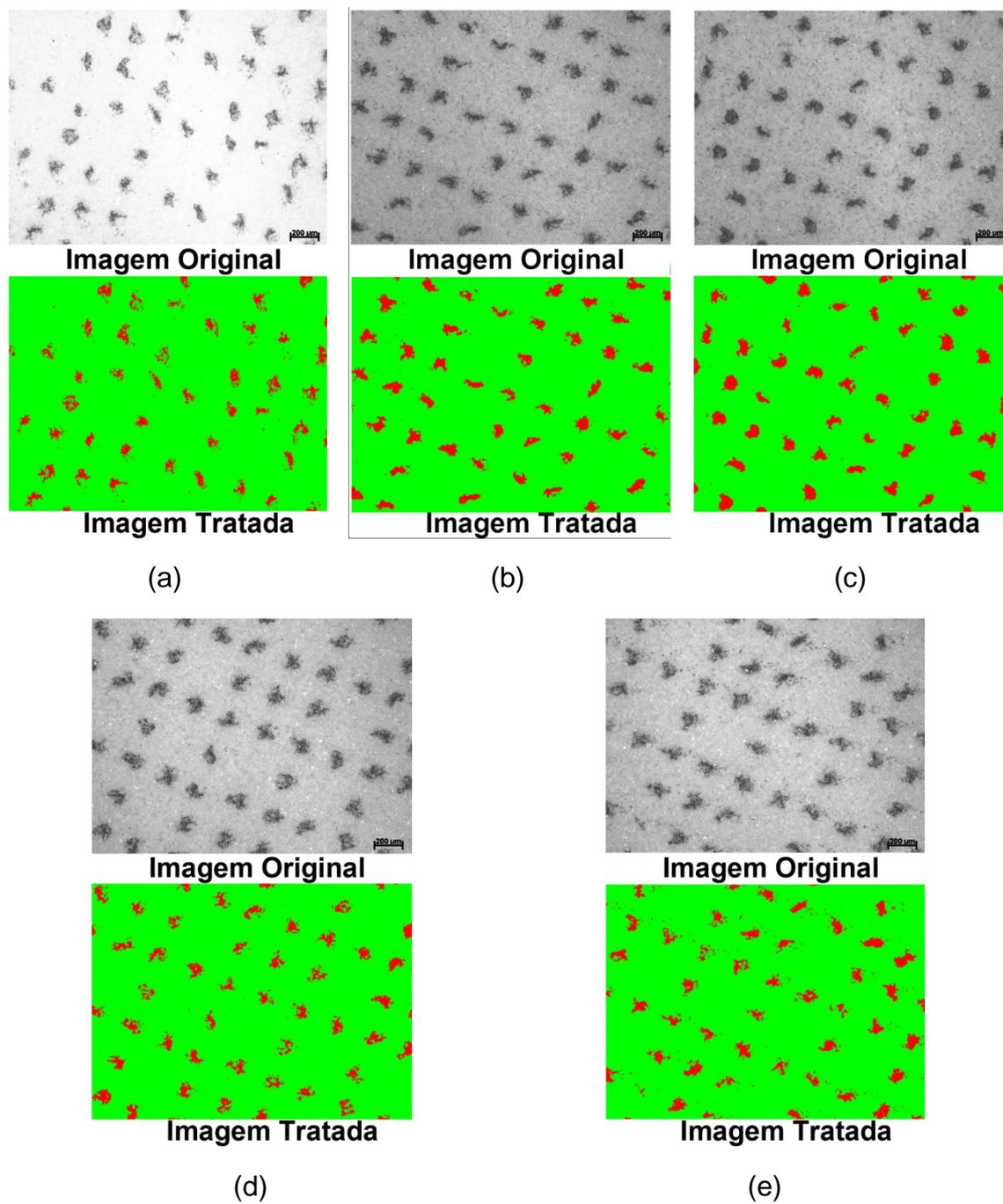


Figura 4.6.12: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°

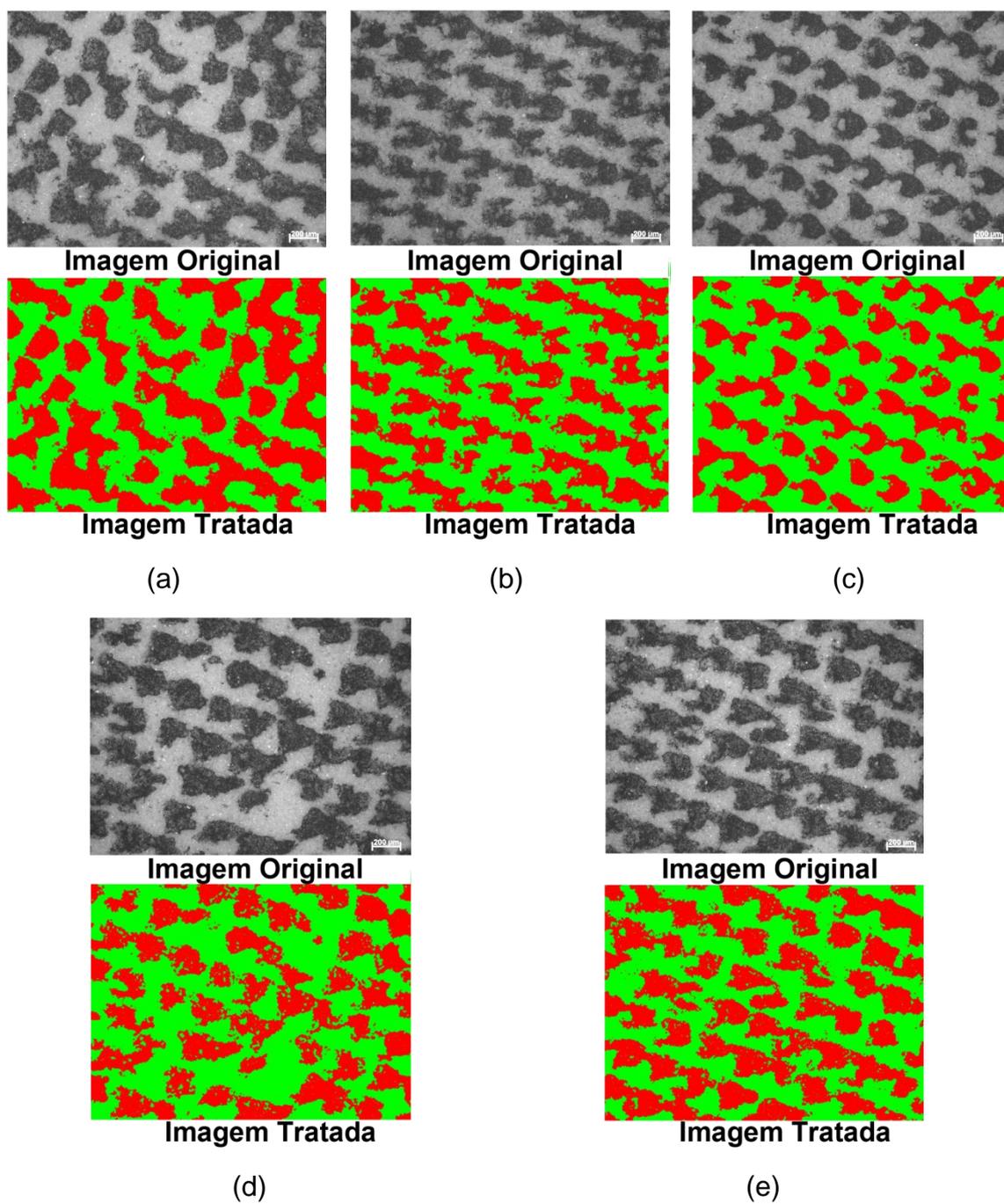


Figura 4.6.13: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°

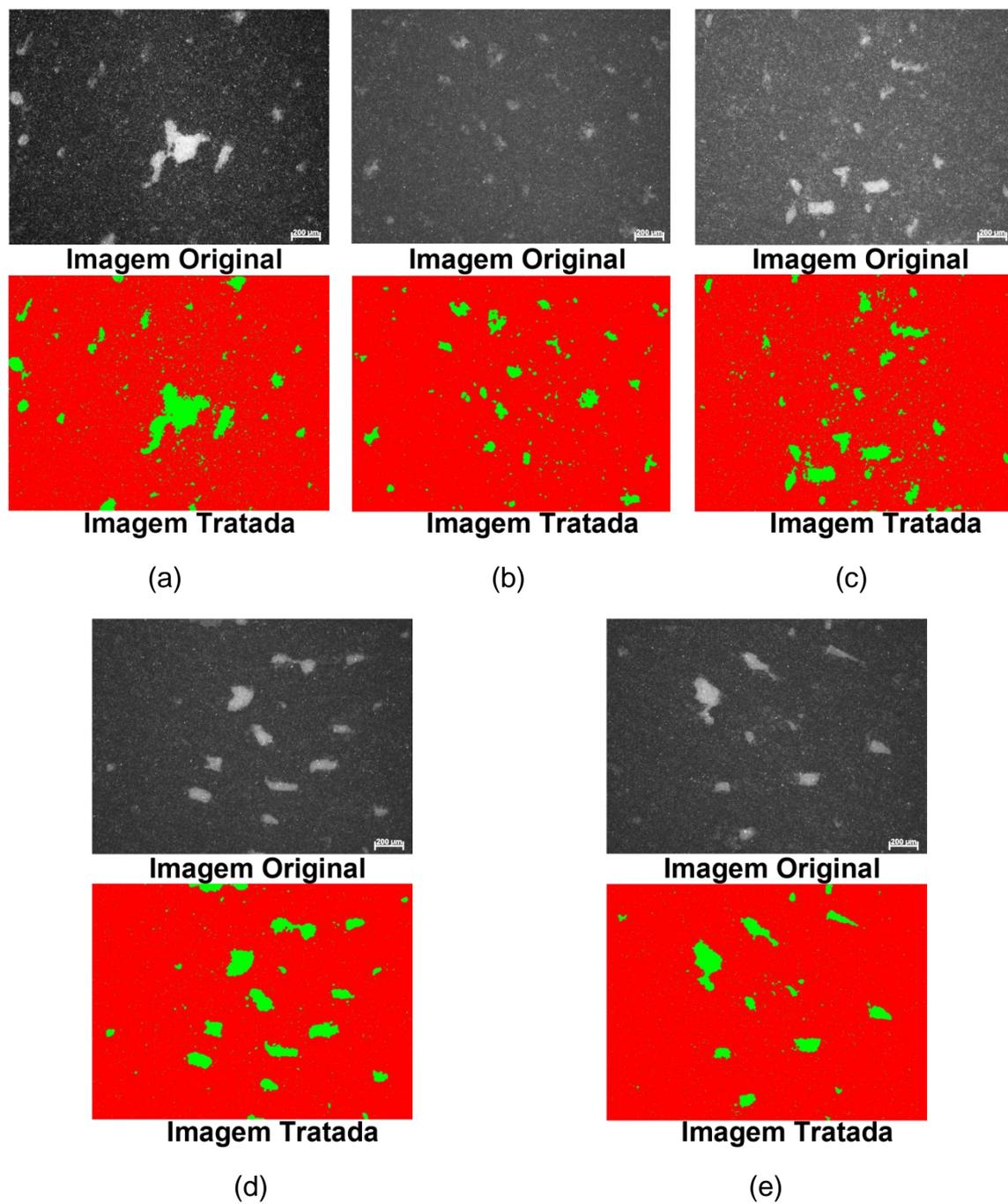


Figura 4.6.14: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 40/22°

Tabela 4.6.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão MTD 40/22°

Angulação da lâmina	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
-3,0	5,10	49,82	93,42
-3,5	6,29	43,79	96,02
-4,0	6,82	40,87	88,46
-4,5	6,51	42,85	94,68
-5,0	7,36	48,09	97,13

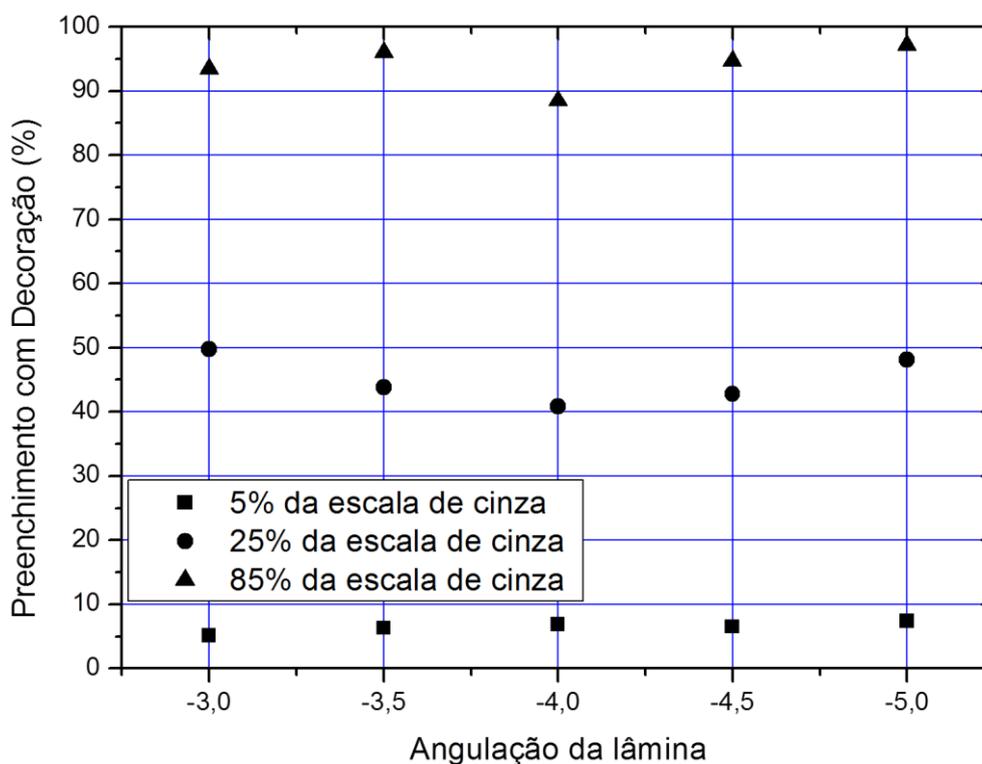


Figura 4.6.15: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0

Também para a incisão MTD 40/22° as variações de refletância e porcentagem de área decorada foram análogas ao comentado para as amostras da incisão 0,4/45°. Na Figura 4.6.9 as curvas de porcentagem de luz

refletida com o aumento da pressão exercida pela lâmina sobre o cilindro (diminuição do ângulo) diminuem em valor, até o ângulo de $-4,0$, onde há uma mudança abrupta de valores, aumentando a porcentagem de luz refletida (ângulo de $-4,5$) seguido de uma nova queda.

Este comportamento é explicado analogamente ao que foi dito para a incisão $0,4/45^\circ$, com relação ao aumento de pressão ajudar o carregamento em tons baixos da escala de cinza (orifícios menores); a influência da pressão excessiva que causa o fechamento dos alvéolos (pela deformação do silicone) a partir do ângulo de $-4,0$ e a nova diminuição dos valores de reflexão causados pelo escurecimento da superfície do esmalte devido à falta de limpeza gerada pela lâmina em aço.

Comparando esta análise aos resultados mostrados na Tabela 4.6.2 e no gráfico da Figura 4.6.15, a interpretação das variações é semelhante.

Na faixa de tons médios (25% da escala de cinza), dos resultados apresentados no gráfico da Figura 4.6.10 pode-se verificar que inicialmente há uma diminuição na porcentagem de luz refletida pelas amostras (do ângulo de $-3,0$ para $-3,5$), onde aumento da pressão favoreceria o carregamento dos alvéolos, porém pelos resultados mostrados na Tabela 4.6.2 e na Figura 4.6.15, nesta transição de ângulos há uma diminuição da porcentagem média de área decorada.

Em seguida é ultrapassado o limite de pressão (ângulo de $-4,0$), o que causa o aumento na reflexão da luz pela superfície esmaltada, neste caso, observa-se pela Tabela 4.6.2 uma diminuição da quantidade de tinta transferida para as amostras decoradas. A partir deste ponto, inicia-se a influência do defeito de decoração ocasionado pelo excesso de pressão da lâmina (escurecimento geral a superfície pela deposição de tinta proveniente da falha na limpeza do silicone), verificado pelo aumento em área decorada no gráfico da Figura 4.6.15.

Para a incisão MTD $40/22^\circ$ nos tons mais altos da escala de cinza (amostras com 85%), a variação inicial de ângulo (de $-3,0$ a $-3,5$) não é significativa para a variação na porcentagem de luz refletida, embora haja um aumento de 2,6% em superfície decorada. Ao se elevar a pressão da lâmina

(ângulo de $-4,0$), observa-se que há um aumento considerável na reflexão da luz gerada pela superfície do esmalte, o que é confirmado pela queda na porcentagem de decoração apresentada na Tabela 4.5.2.

Novamente, a partir do ângulo de $-4,0$ inicia-se a dificuldade da lâmina em realizar a limpeza perfeita da superfície do silicone, o que resulta na diminuição dos valores de porcentagem de luz refletida pelas amostras e aumento na porcentagem de área recoberta pela decoração.

Na Figura 4.6.16, 4.6.17 e 4.6.18 são apresentados os gráficos com os resultados das análises de espectrofotometria para as amostras decoradas com 5%, 25% e 85% de preenchimento da escala de cinza, respectivamente.

