

Desenvolvimento de Decoração de Placas Cerâmicas por Quadricromia pela Técnica de Encavografia (Ocografia): Aplicação do Modelo de Krieger-Dougherty

A. Torres^a, J. A. Tirado^a, M. A. Babiloni^a, F. Lucas^b, J. Albalat^b,
E. Bou^c, A. Saburit^c, M. J. Orts^c, Y. Bautista^c

^aSystem España S.A., Castellón, Espanha

^bFritta S.L. Onda, Castellón, Espanha

^cInstituto de Tecnología Cerámica – ITC, Castellón, Espanha

Resumo: A decoração por quadricromia pela técnica de encavografia não tem sido implantada por uma série de problemas, os quais são analisados no presente estudo. Esta análise permitiu desenvolver um sistema de trabalho que permite a realização de tal decoração. Neste tipo de decoração é necessária uma elevada precisão de máquina/cilindro/incisão com objetivo de evitar os defeitos de “moiré” (alinhamento indevido dos pontos impressos). Também é necessária uma elevada constância da tonalidade, que depende de um grande número de variáveis como: propriedades dos vidrados, características dos cilindros de silicone, duração da incisão, propriedades das tintas, condições de aplicação, etc. O trabalho realizado foi dividido em três partes. Na primeira foi feita a seleção das características do cilindro (tipo de silicone e de incisão) mais adequadas para se obter uma ótima resolução e estabilidade durante a produção. Na segunda foram desenvolvidas as tintas e selecionada a base, os pigmentos cerâmicos e os veículos mais adequados. Na terceira foi feita uma validação dos resultados em linha semi-industrial, com uso de máquinas de encavografia com ajuste automático de temperatura, viscosidade e densidade. A seleção dos componentes das tintas foi realizada com a finalidade de obter suspensões estáveis em relação à aparição de tonalidades, sedimentação, definição de pontos impressos e desgaste de lâminas e cilindros. Dado que para a correta aplicação por encavografia requer-se uma determinada viscosidade da tinta e esta depende em grande parte do veículo que se utiliza, decidiu-se utilizar a equação de Krieger-Dougherty para prever a variação da viscosidade das tintas com o teor de sólidos em função do tipo de veículo utilizado. Os resultados do presente trabalho permitiram estabelecer uma metodologia de trabalho que permite realizar a decoração por quadricromia de placas cerâmicas pelo uso da técnica de encavografia.

Palavras-chave: *encavografia, ocografia, quadricromia, decoração cerâmica, Krieger-Dougherty.*

1. Introdução

A técnica de encavografia pode ser utilizada na decoração de placas cerâmicas, permitindo a impressão de desenhos sobre superfícies planas a elevada velocidade. Neste processo de impressão são numerosas as variáveis que influem na decoração, como mostrado em diversos estudos¹⁻⁵. O desenvolvimento da decoração por quadricromia empregando a técnica de encavografia permitiria simplificar o desenvolvimento dos desenhos, pois possibilita a aplicação de programas de gestão de cor, assim como permitiria reduzir os estoques de cores, em geral, e simplificar o processo de decoração⁶.

Para a realização de decoração por quadricromia empregando a técnica de encavografia são necessários vários requisitos: elevada precisão máquina/cilindro/incisão, com objetivo de evitar os defeitos de “moiré” (alinhamento indevido de pontos impressos) e elevada constância de tonalidade, ou seja, estabilidade na quantidade de tinta depositada, que depende de numerosas variáveis como as características da camada de vidrado, as propriedades das tintas e as condições de aplicação.

O objetivo do presente trabalho foi selecionar a melhor combinação entre o tipo de silicone e de incisão que possibilite uma melhor resolução de impressão e ausência de defeitos, além de desenvolver tintas para quadricromia que resultem em uma elevada estabilidade da tonalidade da decoração. O desenvolvimento de tintas para quadricromia deve levar em conta dois aspectos, a seleção dos sólidos e a seleção dos veículos. Os sólidos, pigmento e material fundente, definem a cor da decoração, enquanto que o veículo define

o comportamento reológico da tinta, que influi na definição do ponto impresso.

