

Influência de Variáveis de Material e de Processo sobre a Presença de Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos Decorados através de Cilindros de Silicone (Técnica Rotocolor)

**J.M. Campos^a, P. Corma^b, J. López^c, F. Lucas^d,
S. Paschetto^e e V. Moreno^f**

^aCerâmicas Diago, ^bQPT, ^cKeros, ^dFritta, ^eSystem e ^fRocersa

Resumo: Na fabricação de pavimentos e revestimentos cerâmicos são verificadas variações de tonalidades nas peças. Estas variações nem sempre se devem a um defeito de variação na tonalidade do esmalte, podendo também estar relacionadas a um processamento inadequado durante a fabricação da peça, ou, de forma mais objetiva, durante a operação de decoração.

Atualmente, na fabricação de revestimentos cerâmicos, vem sendo introduzida de maneira crescente a decoração por meio de cilindros, na prática o sistema da empresa System, denominado rotocolor*.

Ocorrem variações de tonalidade inclusive com esmaltes e tintas para decoração cujos controles eram adequados sob o ponto de vista da variação de cor.

Neste trabalho são definidas, estudadas e correlacionadas, as variáveis de processo de:

- Preparação dos cilindros de decoração. Características do alvéolo.
- Condições dos componentes das tintas para decoração:
 - Veículos e natureza.
 - Base de serigrafia e aditivos.
- Operação de decoração e variáveis associadas:
 - Características do suporte a ser decorado e sua variação;
 - Variáveis do equipamento de decoração (máquina e cilindros) e sua variação.

São apresentados os resultados obtidos em condições habituais de trabalho, tanto para pisos como para revestimentos cerâmicos.

O diferencial deste quando comparado aos trabalhos anteriores, citados na bibliografia, com os quais se complementa, reside no fato de haver incorporado o novo sistema de decoração, o que supõe uma reconsideração das variáveis mencionadas naqueles trabalhos.

Os objetivos do presente trabalho são:

- Definir as variáveis e condições de trabalho que minimizam a variação de tonalidade na operação de decoração por rotocolor.

Palavras-chaves: *revestimentos cerâmicos, rotocolor, tonalidade*

Introdução

A decoração através da rotocolor é uma nova forma de transferir desenhos ou motivos para a superfície das peças de pisos e revestimentos cerâmicos.

A Tabela I apresenta a participação das diversas técnicas em relação à produção total de pisos e revestimentos cerâmicos.

Desta forma, e levando-se em conta a produção atual de revestimentos cerâmicos, pode-se dizer que cerca de 400.000 metros quadrados são decorados diariamente por

rotocolor. Isto dá uma idéia da importância da técnica, considerando também que ela surgiu no mercado há apenas 4 anos, aproximadamente.

Em primeiro lugar, fez-se uma listagem dos defeitos a

Tabela I. Emprego das diferentes técnicas de decoração.

serigrafia plana	rotocolor	outros
65%	25%	10%

* O termo "rotocolor" será empregado ao longo do trabalho representando o processo de forma genérica, sobrepondo-se à conotação de marca comercial.

serem considerados dentro do objetivo do trabalho:

- Variação de tonalidade;
- Laterais mal-decoradas (ou não decoradas);
- Borrado (decoração inadequada);
- Bisotado ou chanfro mal decorado;
- Diferença de intensidade na peça entre a entrada e a saída;
- Covinhas mal decoradas;
- Dificuldade de trabalhar com tons escuros.

A decoração por rotocolor consiste, basicamente, em depositar uma tinta sobre a peça. Isto se faz por meio do cilindro, que apresenta uma série de incisões, que mediante um sistema de rotação auxiliado por uma lâmina, são preenchidas com tinta, que é transferida para a peça ao ser colocada em contato com ela. Da forma e distribuição das incisões no rolo dependerá o desenho transferido.

A superposição ou aplicação sucessiva de cilindros, com suas cores correspondentes, dará lugar ao desenho.

Disto se deduz facilmente que a fidelidade do desenho e a fidelidade na repetição da abertura das incisões nos cilindros serão determinantes na repetição fiel da cor ou tonalidade. Em trabalhos anteriores foram estudadas outras variáveis importantes como a queima e o tipo de esmalte (bibliografia). Outro tema, da maior importância, será a constância do cilindro e de outros elementos da máquina durante seu período de utilização. Temos, assim, dois fatores associados com o cilindro/tonalidade:

- Constância na confecção de um mesmo padrão de desenho, quando solicitadas várias unidades;
- Constância nas condições de trabalho do cilindro e dos demais elementos associados durante o período de utilização.

Os fatores a serem considerados são:

- Forma geométrica das incisões;
- Constância durante o preenchimento das incisões.

A aplicação por rotocolor implica em elaborar tintas com uma maior concentração de cor, o que provoca uma maior sensibilidade com relação à tonalidade. Ainda, tanto pelo tipo de aplicação, como pela dosagem (tanques de tinta em circuito fechado), é necessária uma reconsideração da reologia das tintas.

As tintas que vêm sendo empregadas na indústria de pisos e revestimentos cerâmicos são, em sua maior parte, suspensões concentradas de sólidos, com uma concentração variável de frita base ou cobertura, pigmento e veículo.