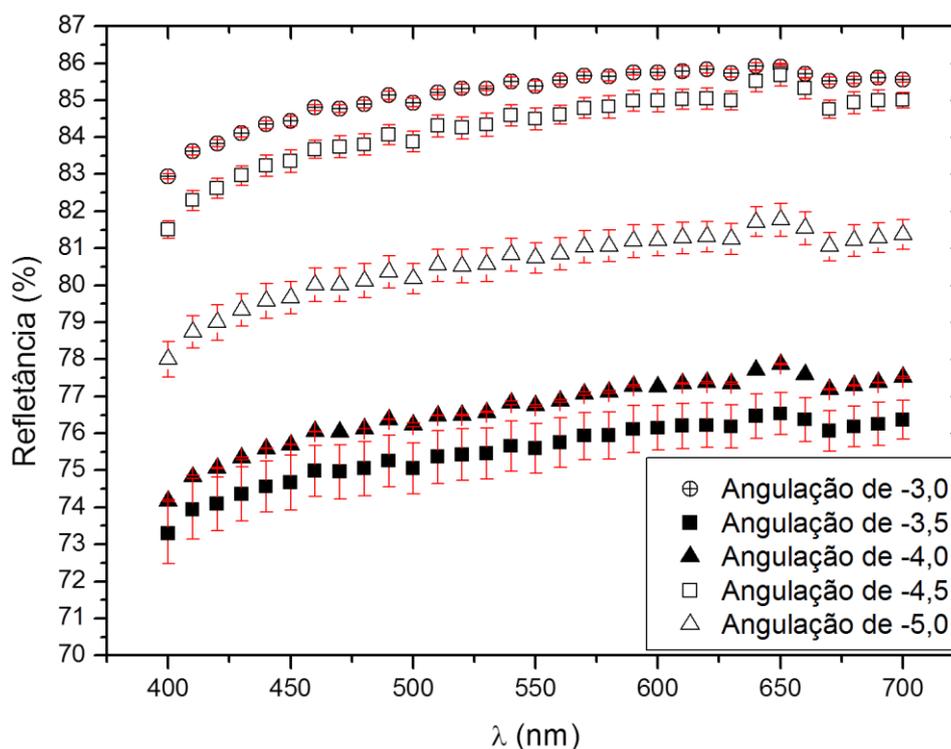


Figura 4.6.16: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

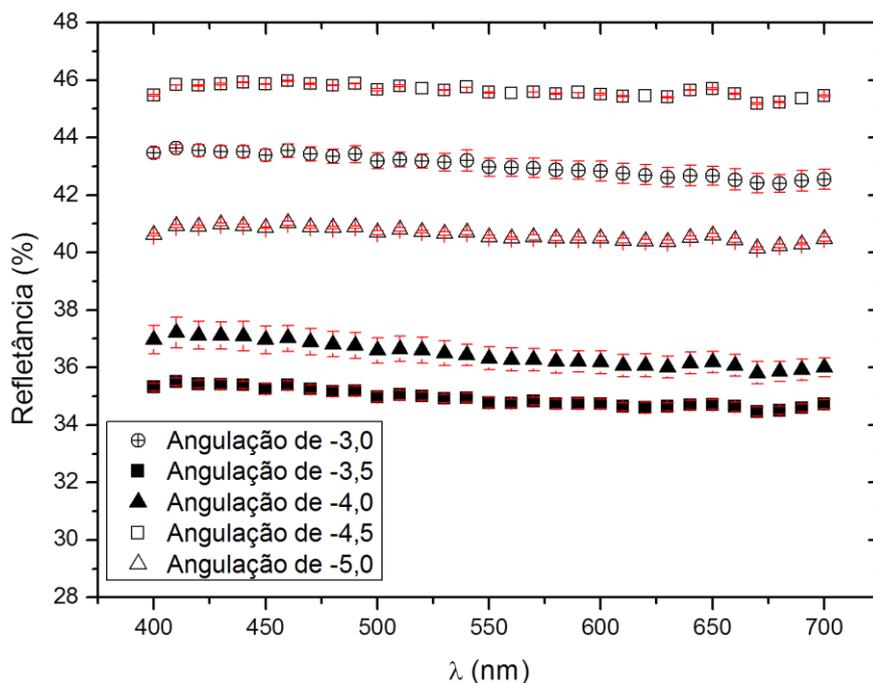


Figura 4.6.17: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

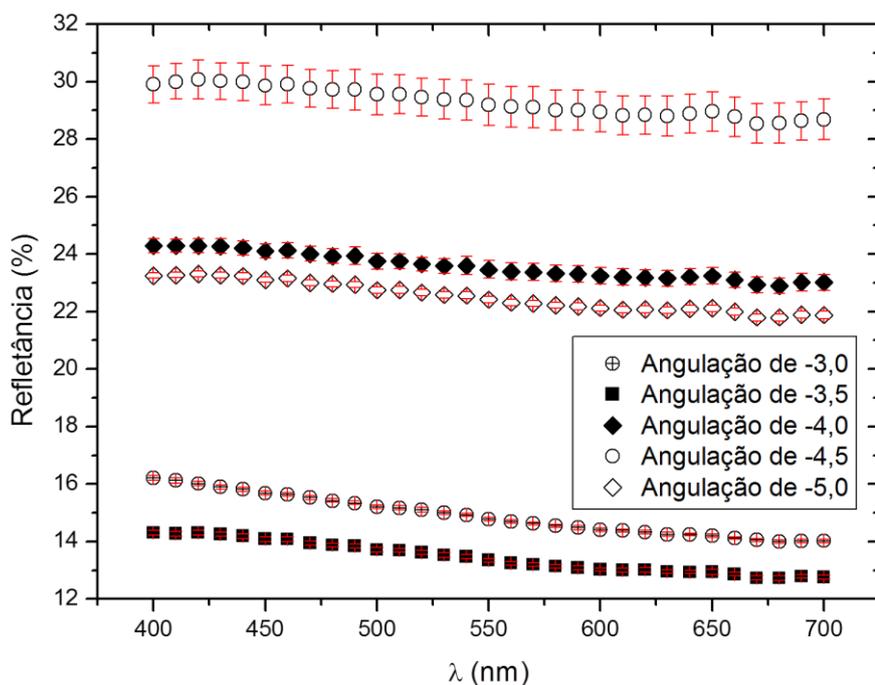


Figura 4.6.18: Variação da refletância com o aumento da pressão da lâmina (angulação) sobre o cilindro para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

Em seguida na Figura 4.6.19, 4.6.20 e 4.6.21 são mostradas as micrografias e as imagens após tratamento computacional para aquisição da porcentagem em área recoberta pela decoração.

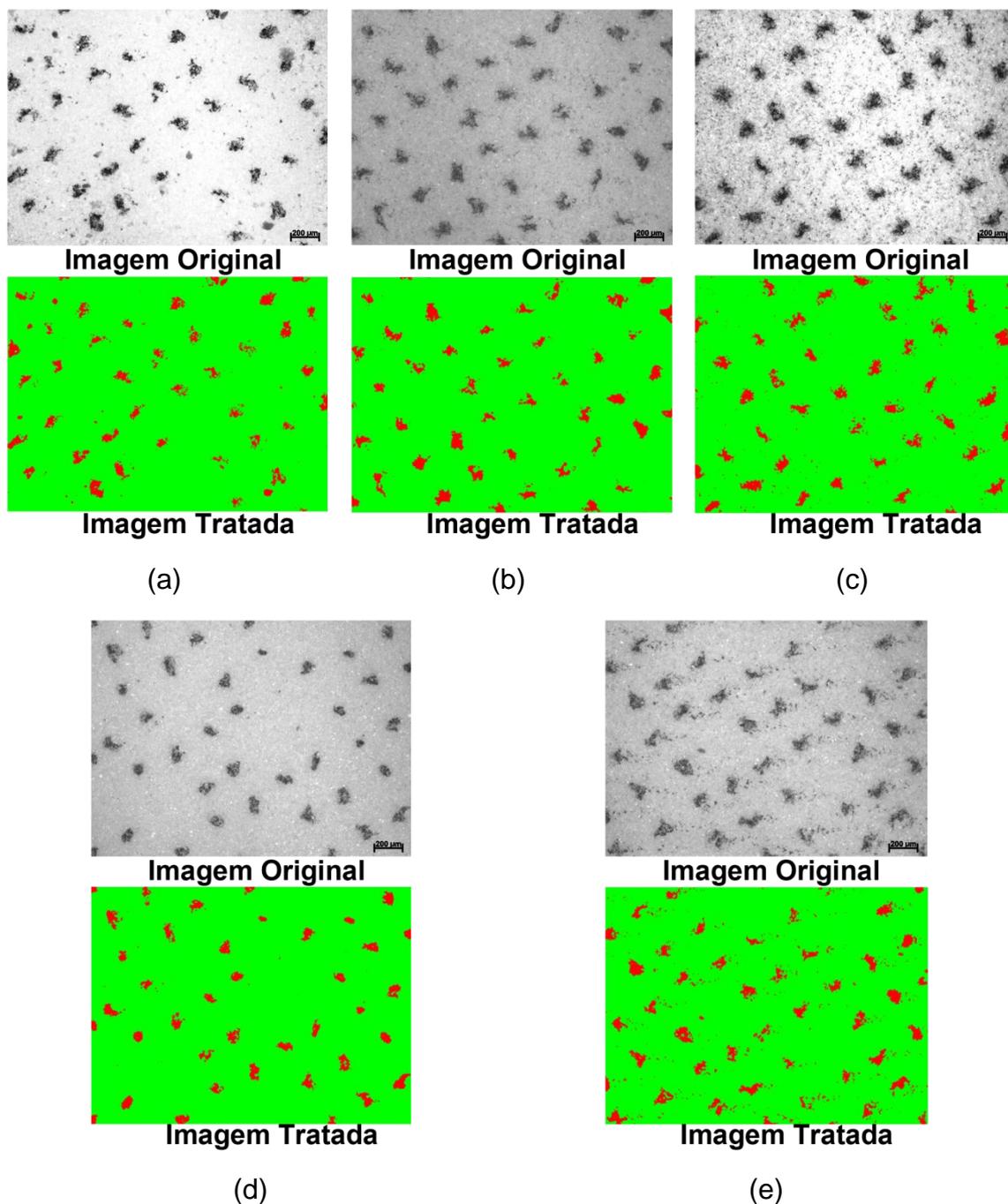


Figura 4.6.19: Área de 5% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°

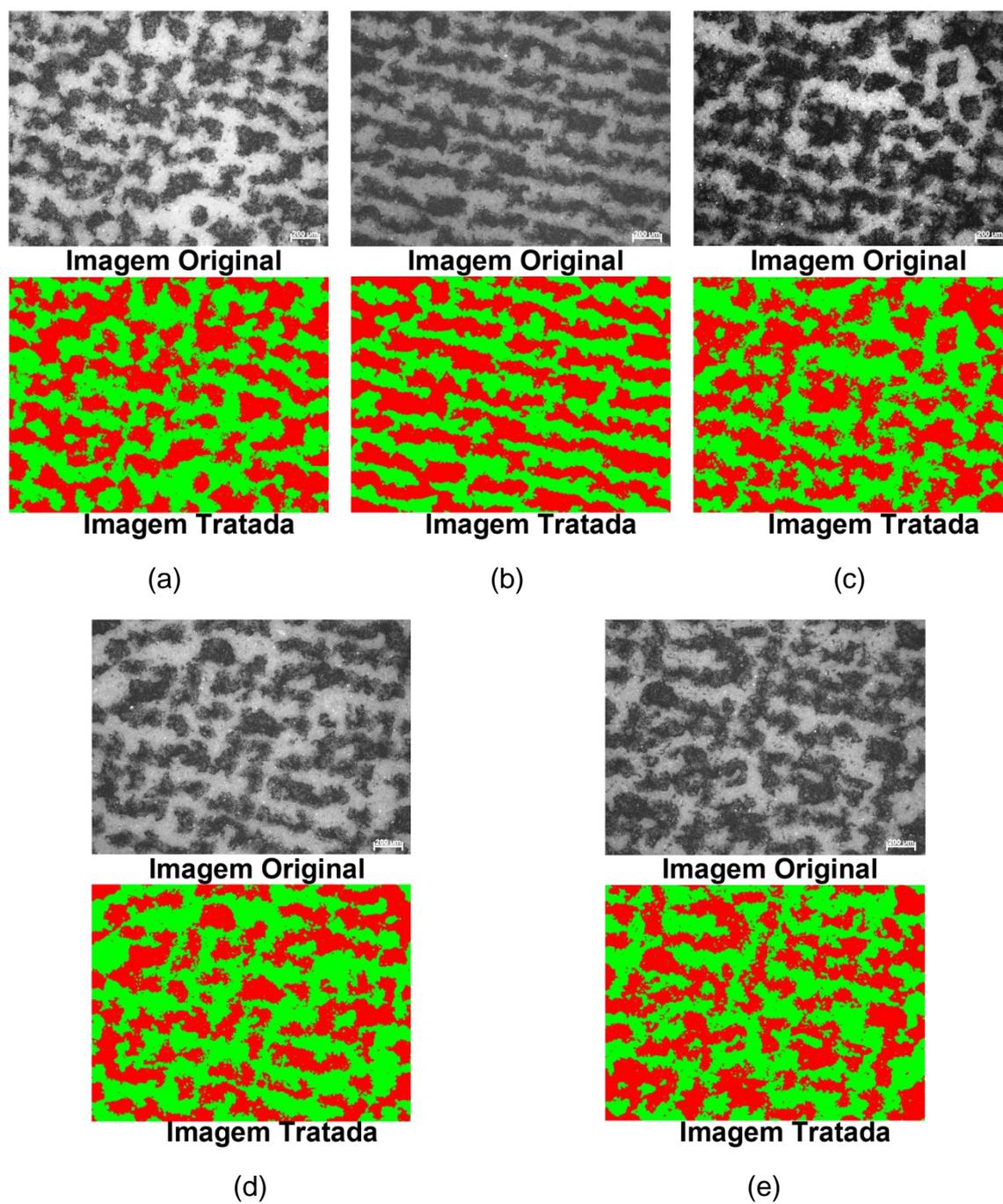


Figura 4.6.20: Área de 25% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°

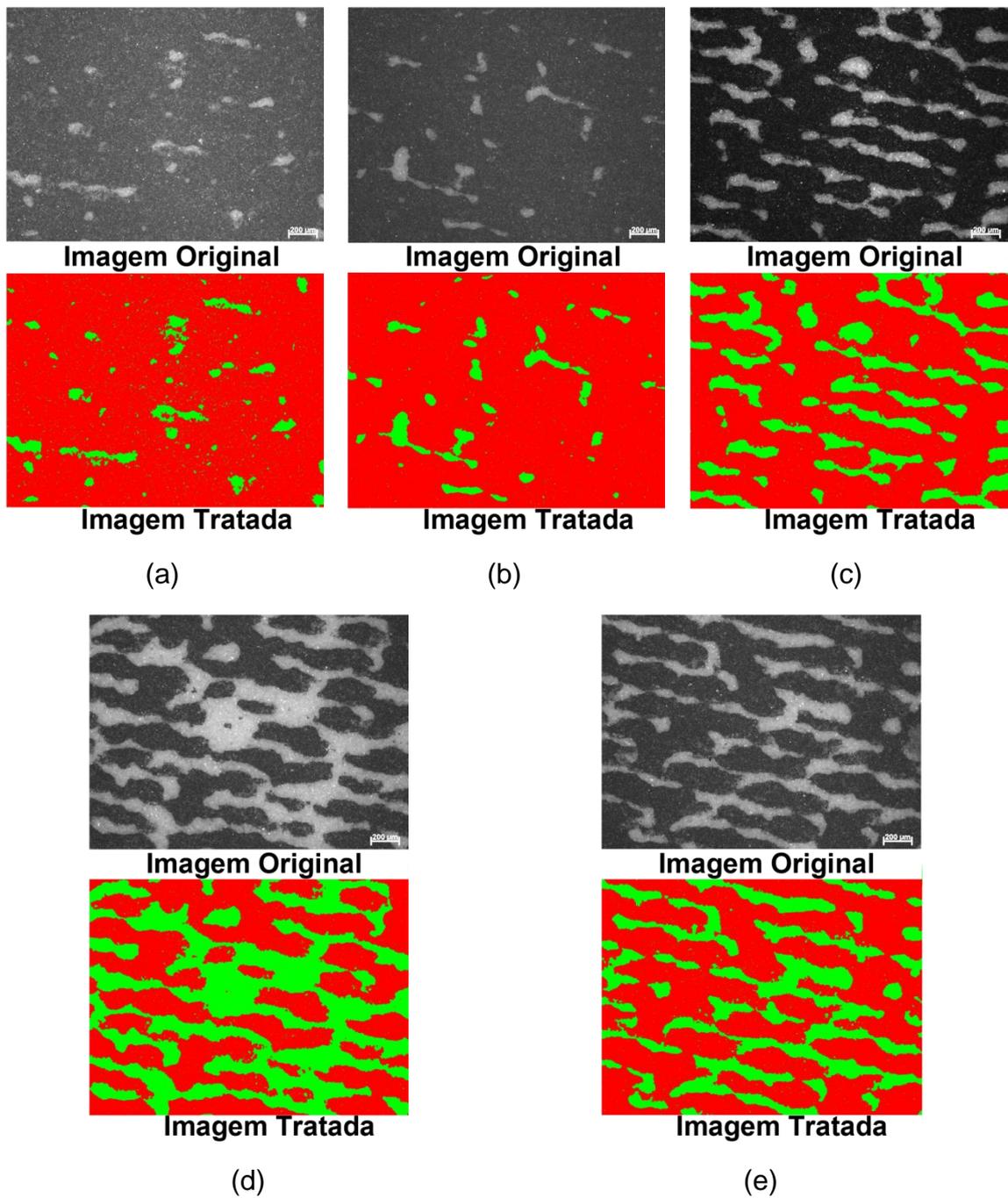


Figura 4.6.21: Área de 85% da escala de cinza para as angulações de (a) -3,0, (b) -3,5, (c) -4,0 (d) -4,5 e (e) -5,0. Gravação MTD 45/11°

A Tabela 4.6.3 mostra um resumo dos valores médios de porcentagem em área decorada e a Figura 4.6.22 apresenta estes dados em forma de um gráfico de variação da angulação da lâmina versus porcentagem em área decorada.