A aplicação do modelo de Krieger-Dougherty permite prever a dependência da viscosidade com a concentração do sólido, de forma que se possa reduzir consideravelmente o número de ensaios necessários para caracterizar uma nova formulação devido ao emprego de um novo veículo ou outro sólido (alteração da base ou do pigmento)^{7,8}. Por outro lado, como é de se esperar, o teor de sólido na composição de uma tinta influi fortemente no desenvolvimento da cor da mesma. Este fato é atribuído fundamentalmente à variação da concentração de pigmento⁹.

A combinação entre a relação predita por Krieger-Dougherty e a estabelecida entre o teor de sólidos e a cor obtida em cada uma das tintas determina quais são as condições ótimas de preparação das mesmas. A decoração de placas cerâmicas por quadricromia já foi obtida pelo desenvolvimento da impressão por jato de tinta; entretanto, esta técnica apresenta uma série de desvantagens como: menor intensidade de cor na decoração, necessidade de desenvolver materiais específicos que cumpram as exigências requeridas pelo uso de cabeçotes de impressão, e menor velocidade de impressão.

2. Definição das Características do Cilindro

Na preparação dos cilindros podem ser empregados diversos tipos de silicões e de incisão. Deve ser encontrado o tipo de silicone e a incisão mais adequada, com a finalidade de se obter a melhor definição possível de ponto.

2.1. Experimental

Dentro de um formato de silicões existentes no mercado em relação à configuração mais adequada de laser para eles, foi desenvolvida uma série de testes com objetivo de obter uma combinação adequada entre incisão e silicone, e assim obter um trabalho adequado de decoração sobre um suporte vidrado.

Os testes consistiram em diferentes regulagens dos vários parâmetros de incisão de laser sobre a superfície de diversos tipos de silicões. Foram obtidas escalas de cinzas, avaliando-se o resultado da gravação no silicone, assim como o resultado da utilização deste silicone na impressão por máquina rotativa em encavografia, empregando-se para isto um videoscópio.

As comprovações iniciais de impressão da regulagem da incisão foram realizadas com uma tinta negra padrão sobre papel. A composição da tinta foi: 50% de base brilhante, 50% de pigmento óxido negro, veículo para encavografia (50% em massa), tempo de escoamento em copo Ford nº 4 de 26 s, papel DIN 3 com gramatura de 20 g.

As condições de aplicação da máquina rotativa foram padronizadas em função das condições da máquina da empresa utilizada para tal fim: velocidade da correia de transporte de 30 m/min, pressão do cilindro sobre a peça de -2 mm, deslizamento do cilindro de 0,7%, sistema de suporte com uma lâmina de aço inoxidável com 0,15 mm de espessura, altura do raspador de 230 (cilindro 720) e 335 (cilindro 1440), peso da lâmina sobre o cilindro de -2.

A imagem utilizada para desenvolver a combinação entre silicone e incisão mais adequada partiu de uma escala de cinza e de três desenhos (Figura 1).

A partir da gravação sobre diferentes tipos de silicone e empregando-se diferentes tipos de incisão, e a partir da impressão sobre papel e da visualização fotográfica tanto da impressão como da observação por videoscópio dos alvéolos incididos, foi determinada a adequação da combinação silicone/incisão para uma correta deposição ou impressão da tinta com objetivo de se trabalhar no desenvolvimento de modelos adequados de revestimentos cerâmicos obtidos por quadricromia.

Na Tabela 1 é indicada a nomenclatura empregada para desenvolver esta parte do trabalho, assim como as referências relativas às fotografias mostradas nos resultados.

A partir dos resultados obtidos foram determinados a incisão e o tipo de silicone mais adequado para se obter resultados ótimos e fiáveis para o desenvolvimento de trabalhos produtivos adequados e estáveis ao processo de fabricação de placas cerâmicas.

