

Análise Quantitativa de Variáveis de Impressão Serigráfica que Afetam as Mudanças de Tonalidade em Pisos Cerâmicos Serigrafados

G. Peris-Fajarnés¹, M. Alcañiz², M. Olivares³, I. Lengua⁴

¹*Professor Titular da Escola Universitária Politécnica de Valencia Interino,
Departamento de Expressão Gráfica em Engenharia, Escola Universitária de Gandía*

²*Professor Titular da Universidade Politécnica de Valencia,
Departamento de Expressão Gráfica em Engenharia*

³*Bolsista do Departamento de Expressão gráfica em Engenharia,
Escola Universitária de Gandía, Universidade Politécnica de Valencia*

⁴*Bolsista do Departamento de Expressão gráfica em Engenharia,
Escola Universitária de Gandía, Universidade Politécnica de Valencia*

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo quantitativo do efeito das variáveis tensão na tela serigráfica, a distância tela-peça, a viscosidade da tinta e o ângulo da espátula de impressão, sobre as variações da tonalidade em peças serigrafadas.

Palavra-chave: serigrafia, variação da tonalidade, revestimentos cerâmicos

Introdução

O presente trabalho pretende avaliar como e quanto uma série de parâmetros produtivos mensuráveis quantitativamente afetam as variações na tonalidade média de pisos cerâmicos serigrafados. O sistema produtivo da serigrafia industrial no mundo cerâmico gera uma série de variações a tonalidade das peças o que repercute diretamente no custo e rendimento da empresa¹.

Assim como já foi estudado por outros autores, o impacto de uma melhora na qualidade produtiva dos produtos cerâmicos pode ocasionar um benefício elevado a nível de custos².

As variações de tonalidade das peças são causas de desclassificação ou de várias classificações destas ao final do processo produtivo. Isto leva a um aumento de custos de estocagem pois há a existência de várias categorias, e de igual modo, geram a necessidade de equipamentos para a classificação destes produtos. Como consequência dos custos e da complexidade produtiva será utilizado uma série de experiências baseadas em um experimento estatístico, recomendado por alguns autores³.

Alguns autores iniciaram a pesquisa neste campo, os estudos de Corma e as orientações de outros pesquisadores^{2,7} são um ponto de partida para a realização deste trabalho.

Objetivos

Pretende-se estudar a variação da tonalidade produzida pela tensão na tela serigráfica, a distância tela-peça, a viscosidade da tinta e o ângulo da espátula de impressão. Define-se a análise com as variáveis anteriores, o estudo de cada uma delas com um mínimo de três níveis de variação.

Assim pretende-se obter o experimento estatístico com uma série de pontos que permitam em primeiro lugar:

A) Confirmar a existência de uma relação entre a variável e a tonalidade (mediante análise da Variância) e, uma vez confirmada a existência de relações entre as variáveis;

B) Estudar o modelo de regressão possível.

Materiais e Métodos

Experiências Realizadas

Efeito da Tensão, Distância Tela-peça e da Viscosidade

Para cada combinação de parâmetros preparam-se quatro peças. Foram descartadas sistematicamente as duas primeiras e utilizou-se as duas últimas peças impressas. A espátula escolhida para os testes foi aferida (forma um ângulo de 90 entre a borracha da espátula e a tela serigráfica) antes de

realizá-los. Não foi medida a pressão da espátula, escolhendo-se sempre a mínima pressão necessária para a obtenção da impressão. Manteve-se constante a velocidade de impressão. Todas as peças foram impressas à mesma temperatura. Os ensaios foram realizados em uma Cabine Serigráfica da Nasseti modelo Serimeck TOP 101. Uma vez obtida toda a série, as peças foram queimadas conjuntamente para evitar possíveis problemas de mudanças de tonalidade provocadas pelo forno.

O design da imagem foi realizado em um software de Difusão de Erros⁶ e segundo metodologia patenteada⁸.

Os ensaios realizados foram o resultado do cruzamento de todos os parâmetros:

Tensão na tela (TP). Utilizou-se três valores de tensão das telas. Mediu-se a tensão com um extensômetro de sensibilidade 0,1 N/cm. A tensão foi medida em duas direções paralelas a beirada da tela sendo em todos os casos as diferenças menores que 0,5 N/cm entre as duas direções. As telas de serigrafia foram preparadas com uma antecedência de 48 horas antes da realização da experiência. As três tensões estudadas foram de 16, 20 e 25 N/cm.

Distância tela-peça (FCA). Com a ajuda de uma cunha graduada mediu-se a distância tela-peça nos quatro extremos da tela serigráfica. Foram medidas duas séries, quatro delas com o mesmo nível nos quatro cantos, e seis delas resultam de combinar uma distância tela-peça diferente entre a parte inicial e final na direção do trajeto da espátula de impressão. Escolheu-se o valor inferior sempre na parte final do percurso da impressão. Os dados foram medidos em milímetros. Os valores foram os seguintes: a) ao mesmo nível: 4, 5, 7 e 9 mm; b) com diferenças no início e no final do percurso da impressão: 4-6, 4-8, 4-9, 6-8, 6-10 e 8-10 mm.

Viscosidade (TINT). A viscosidade foi mediada em um viscosímetro Copo Ford (DIN 53.211) que consiste de um copo com uma determinada capacidade com o fundo em forma de funil e uma abertura em sua parte inferior. Mediram-se os valores a temperatura de 20 graus centígrados. É precisamente o tempo que demora para o copo esvaziar-se o indicador de viscosidade da tinta. Os valores analisados na experiência foram de 1,5, 2,5 e 3 min.

Efeito do Ângulo da Espátula

Objetivo: Pretendeu-se decidir o ângulo ótimo de trabalho da espátula, e se é ou não afetado pelo desgaste desta.

Definiu-se o experimento realizando-se a série correspondente combinando os seguintes parâmetros:

- **Ângulo da espátula.** Mediu-se o ângulo da espátula com ajuda de um semicírculo graduado. O semicírculo foi apoiado sobre a tela serigráfica lendo-se o ângulo que formava entre a aresta da espátula e o local de impressão. Os ângulos foram medidos em graus que correspondem aos seguintes valores: 30, 40, 50, 60, 70 e 80 graus.