Tabela 4.6.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação do ângulo entre a lâmina e o cilindro. Incisão MTD 45/11°

Angulação da lâmina	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
-3,0	4,82	49,33	90,64
-3,5	5,09	50,62	93,70
-4,0	5,52	46,45	74,05
-4,5	4,06	38,76	61,11
-5,0	6,63	48,16	71,39

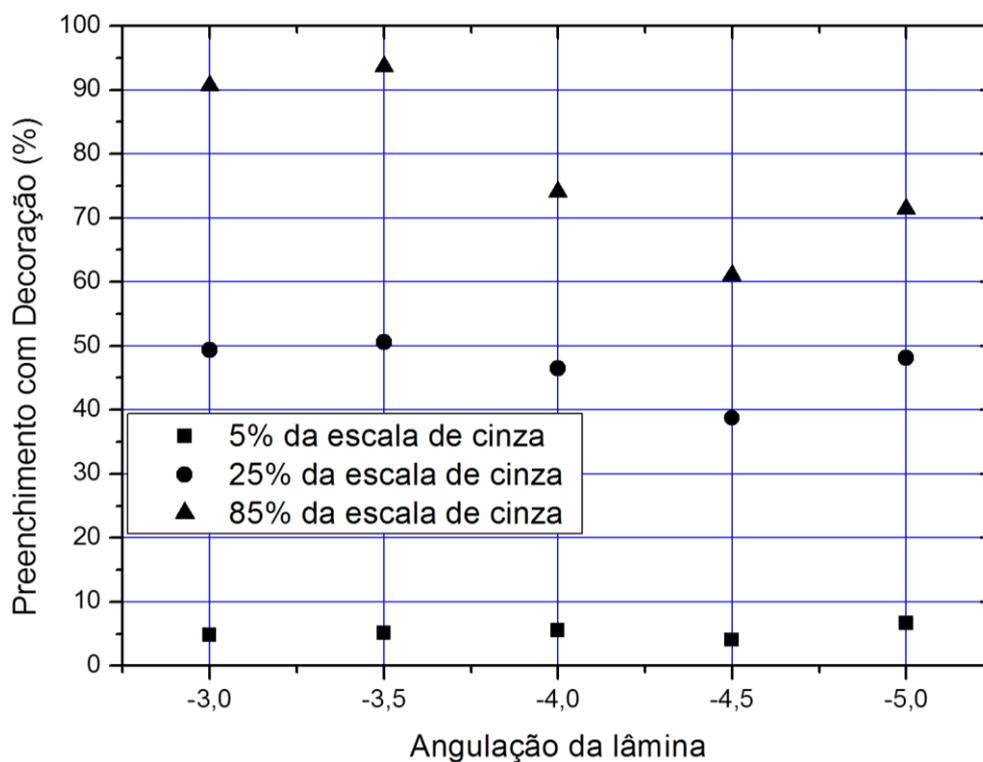


Figura 4.6.22: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11°, para as angulações de lâmina de -3,0, -3,5, -4,0, -4,5 e -5,0

Com os dados obtidos no ensaio de espectrofotometria para as amostras decoradas em incisão MTD 45/11° com 5% da escala de cinza, foram construídas as curvas da Figura 4.6.16.

A porcentagem de luz refletida pela amostra variando-se a angulação da lâmina (e por consequência a pressão que a mesma exerce sobre o cilindro) cai na transição de -3,0 para -3,5 na angulação, indicando que uma maior quantidade de tinta foi transferida para os alvéolos e conseqüentemente para a superfície da peça. Na Figura 4.6.22 e na Tabela 4.6.3 verifica-se que a porcentagem de decoração aumenta nesta transição de ângulos.

O que se nota aqui é que uma modificação aparentemente pequena na angulação gera uma variação significativa na refletância.

Um posterior incremento na angulação provoca um efeito contrário, a porcentagem de luz refletida começa a diminuir, tendo o seu salto mais significativo na transição de ângulos de -4,0 para -4,5, onde a porcentagem de luz refletida aumenta em grande proporção, devido à elevação excessiva na pressão da lâmina sobre o silicone, causando a deformação do orifício de entrada de tinta para os alvéolos, dificultando o seu preenchimento e, por consequência; diminuindo a quantidade de tinta disponível para ser transferida à peça.

Por fim, com a angulação de -5,0 a porcentagem de luz refletida aumenta devido ao, já comentado, problema de falha na limpeza da superfície de silicone.

Comportamento análogo ao descrito anteriormente para as amostras em 5% da escala de cinza também pode ser descrito com relação aos resultados obtidos para as amostras decoradas em 25% da escala de cinza.

Na Figura 4.6.17 observa-se a significativa queda na porcentagem de luz refletida da angulação de -3,0 para -3,5, aparentemente indicando uma situação limite nesta faixa angular com relação ao preenchimento dos alvéolos incididos com a tinta de decoração.

Neste caso também a deformação da abertura dos alvéolos inicia-se com a angulação de -4,0, causando uma diminuição na quantidade de tinta transferida para a peça cerâmica e um elevado aumento na porcentagem de

luz refletida pela superfície do esmalte, até que em -5,0 a curvatura da lâmina passa a ser o fator responsável pelo aumento da porcentagem de recobrimento das amostras e a diminuição da porcentagem de luz refletida pela mesma.

Em geral o comportamento quanto a variação da porcentagem de luz refletida com a mudança na angulação da lâmina para as amostras decoradas com 85% da escala de cinza (Figura 4.6.18) seguem o mesmo padrão que as anteriormente analisadas, porém os limites e magnitudes de variações são diferentes.

Nota-se que na transição de -3,0 para -3,5 na angulação, para este caso, não é tão significativa em variação da porcentagem de luz refletida, certamente devido à maior quantidade intrínseca de tinta depositada na faixa de tons altos da escala de cinza.

A pressão excessiva que inicia a deformar o silicone impedindo a entrada de tinta nos mesmos apresenta-se na transição da angulação de -3,5 a -4,0, atingindo seu valor máximo em -4,5 e a influência da falha de limpeza na porcentagem de luz refletida, à partir do ângulo de -5,0.

Os valores apresentados na Tabela 4.6.3 acompanham o descrito para variação na porcentagem de luz refletida, comparando-se com as variações da porcentagem em área recoberta pela decoração.

Abaixo, a Tabela 4.6.4 resume os resultados gerais obtidos neste ensaio.

Tabela 4.6.4: Resumo dos resultados obtidos com a diminuição do ângulo entre a lâmina e o cilindro em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $\alpha = -4,0$ ↑ % de luz refletida até $\alpha = -4,5$ ↓ % de luz refletida até $\alpha < -5,0$	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $\alpha = -3,5$ ↑ % de luz refletida para $\alpha < -3,5$
25%	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida	↑ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $\alpha = -3,5$ % de luz refletida ~cte $\alpha < -3,5$	↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $\alpha = -3,5$ ↑ % de luz refletida para $\alpha < -3,5$
85%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida	↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $\alpha = -3,5$ ↑ % de luz refletida para $\alpha < -3,5$

4.7 Ensaios de Umidade Superficial do Suporte Cerâmico

Os resultados obtidos através dos ensaios de espectrofotometria das amostras decoradas com incisão 0,4/45°, variando a massa de água aplicada antes da decoração são apresentados abaixo, para as áreas de recobrimento de 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente na Figura 4.7.1, 4.7.2 e 4.7.3.

As micrografias e imagens obtidas após a análise do programa para aquisição dos dados sobre porcentagem de área recoberta são apresentadas na Figura 4.7.4, 4.7.5 e 4.7.6 para as amostras decoradas em 5%, 25% e 85% da escala de cinza respectivamente.

Os dados provenientes desta análise são resumidos na Tabela 4.7.1 e no gráfico da Figura 4.6.7.

Para facilitar os ensaios, foram utilizadas peças com as seguintes dimensões: $235,5 \pm 0,05 \times 468,0 \pm 0,5$ mm.

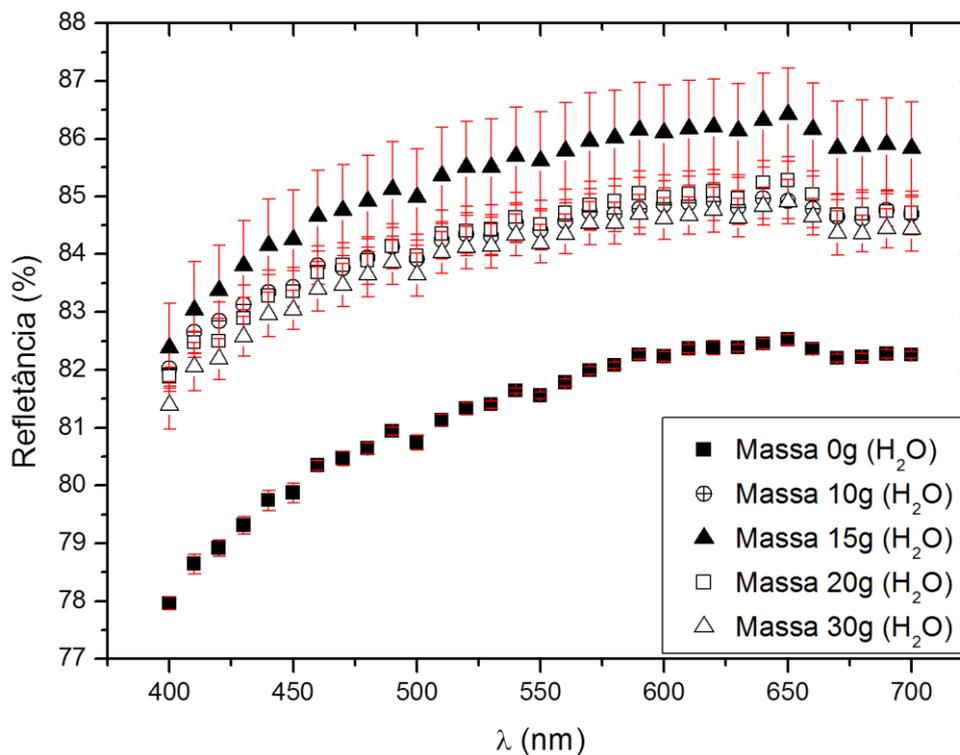


Figura 4.7.1: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

As fotos obtidas pelo ensaio de microscopia das superfícies decoradas com 5%, 25% e 85% da escala de cinza são apresentadas, respectivamente na Figura 4.7.4, 4.7.5 e 4.7.6.