2.2. Resultados

2.2.1. Desenvolvimento da combinação silicone/incisão mais adequada

A seguir são mostradas as fotografias obtidas por videoscopia relativas aos alvéolos obtidos em cada um dos ensaios realizados (Figura 2). São mostrados os alvéolos obtidos sobre o silicone e a impressão sobre papel. Com objetivo de simplificar a exposição, são mostrados somente os resultados obtidos com dois silicões e duas incisões. A observação das fotografias mostra que o aspecto visual dos alvéolos difere consideravelmente do aspecto visual das impressões. Logicamente, as conclusões mais coerentes e reais são aquelas procedentes dos resultados de produção mais eficientes, mas por este método pode-se determinar aspectos chave.

Em primeiro lugar, é óbvio que embora o silicone 3 dê resultados de impressão interessantes em relação à definição do ponto, pode-se dizer que o ganho de ponto da impressão é baixo. Este fato pode ser devido à elasticidade do silicone, que oferece baixa resistência à passada da lâmina de arraste do cilindro, o que, em conjunto com a baixa profundidade dos alvéolos, facilita o esvaziamento do interior dos alvéolos, com a conseqüente redução da quantidade de tinta depositada sobre a superfície.

Em segundo lugar, em comparação ao silicone 3, sobre o silicone 1 pode-se visualizar como os resultados, mesmo que próximos entre si tanto em relação ao alvéolo como em relação à impressão, parecem ser melhores, com uma forma geométrica mais estável dos alvéolos em todas as incisões propostas com relação a S3.

Logicamente, neste momento parece óbvio estabelecer um ponto coerente na hora de escolher o silicone mais adequado, o que neste caso implica a escolha do silicone 1. Isto se deve a que a quantidade de tinta descarregada (o que implica unicamente uma maior intensidade de cor) pode ser compensada facilmente com uma relação otimizada entre a base e o óxido corante de cada tinta; contudo, a perfeição do alvéolo é fixa, pois ao se observar as fotografias pode-se ver como o silicone 1 oferece melhores resultados para a forma geométrica do alvéolo que o silicone 3, possivelmente devido às características elásticas de cada um dos silicões.

Por outro lado, com relação à escolha da incisão mais adequada, obviamente entre as quatro incisões que foram ensaiadas a que tem melhores perspectivas visuais de trabalho produtivo é a incisão 1 (I1); contudo, pode-se ver como o número de pontos por unidade de superfície é relativamente baixo, o que tornou necessária a otimização da incisão.

2.2.2. Otimização da seleção silicone/incisão Silicone 1 (S1) + Incisão 5 (I5)

Partindo-se do mesmo conceito da incisão I1 a resolução de impressão é melhorada se a mesma é aumentada, conferindo às imagens uma maior qualidade gráfica. Na Figura 3 percebe-se uma melhor resolução de impressão, mantendo-se a qualidade e o aspecto geométrico dos alvéolos.

3. Desenvolvimento das Tintas

A decoração de peças cerâmicas por encavografia é um processo muito utilizado, porém não evoluiu para a quadricromia entre outras razões pela ausência de tintas cerâmicas que mantivessem estabilidade com o tempo durante a produção. O presente trabalho tem como objetivo fundamental esta variável, e seu desenvolvimento foi realizado especificando as variáveis físicas das tintas em:

- Aspectos colorimétricos: obtenção de uma paleta de tintas que, por superposição, resultaram em uma paleta cromática ampla e de acordo com as necessidades da produção cerâmica;

Tabela 1. Nomenclatura utilizada.

Silicone	Incisão	Escala de cinzas		
		10%	50%	90%
S1/S2/S3	I1	Ej:S1-I1	Ej:S2-I1	Ej:S3-I1
S1/S2/S3	I2	Ej:S1-I2	Ej:S3-I2	Ej:S2-I2
S1/S2/S3	I3	Ej:S2-I3	Ej:S3-I3	Ej:S1-I3
S1/S2/S3	I4	Ej:S3-I4	Ej:S1-I4	Ej:S2-I4



Figura 1. Escala de cor e desenho para desenvolvimento do estudo.