- Escolheram-se duas espátulas do mesmo material, uma delas usada durante uma jornada de produção e a outra recém aferida. Os dados foram codificados como A (espátula aferida) e G (espátula gasta).

Efeito da Viscosidade

Objetivo: Definir como varia a tonalidade em função da viscosidade.

Com os parâmetros analisados dos ensaios anteriores, definiu-se uma experiência em que foi variada a viscosidade mantendo-se constante o ângulo da espátula (60 graus), a tensão na tela (25 N/cm), e a distância tela-peça (5 mm). Foram preparadas seis amostras.

Resultados Obtidos

Das 90 amostras correspondentes a todas as combinações possíveis dos dados anteriores, obteve-se um total de 85 amostras, perdendo-se cinco delas devido a quebra das amostras.

Da segunda experiência, efeito do ângulo da espátula obteve-se as 12 amostras previstas pela experiência.

Na terceira série que corresponde ao afeito da viscosidade da tinta obteve-se as seis amostras previstas pela experiência.

Os dados correspondentes ao valor de cor foi medido em um colorímetro Minolta modelo CR300. Utilizou-se as leituras de cor recomendada pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) conhecida como CIELAB ou CIE 1976 $L^*a^*b^*$, onde L representa a Luminosidade (variando desde zero para a cor preta até 100 para a cor branca), a representa as cores verde e vermelho (verde com negativos e vermelho com positivos), e b representa as cores azuis e amarelas (azuis os negativos e amarelos os positivos). Como o tinta utilizada é preta, o valor que será considerado para todas as experiências será o valor de L.

Estes valores de L foram lidos em oito pontos diferentes da cada peça, dois pontos para cada canto da peça que correspondem a dois níveis de cinza que estão presentes nos quatro cantos da peça.

Resultados e Discussões

Estudo Geral

Estudo por meio de Análise da Variância dos principais fatores que afetam à variabilidade da tonalidade entre peças cerâmicas.

A análise de variância indica os parâmetros que afetam o valor médio de tonalidade das peças (denominou variável MEDO). Os parâmetros cujos valores de P são inferiores a 0,05 são considerados significativos.

Então, deduz-se dos dados da Tabela 1 que a variação do valor de L, representada pela variável MEDO, é influenciada, entre outros fatores, pela viscosidade da tinta, pela

Tabela 1. Análise da Variância. Efeito sobre as variações percentuais de tonalidade média devido a Distância Tela-Peça, a Viscosidade da Tinta e a Tensão na Tela serigráfica. Observa-se ao analisar os três fatores conjuntamente que as variações obtidas na experiência são estatisticamente significativas.

Análise da Variância para MEDO – Soma dos Quadrados					
Origem	Soma dos Quadrados	Df	Média Quad.	F-Ratio	P-Valor
Principais Efeitos					
A: FCA	58,6413	5	11,7283	6,49	0
B: TINT	46,0469	2	23,0234	12,75	0
C: TP	15,4942	2	7,7471	4,29	0,0172
Residual	135,465	75	1,8062		
Total	260,286	86			

Todos os F-ratios baseiam-se no erro do quadrado médio residual.

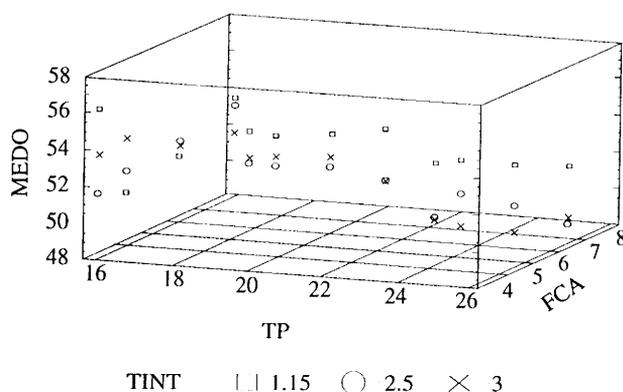


Figura 1. Valor médio da variável MEDO (média do valor de L das peças) em função da tensão na tela (TP) e do valor da distância tela-peça (FCA). Os valores representados indicam a viscosidade da tinta.

tensão na tela e pela distância tela-peça. Estes fatores de variação têm uma incidência estatisticamente significativa.

Uma mudança de tela pode produzir alterações em, pelo menos, três fatores. Primeiro ao ser uma tela diferente a tensão pode variar, segundo ao colocar a tela pode-se modificar a distância tela-peça e terceiro as modificações na pressão de impressão da espátula. A probabilidade que uma mudança de tela afete à viscosidade não é muito consistente. Outros fatores de variação não estudados no modelo são os próprios processos de elaboração das telas serigráficas. Estas variáveis ficaram constante em nossa experiência.

Se as variáveis são representadas no modelo anterior, pode-se obter uma estimativa das possíveis correlações lineares entre as variações de tonalidade e os parâmetros de impressão.

Se os dados de valor médio de L são representados em função da distância tela-peça e a tensão, por meio da identificação dos pontos de viscosidade diferente, se observa que a dispersão da tonalidade é menor com uma viscosidade alta do que com baixas viscosidade.

Isto justifica realizar uma análise de regressão multi-variante para verificar como muda a tonalidade das peças com uma viscosidade alta.

Integrando o valor da distância tela-peça juntamente com o valor da tensão na tela em uma mesma equação, esta permite analisar em um modelo combinado o efeito de ambas as variáveis.

Nos gráficos das Figs. 2 e 3 pode ser observado como as diferenças que existem para a viscosidade mantêm a mesma ordem em quase todos os casos, mas tornam-se maiores com tensões mais altas. É observado como sua influência na variação das tonalidades para baixas tensões é muito menor que as variações produzidas pela distância tela-peça. Por outro lado para tensões superiores para 16 N/cm as diferenças são da mesma ordem.