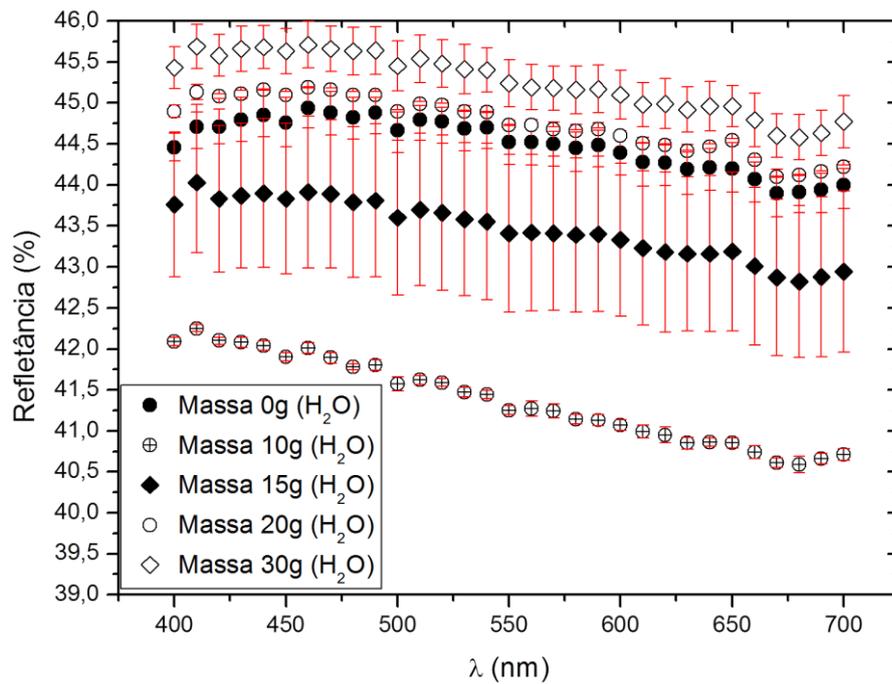


Figura 4.7.2: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

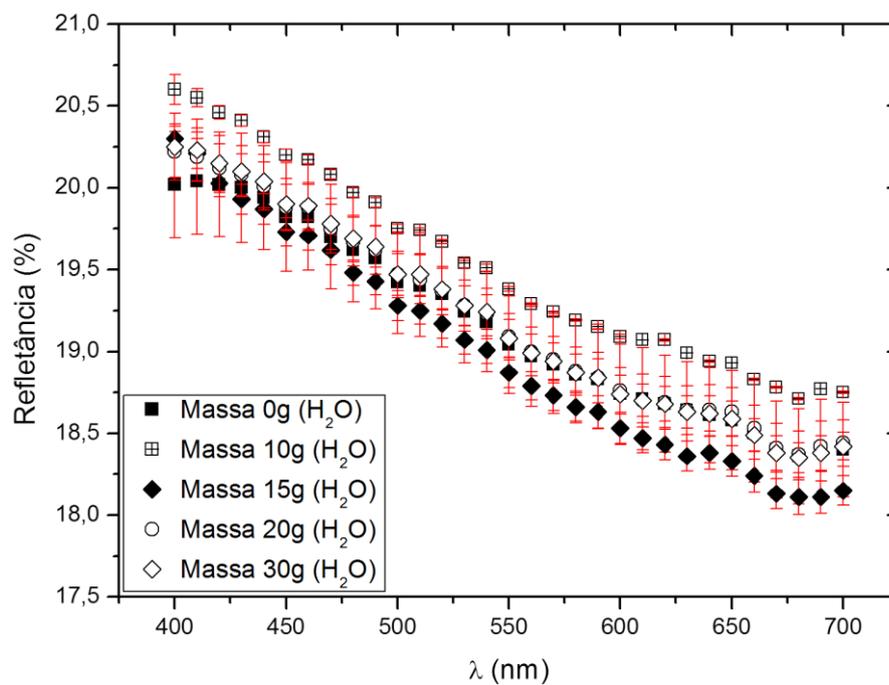


Figura 4.7.3: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação 0,4/45°

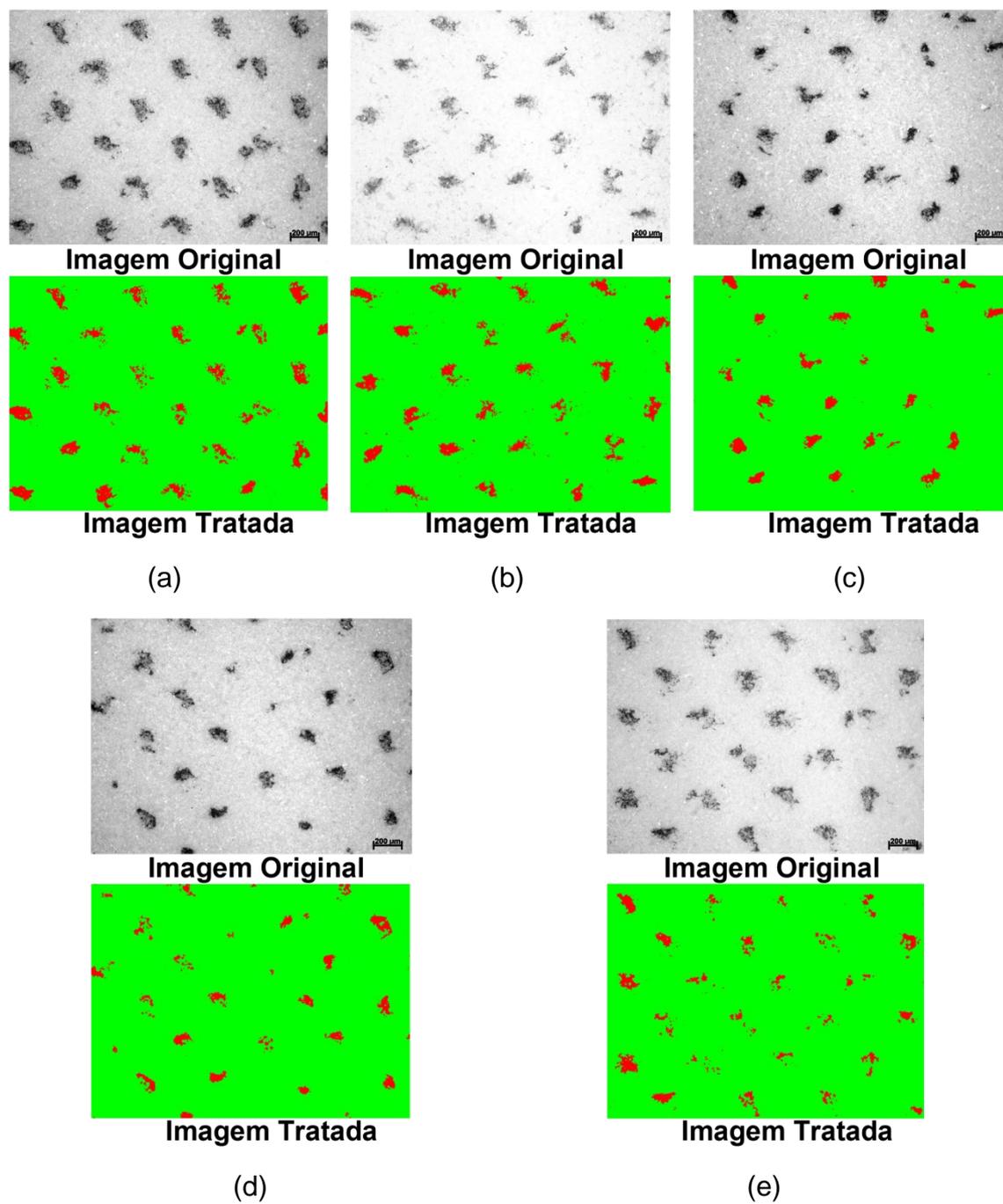


Figura 4.7.4: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°

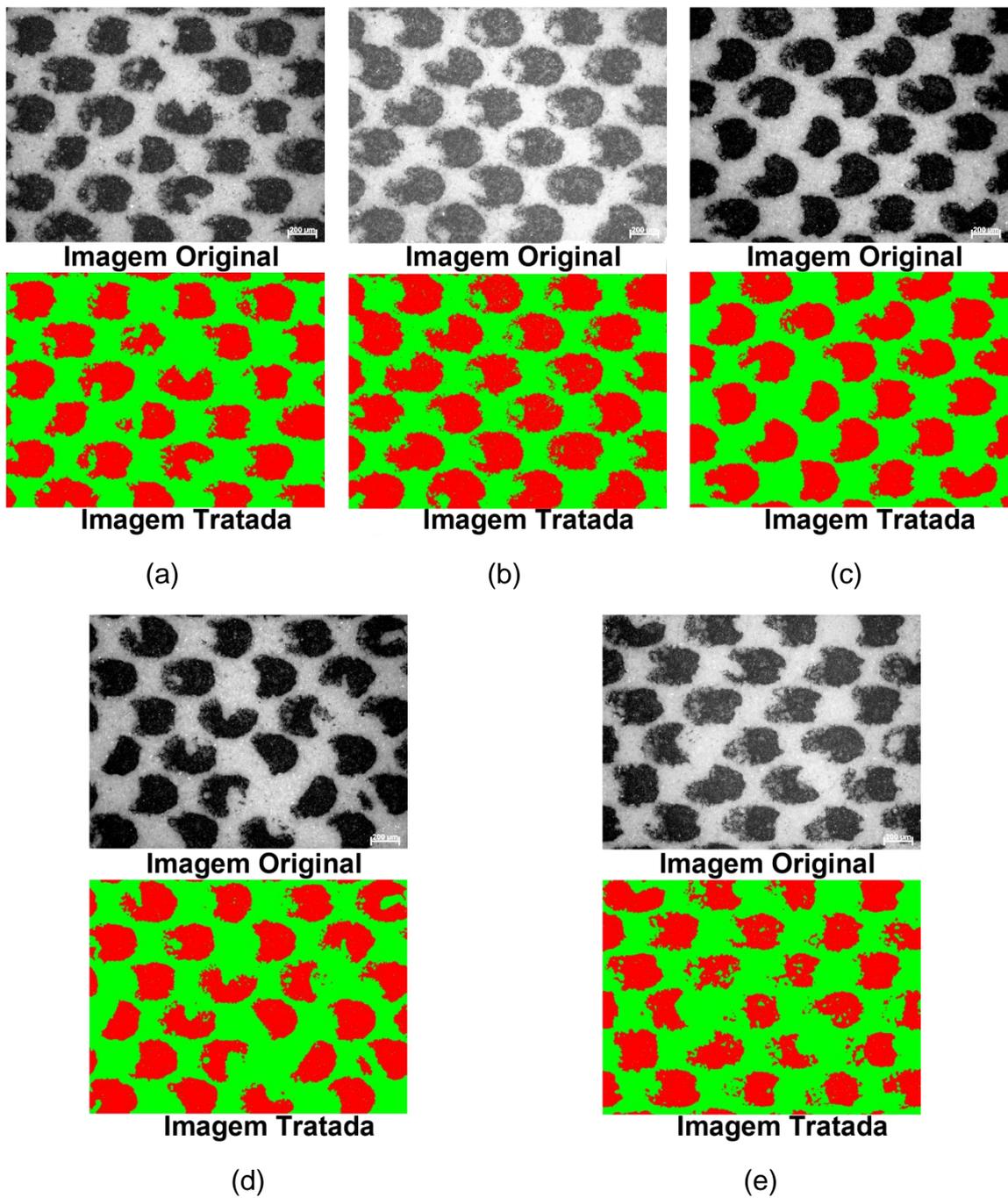


Figura 4.7.5: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°

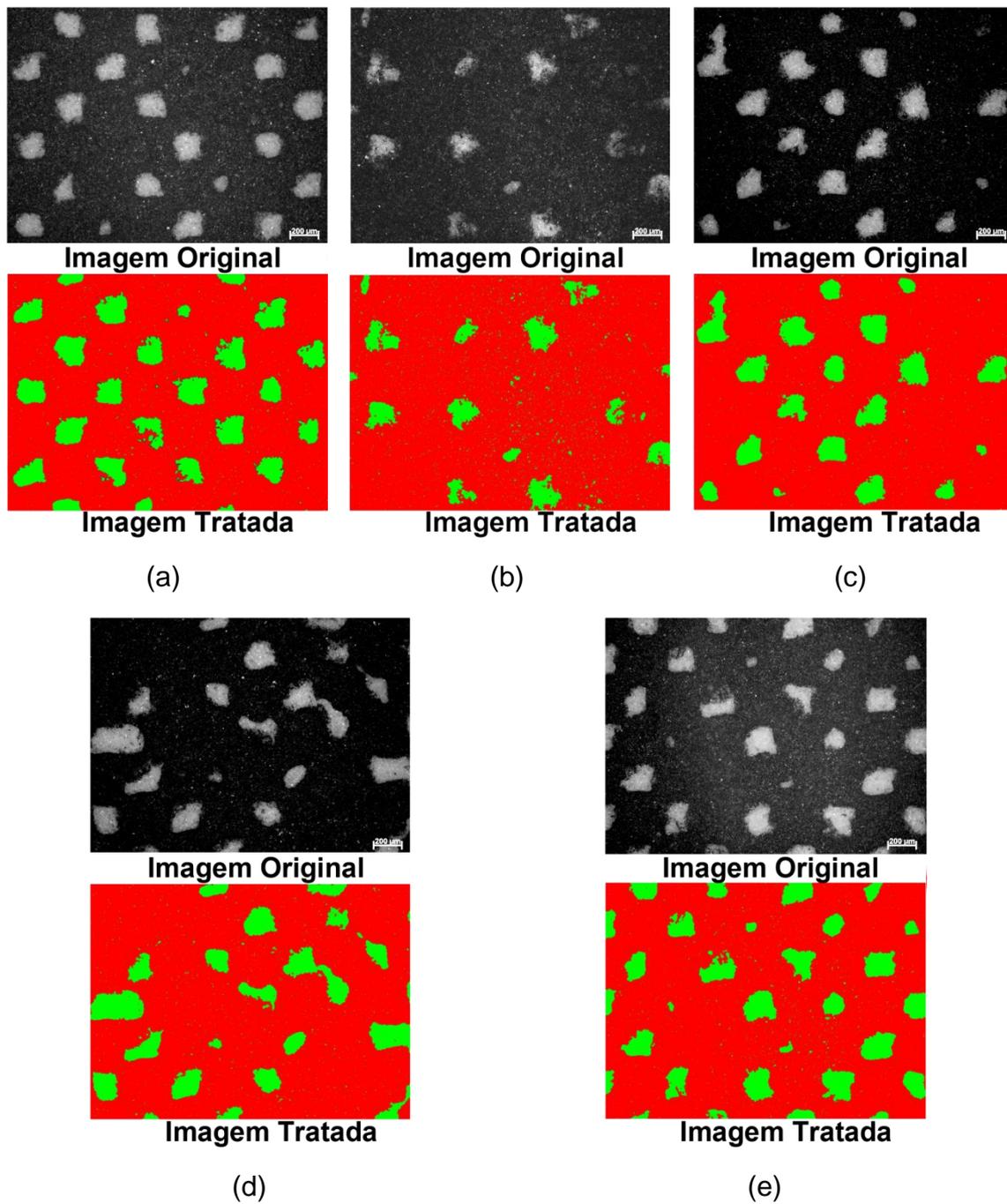


Figura 4.7.6: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação 0,4/45°

Os resultados obtidos para as porcentagens em área recoberta das amostras ensaiadas em 0,4/45° são apresentados na Tabela 4.7.1 e no gráfico da Figura 4.7.7 a seguir.

Tabela 4.7.1: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão 0,4/45°

Massa de água aplicada (g)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
0,0	5,12	44,04	85,72
10,0	4,93	50,10	87,89
15,0	3,49	44,4	87,13
20,0	3,98	43,2	87,97
30,0	2,88	43,28	87,84

Analisando os resultados apresentados na Figura 4.7.1 pode-se observar que, nas áreas de decoração com tons baixos (neste caso 5% da escala de cinza); quando se aplica uma quantidade de água sobre a peça cerâmica antes da decoração, a porcentagem de luz refletida pela mesma aumenta por volta de 4% nos ensaios realizados.

A porcentagem de luz refletida diminui pouco com o acréscimo de mais água, permanecendo praticamente a mesma.

Confrontando-se estes resultados com os apresentados na Tabela 4.7.1 e no gráfico da Figura 4.7.7, no geral, a porcentagem em área recoberta tende a diminuir de 0 a 30g de água aplicada na superfície, com uma pequena elevação na porcentagem em área recoberta entre os 15g e 20g de massa de água aplicada, em concordância com a análise de refletância anteriormente discutida.

O que se observa é que a variação da quantidade de água aplicada neste caso tem maior influência na quantidade de tinta depositada sobre a peça do que na porcentagem de luz refletida pela superfície decorada.

Já para a faixa de tons médios o que se observa na Figura 4.7.2 é que a porcentagem de luz refletida diminui com a aplicação de uma massa de água em torno dos 10g, auxiliando na descarga da tinta proveniente dos alvéolos incididos a laser. Na Tabela 4.7.1 pode-se verificar que para esta variação de massa de água aplicada, a porcentagem em área decorada aumenta.

Sequentes quantidades maiores de água aplicada tendem, no geral; aumentar a quantidade de luz refletida pela superfície decorada; ou seja, como visto na Tabela 4.7.1 e na Figura 4.7.7; a porcentagem de decoração tende praticamente aos mesmos valores dos ensaios onde não foi aplicada água antes da decoração.

Para a faixa de tons altos da escala de cinza (no ensaio, 85%), o que se observa é uma influência muito pequena da quantidade de água aplicada sobre o esmalte antes da decoração nos resultados de porcentagem de luz refletida pela superfície decorada e porcentagem de decoração sobre a peça cerâmica.

Através da Figura 4.7.3 observa-se um leve aumento na porcentagem de luz refletida nas amostras com 10g de água aplicada, comparando-se com as amostras que foram testadas sem aplicação de água. Com a elevação da massa de água aplicada há uma queda na refletância, porém; com efeito muito pequeno sobre o seu valor.

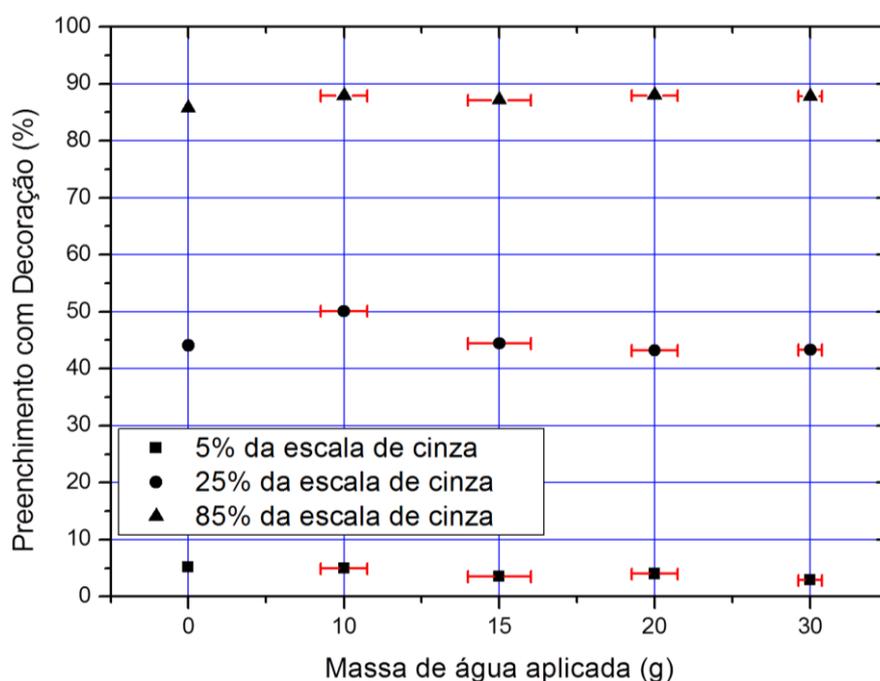


Figura 4.7.7: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incidência 0,4/45°, com aumento da massa de água aplicada.

Na Figura 4.7.8, 4.7.9 e 4.7.10 são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios de espectrofotometria (decoreação em MTD 40/22°), variando a massa de água aplicada para as áreas de recobrimento de 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente na Figura 4.7.8, 4.7.9 e 4.7.10.

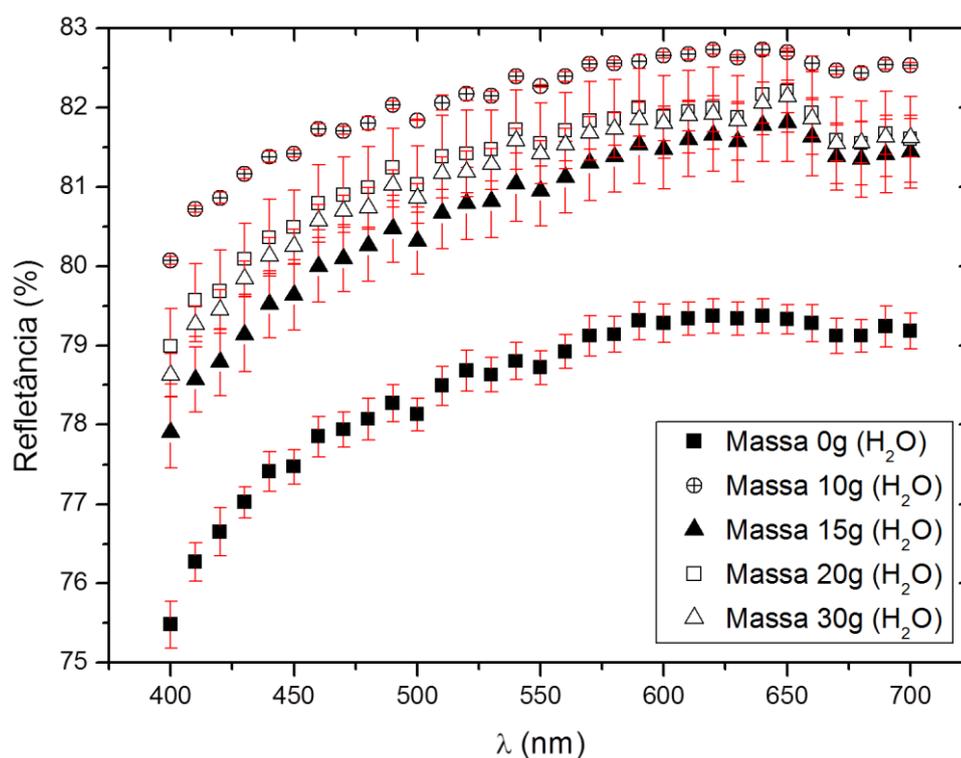


Figura 4.7.8: Variação da refletância a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