A frita (base ou cobertura), assim como o pigmento (cor, que no caso de aplicações por cilindros pode chegar a ser de 70-80%), geralmente apresentam-se moídos, com a finalidade de adequar sua granulometria à abertura da malha das telas serigráficas, sendo apropriados para a operação via rotocolor.

Por outro lado, é necessário garantir um grau adequado de dispersão da frita e do pigmento no veículo. Dependendo do método empregado para a mistura e/ou moagem,

esta dispersão varia. Para controlar o grau de dispersão pode ser empregada a técnica de “análise de imagens”.

Os veículos normalmente empregados, para serigrafia plana, são à base de polietilenoglicóis de baixo peso molecular:

- Vantagens: plastificantes e lubrificantes;
- Desvantagens: pouco ligantes.

A adição de ligantes é feita para contornar a desvantagem citada e, com isto, permitir aplicações sucessivas sem a deterioração dos substratos anteriores (primeiras telas). Estes fixadores são à base de: acetato de polivinil e/ou álcool polivinílico. Esta técnica incorpora:

- Inconveniente: Adesão, como consequência da velocidade de secagem.

Durante a própria operação de decoração, o comportamento das tintas vem determinado por sua reologia. O comportamento ideal seria:

- Elevada viscosidade em repouso: impede o gotejamento e melhora a definição;
- Baixa viscosidade em movimento: melhora o passo e melhora a definição.

Para o caso da decoração via rotocolor, a escolha do veículo dependerá do tipo de produção: biqueima ou monoqueima.

E também do tipo de incisão do rolo:

- Incisão padrão (ex: 0,4/045°);
- Incisão em alta definição;
- Incisões em relevo (máscara ou hexagonal).

As características necessárias serão:

- Poder de suspensão;
- Poder de molhamento;
- Poder de auto-fixação;
- Reologia;
- Estabilidade durante a produção;
- Tensão superficial baixa para que molhe bem.

Parte Experimental

Foram empregadas, em todo momento, instalações industriais:

1. Preparação de tintas:
 - Moinho coloidal;
 - Peneira e agitador.
2. Tintas (veículos, cobertura e aditivos):
 - Tinta de cor clara: L = 90, sendo L a coordenada cromática associada à brancura (claro/escuro);
 - Tinta de cor intermediária (L = 85);
 - Tinta de cor escura (L = 75).
3. Os veículos utilizados foram:
 - Veículo 1: À base de glicóis e resinas sintéticas;
 - Veículo 2: À base de dietilenoglicol/propilenoglicol.
4. Cilindros rotocolor. Qualidade HD (alta definição) e qualidade 0,4/45°.

5. Grupo de cilindros rotocolor para decoração.
6. Linha de esmaltação.
7. Forno:
 - Para o controle da tonalidade (cálculo de dE) foi empregado um colorímetro CR-10 Minolta. Para as tintas empregadas era percebida variação visual quando $dE > 0,5$;
 - Para as medidas de viscosidade foram utilizados:
 - Viscosímetro Copo Ford;
 - Viscosímetro Brookfield e Reômetro.
 - Para a medida da massa de tinta depositada foi utilizada uma balança com precisão de milésimos de grama.

Resultados e Discussão

Possíveis Variáveis de Interesse

Para determinar o conjunto de variáveis a ser estudado, foi realizada uma sessão de *Brainstorm** entre os membros da equipe que pode ser sintetizada pela Tabela II:

Diagrama de Afinidade

Partindo do elenco de fatores possíveis descritos na Tabela II, podemos obter o seguinte Diagrama de Afinidades.

- Variável: velocidade de sucção do suporte em relação ao esmalte aplicado

- Variáveis associadas:
 - Porosidade a verde da peça. Compactação:
 - Granulometria da massa;
 - Umidade da massa;
 - Carga dos alvéolos.
 - Espessura da peça;
 - Quantidade de água aplicada;
 - Granulometria do engobe;
 - Plasticidade do engobe;
 - Reologia do engobe;
 - Quantidade de engobe (quantidade de água, densidade);
 - Plasticidade do esmalte;
 - Reologia do esmalte;
 - Quantidade de esmalte (quantidade de água, densidade);
 - Relação frita/matérias-primas.

- Variável: velocidade de evaporação da água

- Variáveis associadas:
 - Temperatura da peça;
 - Quantidade de água aplicada;
 - Quantidade de água no engobe;
 - Quantidade de engobe;

- Porosidade da camada:
 - Granulometria do engobe;
 - Reologia do engobe;
 - Granulometria do esmalte;
 - Reologia do esmalte;
 - Relação frita/materiais.
- Quantidade de água no esmalte;
- Quantidade de esmalte;
- Plasticidade do engobe;
- Plasticidade do esmalte.

- Variável: Textura da superfície esmaltada:

- Variáveis associadas:
 - Massa superficial;
 - Umidade superficial;
 - Estiramento do esmalte;
 - Acúmulo de esmalte na borda;
 - Formato do bisotado.