A partir dos dados anteriores tem-se a necessidade de abordar o estudo das relações quantitativas entre o valor médio de L e o resto dos parâmetros. Então será realizado um estudo de como cada parâmetro afeta o valor de L (variável MEDO) e posteriormente será estabelecida uma equação de regressão geral com todos os parâmetros.

O estudo da variação da tonalidade em função da distância tela-peça é feito por meio de uma análise de regressão. A variação produzida na tonalidade de uma peça é estudada mantendo-se constante a tensão na tela e a viscosidade da tinta, sendo obtido uma regressão linear direta com um R quadrado de 96,4% (ou seja, para as condições da experiência o modelo comprova mais de 90% da variabilidade), conforme mostrado Tabela 2 e na Fig. 4).

O coeficiente da equação é de -0,88, o que indica que a maior distância tela-peça, resulta em um menor valor de L, ou seja maior a proximidade ao preto. A faixa de tinta ou a impressão resultante geram uma imagem mais escura com distâncias tela-peça maiores.

Um incremento na distância tela-peça produz um decréscimo no valor de L na impressão, o que significa que esta torna-se mais escura. Isto pode ser devido a dois fatores, mais tinta é depositada ou que a tinta depositada

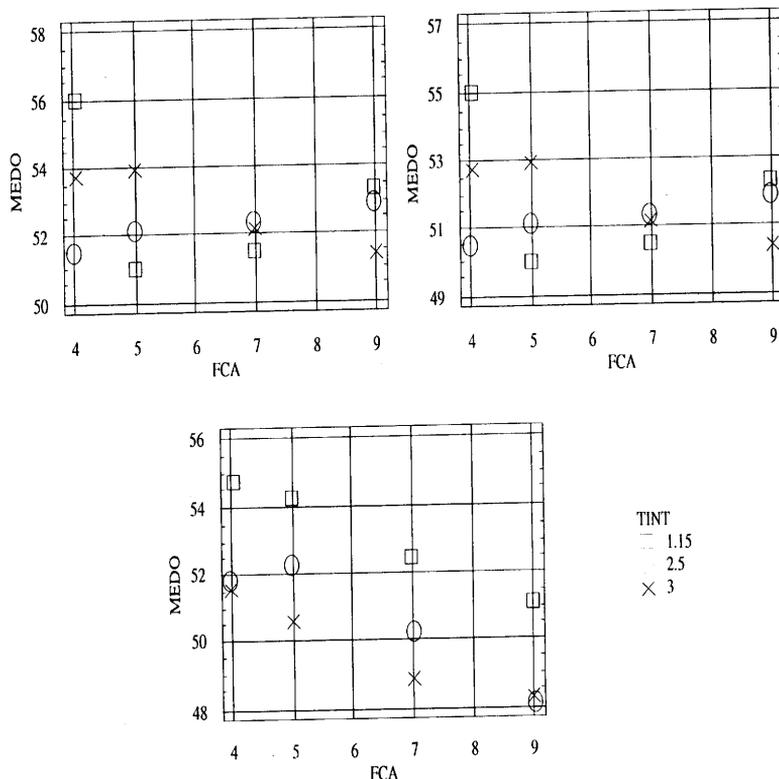


Figura 2. Representação do valor médio de L para uma tensão na tela de 16 N/cm (superior esquerdo), com 20 N/cm (superior direito) e com tensão de 25 N/cm (inferior). É observado que para uma viscosidade de 1,5 min a tendência muda de sentido para as tensões na tela.

esta em excesso. Estes dados estão de acordo com os dados obtidos por outros pesquisadores⁵ que indicam que um aumento da distância tela-peça leva a um incremento no valor de L, um escurecimento da imagem e, uma perda nas possíveis tonalidades.

Os dados também concordam com a teoria de outros autores que recomendam uma redução do valor da distância tela-peça para adquirir uma melhor qualidade de impressão⁹. O fator distância tela-peça depende da tensão na tela; uma tensão muito baixa impede a utilização de distância tela-peça muito pequena, e uma tensão alta obriga a usar distâncias tela-peça menores para reduzir os esforços da tela serigráfica.

A influência da distância tela-peça na tonalidade média entre peças é notável. De acordo com os dados obtidos na Tabela 2, cada milímetro de incremento no valor da distância tela-peça (FCA) produz uma variação de 0,85 % na tonalidade das peças referente a 0,81 no valor total de L (CIE). Em outras palavras, uma diferença de 5,9 mm na distância tela-peça garante uma mudança de 5 pontos do valor de L com uma probabilidade de 96,4% (sempre que fixada as condições da experiência em tensão da tela de 20 N/cm e viscosidade de 2,5 min.).

O valor MEDO é uma medida das variações de tonalidade totais. As variações devidas a distância tela-peça podem chegar a ser 50% das variações totais.

Tabela 2. Modelo de regressão linear entre MEDO e FCA. O modelo de regressão linear é ajustado com uma confiabilidade de 96% e um índice estatisticamente significativo. O estudo foi realizado para distâncias tela-peça variáveis de contato mas iguais nos quatro cantos, tensão na tela de 20 N/cm e viscosidade da tinta de 2,5 min.

Coefficiente de Correlação = - 0,981592

R-quadrado = 96,3522%

Desvio padrão = 0,467142

MEDO = 57,8479 - 0,884068 * FCA

Como já foi dito, as mudanças na distância tela-peça não podem ser realizadas de forma independente; elas são consequência de uma série de inter-relações com outros parâmetros. A variação que leva a uma mudança do valor da distância tela-peça esta associada, na maioria das vezes a dois fatores, a dureza da espátula e a tensão na tela.

Uma espátula muito suave obriga a aplicar, ou uma maior pressão na espátula ou uma redução na distância tela-peça. E uma menor tensão na tela normalmente obriga a subir a tela e aumentar o valor da distância tela-peça.