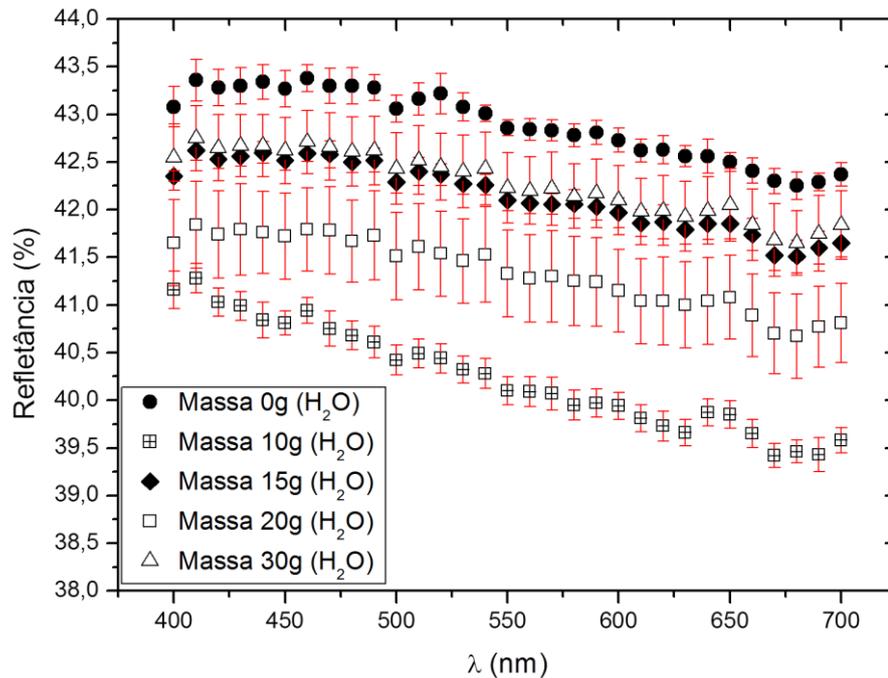


Figura 4.7.9: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

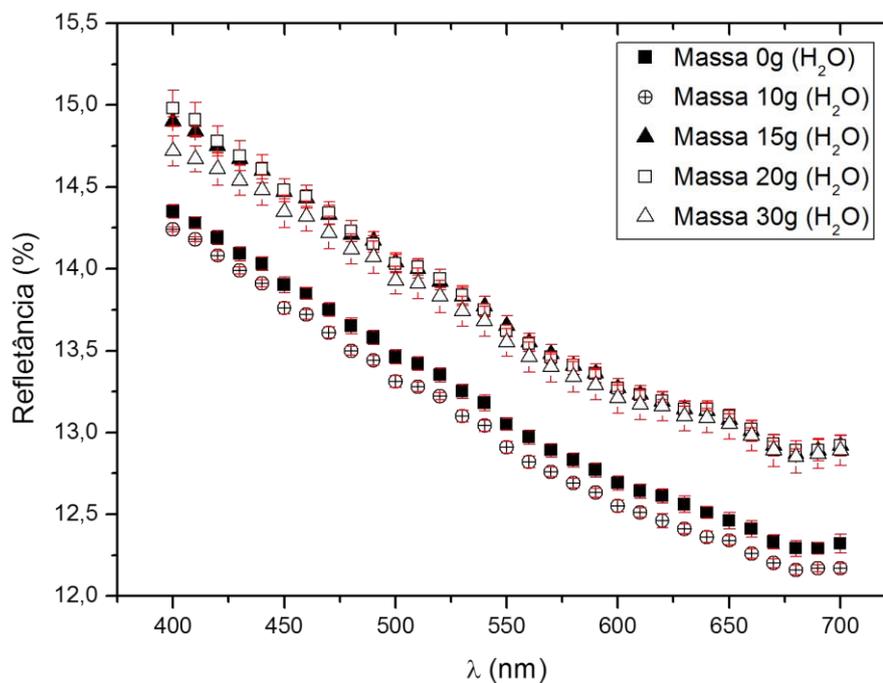


Figura 4.7.10: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 40/22°

Na Figura 4.7.11, 4.7.12 e 4.7.13 são apresentadas as micrografias e imagens obtidas após a análise do programa para aquisição dos dados sobre porcentagem de área recoberta para as amostras decoradas em 5%, 25% e 85% da escala de cinza respectivamente.

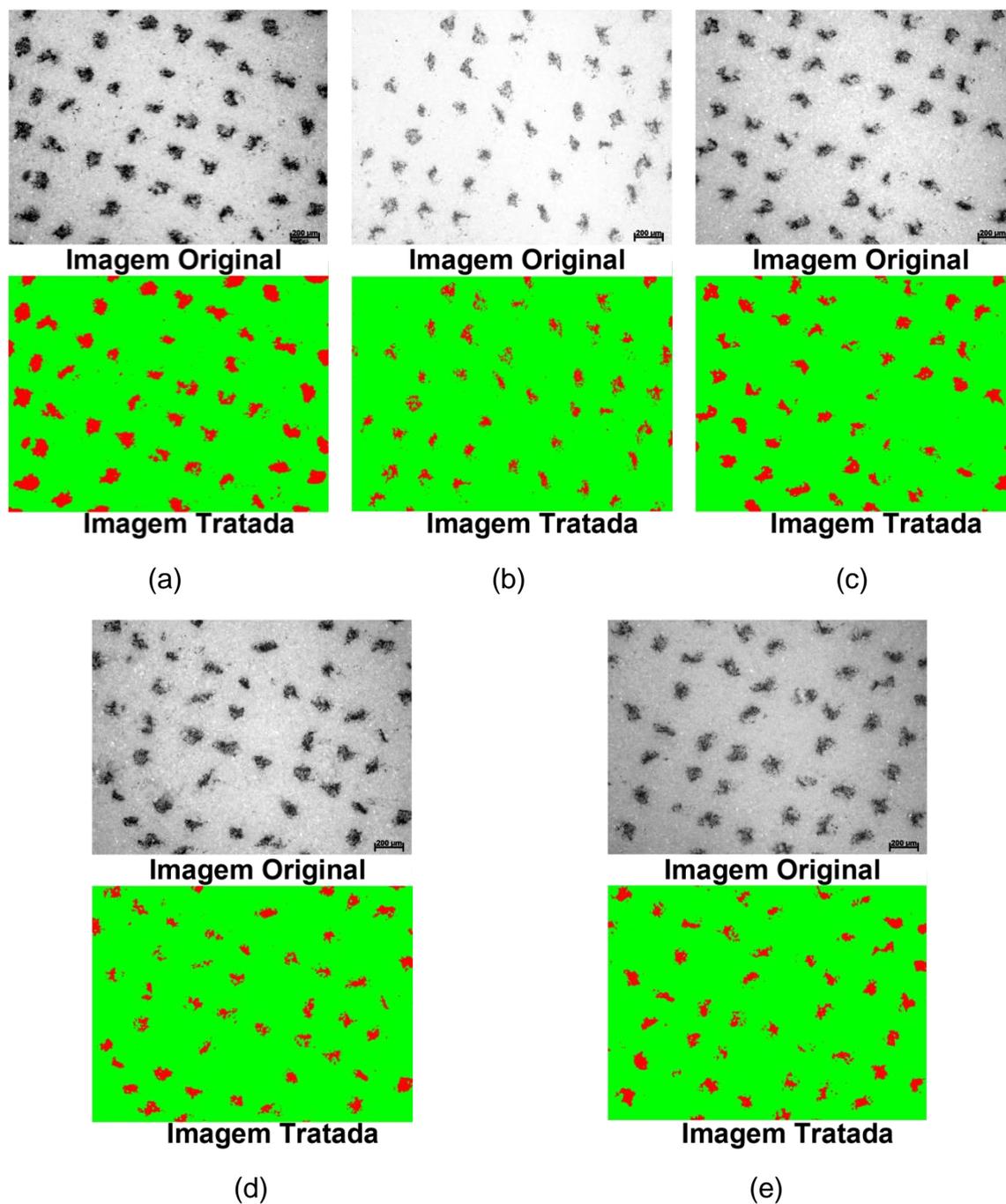


Figura 4.7.11: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 40/22°

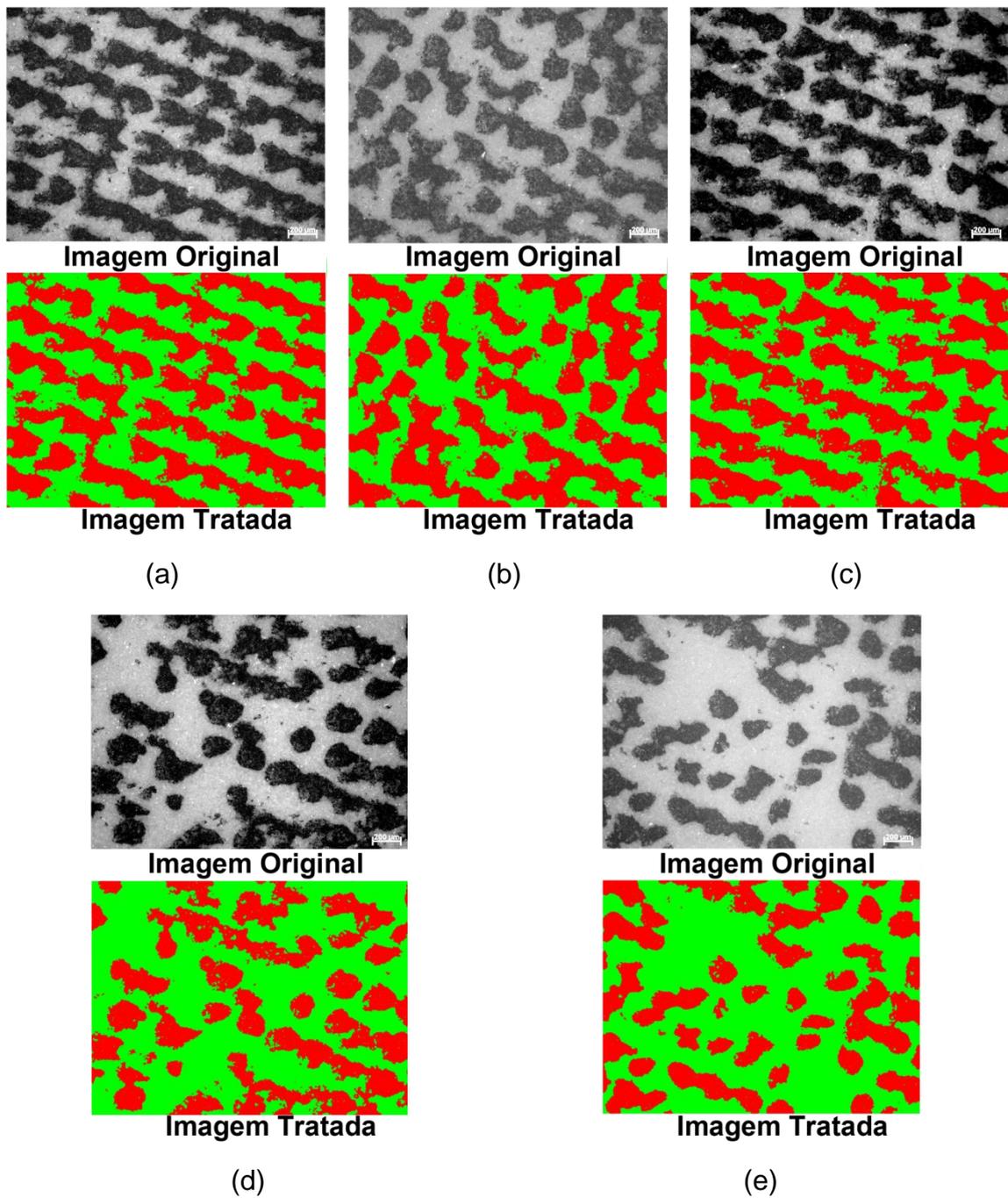


Figura 4.7.12: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 40/22°

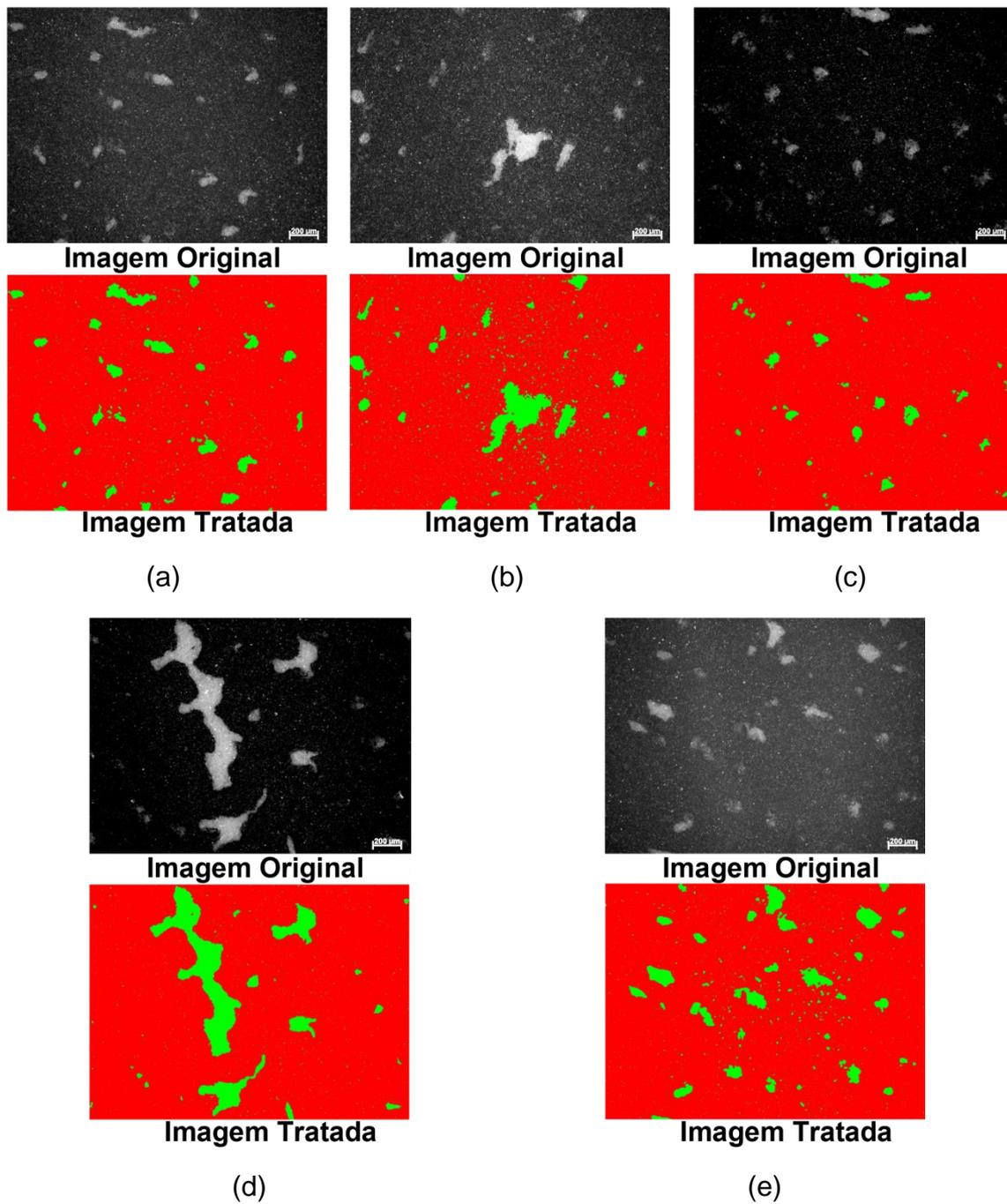


Figura 4.7.13: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 40/22°

Os dados provenientes da análise micrográfica são resumidos na Tabela 4.7.2 e no gráfico da Figura 4.6.14.

Tabela 4.7.2: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão MTD 40/22°

Massa de água aplicada (g)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
0,0	8,77	47,10	92,44
10,0	5,10	49,82	93,42
15,0	7,07	43,04	95,50
20,0	6,54	43,97	94,21
30,0	6,86	36,49	96,04

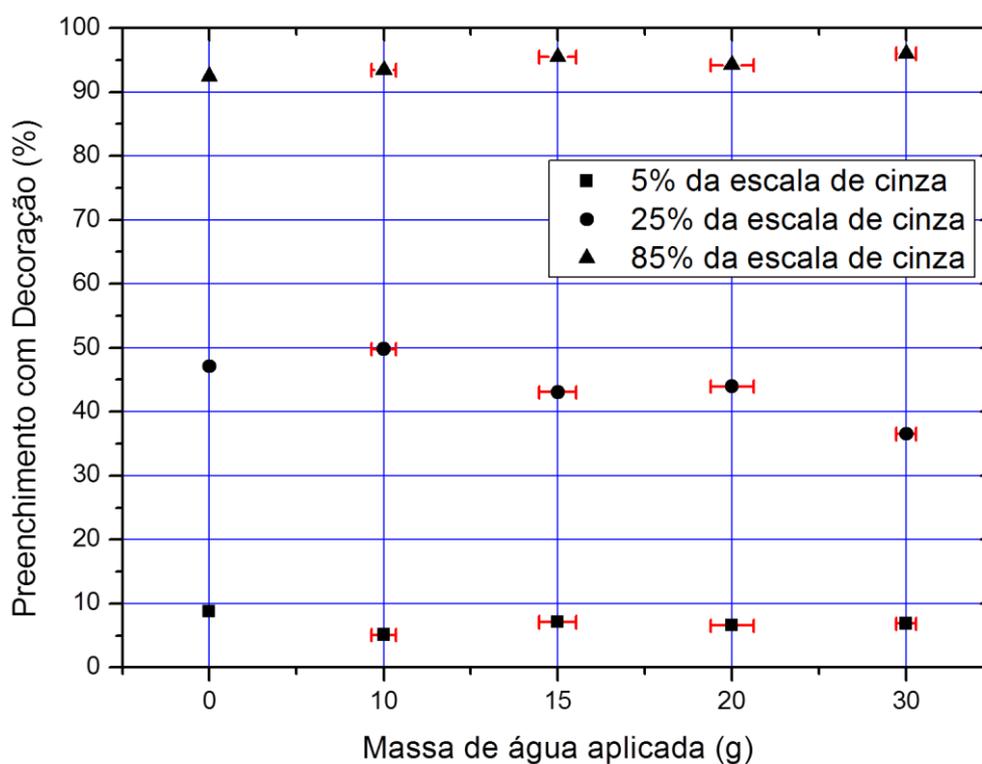


Figura 4.6.14: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 40/22° para as massas de água aplicadas de aproximadamente 0,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0g.