- Variável: Tinta:

- Variável associada:
 - Comportamento durante a operação de preparação e armazenamento na máquina:
 - Facilidade de molhamento:
 - Granulometria do micronizado;
 - Natureza do micronizado:
 - Relação frita/materiais;
 - Suspensivos.
 - Natureza do veículo:
 - Tipologia base;
 - Água;
 - Ligante.
 - Natureza da cor;
 - Método de preparação;
 - Tempo de repouso prévio.
 - Sedimentação:
 - Peso específico do micronizado;
 - Granulometria do micronizado;
 - Natureza do veículo;
 - Relação de composição entre micronizado, cor e veículo;
 - Evaporação;
 - Tempo de repouso prévio.
 - Reologia:
 - Fluidez, viscosidade;
 - Evaporação;
 - Tempo de repouso prévio.
 - Comportamento sobre a peça decorada:
 - Rendimento (% da carga);
 - Rendimento (relação com o esmalte);
 - Tensão superficial.

Entretanto, a escala de relações ficará restrita, para nosso estudo, às seguintes variáveis:

- Velocidade de sucção do suporte e/ou das diferentes camadas;
- Variável: velocidade de evaporação da água;

* Reunião onde o objetivo é a exposição e o compartilhamento entre os participantes das possibilidades do projeto, e nunca a tomada de uma decisão. Em tradução livre do inglês, "Tempestade de Idéias" (N.T.).

Tabela II. Variáveis de interesse.

Variável	Primeiro Nível	Segundo Nível
Variáveis de matérias-primas e processos	Natureza da massa	Massa branca ou massa vermelha
	Granulometria da massa atomizada	
	Umidade da massa atomizada	
	Espessura da peça	
	Número de peças no molde	Forma de carregamento das cavidades
	Temperatura da peça	
	Formato do bisotado	Possível acúmulo de esmalte
	Umidificação	Forma de aplicar a água
	Engobe	Plasticidade
		Reologia
		Quantidade aplicada
		Forma de se aplicar
		Granulometria
	Esmalte	Plasticidade
		Reologia
		Quantidade aplicada
		Forma de se aplicar
		Granulometria
		Relação frita/matérias-primas
		Quantidade de cor na composição
		Massa superficial da peça esmaltada
		Deformação a verde da peça esmaltada
		Estiramento do esmalte e ausência de irregularidades
	Acumulo de esmalte nas laterais (bisotado e T. Superficial)	
	Umidade superficial da camada de esmalte	
	Porosidade superficial da camada de esmalte	
	Temperatura da peça	
Tinta	Micronizado	Granulometria
		Peso Específico
		Relação frita/matérias-primas
		Suspensivos. Aditivos
	Veículo	Tipologia base
		Teor de água
		Teor de ligante
	Cores	Facilidade de molhamento
		Rendimento (% da carga da composição)
	Tinta final	Método de Preparação
		% de componentes (micronizado, cor, veículos, ...)
		Sedimentação
		Tensão superficial
		Temperatura de aplicação
		Variações de temperatura
		Fluidez, viscosidade, reologia
Evaporação		
Tempo de repouso prévio		
Variáveis de equipamentos e cilindros	Cilindros	Pressão superficial provocada
		Variação da distância da peça
		Forma e distribuição do ponto no elastômero:
		- Tamanho 0,4:
		- Forma e tamanho
		- Desgaste de bordas
		- Alta resolução:
		- Tamanho 0,1 e pontos aleatórios
		- Forma e tamanho
		- Textura:
	- Diversos tamanhos	
	- Escala de cinza	
	Tipo de elastômero (duro, T1, mole)	
	Desgaste da superfície do ponto como consequência do tempo de uso ou da operação “no vazio”	
	Espátula	Trabalho “no vazio”
		Inclinação
		Deformações (golpes, temperatura...)
		Desgaste em função do uso
		Pressão
	Material de que é feita	
Original	Escala de cinza (densidade de ponto)	
Reservatório	Nível do reservatório e variações	
Alimentação	Alimentação por ponto	
	Alimentação por vários pontos	

- Variável: textura superficial esmaltada;
- Variável: tinta;
- Variável: pressão do rolo sobre a peça;
 - Variações entre peças ou dentro da peça;
- Variável: pressão de preenchimento dos alvéolos;
 - Variações entre peças ou dentro da peça;
- Variável: forma, tamanho e distribuição de pontos no elastômero.

Com o diagrama anterior de afinidades foi possível:

- Relacionar as variáveis entre si;
- Dividi-las em escalões:
 - Primeiro escalão: variável mensurável;
 - Segundo escalão: Variáveis que estão relacionadas e afetam a anterior;
 - Terceiro escalão: Variável: elemento determinante (causa).

As variáveis a serem estudadas podem ser resumidas a:

- Sucção do suporte;
- Evaporação de água;
- Textura da superfície: aditivos ao esmalte;
- Condições da tinta (veículo e aditivos);
- Sedimentação da tinta;
- Reologia da tinta;
- Pressão do cilindro;
- Pressão de preenchimento dos alvéolos;
- Forma, tamanho e distribuição dos pontos;
- Original (para desenhos).

Dados Iniciais

Variabilidade das Variáveis de Materiais e Processos

Em primeiro lugar foi calculada a variabilidade, em condições normais de trabalho, de algumas variáveis:

Prensa:

- Umidade;
- Densidade aparente.