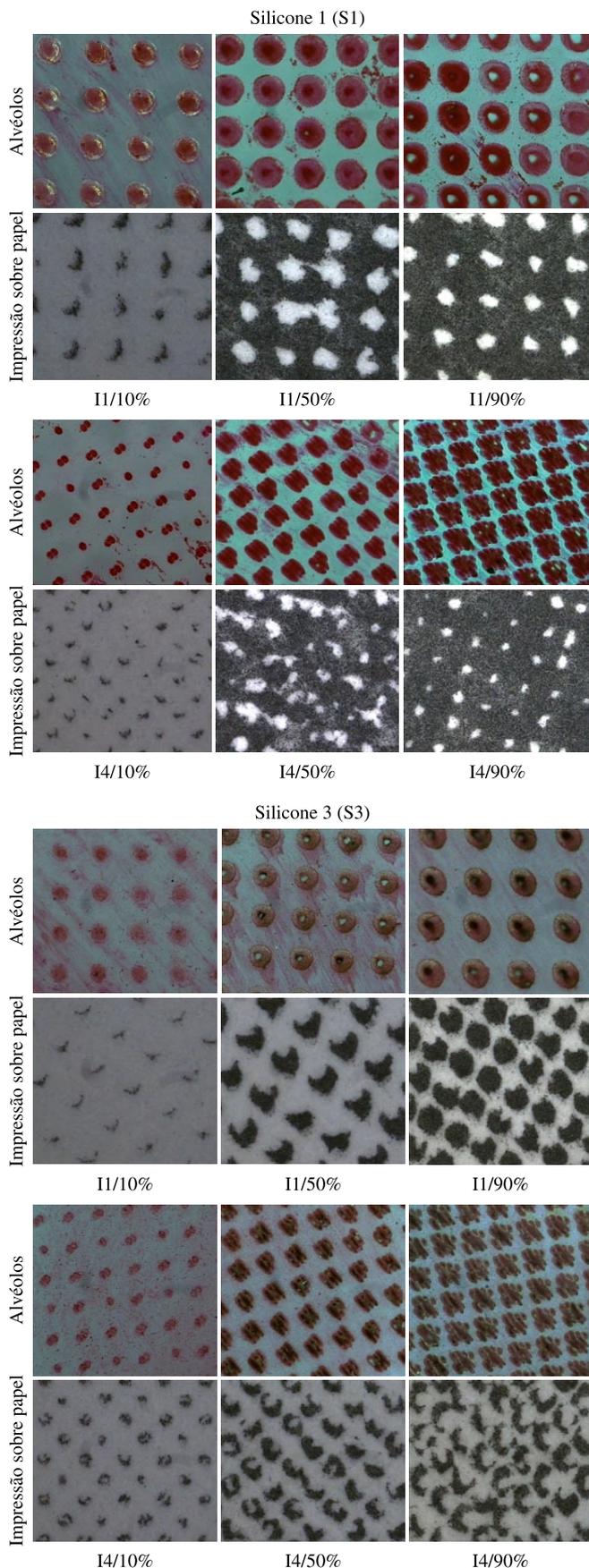


Figura 2. Resultados das incisões I1 e I4 sobre os cilindros de silicone S1 e S3 mostrando os alvéolos formados e também a impressão sobre papel nas escalas de cinza a 10, 50 e 90%. Imagens obtidas por videoscopia.