Através da análise dos dados de refletância das amostras decoradas com a tonalidade de 5% da escala de cinza mostrados na Figura 4.7.8 pode-se

verificar que para a incisão MTD 40/22°, a aplicação de água antes da decoração não favorece a descarga da tinta dos alvéolos do cilindro.

Nota-se que há um aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície decorada logo no primeiro teste com aplicação de aproximadamente 10g de água.

Com 15g de massa aplicada observa-se certa diminuição no valor da refletância, porém com sequentes incrementos na quantidade de água resulta em quase nenhuma melhoria na refletância.

O aumento verificado na porcentagem de luz refletida, anteriormente discutido, pode ser confirmado através dos dados da Tabela 4.7.2, a qual mostra a queda na porcentagem em área recoberta (de 8,77 para 5,10%).

O mesmo pode ser dito com relação à diminuição da refletância nas amostras de 15g de massa aplicada, onde se vê na Tabela 4.7.2 o aumento no valor da porcentagem em área decorada.

Dos resultados para as amostras decoradas com 25% da escala de cinza vistos na Figura 4.7.9; observa-se que a aplicação inicial de 10g de água auxiliou na diminuição da porcentagem de luz refletida pela superfície de decoração.

Valores crescentes na quantidade de água aplicada fizeram os valores de refletância permanecer entre os dois extremos obtidos com a aplicação ou não de água (0g e 10g).

Comparando-se os resultados anteriormente analisados com os valores de porcentagem em área recoberta na Tabela 4.7.2, observa-se que neste último há um aumento na quantidade de tinta transferida para a superfície esmaltada; ou seja, a aplicação dos 10g de água favoreceu na descarga da tinta.

Nas amostras onde foi aumentada a quantidade de água aplicada, o que se observa é a diminuição na quantidade de tinta descarregada pelo cilindro; ou seja, maiores quantidade de água acabam por prejudicar a descarga de tinta.

Na Figura 4.7.10 observa-se que em tons altos da escala de cinza (amostras decoradas com áreas plenas de 85%) para este tipo de incisão, a

influência da quantidade de água aplicada sobre a peça é praticamente irrisória.

A variação na porcentagem de luz refletida pela peça certamente passaria despercebida pela grande maioria da população consumidora de pisos e revestimentos cerâmicos.

Analisando os dados referentes à porcentagem de área coberta por tinta após a decoração, mostrados na Tabela 4.7.2 para os 85% da escala de cinza, nota-se também que a variação na porcentagem de cobertura também é pequena.

Na Figura 4.7.15, 4.7.16 e 4.7.17 estão os resultados dos ensaios de espectrofotometria para as amostras decoradas com as áreas de 5%, 25% e 85% da escala de cinza para a incisão MTD 45/11°.

Na Figura 4.7.18, 4.7.19 e 4.7.20 são apresentadas as micrografias e imagens tratadas para aquisição dos dados de porcentagem de área recoberta por decoração das amostras decoradas com as áreas de 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente.

Os dados obtidos através desta análise foram agrupados na Tabela 4.7.3 e no gráfico da Figura 4.7.21.

Para os ensaios realizados com a incisão MTD 45/11°, as figuras abaixo mostram os resultados dos testes de espectrofotometria, respectivamente para 5%, 25% e 85% da escala de cinza, sendo Figura 4.7.15, 4.7.16 e 4.7.17.

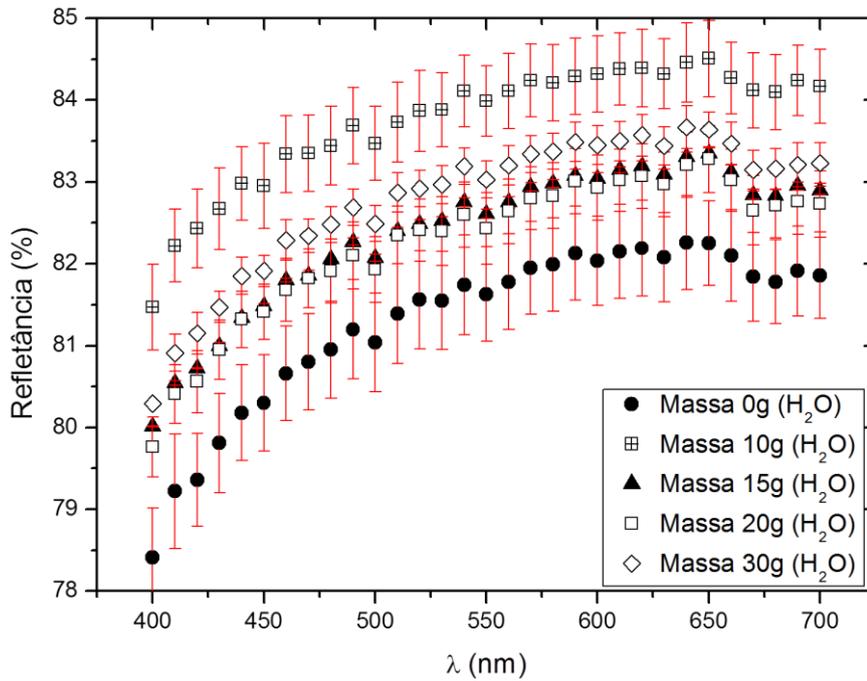


Figura 4.7.15: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 5% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

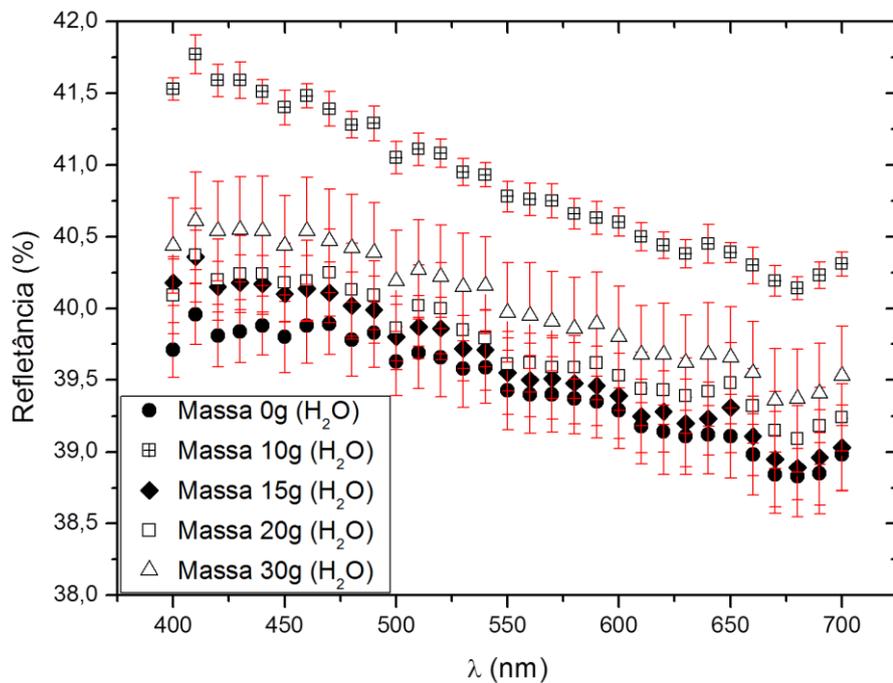


Figura 4.7.16: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 25% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

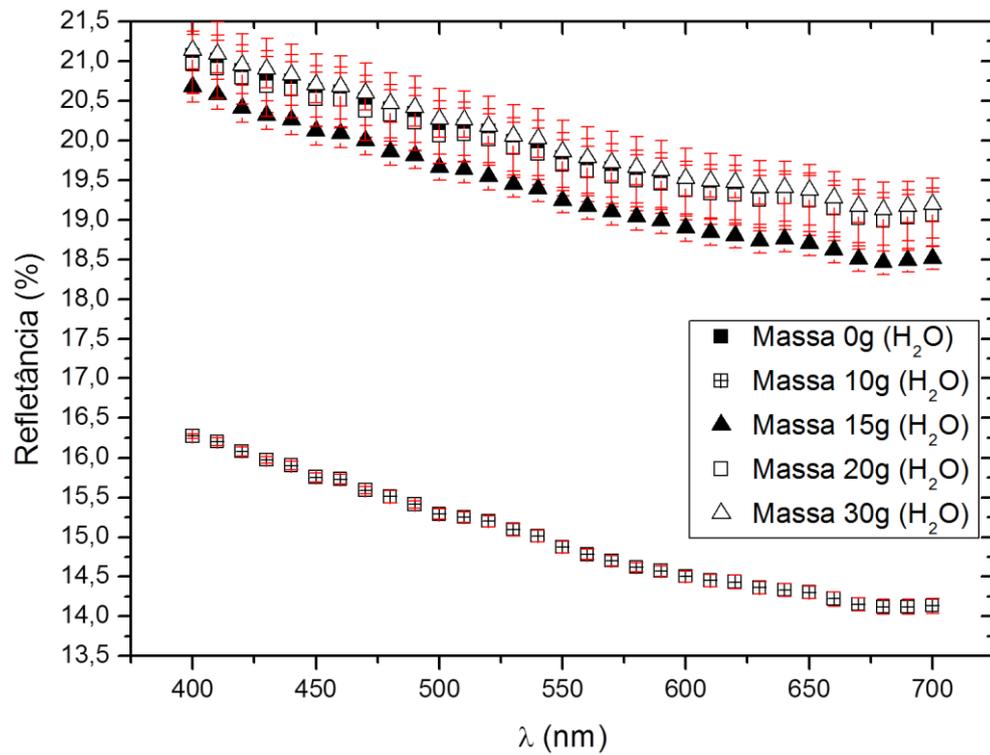


Figura 4.7.17: Variação da refletância com a massa de água aplicada para a área de cobertura com 85% da escala de cinza. Gravação MTD 45/11°

O ensaio de microscopia forneceu as imagens das figuras abaixo para 5%, 25% e 85% da escala de cinza, respectivamente na Figura 4.7.18, Figura 4.7.19 e Figura 4.7.20.

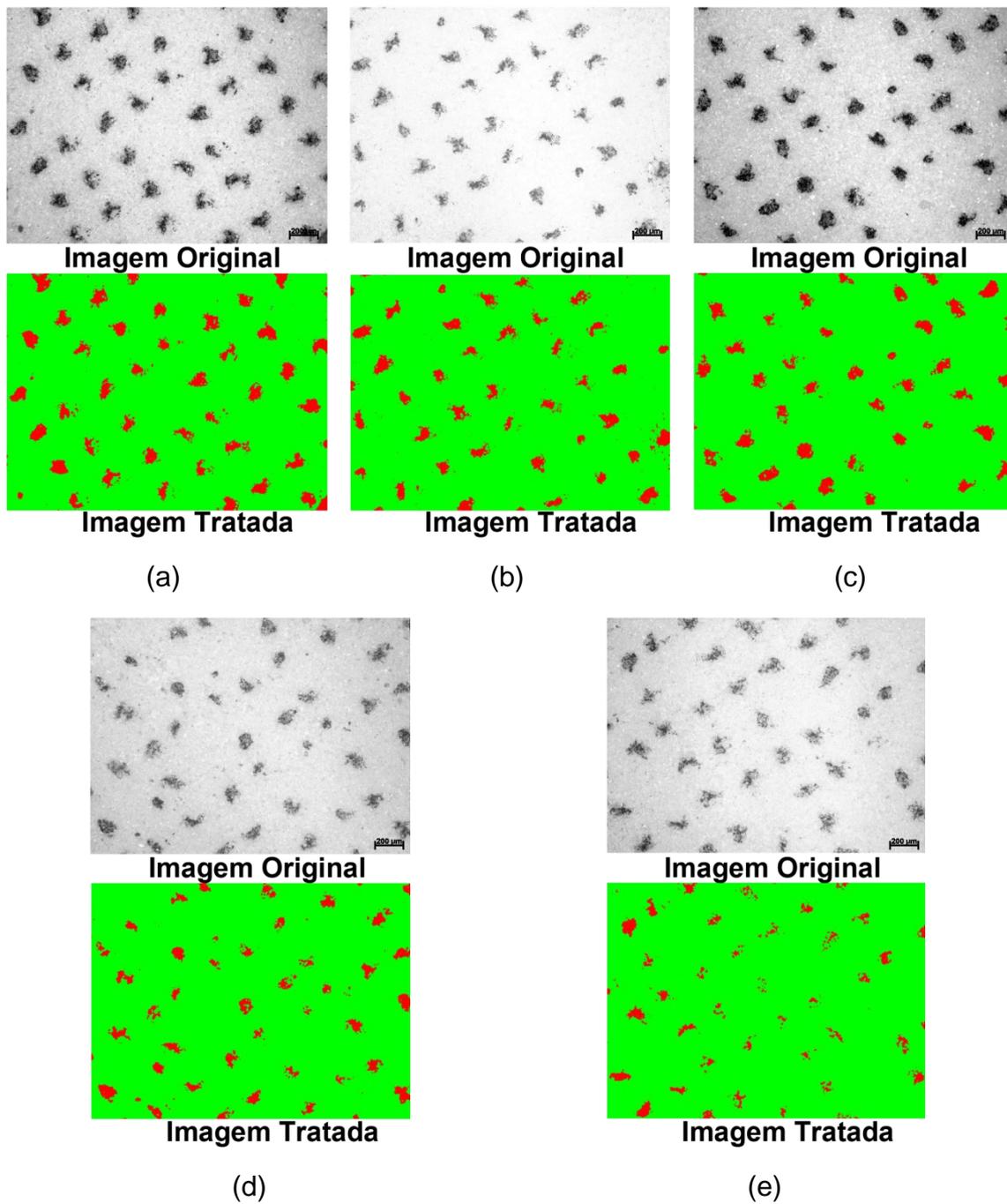


Figura 4.7.18: Área de 5% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 45/11°

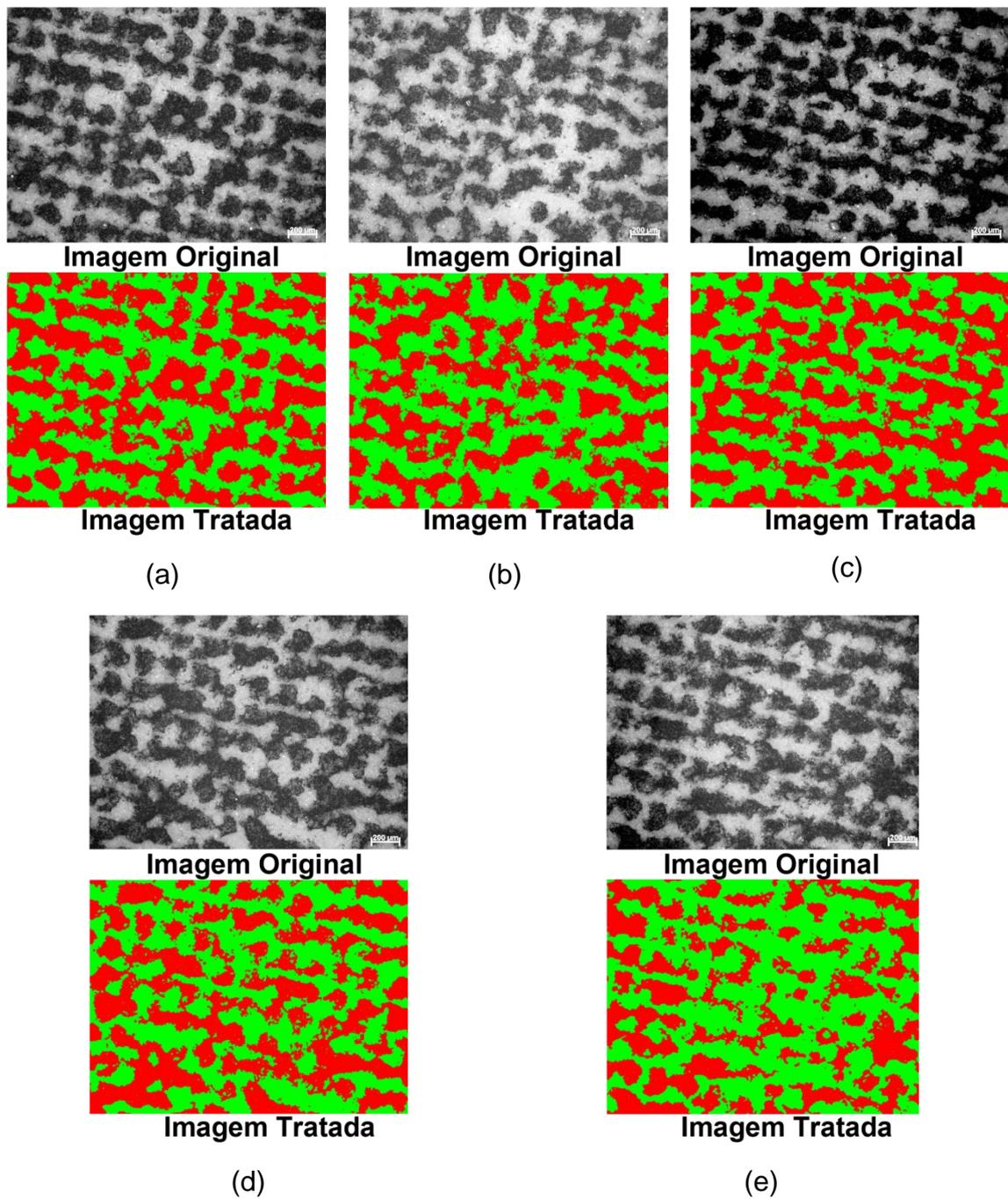


Figura 4.7.19: Área de 25% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 45/11°