Em uma situação real, para uma determinada tensão na tela e uma espátula real, uma mudança da distância tela-peça produz uma alteração na tonalidade que corresponde

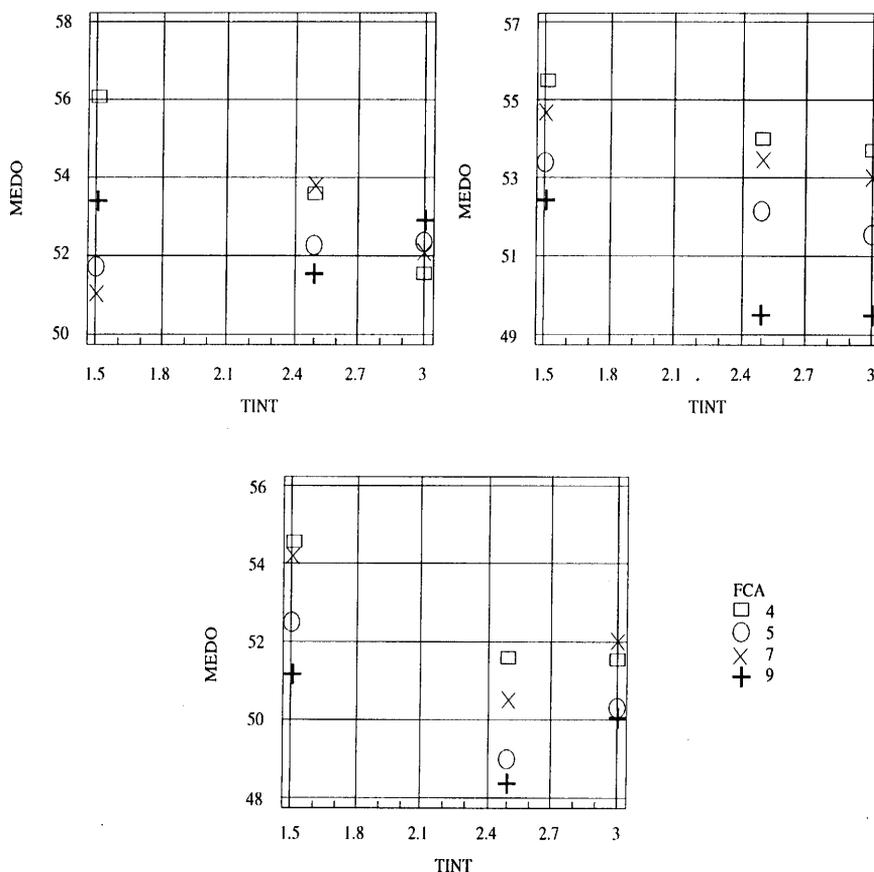


Figura 3. Representação de como varia o valor médio de L em função dos três valores de viscosidade da tinta e é representado para uma tensão na tela de 16 N/cm (superior esquerdo), de 20 N/cm (superior direito) e de 25 N/cm (inferior). Observa-se como ocorrem diferenças entre as variáveis tinta e tensão, aparecendo uma ligeira tendência.

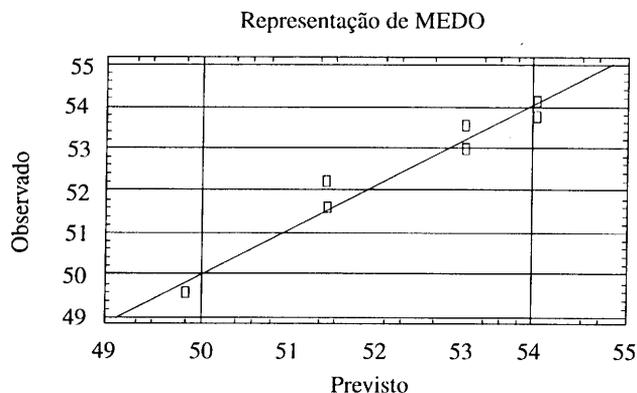


Figura 4. Representação de MEDO para os valores observados e previstos no modelo. Assim como observado na Tabela 2, há a relação entre o valor médio de L para o tom de cinza de referência medido em cada peça e a distância tela-peça em milímetros. Os dados foram tomados para um valor constante de viscosidade e tensão na tela. Ao aumentar a distância tela-peça o valor de L cai, levando a uma tonalidade mais escura da peça.

a uma reta de regressão linear. A mudança da distância tela-peça ocorre quando a pressão da espátula é reajustada.

Um aumento da pressão da espátula faz com que a superfície de contato entre a tela e o peça seja maior, isto

justifica um escurecimento da imagem e problemas de excesso de tinta. E por outro lado, este aumento faz com que o ângulo de contato da espátula e o tecido seja menor. Os ensaios foram realizados com um ângulo constante de 60 graus. Como será mostrado posteriormente, para os valores do ângulo de trabalho, a relação entre o ângulo e a tonalidade é linear e positiva, isto significa que um ângulo menor também modifica o valor de L no sentido decrescente, quer dizer para tons mais escuros.

Uma experiência realizada por Mark A. Cougray⁵ mostra as diferenças de tensão produzidas pela pressão da espátula, que tem que se apoiar sobre uma tela de tensão estática ou nominal de 22 N/cm. O estudo mostra as diferenças entre duas distâncias tela-peça diferentes, os valores foram tomados em distâncias diferentes em relação a borda da tela de serigrafia (Fig. 6).

Como pode ser observado, a distância tela-peça é um fator que afeta as variações da tonalidade em qualquer caso. Será estudado como este valor é afetado em três situações, primeiro junto com a tensão na tela, segundo com a viscosidade da tinta e finalmente os parâmetros serão incluídos em um modelo de regressão mais geral.