Esmaltadora:

- Temperatura da peça a ser decorada;
- Temperatura da tinta no cilindro;
- Densidade da tinta;
- Viscosidade da tinta;
- Peso da tinta;
- Sucção da superfície a ser decorada.

Primeiras conclusões:

A variação encontrada nas variáveis de materiais e processos, durante o processo normal de produção, é muito baixa, tanto para as relacionadas à prensa como para as relacionadas à esmaltadora e aos valores para as tintas.

Isto conduz a considerar as variações de tonalidades ou o surgimento de dificuldades de decoração como associadas a:

- Acidentes ou;
- Outras variáveis não consideradas no universo apresentado.

A única variável que apresenta uma maior variabilidade é a da temperatura da peça a ser decorada. Deve ser feita a relação destas variações às diferenças produzidas ao longo da fabricação decorrentes de paradas de linha, composição de peças, etc...

Variabilidade nas prensas:

Foi adotada a densidade aparente como variável associada no Diagrama de Afinidade anterior.

As medidas de densidade aparente nas quinas, laterais e centro das peças, comparadas ao valor médio, apresentaram uma variabilidade mínima no intervalo de 2,13 a 2,14 g/cm³. Os dados coletados oscilaram entre os valores de 2,12 a 2,14 g/cm³.

Podemos afirmar que a variação de densidade aparente não é significativa. Esta oscilação se manteve inalterada durante a realização dos experimentos. De outro lado, com os equipamentos atuais – prensas, moldes e punções – é normal se deparar com oscilações desta magnitude.

É descartada a influência da variação da densidade aparente para a ocorrência de variação de tonalidades, uma vez que esta variação é a habitual e praticamente não pode ser melhorada, enquanto que a aparição de problemas é irregular.

Variabilidade da densidade, viscosidade e massa do engobe e do esmalte

Da mesma forma que para a densidade aparente das peças, também nas variáveis das barbotinas de engobe e esmalte, a variabilidade é mínima, de acordo com a estabilidade destas barbotinas e como consequência do controle que é realizado habitualmente nas linhas de produção.

O intervalo encontrado para as viscosidades do engobe e do esmalte foi de 2-3 s, que também pode ser desprezado, inclusive para o caso do engobe com valores totais de 50 s. Para o caso do esmalte, o valor total ficou na casa dos 145 s.

Para o caso da massa depositada o intervalo é de 2 g para o caso do engobe, com valores totais de 33 g. Para o caso do esmalte, o intervalo chegou a 9 g para valores médios de 70 g depositados. Também podemos considerar que estas oscilações são normais dentro das condições de trabalho, e que não têm relação com a aparição de diferentes tonalidades entre as peças.

Variabilidade da densidade, viscosidade e massa depositada para a tinta

O controle que se tem sobre as tintas implica em uma baixa variação destas propriedades. Estes valores são encontrados durante as condições habituais de trabalho.

A amplitude de variação da densidade da tinta ficou em 3 g/cc, para valores absolutos de 157.

A amplitude de variação da viscosidade da tinta ficou em 4 segundos, para valores absolutos de 34 segundos.

Também nestes casos podemos afirmar que estas osci-

lações são mais que corretas.

Isto é válido para um intervalo de trabalho em que não tenha ocorrido recarga de tinta, as condições de trabalho tenham se mantido estáveis, etc. Podemos concluir que as intervenções podem afetar muito a viscosidade da tinta, enquanto que a produção, com as tintas em condições, não é afetada da mesma forma. É a intervenção externa que introduz a variabilidade.

Variabilidade da temperatura da peça

A temperatura da peça apresenta valores maiores de variabilidade. Os valores oscilam entre 53 e 61°C para condições normais de trabalho. No caso de paradas na linha ou composição de peças, podem ser observadas peças frias a 35 °C, e também muito quentes em secadores verticais (75 °C).

Tendo em vista estas oscilações, foi tomada a temperatura da peça como uma variável a ser considerada no estudo.

Variabilidade da temperatura da tinta

A temperatura da tinta, durante o trabalho, não apresenta variações importantes. Oscila desde cerca de 33 °C quando não passam peças até os 38 °C com fluxo de peças contínuo. O tempo necessário para que a tinta passe dos 38 para os 33 é de cerca de 8 min sem fluxo de peças.

Enfoque das Experiências

Primeiro: temperatura da peça a ser decorada

Levando em conta a maior variabilidade da temperatura da superfície a ser decorada, foram realizadas experiências para diferentes temperaturas, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Segundo: umidade da superfície a ser decorada

Foram realizados ensaios onde foi variada somente a umidade da superfície a ser decorada, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Estas experiências foram realizadas por dois métodos:

- umedecendo mais o suporte;
- secando a superfície esmaltada.

Terceiro: veículo

Foram realizados ensaios onde foi variada exclusivamente a natureza do veículo da tinta, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Quarto: base de tinta

Foram realizados ensaios onde foi variada exclusivamente a natureza da base da tinta, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Quinto: aditivos da base de tinta

Foram realizados ensaios onde foi variada exclusivamente a natureza dos aditivos da base da tinta, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Sexto: aditivos do esmalte

Foram realizados ensaios introduzindo diversos aditivos

ao esmalte base. Foram variadas a natureza e a proporção de tais aditivos.