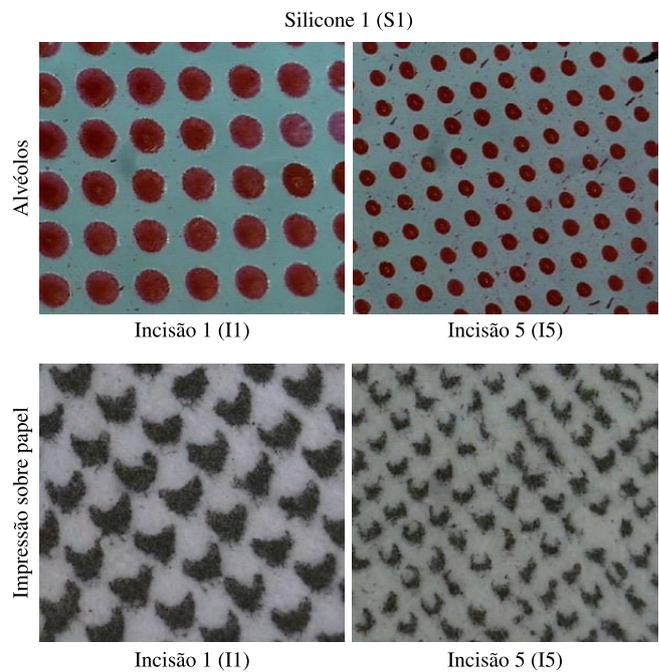


Figura 3. Resultados das incisões I1 e I5 sobre o cilindro de silicone S1 mostrando os alvéolos formados e também a impressão sobre papel. Imagens obtidas por videoscopia.

- Integração com os vidrados: a decoração por quadricromia emprega a superposição de tintas para obtenção das cores desejadas, por isto é importante obter tintas que se integrem corretamente com os vidrados sem produzir efeitos de alto ou baixo relevo, mesmo em zonas com quatro tintas superpostas;
- Reologia: a viscosidade e a tensão superficial das tintas devem ajustar-se para resultar em um comportamento correto no processo de decoração para a carga e descarga dos cilindros, ganho de ponto (definição), e manutenção da suspensão (sem sedimentação);
- Estabilidade de tonalidade durante a produção: as variações de tonalidade devidas à tinta são causadas por variações da densidade da tinta durante a produção (variações do teor de sólidos), e variações do percentual de cor na tinta (variações na relação pigmento/base fundente).

3.1. Seleção dos componentes da tinta

Para levar a cabo este processo partiu-se de pigmentos calcinados, fundentes cerâmicos micronizados, plastificantes, modificadores de características reológicas, e veículos.

Pigmentos calcinados: foram realizadas muitas provas e decidiu-se trabalhar com uma paleta básica de ciano (C: tom azulado ligeiramente verde), magenta (M: tom marrom avermelhado), amarelo (A), e negro (N).

A paleta que se obtém é muito mais ampla que no caso da decoração por impressão digital. Na decoração por encavografia não existe a limitação de tamanho de partícula tão pequeno como o que deve ser usado na injeção digital, sendo obtidos assim tons mais vivos e uma gama cromática mais rica.

Fundentes cerâmicos: cada tinta foi ajustada de forma que sua fusão seja adequada para perfeita integração com os vidrados (mesmo para o caso de superposição de várias tintas), desenvolvimento de cor ótima com fundentes que acentuem a cor do pigmento, fundentes baseados em fritas ao boro transparentes micronizadas com amolecimento específico para cada tinta.

Plastificantes: os plastificantes auxiliam nas características reológicas ótimas das tintas, assim como na manutenção da suspensão, sendo para sua seleção considerada a homogeneidade das tintas, que não haja separação de fases líquida e sólida contribuindo para a estabilidade da tonalidade durante a produção, e para viscosidade e tensão superficial adequadas.

Modificadores de características reológicas: além dos plastificantes foi necessário o uso de modificadores de viscosidade e tensão superficial. Cada uma das cores tem um comportamento diferente que é necessário ajustar.

Veículos: para a seleção do veículo trabalhou-se com a aplicação do modelo de Krieger-Dougherty, indicado com mais profundidade na próxima seção. O veículo que deu resultados mais satisfatórios foi o V1.

Preparação das tintas: para uma correta homogeneização de todos os produtos utilizou-se um moinho descontínuo de micro-esferas. O tempo de moagem foi de 40 minutos para uma carga de 5 kg de tinta.