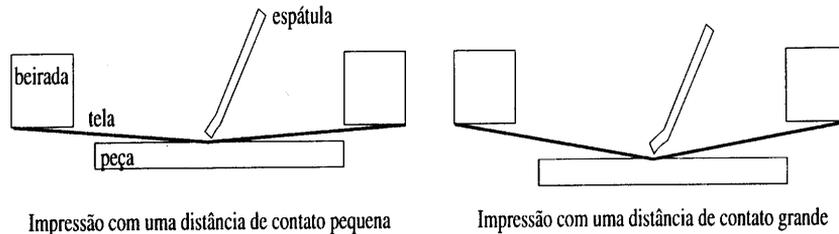
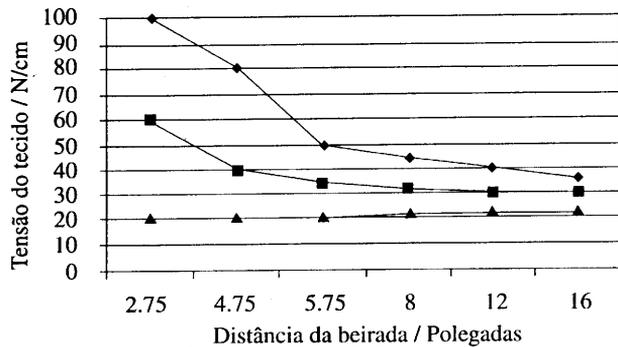


Figura 5. Representação do esforço da espátula em função do valor da distância tela-peça.



◆ 0,18 Poleg. FC ■ 0,08 Poleg. FC ▲ Tela estática

Figura 6. Diferenças de tensão produzidas pela pressão da espátula que tem que se apoiar sobre uma tela de tensão estática ou nominal de 22 N/cm⁵.

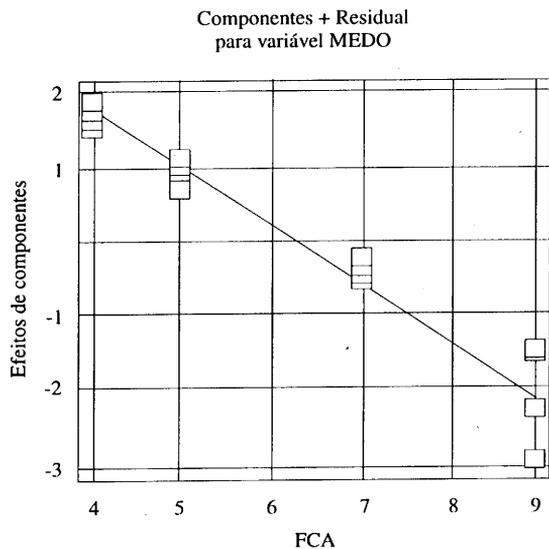


Figura 7. Modelo de regressão entre a variação da viscosidade da tinta e a distância tela-peça. A análise foi realizada mantendo-se constante a tensão na tela para 20 N/cm.

R-quadrado = 96,1798%
 R – quadrado (ajustado por d.f.) = 95,3308%
 Desvio padrão = 0,393909
 Erro absoluto médio = 0,252649
 Durbin-Watson estatístico = 1,57285
 $MEDO = 60,7633 - 0,77363 * FCA - 1,36339 * TINT$

Tabela 3. O estudo de regressão entre o valor médio da tonalidade da peça (MEDO) com a distância tela-peça e a tensão na tela corresponde a 68% das variações de tonalidade. O estudo foi realizado com os valores de viscosidade igual ou superior a 2,5 min.

R-quadrado = 71,4579%
 R – quadrado (ajustado por d.f.) = 68,7396%
 Desvio padrão = 0,989002
 Erro absoluto médio = 0,722162
 Durbin-Watson estatístico = 1,59241

$$MEDO = 60,5937 - 0,559145 * FCA - 0,270225 * TP$$

(FCA = FCB) & (TINT 2,5)

Tabela 4. O modelo de regressão deduzido é um modelo linear. Pode-se dizer que há 61% das variações incluídas no modelo, nele é observado como cada fator afeta o valor médio de L. Um aumento no valor da viscosidade (medida em minutos) leva a uma tonalidade impressa mais clara; um aumento na tensão clareia a peça e um aumento da distância tela-peça a escurece.

R-quadrado = 65,8032%
 R – quadrado (ajustado por d.f.) = 61,3907%
 Desvio padrão = 1,18512
 Erro absoluto médio = 0,884081
 Durbin-Watson estatístico = 1,33931

$$MEDO = 54,5969 - 0,552349 * FCA + 0,196747 * TP + 2,01567 * TINT - 0,161491 * TINT * TP$$

Como pode ser observado (Fig. 7) existe um modelo que comprova 95% da variação de L produzida por variações na distância tela-peça e na viscosidade da tinta. O modelo é válido para uma tensão de 20 N/cm, sua confiabilidade é de 80% com uma tensão na tela de 25 N/cm e sua equação de regressão varia ligeiramente.
 $(MEDO = 60,1371 - 0,712133 * FCA - 1,95527 * TINT)$

A análise de correlação múltipla entre as variações de L, decorrente da variação da distância tela-peça e da tensão da espátula, comprovam os 68% das variações de L (Tabela 3). O modelo é válido para valores de viscosidade superiores a 2,5 min. Incluindo no modelo a viscosidade de

1,5 min, a confiabilidade do modelo diminui para 40%, embora a equação da regressão linear seja bem parecida.

A Tabela 4 quantifica as variações produzidas pelas mudanças na tensão ou na viscosidade da tinta. O modelo foi calculado para uma distância tela-peça de sete milímetros. Nesta Tabela pode-se verificar como a distância tela-peça e a tensão na tela serigráfica produzem ambos uma mudança na tonalidade da peça na mesma direção. Um aumento da distância tela-peça faz decrescer a tonalidade média, e um aumento na tensão de tela também ocasiona um decréscimo na tonalidade média.

A faixa de variação da distância tela-peça pode oscilar entre 4 e 10 mm, e as tensões nas telas variam entre 8 N/cm e com de máximo 20 N/cm.

Se for realizado um cruzamento das duas variáveis, obtém-se uma série de combinações que nós permitem estudar as variações da tonalidade. Fazendo-se uma série de possíveis combinações obtém-se os dados da Tabela seguinte:

Distância tela-peça (mm)	Tensão na Tela (N/cm)	Modificação do valor de L
4	20	- 5,439216
5	18	- 5,668583
6	16	- 5,897950
7	14	- 6,127317
8	12	- 6,356684
9	10	- 6,586051
10	8	- 6,815418

Como pode ser observado na Tabela anterior, o fato de combinar ambos os valores (distância tela-peça e tensão na tela) causa diferenças de até 1,4 pontos em L no sentido negativo.