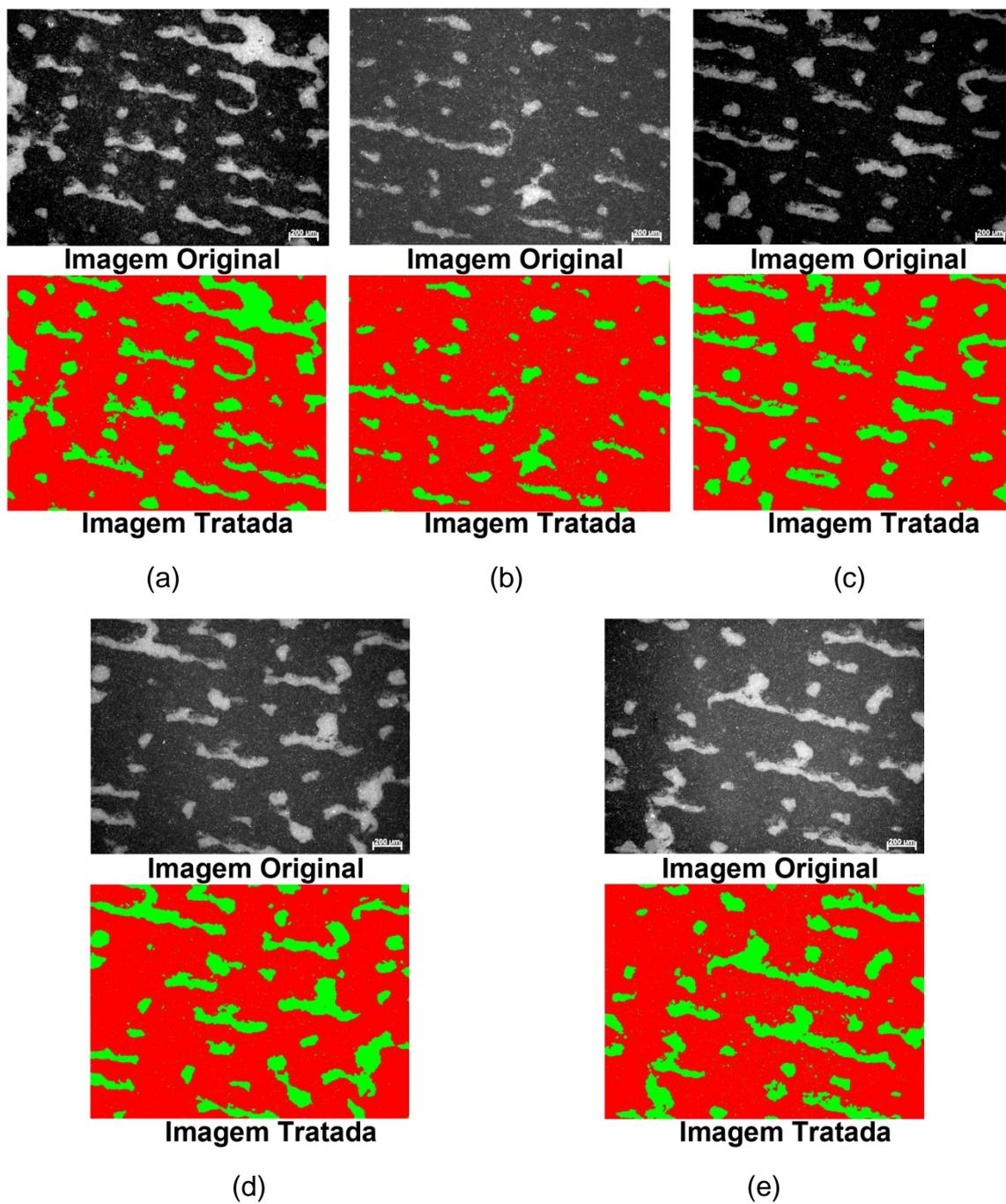


Figura 4.7.20: Área de 85% da escala de cinza para as massas de água aplicada (a) 0,0g; (b) 10,0g; (c) 15,0g; (d) 20,0g e (e) 30,0g. Gravação MTD 45/11°

Os dados relativos às porcentagens em área recoberta foram agrupados na Tabela 4.7.3 e no gráfico da Figura 4.7.21

Tabela 4.7.3: Porcentagem medida de área coberta por tinta com a variação da umidade superficial da peça. Incisão MTD 45/11°

Massa de água aplicada (g)	Área média coberta após a decoração (%)		
	5%	25%	85%
0,0	7,37	46,28	77,55
10,0	6,05	49,33	90,59
15,0	5,74	51,90	81,13
20,0	5,83	48,76	72,06
30,0	3,65	43,37	73,96

Na Figura 4.7.15 observa-se que, assim como nos ensaios em incisões anteriores, aparentemente em tons baixos da escala de cinza a adição de água na superfície da peça antes da decoração não favorece a descarga de tinta sobre o suporte cerâmico. Sem a aplicação de água para uma massa aplicada de 10g observa-se um aumento na porcentagem de luz refletida pela superfície decorada.

Com o incremento na quantidade de água aplicada uma queda suave de reflexão da luz incidida foi observada.

Comparando-se os dados de refletância com os de porcentagem de área recoberta por decoração apresentados na Tabela 4.7.3, a elevação nos valores iniciais de refletância é acompanhada pela queda na porcentagem em área recoberta por decoração.

A queda na refletância observada entre os testes de 10g para 15g de massa aplicada não seguem com um incremento na porcentagem em área recoberta, embora a diferença entre estes dois valores seja pequena (0,31%).

Entre os 15g aplicados e as amostras com 20g de água, a variação na porcentagem em área decorada também apresentou pequena variação (0,09%), assim como a pequena variação em refletância.

Analisando a Figura 4.7.16, para os ensaios na faixa de tons médios da escala de cinza, novamente o que se observa é uma diminuição inicial da refletância com a aplicação de água na superfície.

As amostras com aplicações de massas maiores, para este tipo de incisão, apresentaram uma queda nos valores de porcentagem de luz refletida pela superfície da peça, variando pouco à medida que se aumentou a quantidade de água.

Frente aos resultados mostrados na Tabela 4.7.3, a diminuição nos valores de luz refletida pelas amostras com a aplicação de 10g de água em comparação com as amostras sem a aplicação; não é acompanhada por uma diminuição, mas sim um aumento na porcentagem em área decorada.

Incrementando a massa de água aplicada nas amostras com 15g, observa-se na Tabela 4.7.3 um aumento na porcentagem em área decorada, o que resulta congruente com os dados de refletância nestas amostras, o qual diminui em valor.

Embora a porcentagem em área recoberta diminua gradativamente com o aumento da massa de água aplicada, um aumento na porcentagem de luz refletida só é observado na transição entre as amostras com 20 e 30g de água aplicados.

Nos ensaios realizados com a área de tons altos da escala de cinza, pode-se observar na Figura 4.7.17 que uma aplicação inicial de água favorece a transposição dos volumes de tinta contidos nos alvéolos para a superfície do esmalte. Essa característica é confirmada através da queda nos valores de porcentagem de luz refletida pela superfície decorada, bem como o aumento em porcentagem de área recoberta por decoração dos dados da Tabela 4.7.3.

Aplicações com maiores quantidades de água sobre a peça além de diminuir a refletância à valores próximos aos obtidos sem aplicação de água, afetam pouco a refletância com o incremento do volume aplicado, mesmo sobre a porcentagem em área recoberta, como pode ser visto na Tabela 4.7.3

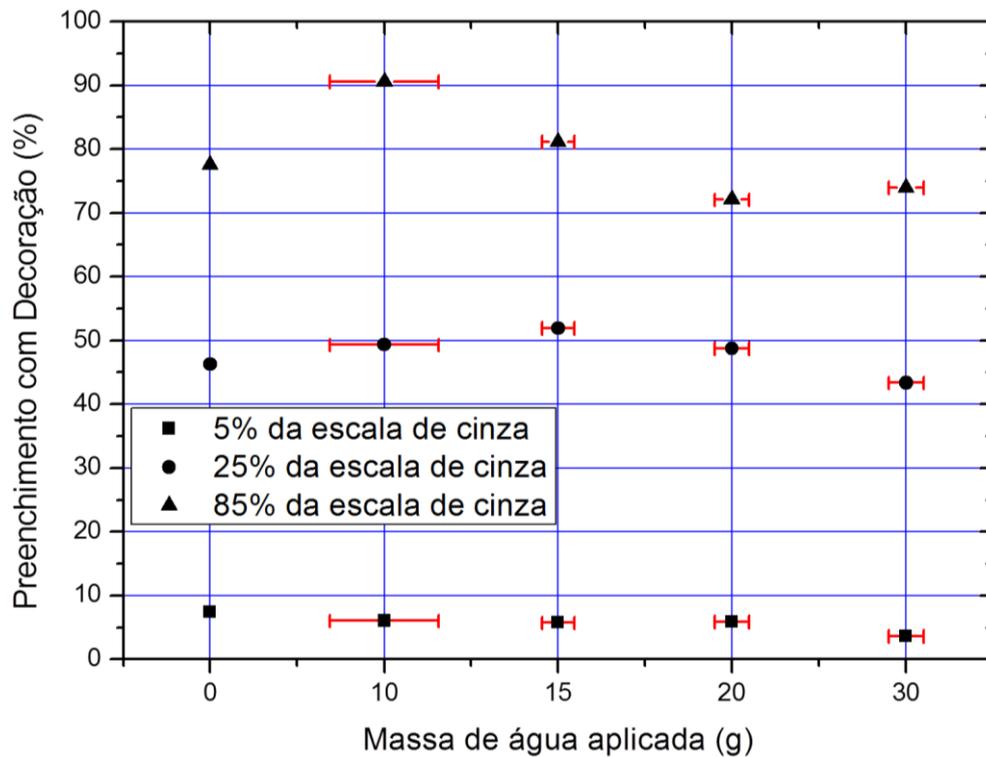


Figura 4.7.21: Evolução do preenchimento da área decorada para as porcentagens de 5%, 25% e 85% da escala de cinza em incisão MTD 45/11° para as massas de água aplicadas de aproximadamente 0,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0g.

Na Tabela 4.7.4 são resumidos os resultados gerais obtidos neste ensaio.

Tabela 4.7.4: Resumo dos resultados obtidos em variação da pressão do cilindro sobre a peça em relação à porcentagem em área preenchida e a porcentagem de luz refletida pela superfície.

Tom	Incisão		
	0,4/45°	MTD 40/22°	MTD 45/11°
5%	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $m = 15g$ ↓ % de luz refletida para $m > 15g$	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $m = 10g$ % de luz refletida ~cte para $m > 10g$	↓ % em área recoberta ↑ % de luz refletida até $m = 10g$ % de luz refletida ~cte para $m > 10g$
25%	↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $m = 10g$ ↑ % de luz refletida para $m > 10g$	↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $m = 10g$ ↑ % de luz refletida para $m > 10g$	↓ % em área recoberta até $m = 15g$ ↑ % em área recoberta até $m > 15g$ ↓ % de luz refletida até $m = 10g$ % de luz refletida ~cte para $m > 10g$
85%	↑ % em área recoberta % de luz refletida ~cte	↑ % em área recoberta % de luz refletida ~cte	↓ % em área recoberta ↓ % de luz refletida até $m = 10g$ % de luz refletida ~cte para $m > 10g$

As variáveis estudadas neste trabalho exerceram influência diferenciada na variação de tonalidade; a intensidade de cada uma das sete variáveis é resumida na Tabela 4.

Tabela 4: Ordem de influência das variáveis estudadas na variação de tonalidade

Altura da lâmina sobre o cilindro de decoração
Densidade e Viscosidade da tinta serigráfica
Velocidade da linha de esmaltação
Ângulo de ataque da lâmina sobre o cilindro
Pressão do cilindro de decoração sobre a peça cerâmica
Temperatura da peça cerâmica
Umidade superficial da peça cerâmica

5 CONCLUSÕES

5.1 Ensaios de Densidade e Viscosidade.

Para os três casos estudados, nenhuma das incisões apresentou o preenchimento e a formação de pontos com a geometria esperada e desejada para uma decoração ideal (pontos esféricos ou em elipse).

Em condições puras de modificação da viscosidade e densidade das tintas, isto é; modificação das variáveis somente com a adição da parte líquida (veículo) na formulação da tinta (mudança na proporção entre as partes de sólido e líquido), neste ensaio nenhuma das incisões atingiu a condição ideal de descarga dos volumes de tinta contidos nos alvéolos, para a superfície de esmalte.

Em todos os casos existe um ponto máximo atingido pela viscosidade e densidade, o qual proporcionou uma melhor descarga e conseqüentemente uma melhor decoração.

Valores muito elevados de densidade e viscosidade na maior parte dos casos estudados prejudicou a limpeza completa da superfície do cilindro em silicone pela lâmina em aço, ocasionando defeitos de decoração. Esse efeito foi menos visível nas áreas de maior cobertura por tinta, neste trabalho as áreas decoradas com 85% da escala de cinza.

A porcentagem de luz refletida pelas amostras está diretamente ligada à porcentagem de recobrimento da superfície da peça pela decoração.

O efeito da reologia da tinta é muito mais influente, em geral; nos tons baixos (5% da escala de cinza) e altos (85% da escala de cinza). Para a incisão MTD 45/11° esse efeito foi mais acentuado nos tons baixos.

Neste ponto, um estudo similar ao realizado poderia ser feito, porém estabelecendo uma densidade fixa e variando a viscosidade através do uso de aditivos para aumentar ou diminuir a viscosidade da tinta.

Independente do tipo de estudo realizado, é fato concluído que deve-se ter muita atenção durante a produção de revestimentos cerâmicos, no controle das variáveis de densidade e viscosidade, as quais apresentam grande influência na tonalidade final da peça decorada. O mesmo pode ser dito com relação à manutenção dos valores estudados em diferentes lotes de produção.

Ao se escolher determinado motivo a ser reproduzido em peças cerâmicas, (mármore, madeiras, tecidos, etc) deve-se ter muita atenção com relação à distribuição dos tons de cinza em todos os canais de cor que compõem a imagem final após a decoração; para que seja determinado o melhor par densidade e viscosidade, o qual permitirá a melhor carga e descarga da tinta no cilindro e a melhor formação de pontos decorados.

Este controle proporcionará assim uma decoração mais eficiente, com menor probabilidade de retrabalho em ajustes de tons.

5.2 Ensaio de Temperatura do Suporte Cerâmico

Através das análises realizadas sobre os dados obtidos ficou evidente que a temperatura do suporte cerâmico tem influência sobre a qualidade da decoração resultante.

Em áreas de decoração com baixas porcentagens da escala de cinza os resultados obtidos são mais coerentes com relação à hipótese comentada sobre a variação da temperatura; ou seja, com o aumento da temperatura, a dificuldade em se obter uma boa transferência da tinta do cilindro para a peça cerâmica também aumenta, levando à uma peça com falhas de decoração e fora de tom.

Na faixa de tons médios (áreas decoradas com 25% da escala de cinza), foi observada ainda a congruência com a hipótese estabelecida, embora algumas incongruências tenham sido verificadas. As maiores inconsistências foram verificadas em tons altos da escala de cinza.

No geral, o que se pode concluir através de todos os ensaios é que a realização dos testes desta variável apresentou algumas falhas; que inicialmente, aparentavam ser de baixa importância.

O procedimento utilizado para a realização dos experimentos, seguindo a sequência de estabilização das peças em estufa para a temperatura de ensaio escolhida, retirada da peça para pesagem, aplicação de água com pistola de ar comprimido, nova pesagem para verificação da massa de água aplicada, medição da temperatura superficial com pirômetro ótico e decoração;

pode não ter sido o melhor em termos de manutenção das características finais para a análise, o que pode ter gerado as anomalias encontradas.

Um estudo realizado em uma linha de produção piloto poderia eliminar algumas das fontes de erro do procedimento anterior: uso de uma cabine de aplicação de água com volume/massa de água constante e a continuidade da peça na linha cerâmica, evitando assim a perda de calor por convecção e condução no manuseio.

Outro fator fonte de variação nos dados foi a secagem da tinta sobre o cilindro de decoração devido à elevação da temperatura. Este efeito ocorre em linhas cerâmicas esporadicamente, quando por algum motivo indesejado, há uma parada no secador, o que leva à um aumento da temperatura das peças que ali estão e que causarão o problema de secagem da tinta nos cilindros na etapa de decoração.

Visto que o objetivo deste trabalho foi manter as características estudadas constantes dentro da variação de somente uma delas, as soluções de variação da angulação da lâmina sobre o cilindro, variação da altura da lâmina sobre a peça ou o uso de um veículo mais lubrificado para a tinta estariam em desacordo com a proposta inicial.