Sétimo: Forma e dimensões dos alvéolos do cilindro

Foram realizados ensaios onde foram variadas exclusivamente as formas e dimensões do alvéolo do rolo, mantendo-se constantes as demais variáveis.

- Cilindro com incisão HD (alta definição);
- Cilindro com incisão 0,4.

Oitavo: desgaste da espátula de carga

Foram realizados ensaios onde foi variado exclusivamente o desgaste da espátula de carga, mantendo-se constantes as demais variáveis.

Os ensaios foram realizados tomando-se como base o tempo de permanência da lâmina em contato com o cilindro trabalhando.

Para realizar os ensaios foi utilizado um cilindro preparado, com as seguintes características:

- Desenho plano, toda a superfície com incisões. Superfície regular;
- Metade do cilindro com incisão 0,4/45°;
- Metade do cilindro com incisão HD.

A decoração era realizada sobre papel, e então medida a quantidade depositada para cada ensaio.

Ensaio

Temperatura das peças a serem decoradas

Peças esmaltadas, em diferentes temperaturas, foram decoradas. Foi medida a variação de tonalidade. Os resultados são apresentados na Tabela III.

Tabela III. Variação da tonalidade em relação á temperatura da peça a ser decorada. Modelos com valor L = 75.

Temperatura da peça (°C)	dE
55	0
65	0,3
70	0,5

Diante dos resultados, pode-se dizer que para as variações normais de trabalho não são observadas variações de tonalidade, ainda que *para oscilações superiores a 30 °C possam aparecer (peças frias ou quentes depois de paradas e retiradas do secador)*.

Umidade da peça a ser decorada

Foram empregadas peças esmaltadas, com diferentes teores de umidade.

- passadas diferentes vezes na água (Tabela IV):

Tabela IV. Influência da umidade sobre dE. Modelo com valor L = 75 e com peça na temperatura de 55 °C no início da decoração.

Nº Passadas na água	dE
1	0
2	0,2
4	0,3

Como se pode verificar, não existe uma variação apreciável de tonalidade, em função de a peça haver sido submetida a uma maior ou menor quantidade de água em sua primeira aplicação.

- deixadas em repouso por diferentes intervalos de tempo depois de esmaltadas (Tabela V).

Tabela V. Influência da umidade sobre dE. Modelo com valor L = 75 e com peça na temperatura de 55 °C no início da decoração.

Minutos de descanso (min)	dE
0,5	0
1	0,7
3	0,9
6	1,9

Estas variações acontecem em função da natureza da superfície da peça esmaltada, como veremos mais adiante. Em todo caso, a tendência é sempre a mesma, ou seja, aumenta a variação de dE e cresce o valor de L com o tempo, o que significa que quanto mais seca a peça, mais clara a cor, e quanto mais molhada, mais escura.

Neste caso observamos uma variação da tonalidade em função do tempo de repouso das peças, especialmente no caso das amostras de cor escura. Isto está associado à umidade da superfície da peça. Com a superfície molhada ocorre uma melhor transferência que com ela seca, o que, inclusive, pode provocar problemas pelo pó superficial.

Resíduo de esmalte

Foram empregadas peças esmaltadas com o mesmo esmalte, porém, com três diferentes valores para os resíduos de moagem. Os valores são apresentados na Tabela VI.

Tabela VI. Modelo confeccionado com cristalina para um valor de L = 75.

Resíduo do esmalte (%)	dE
1,8	0
3,6	0,2
7,1	0,4

De acordo com os dados, conclui-se que o resíduo do esmalte não é um fator a ser considerado na aparição de variações de tonalidade.

Forma do alvéolo do cilindro

Foram empregados os dois tipos de cilindro: HD e 0,4.

A massa depositada foi aferida através do ensaio do papel.

Foram realizadas aplicações em diversas pressões (variando a altura), conforme demonstrado na Tabela VII.

Verifica-se uma tendência a ser depositada uma maior quantidade de material na medida em que aumenta a pressão – menor distância – que pode ser avaliada na Fig. 1.

Tabela VII. Massa depositada em função da altura dos cilindros.

Altura (mm)	Cilindro de 0,4/45°	Cilindro HD
8,0	-	-
7,5	0,76	0,61
7,0	0,83	0,71
6,5	0,84	0,74
6,0	0,86	0,78
5,5	0,86	0,75

Também se pode verificar sempre uma maior quantidade de material no cilindro 0,4/45° comparado ao HD, que pode ser visualizada na Fig. 2. A definição dos pontos é maior para o cilindro 0,4/45°.

Desgaste da lâmina

Foram coletadas peças decoradas com um mesmo cilindro, porém com diferentes tempos de utilização da lâmina em operação. Os dados são apresentados na Tabela VIII.

Tabela VIII. Variação de dE em função do tempo de operação da régua.