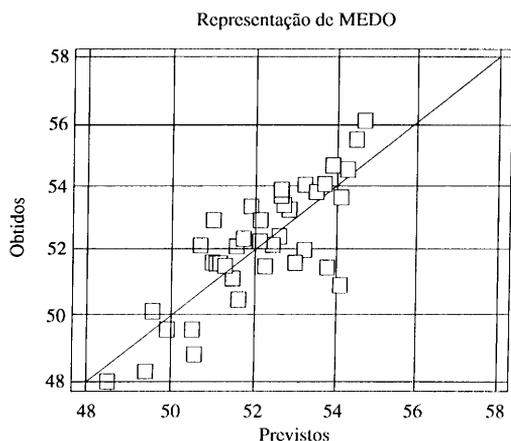


Figura 8. Este gráfico representa o desvio entre a equação de regressão múltipla mostrada na Tabela 4 e os dados previstos (linha direta) e obtidos experimentalmente (os pontos).

Um fator a ser considerado é que o objetivo teórico é obter diferenças que tendam a aumentar o valor de L, já que se supõe um depósito menor de tinta ou um menor excesso desta, e portanto uma redução no ganho de L.

Se os dados forem cruzados pode-se analisar a sensibilidade ou o incremento de L que é produzido. Por exemplo, se uma impressão estiver acontecendo com uma tela de 16 N/cm, uma distância tela-peça de 6 mm e a tela quebra e é substituída por uma de 12 N/cm sobre a qual é aplicada uma distância tela-peça de 8 mm pode-se prever uma mudança em L de 0,45 pontos. Se a distância tela-peça não for corrigida e é mantida em 6 mm, a mudança em L será de 0,65.

Estudo da Viscosidade

Existe uma grande variabilidade entre modelos de regressão produzidos por mudanças na tensão na tela. Uma tensão na tela baixa destaca mais a diferença de tonalidade produzida pelas variações da viscosidade.

Quer dizer, há uma correlação entre a viscosidade da tinta e a tensão na tela. Esta correlação será incluída no modelo final de regressão linear.

O modelo de regressão entre as variações de percentual da tonalidade das peças é um modelo linear; um aumento na viscosidade afeta negativamente esta porcentagem, ou seja reduz o valor de L e sua proximidade para o preto.

Um incremento no valor da viscosidade leva a uma diminuição no valor de L, ou seja a tonalidade impressa é

Tabela 5. Estudo de Regressão entre o valor de L de um ponto da peça e a viscosidade é ajustado a 75% da variação linear. Cada unidade de viscosidade afeta em 2,98 pontos no valor de L da tonalidade final obtida. O estudo é realizado para uma tensão na tela de 16 N/cm e uma distância tela-peça de 4 mm.

Coefficiente de Correlação = - 0,98661

R – quadrado = 97,3399 %

Desvio padrão = 0,53185

MEDO = 60,7 - 2,97857 * TINT

(FCA = FCB) & (FCA = 4) & (TP = 16)

MEDO = 60,7 - 2,97857 * TINT

R – quadrado = 97,3399 %

(FCA = 4) & (TP = 16)

MEDO = 56,2225 - 1,08714 * TINT

R – quadrado = 99,9315 %

(TP = 20) & (FCA = 5)

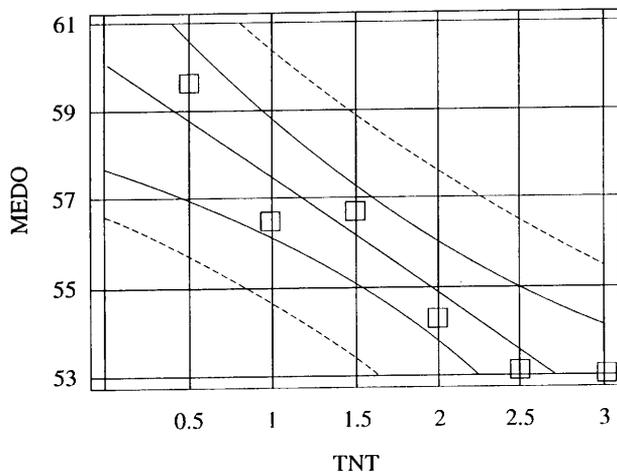


Figura 9. Análise da correlação linear entre a viscosidade e a variação de tonalidade impressa. É observado como um aumento na viscosidade produz uma obscuridade da imagem.

Coefficiente de Correlação = - 0,948996

R – quadrado = 90,0593 %

Desvio padrão = 0,910442

MEDO = 60,1238 - 2,62029 * TINT

mais escura. Isto ocorre quando o estudo é realizado em uma determinada tela.

O ensaio realizado com uma série para uma viscosidade crescente mantendo-se constante a tela com uma tensão de 20 N/cm e a distância tela-peça de 5 mm mostra a existência de uma clara correlação linear entre a tonalidade impressa e a viscosidade da tinta (Fig. 9).

Estudo do Ângulo

O modelo linear apresentado tem um valor alto de probabilidade, não obstante, que é observado nos pontos uma possível curva ajustável para uma equação de segundo grau. Representa-se este estudo no tabela a seguir (Tabela 7).

A espátula que é usada para a experiência é uma espátula aferida com uma aresta de 90 graus. Um ângulo menor aumenta a superfície de contato, pressiona mais a tinta de modo a passar uma quantidade maior; ou, quando aumentada a superfície de contato entre o tecido e a superfície a serigrafar este ponto receberá mais tinta.

Observando-se a Tabela 7 nota-se que existe uma relação exponencial entre a tonalidade média das peças cerâmicas e o ângulo da espátula, sempre que esta esteja aferida. Esta relação é inexistente no caso da espátula que esta gasta. Isto pode ser devido a um perfil desgastado de uma espátula poder estar mais ou menos arredondado de tal modo que o ângulo de ataque permanece constante, como pode ser verificado na Fig. 12.

Tabela 6. O modelo de regressão é obtido entre o valor médio da tonalidade em função do ângulo, para espátulas aferidas. Um ângulo maior leva a um incremento de 0,16 por grau no valor de L, ou seja a peça clareia na medida que o ângulo de ataque aumenta.