5.3 Ensaio de Velocidade de Produção.

Em geral pode-se observar que a influência na variação de tonalidade com o aumento da velocidade, embora seja perceptível em todas as incisões; é menor que a influência de outras variáveis estudadas.

O efeito do aumento de velocidade de decoração na variação tonalidade é muito mais marcante em níveis baixos da escala de cinza (5%) para a incisão $0,4/45^\circ$. Nas incisões tipo MTD a influência em tons baixos não foi tão grande.

Na faixa de tons médios (25% da escala de cinza), em geral, a variação na tonalidade final após a decoração tende a ter pouca influência, em magnitude; sobre o resultado final com o aumento da velocidade. Visualmente pode-se observar uma maior influência, devido ao efeito indesejado do preenchimento quase geral da peça cerâmica pela tinta resultante da película

remanescente na superfície do cilindro, a qual não pode ser retirada, com os ajustes utilizados da superfície de silicone, sendo assim transferida à peça cerâmica.

Nas imagens decoradas em tons altos (85% da escala de cinza) o efeito visual da película diminui mascarado pela coalescência dos pontos transferidos à superfície esmaltada. A variação das porcentagens de luz refletida nesta faixa de tons também é baixa sob a influência do aumento de velocidade de decoração.

Embora as magnitudes de variação encontradas tenham sido pequenas, o efeito final sobre a peça decorada é marcante, principalmente no que diz respeito à definição e nitidez da imagem decorada.

Então, com esta análise pode-se confirmar baseado nas fotos e nas curvas de refletância que a velocidade da linha de produção em revestimentos cerâmicos possui grande influência na tonalidade do produto final. O ganho em volume de produção com o aumento da velocidade de produção pelos fabricantes é assim comprometido pela perda em intensidade das cores e a possibilidade de variação de tonalidade durante o processo.

5.4 Ensaio de Pressão do Cilindro Sobre a Peça Cerâmica

Em geral para o teste de pressão do cilindro sobre a peça cerâmica pouco influencia na tonalidade final do desenho decorado, independente da incisão estudada, principalmente comparado com outros testes aqui realizados.

Embora de pouca influência, algumas características foram observadas:

1. Em todos os casos estudados há um limite na altura do cilindro que pode ser praticada, para que traga algum benefício quanto a descarga de tinta sobre a peça; o qual é particular para cada incisão.
2. Acima de determinado valor de pressão, o efeito é no sentido de dificultar a saída de tinta dos alvéolos devido à deformação da abertura da entrada de tinta dos alvéolos.

3. A partir de um determinado valor, a pressão que o cilindro exerce sobre a peça pode levar não só ao fechamento do orifício de entrada de tinta no alvéolo, mas também ao achatamento dos pontos decorados.

Para as incisões em tons baixos da escala de cinza (5% neste trabalho) a diminuição inicial da altura do cilindro (de 6,5 para 6,3mm) afeta positivamente a descarga de tinta sobre o cilindro nas três incisões. Nestes casos não se deve utilizar alturas superiores a 6,3mm.

Para as peças decoradas com gráfica na faixa de tons médios o aumento da pressão do cilindro sobre a peça não proporcionou melhorias quanto à descarga da tinta sobre o esmalte em duas das três incisões (0,4/45° e MTD 40/22°). Alturas do cilindro acima de 6,0mm causam o achatamento dos pontos de decoração.

Para a incisão MTD 45/11° a diminuição da altura até 6,0mm ajudou na descarga sobre o esmalte, neste caso, alturas superiores ao valor colocado iniciaram a deformação da abertura dos alvéolos, no sentido de diminuí-la.

Nas decorações com imagens em tons altos (85% da escala de cinza) para 0,4/45° e MTD 45/11° alturas superiores a 6,5mm não são indicadas, pois tendem a aumentar a refletância da superfície pela diminuição da descarga de tinta sobre a peça.

Para a incisão MTD 40/22° o valor de altura limite é 6,5mm para que a decoração se mantenha satisfatória. Valores superiores causam a diminuição da quantidade de tinta depositada.

Conclui-se pelos valores apresentados após os testes realizados que a altura do cilindro afeta muito pouco a tonalidade final da peça, sendo esta uma variável que deve ser mantida entre 6,5 e 6,0mm, dependendo da incisão e da faixa de tons de cinza média do canal incidido, também aqui levando em consideração que o benefício trazido pela variação tem que ser equilibrado, por outro lado; pelo maior desgaste do cilindro quando sua altura relativa com a peça cerâmica diminui, ou seja, o atrito entre as duas superfícies aumenta, o que trará custos desnecessários ao produtor de revestimentos.

5.5 Ensaios de Altura da Lâmina Sobre o Cilindro

Nos ensaios realizados com as amostras decoradas em $0,4/45^\circ$ foi confirmada a hipótese que a porcentagem de luz refletida pela superfície decorada das amostras aumenta com a diminuição da porcentagem em área recoberta por decoração, ocasionada pela diminuição no carregamento de tinta, feito pela lâmina em aço, dos alvéolos incididos no cilindro na medida que a altura da lâmina aumentava.

Devido à variação de altura da lâmina, os pontos de decoração diminuem e perdem a forma à medida que essa se eleva.

O efeito de variação da altura é muito mais evidenciado na faixa dos tons médios da escala de cinza com relação ao aumento na refletância e a queda na porcentagem em área recoberta. A variação desta característica é menos aparente em tons altos (85%) e baixo (5%), certamente devido ao volume de tinta depositado sobre a peça em cada caso (alto volume e baixíssimo volume, respectivamente).

As características particulares da incisão MTD $40/22^\circ$ em tons baixos da escala de cinza (com relação à disposição dos pontos incididos), comparadas com a incisão padrão $0,4/45^\circ$; ou seja; tamanho de ponto, agrupamentos de pontos, intensidades e tempo de disparo do laser, profundidade da incisão e forma dos alvéolos incididos contribuíram para o comportamento antagônico relacionado à variação na altura da lâmina.

Nesta faixa de incisão, com o aumento da altura da lâmina, inicialmente houve um aumento na porcentagem de decoração depositada sobre a peça; portanto em gráficas com canais de tonalidades suaves, caso seja utilizada a incisão MTD $40/22^\circ$, o produtor cerâmico deve atentar-se no posicionamento diferenciado da altura da lâmina no cabeçote de decoração.

Com valores mais altos da posição da lâmina, o comportamento observado seguiu o esperado, diminuição da porcentagem de tinta transferida à peça.

Na faixa de tons médios e altos, através dos resultados analisados conclui-se que em tonalidades onde a quantidade de tinta depositada é maior, na incisão MTD $40/22^\circ$; o comportamento da porcentagem de refletância e da

porcentagem em preenchimento superficial da peça com relação à variação na altura da lâmina seguiu o esperado; ou seja, com o aumento na altura, a transferência de tinta do cilindro para a peça diminui e a porcentagem de luz refletida pela superfície aumenta.

Para os tons baixos da escala de cinza na incisão MTD 45/11°, o comportamento foi similar ao ocorrido para a MTD 40/22°. O mesmo pode ser dito sobre os efeitos nas tonalidades média e alta da escala de cinza.

Dentro do grupo de incisões MTD, há uma diferenciação quanto à angulação relativa dos pontos e a lineatura dos mesmos, apesar de todas possuírem a mesma definição; esse fator influi na disposição e no tamanho dos pontos incididos comparando entre as duas classes estudadas. Essa característica pode ter sido a causa da grande diferença observada nas porcentagens de refletância à medida que a lâmina foi elevada, assim como o efeito anômalo observado com o aumento da lâmina de 220 mm para 230 mm, que causou a diminuição da luz refletida pela superfície da amostra, porém com uma diminuição na porcentagem de recobrimento da peça.

Em todos os testes pode-se concluir que existem limites de variação que devem ser respeitados pelo fabricante para que a qualidade da decoração não seja comprometida e o tom final desejado para a composição total do desenho a ser reproduzido seja atingido.

Sobre os testes realizados com variação da posição da lâmina em relação ao cilindro, a altura da lâmina; pode-se constatar que existe uma relação direta e acentuada entre a altura da lâmina e a quantidade de tinta depositada sobre a peça; conseqüentemente influenciando na qualidade da decoração no que diz respeito ao formato e preenchimento dos alvéolos.

Quanto mais alta a lâmina, em geral; menos tinta foi depositada resultando também em pontos disformes, os quais ocasionaram falhas de decoração. Em condições de decoração com gráficas particulares onde a maior parte da tonalidade esteja acima dos 80% da escala de cinza (indicando pontos de incisão maiores), para que não ocorra a coalescência dos pontos decorados, dependendo da reologia da tinta utilizada, conclui-se que o

fabricante poderia lançar mão de uma altura levemente maior que os 210mm utilizados como padrão.

5.6 Ensaio de Ângulo de Ataque da Lâmina Sobre o Cilindro

De acordo com as análises realizadas no item 4.6, pode-se concluir que:

1. Em todas as incisões estudadas existe um limite entre o ângulo que a espátula realiza com o cilindro para que se tenha o melhor carregamento possível dos alvéolos e por consequência, a melhor descarga de tinta sobre a peça.
2. Acima de um determinado valor de angulação, a pressão realizada pela lâmina sobre o cilindro prejudica o bom preenchimento dos alvéolos, pois a deformação da abertura alveolar diminui, impedindo a entrada de tinta.
3. Em ângulos muito negativos a pressão torna-se tão alta que a lâmina em aço começa a fletir, impedindo que seja realizada uma limpeza perfeita da superfície do cilindro, provocando o acúmulo de tinta sobre toda a área de incisão, prejudicando no tom e na definição do desenho a ser reproduzido.

O ângulo dito no item 1 é particular para cada tipo incisão e para cada faixa de tons relativos à escala de cinza.

Esta última característica deve-se principalmente a dois fatores; primeiro devido ao tamanho e/ou concentração de pontos que formam o alvéolo e em segundo lugar devido à quantidade de tinta possível de ser depositada sobre a peça decorada em cada faixa de tom.

A melhor escolha entre as angulações possíveis deverá ser realizada após a análise da distribuição de tonalidades geral em cada um dos diversos canais de cor (incididos em cada cilindro individual); particularizando cada canal para que seja atingido o melhor preenchimento possível dos alvéolos. Os fabricantes de revestimento deverão levar em consideração que a vida útil dos cilindros depende da pressão da lâmina exercida sobre o silicone; em ângulos mais negativos a pressão é maior, sendo também o desgaste. Esta escolha

deverá ser realizada também levando novamente em consideração a porcentagem de tons de cinza presentes na imagem.

Neste caso, deve-se ater ao fato que pontos menores de incisão (tons baixos da escala de cinza) terão sua vida útil menor; sendo assim, uma gráfica que possua tons médios e baixos deverá utilizar o melhor ângulo para tons baixos, caso contrário o desgaste será acentuado e o desenho reproduzido resultará em uma imagem com alto contraste devido à eliminação dos tons baixos prematuramente.

Por pertencerem ao mesmo grupo de incisões, as amostras realizadas em MTD mostraram comportamento muito similar, embora a lineatura e a angulação de pontos seja diferente, isto indica que; para a variável angulação da lâmina esta diferença entre ângulos de incisão e lineatura não é muito influente.

5.7 Ensaios de Massa de Água Aplicada sobre o Suporte Cerâmico

Para os tons baixos da escala de cinza na decoração $0,4/45^\circ$ a aplicação de água sobre a peça tende a dificultar a transferência de tinta do cilindro para a superfície do esmalte, seguramente devido ao aumento da evaporação de água na superfície da peça, o que diminui o gradiente de umidade que contribui para a absorção da tinta pela superfície.

Em tons médios da escala de cinza nesta incisão, a quantidade máxima de água possível de ser aplicada é em torno dos 15g em uma peça 460 mm x 460 mm nominal; acima deste valor a formação de vapor d'água passa a influenciar negativamente na descarga de tinta.

Em regiões onde a tonalidade da escala de cinza é alta, a influência da aplicação de água sobre a peça pode ser concluída como insignificante.

Em geral, para esta classe de incisão a influência da aplicação de água para a variação da tonalidade final da peça é muito pequena em comparação às influências ocasionadas, na mesma tipologia de incisão, pelas outras variáveis estudadas.

Na incisão MTD 40/22° em tons baixos o aumento na quantidade de água aplicada antes da decoração tem influência muito pequena sobre a variação da refletância e da quantidade de tinta transferida do cilindro para a peça.

Nos tons médios a influência da variável analisada sobre a tonalidade final é menor ainda, tendo comprovadamente nenhuma influência nos tons altos da escala de cinza.

Para a incisão MTD 45/11° a influência da quantidade de água aplicada antes da decoração também é insignificante frente às outras características analisadas neste estudo, em geral, sensíveis melhorias nos resultados de refletância foram observados com pequenas quantidades de água aplicada em tons altos da escala de cinza.

Assim como no teste de variação de temperatura, as variações apresentadas com os testes de aplicação de água para verificação da influência sobre a decoração, e o fato dos resultados obtidos não estarem em acordo com a hipótese inicial, pode-se inferir que a metodologia utilizada para a mensuração e execução deste ensaio não tenham sido as melhores, sendo assim necessários procedimentos diversos para minimizar as variações.

6 TRABALHOS FUTUROS E SUGESTÕES.

Ainda serão realizados em sequência à esta tese o desenvolvimento de outros trabalhos:

- 1) Análise estatística das variáveis – será realizado um estudo estatístico procurando encontrar as condições ideais para cada uma das características estudadas nas condições aqui estabelecidas. Dado que nenhuma das variáveis estudadas age de forma independente com relação à variação de tonalidade, através dos dados obtidos, um estudo estatístico de multivariada será executado.
- 2) Relação entre o diâmetro do alvéolo incidido e o diâmetro do ponto decorado. Neste caso será estudada a variação das dimensões de abertura dos orifícios (dentro de cada um dos tipos de incisões) e as dimensões finais do ponto decorado, contando com o escoamento da tinta sobre a superfície do esmalte e a sua influência sobre a tonalidade final em comparação com o teórico esperado.

Estudos adicionais ainda poderão ser realizados nos seguintes casos sugeridos:

- 1) Estudo da relação entre o volume dos alvéolos incididos em cada tipo de incisão e o volume de tinta do ponto decorado.
- 2) Desenvolvimento de uma metodologia de ensaio mais próxima da real para os ensaios de temperatura e massa de água aplicada.
- 3) Realização de estudo análogo em peças de revestimento fabricados por via úmida.
- 4) Adaptação do presente estudo para as características que geram variação de tonalidade em peças decoradas por jato de tinta.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Disponível em

<[http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!pr
oduo/c137p](http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!pr
oduo/c137p)>. Acesso em: 01 nov 2015.

[2] Disponível em

<[http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!br
asil/ce0c](http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!br
asil/ce0c)>. Acesso em: 09 jul 2013.

[3] Disponível em:

<[http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!m
undial/c150q](http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!m
undial/c150q)>. Acesso em: 01 nov 2015

[4] Disponível em

<[http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!e
xportao/c9h7](http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!e
xportao/c9h7)>. Acesso em: 01 nov 2015.

[5] CAMPOS, J.M; CORMA, P.; LÓPEZ, J.; LUCAS, F.; PASQUETTO, S. e MORENO, V.; Influência de Variáveis de Material e de Processo sobre a Presença de Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos Decorados através de Cilindros de Silicone (Técnica Rotocolor); Cerâmica Industrial, 7 (3) Maio/Junho, 2002.

[6] Torres, A; Tirado, J.A.; Babiloni, M.A.; Lucas, F.; Albalat, J.; Desenvolvimento de decoração de placas cerâmicas por quadricromia pela técnica de encavografia (ocografia): aplicação do método de Krieger-Dougherty. Cerâmica industrial; 15 (4) julho/agosto, 2010.

[7] SHARMA K. D.; Genesis of shade variations in ceramic tiles and some suggested remedies; Tile & Brick International ISSN 0938-9806; 1990, vol. 6, nº.6, pp. 22-24; Alemanha.

[8] Rodriguez, J.V.G., et al; Standardization of work for setting the tone of ceramics; Journal of Mechanics Engineering and Automation; 4 (2014) 1008-1013.

[9] Beltrami A.; Costa, M. A medição de cores em Cerâmica Digital; Cerâmica Industrial; 18 (2) março/abril, 2013.

[10] Beltrami A.; Costa, M.; O controle de qualidade no processo de impressão digital em cerâmica: a utopia possível; Cerâmica Industrial; 18 (3) maio/junho, 2013.

[11] FRASE, B.; MURPHY, C.; BUNTING, F; Real World Color Management; 2nd edition; Berkley, CA; Peachpit Press; 2005.

[12] BURZACCHINI, B.; PAGANELLI, M; LAZARINI, M; Colore, pigmenti e colorazione in cerâmica; Modena; Italia; Società Ceramica Italiana; S.A.L.A. srl.

[13] Disponível em http://www.picstopin.com/300/information-about-the-cielab-colour-model/http:%7C%7Cwww*dtpstudio*de%7Cimages%7CAbb10*jpg/.

Acesso em: 15 ago 2013.

[14] Disponível em

http://www.cas.miamioh.edu/~meicenrd/anatomy/Ch1_Microscopy/digitalmicroscopy.html. Acesso em: 15 ago 2013.

[15] Disponível em http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/CIE-1931_diagram_in_LAB_space.svg. Acesso em: 04 jun 2013.

[16] MONARI, P.; et. al; Manuale di Tecnologia Ceramica per la Decorazione – Apostila Rotocolor. System SpA. Rev. 5.0: Fiorano Modenese, RE; Itália, 2005.