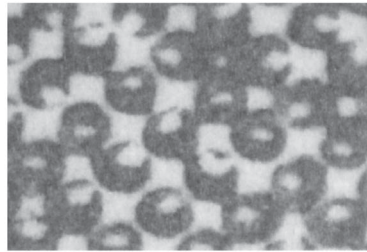
Tempo de operação da régua Horas	Modelo Claro (L = 90) dE	Modelo Escuro (L = 75) dE
1 h	0	0
5 h	0,6	1,1
10 h	1,0	1,8
20 h	1,2	1,9

Nos modelos escuros a variação é mais acentuada. Esta variação é produzida em tempo relativamente pequeno, no intervalo de 3 a 5 h, estabilizando-se logo após. Na Tabela IX é apresentada a variação de dE em função da espessura desgastada da lâmina.

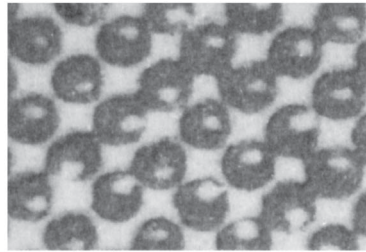
Tabela IX. Variação de dE em função do desgaste da lâmina.

Desgaste da lâmina mm	Modelo Claro (L = 90) dE	Modelo Escuro (L = 75) dE
2 mm	0	0
1 mm	0,6	1,3
0 mm	1,2	2,1

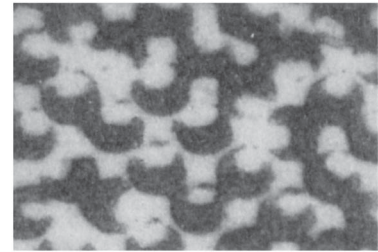
Concluindo, o maior desgaste na lâmina é verificado com o tempo de 3-5 h de operação (dependendo do tipo de desenho, tinta, etc...), sendo que após este desgaste a régua se mantém relativamente estável.



Altura do cilindro NORMAL

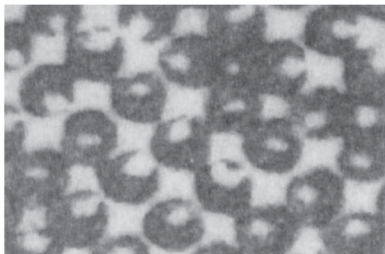


Altura NORMAL - 1,5 mm

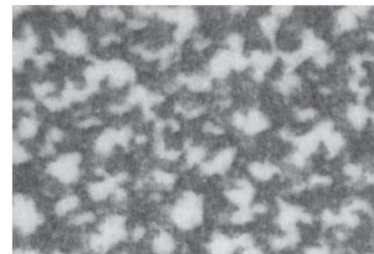


Altura NORMAL + 1,5 mm

Figura 1. Variação da quantidade de material depositado em função da altura do cilindro. Cilindro 0,4.



Cilindro 0,4



Cilindro HD

Figura 2. Comparação entre os dois cilindros para uma mesma altura.

Tipo de veículo

Foram empregados dois veículos: N^o 1 e N^o 2. A Fig. 3 apresenta imagens comparativas dos resultados obtidos.

Foram testados 3 tipos de base.

Foram empregados 3 aditivos diferentes:

- Aditivo 1: composto orgânico/inorgânico;
- Aditivo 2: argila micronizada;
- Aditivo 3: bentonita.

Foi verificada uma maior descarga de cor com o emprego do aditivo 1, quando comparado ao 2. A definição melhora com a viscosidade, porém, a descarga é menor (Fig. 3).

Ainda se verifica que o emprego do cilindro 0,4/45° minimiza as diferenças de peso aplicado como consequência das variações de aditivos e veículos.

Tipos de aditivos no esmalte

Foram introduzidos no esmalte:

- Ligante A (baixa viscosidade);
- Ligante B (alta viscosidade);
- Plastificante.

Podemos extrair as seguintes conclusões:

- Para um maior tempo de secagem ou repouso da peça, um valor crescente de L (coordenadas cromáticas) e, portanto, o ponto se torna mais claro;
- Surgem variações de tonalidade com o repouso (intervalo de tempo decorrido entre a aplicação do esmalte e a aplicação da decoração);

- Isto é válido para qualquer um dos esmaltes, tanto o padrão, como aqueles em que foram adicionados ligantes ou plastificantes;
- No caso da introdução do Ligante A:
 - Menor aumento do parâmetro L;
 - Maior estabilidade de dE com o tempo de repouso;
 - Aumento muito rápido da viscosidade.
- No caso da introdução do Ligante B:
 - As variações de viscosidade são consideráveis e impedem que se atinjam concentrações de ligantes que melhorem os resultados quanto à estabilidade de cor.
- No caso da adição de um plastificante:
 - Menor aumento do parâmetro L;
 - O valor de dE é minimizado;
 - Seu efeito é menor quando comparado ao da adição de ligante.

Foi realizado também o teste de umedecer a peça (antes da aplicação da decoração) com uma solução aquosa de Ligante C, para o qual foi obtido o melhor resultado quanto à estabilidade de cor.

Desta forma, uma superfície ligeiramente úmida, com constância deste valor de umidade, apesar de fixa, será um fator de estabilidade fundamental para a variação de tonalidades.