Coefficiente de Correlação = - 0,936516

R – quadrado = 87,7063 %

Desvio padrão = 1,32919

MEDO = 40,9308 + 0,169736 * ANGULO

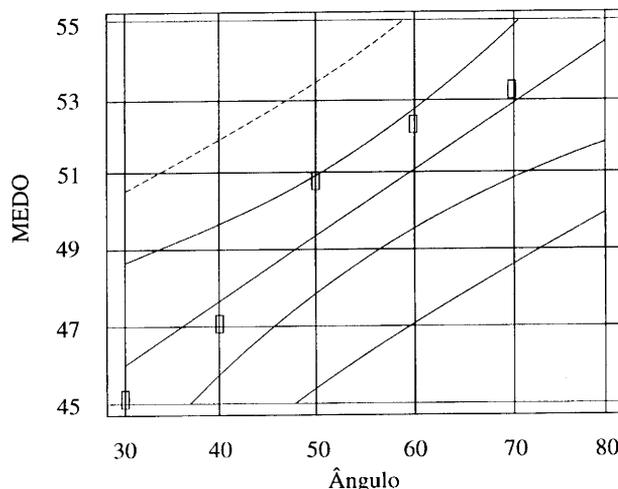


Figura 10. Gráfico da experiência de variação da tonalidade em função do ângulo. Ajuste por regressão linear.

A partir da equação acima e, calculando-se sua derivada e igualando-se a zero, o ponto de máximo da curva é obtido. Este é o ponto ótimo onde as variações do ângulo afetam em menor escala a tonalidade da peça.

Uma mudança no valor do ângulo em torno deste valor (entre 71,4 e 81,4) produz uma mudança em L de 0,00049488, frente por exemplo de uma mudança entre 50 e 60 graus no ângulo que produz uma mudança em L de -1,697364.

Até este momento, este trabalho verificou as variações da tonalidade média das peças cerâmicas serigrafadas. É importante completar o estudo com uma análise da variabilidade interna da tonalidade das peças, ou seja a tonalidade muda dentro de uma mesma peça.

As diferenças de tonalidade em uma mesma peça são evidentemente pequenas. Assim pode-se concluir deste estudo que há a necessidade de reduzir o valor da distância tela-peça, a necessidade de utilizar tensões altas na tela e como alguns autores recomendam^{4,9}, a necessidade de limitar flutuações devidas a fluidez da tinta, cujos valores deveriam estar entre um e dois minutos.

Conclusões

Como conclusão obtém-se as equações a seguir, com o seu grau de confiabilidade. Todas as equações são válidas,

Tabela 7. Análise por regressão polinomial entre MEDO e o ângulo. Nas Figs. 10 e 11 pode-se ver como é possível adaptar à relação entre a tonalidade média e o ângulo para uma curva. Da mesma maneira observa-se que este ajuste é muito mais preciso e acaba comprovando 96% da variação na tonalidade. MEDO é o valor médio de quatro pontos que correspondem a região escura localizada nos quatro cantos da peça.

R – quadrado = 97,9265 %

R – quadrado (ajustado por d.f.) = 96,5441 %

Desvio padrão = 0,630334

Erro absoluto médio = 0,359833

Durbin-Watson Estatístico = 2,97173

$$\text{MEDO} = 30,0878 + 0,606102 * \text{ANGULO} - 0,00396696 * \text{ANGULO}^2$$

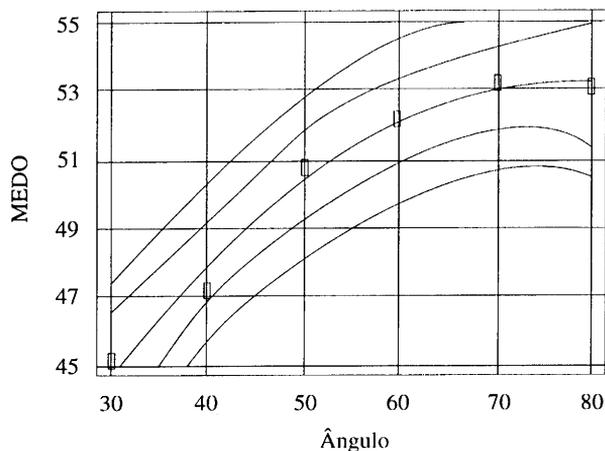


Figura 11. Dos dados da Tabela 7 obtém-se a curva de regressão entre o valor médio da tonalidade e o ângulo da espátula.

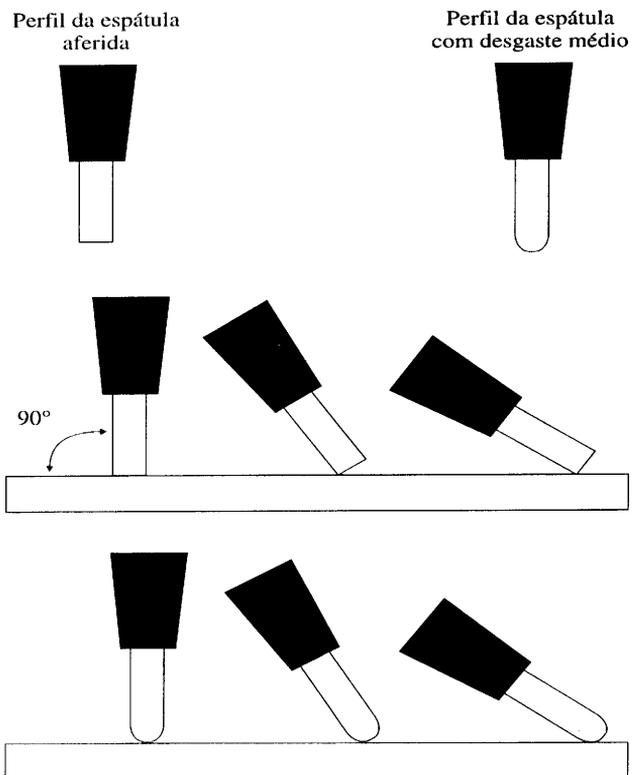


Figura 12. O ângulo de uma espátula arredondada permanece constante frente ao ângulo de ataque de uma espátula aferida.