3.2. Aplicação do modelo de Krieger-Dougherty no desenvolvimento das tintas

A aplicação do modelo de Krieger-Dougherty permite prever a dependência da viscosidade com a concentração de sólidos de forma que se possa reduzir consideravelmente o número de ensaios necessários para caracterizar uma nova formulação pelo emprego de um novo veículo ou outro sólido (alteração da base ou do pigmento)⁸. A Equação 1 indica a expressão do modelo de Krieger-Dougherty:

$$\eta_r = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_m}\right)^{-[\eta]\phi_m} \quad (1)$$

Onde η_r é a viscosidade relativa da tinta em relação à do veículo ($\eta_{\infty \text{ tinta}}/\eta_{\infty \text{ veículo}}$), ϕ e ϕ_m são o conteúdo volumétrico e a fração máxima de empacotamento, respectivamente e $[\eta]$ é a viscosidade intrínseca.

A variação de carga de sólido das tintas afeta não somente o comportamento reológico da suspensão. Outro parâmetro importante também afetado por esta variação é a intensidade da cor que estas tintas desenvolvem uma vez aplicadas e queimadas. Como se sabe, quanto maior o teor de sólidos das tintas maior é a concentração de pigmentos nestas e, portanto, as cores desenvolvidas apresentam maior intensidade⁹. Por este motivo o presente estudo também determinou simultaneamente a variação de cor com o teor volumétrico de sólidos.

3.2.1. Experimental

Materiais: para o desenvolvimento do estudo foram empregados dois veículos (V1 e V2), uma base denominada B e quatro pigmentos selecionados anteriormente (A, C, M e N).

Preparação das tintas: a proporção utilizada de pigmento em todos os casos foi de 30% em massa com respeito aos sólidos totais. Para a determinação do teor volumétrico (ϕ) da suspensão foi necessário primeiro determinar as densidades reais tanto da base como dos pigmentos por picnometria ao He.

Determinação da curva $\eta_r = f(\phi)$: a medida dos parâmetros reológicos das tintas foi executada em um reômetro, no qual se controla a força de cisalhamento aplicada e se mede a deformação produzida a cada instante. Durante a realização do ensaio a amostra manteve-se controlada na temperatura do ensaio (35 °C). As medidas foram realizadas empregando-se um sistema de cilindros concêntricos. A curva de fluxo e a curva de viscosidade foram obtidas pela realização de ensaios de fluxo nos quais a força de cisalhamento era controlada.

A curva $\eta_r = f(\phi)$ em todos os casos foi calculada na região de elevado cisalhamento. Para tanto foi determinada a η_{∞} ajustando-se

as curvas de fluxo de cada uma das amostras ao modelo proposto por Sisko com exceção das curvas de fluxo dos veículos sem carga de sólidos, que foram ajustadas ao modelo de Newton (Equação 2).

$$\text{Sisko} : \eta = \eta_{\infty} + k \left(\frac{1}{\dot{\gamma}}\right)^m \quad e \quad \text{Newton} : \sigma = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

Onde η é a viscosidade para um determinado gradiente de velocidade, η_{∞} é a viscosidade a elevados gradientes de viscosidade, $\dot{\gamma}$ é o gradiente de velocidade e k e m são constantes do modelo de Sisko.

Determinação da variação de cor com o teor volumétrico em sólidos: as suspensões das tintas foram aplicadas sobre suportes de azulejos de massa branca já queimados, e os vidrados foram aplicados com um aplicador com abertura de 60 μm aproximadamente. As amostras já aplicadas foram queimadas em forno elétrico de laboratório, sendo empregado um ciclo térmico com uma velocidade de aquecimento de 25 °C/min, a uma temperatura máxima de 1120 °C, e permanecendo nesta durante seis minutos.

As coordenadas cromáticas dos vidrados obtidos foram medidas com um espectrofotômetro de refletância difusa. As condições de medição no equipamento foram um iluminante padrão CIE D65 e um observador padrão CIE 10°. As medidas foram realizadas utilizando-se o sistema de coordenadas cromáticas CIELab. Para determinar a variação de cor foi utilizado o parâmetro ΔE^* , sendo tomada como referência uma peça sem aplicação de tinta; desta forma o valor de ΔE^* obtido está relacionado com o grau de saturação de cor em cada uma das tintas.