Posição da espátula

Foram obtidas peças, alterando-se a posição da lâmina

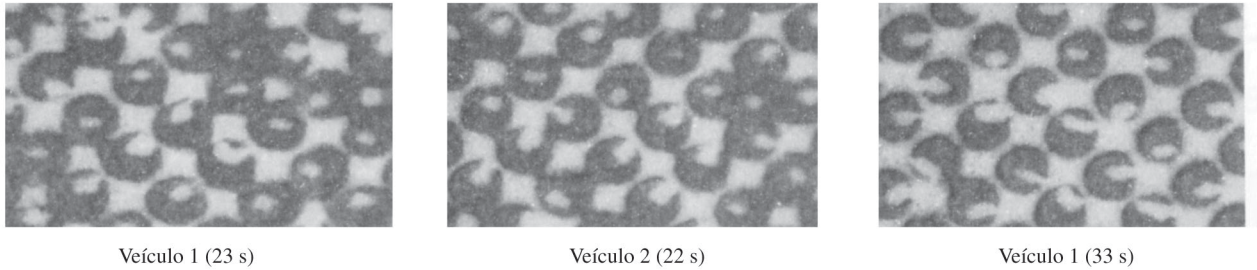


Figura 3. Resultados obtidos para diferentes veículos. Altura, incisão e espátulas constantes.

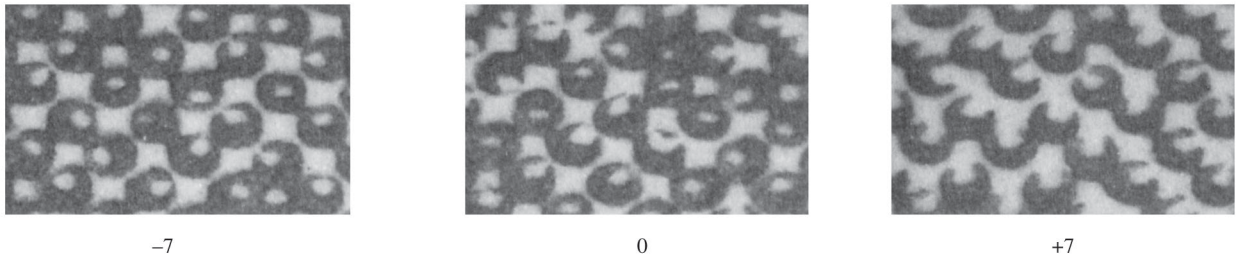


Figura 4. Inclinação da espátula.

, para os modelos de valor $L = 90$ e $L = 75$. Na Tabela X são apresentados os resultados.

Tabela X. Variação de dE em função da posição da lâmina.

Posição da lâmina Valor	Modelo Claro ($L = 90$) dE	Modelo Escuro ($L = 75$) dE
0	0	0
-5	0,6	1,1
-10	1,0	1,7

A posição da lâmina, pelo próprio conceito da máquina, é um fator de máxima importância para a quantidade de tinta depositada. É especialmente significativa para os modelos escuros, uma vez que oscilações da ordem de 2 a 3 pontos provocam a aparição de tonalidades diferentes.

Na Fig. 4 são apresentadas imagens resultantes da variação na inclinação da espátula.

Quantidade de tinta depositada

Foi medida a quantidade de tinta depositada, para o modelo escuro (valor de $L = 75$), variando-se a posição da lâmina. Os dados obtidos são apresentados na Tabela XI.

Tabela XI. dE em função da quantidade de tinta depositada.

Quantidade de tinta g	Modelo Escuro ($L = 75$) dE
4	0
4,7	1,6
5,7	3,5

Como era de se esperar, uma maior quantidade de tinta, provocada pela regulagem da espátula, provoca uma maior variação de tonalidade. Neste ponto é importante observar que as oscilações normalmente verificadas na produção não provocam, salvo acidentes ou manipulações indevidas, variações desta magnitude nas quantidades depositadas.

Conclusões

Dos resultados apresentados neste trabalho podemos extrair as seguintes conclusões:

Variação de tonalidade

para um mesmo lote de produção:

Dentre as variáveis estudadas, as mais influentes para a ocorrência de variação de tonalidades durante a operação de decoração são:

- Variação da quantidade de sólido depositado:
 - Variação do ângulo de trabalho da lâmina. Desgaste da lâmina. Pressão sobre a lâmina (rotocolor modelo S2).
 - Variação do grau de secagem da superfície da peça.
 - Variações de densidade e viscosidade da tinta. Decantação da tinta. Degradação da tinta devido ao tempo de utilização.
- Problemas de transferência de esmalte para o primeiro cilindro e de transferência de tinta entre o primeiro e o segundo cilindro.
 - Podem ocorrer diferenças em um mesmo lote devido à diferentes adições de tinta, quando a operação ocorre com o reservatório quase vazio.

Fatores de pouca ou nenhuma importância:

- Variação da temperatura da tinta ao longo da operação.
- Variações habituais quanto ao resíduo do esmalte.

para diferentes lotes de produção:

Ao que foi dito no item anterior deve-se acrescentar as variações relacionadas aos materiais de lotes de diferentes épocas:

- Variações nas condições de aplicação entre lotes.
- Variações das condições reológicas da tinta entre diferentes lotes.
- Variações das condições reológicas do esmalte entre diferentes lotes.
- Variações nas condições da lâmina (desgaste e inclinação).