$$\text{MEDO} = 30,0878 + 0,606102 * \text{ANGULO} - 0,00396696 * \text{ANGULO}^2$$

$$0 = 0,606102 - 2 * 0,00396696 * \text{ANGULO}$$

$$\text{ANGULO} = 76,4$$

Análise conjunta dos efeitos de cada variável. Importância relativa

	Fator por unidade de diferença de L	Flutuação da variável e diferenças de tonalidade da equação geral	Flutuação da variável e diferenças de tonalidade na equação particular	Margem ótima
FCA	0,27	(3 – 10 mm) 0,9 – 2,7	0,6	Mínimo 4
FCB	0,21	(3 – 10) 0,6 – 2,1	0,2	Mínimo 4
FCB – FCA	0,23	(1 – 5 mm) 0,2 – 1,2	1,2	Máximo 9
Viscosidade	0,57 por min	(1,5 e 3,5 min.) 0,85 – 2	3,1	Mínimo 1,5
Tensão na tela	0,0756557 por N/cm	(10 – 25 N/cm) 0,7 – 1,9	1,2	21,2 N/cm
Ângulo	0,0530814 por grau	(40 – 80 graus) 2 – 4	2	59,6

sendo necessário indicar que nas equações que aparecem somente um parâmetro este foi variado mantendo-se constante o restante.

O efeito da tonalidade de referência ajusta-se a modelos lineares na área de variação dos parâmetros usados na experiência.

Isto não quer dizer que os modelos sejam lineares e portanto que é impossível a obtenção de pontos ótimos, mas que entre os valores de uso mais frequentes em nível industrial, as variações que repercurtem na tonalidade são lineares.

Ensaio Geral

Variável	Equação MEDO =	Confiabilidade (R ²)	Limitação
FCA	57,8479 - 0,884068 * FCA	96,3522	TP = 20 N/cm TINT = 2,5 min
FCA TINT	60,7633 - 0,77363 * FCA - 1,36330 * TINT	95,3308	TP = 20 N/cm
FCA TINT	60,1371 - 0,712133 * FCA - 1,95527 * TINT	80	TP = 25 N/cm
FCA TP	60,5937 - 0,559145 * FCA - 0,270225 * TP	68,7396	TINT ≥ 2,5
TINT	60,7 - 2,97857 * TINT	97,3399	FCA = 4 TP = 16
TINT	56,2225 - 1,08714 * TINT	99,9315	TP = 20 FCA = 5
FCA TP TINT TINT + TP	54,5969 - 0,552349 * FCA + 0,196747 P + 2,01567 * TINT - 0,161491 * TINT * TP	61,3907	

Ensaio Específicos de Tinta e Ângulo

TINT	60,1238 - 2,62029 * TINT	90,0593
Ângulo	40,9308 + 0,169736 * ângulo	87,7063
Ângulo	30,0878 + 0,606102 * ângulo - 0,00396696 * ângulo ^ 2	96,5441

A quantidade de variação para cada fator pode ser observada na tabela, e em todos os casos a influência de cada fator é significativa.

Não existe uma porcentagem de variação produtiva não descrita pelo modelo e, que não pode ser avaliado nem com os dados nem com as experiências realizadas, mas as equações apresentadas acabam justificando 99% da variabilidade, o que indica que uma fonte importante de variação da tonalidade foi localizada.

- Como conclusões pode-se indicar tanto as equações anteriores como as seguintes considerações:
- A distância tela-peça é o parâmetro mais relevante na variação da tonalidade das peças. Um incremento deste valor produz uma diminuição do valor de L.
- O efeito de um incremento na distância tela-peça pode estar motivado por uma menor tensão na tela serigráfica. Estes valores compensam as variações na tonalidade.
- O aumento da viscosidade produz um decréscimo no valor de L.
- Existe um valor do ângulo espátula para o qual as variações ocorridas por este sobre a tonalidade é mínima. Este valor é 76,4°.
- Existe uma relação entre a tensão na tela e a viscosidade da tinta que afeta às variações da tonalidade impressa.

Bibliografia

1. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Blasco, A.; Enrique, J.E.; Escardino, A.; Negre, F. "Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos". AICE. Patrocinado por IMPIVA, Ministerio Industria, Comercio y Turismo y la Subdirección General de Industrias de la Construcción.
2. Corma, P.; Dávila, J.F.; QPT-Consulting. "Evaluación de los costes de no-calidad del sector español de pavimentos y revestimientos cerámicos". Qualicer 96.
3. Corma, P. (QPT-Consulting). "Aplicaciones del diseño de experimentos en la producción cerámica". **Cerámica Información**.
4. Coudray Mark, A. "Screen printing with elevated tensio in polyester mesh". **Screen Printing Mayo** 1989. Pg. 64-116.
5. Coudray Mark, A. "Interpreting Image Moire: Funding the Source Before You go to press", Part 2. Pages. 44-48. **Screen Printing April** 96.
6. Floyd, R.; Steinberg, L. "An adaptative Algorithm for Spatial Gray Scale" In Society for Information Display 1975, **Symp. Digest of Technical Pap.**, 1975, pg 36.
7. Peñalver J.; Mart, V.; Portolés, J.; Negre, P.; Barba, A.; Giménez, S.; Monfort, E. "Estudio de las variables de control de la aplicación serigráfica y su influencia sobre la dispersión de tonalidades en baldosas". Pg. 323. **Qualicer**, Marzo 1996.
8. Peris-Fajarnés, G.; Alcañiz, M. Patente. "Método de cálculo de la resolución de tramado óptima com Difusión o Ditering que maximiza fa eficacia y la definición en la insolación a nivel de punto y minimiza la pérdida de puntos". Registrada. P9600915 con fecha 23/04/96.
9. Peyskens, A. "Parámetros referentes a la fabricación serigráfica que afectan a la calidad de impresión". **En serigrafia**, Marzo/Abril 1992.