As variáveis indicadas estão intimamente relacionadas com a gestão dos materiais e com o controle dos mesmos na planta. Poderíamos dizer que estão relacionadas com o fator humano.

Por outro lado, um requisito importante é que se parta de materiais previamente estudados e cujos comportamentos sejam conhecidos. Entretanto, o fator determinante continuará sendo uma boa gestão e um controle adequado destes materiais e das variáveis a eles associadas.

As variáveis apresentadas neste item estão relacionadas, fundamentalmente, com a constância das variáveis de trabalho, associadas ao controle e ao fator humano, e devido a isto é necessário:

- Utilizar materiais que resultem em barbotinas estáveis quanto à reologia.
- Estabelecer um sistema de controle para a manutenção destas variáveis.
- Estabelecer um sistema de alarme para que no caso do desvio das variáveis possam ser processadas as devidas correções.

Como recomendações genéricas, merecem destaque:

Tintas:

- Emprego de veículos que proporcionem a menor sedimentação possível.
- Emprego de veículos que proporcionem a maior constância de viscosidade possível.
- Emprego de veículos com baixa tensão superficial.
- Emprego de veículos de boa molhabilidade.
- Emprego de veículos em que a evaporação seja mínima.
- Emprego de tintas que impeçam a transferência de material entre os cilindros.

Base da tinta:

- Evitar granulometrias superiores a 0,045 mm, uma vez que aumentam o desgaste da lâmina, podendo inclusive provocar obstruções. As dimensões das incisões do cilindro (diâmetro do furo) são:
 - Qualidade 0,4: 0,300 mm

- Qualidade HD: 0,100 mm

- Emprego de bases que necessitem – para uma mesma granulometria – uma menor quantidade de veículo.

Esmaltes:

- Empregar aditivos que permitam que a superfície da peça mantenha um certo teor de umidade. As peças devem chegar com um certo grau de umidade para a etapa de decoração. Isto apresenta uma série de vantagens:
 - Deposição de tinta mais regular.
 - Maior regularidade na absorção da tinta.
 - A tinta transpassada não se seca e facilita a sobreposição.
- Evitar ao máximo as superfícies empoeiradas:
 - Provocam maior desgaste.
 - Provocam contaminação da tinta e variações reológicas.
- Evitar aplicações que apresentem covinhas ou rugosidades na superfície.

Lâmina:

- Controlar seu desgaste, especialmente nos primeiros momentos após a troca:
 - O desgaste é maior com incisão 0,4.
 - O desgaste é maior para maiores resíduos de tinta.
 - O desgaste é maior para maiores teores de óxidos corantes.
 - A superfície empoeirada do esmalte acelera o desgaste.
 - O desgaste aumenta com o ângulo da lâmina.
- Manter a pressão, uma vez fixada como consequência do ajuste de tonalidade ou outras operações.
- Empregar lâmina dupla para manter maior regularidade de carga e limpeza.

Cilindro:

- Manutenção e limpeza.
- Controle do desgaste.

Como controles genéricos são feitas as seguintes recomendações:

Antes da decoração:

- Temperatura da peça.
- Composição do esmalte (especialmente a regularidade da cola ou argila que contenha).
- Aplicação do esmalte:
 - Densidade
 - Viscosidade
 - Massa
 - Distância, tempo de secagem entre a última aplicação e a decoração.
 - Superfície do esmalte.

Durante a decoração:

- Composição da tinta.

- Tipo e regularidade do veículo empregado.
- Massa, densidade e viscosidade da tinta aplicada.
- Velocidade da esteira.
- Ângulo da espátula.
- Estado da espátula.
- Tipo de qualidade da espátula.

Referências Bibliográficas

1. Corma, P.; Bermúdez, S.; Gómez, M.; Medina, J.C.; Lacomba, C.; Vaquero, R.; Monfort, J. Influência de las variables de serigrafiado sobre la presencia de tonalidades en baldosas cerámicas. QUALICER 2000.
2. Corma, P.; Garzón, D.; Segura, J.; Tichell, M. Pascual, A.; Bakali, J. Estudio de factores industriales que influyen en la aparición de tonalidades en baldosas cerámicas. XXXVII Congreso de la SECV.
3. Negre, P.; Sánchez, E.; Sanz, V.; Gozalbo, A.; Alegre, D.; Carceller, A. Estimación del grado de dispersión de las tintas serigráficas. QUALICER 96.
4. Peñalver, J.; Martí, V.; Portolés, J.; Negre, P.; Barba, A.; Gimenez, S.; Monfort, E. Estudio de las variables de control de la aplicación serigráfica y su influencia sobre la dispersión de tonalidades en baldosas. QUALICER 96.
5. Peris, G.; Alcañiz, M.; Lengua, I. Análisis cuantitativo de variables de impresión serigráfica que afectan a cambios de tono entre piezas serigrafiadas. QUALICER 98.
6. Peris, G.; Alcañiz, M.; Olivares, M. Optimización de variables de impresión serigráfica que reducen la variabilidad en el tono dentro de la pieza. QUALICER 98.
7. Pawlicki, E.; Saad, E.; Sproson, D. Optimization of ceramic glaze properties by statistical experiment design. *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, v. 13, n. 1-2, p. 377-384, 1992.