3.2.2. Resultados

Em seguida são mostrados os resultados obtidos para o ajuste do modelo de Krieger-Dougherty para as tintas preparadas com o veículo V1, a base B e cada um dos pigmentos A, C, M e N.

Para a obtenção destes resultados foram obtidas curvas de fluxo das tintas preparadas para vários teores de sólidos, determinando-se a partir dos ajustes ao modelo de Sisko a viscosidade a elevados gradientes de cisalhamento. A Figura 4 mostra a evolução da viscosidade relativa em função do teor volumétrico de sólido, sendo representados como pontos os resultados experimentais e com linhas contínuas os ajustes ao modelo de Krieger-Dougherty. Nesta figura observa-se como dependendo do pigmento empregado o comportamento é diferente, e como o emprego do modelo ajusta-se adequadamente aos resultados experimentais.

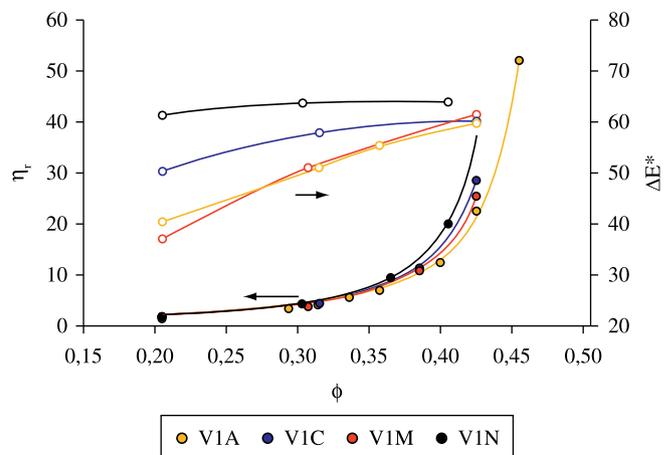


Figura 4. Variação da viscosidade relativa e do ΔE^* com o teor volumétrico para as tintas V1A, V1C, V1M e V1N.

Na Figura 4 também é mostrada a evolução do desenvolvimento da cor da tinta com o teor de sólidos. Nas quatro cores aumenta a intensidade da cor com o aumento do teor em sólidos, sendo que as tintas mais escuras (V1N e VIC) são as que estabilizam a cor antes por saturação. Destes resultados pode-se concluir que as tintas V1A e V1M são as que darão mais problemas de alteração de tonalidade por variação do teor de sólidos da tinta (variações de densidade).

No momento de aplicar o modelo de Krieger-Dougherty foi considerado que a interação veículo/pigmento e a geometria próxima a uma esfera das partículas eram as mesmas para todos os pigmentos e, portanto, foi proposto que a viscosidade intrínseca ($[\eta]$) é a mesma em todas as tintas preparadas com o veículo V1.

Os valores da fração máxima de empacotamento (ϕ_m) de cada uma das tintas e a viscosidade intrínseca ($[\eta]$) obtidos no ajuste do modelo são mostrados na Tabela 2. Nesta tabela pode-se ver como a tinta V1N apresenta o menor empacotamento máximo, o que mostra que para um determinado teor volumétrico a tinta apresenta uma viscosidade mais elevada.

Os valores obtidos para o cálculo da viscosidade intrínseca e da fração máxima de empacotamento empregando-se o modelo de Krieger-Dougherty e partindo-se dos resultados empíricos da viscosidade das suspensões são resultados que concordam com os obtidos em outros estudos¹⁰. O valor de viscosidade intrínseca calculado, comparando-o com os resultados encontrados na bibliografia, encontra-se entre os valores correspondentes a esferas nanométricas e esferas de 40 μm . A observação em microscópio eletrônico das partículas de pigmento mostra como para os quatro casos estas apresentam uma geometria próxima à esférica.

No caso da fração máxima de empacotamento, exceto para a forma geométrica das partículas, o valor também está relacionado com o tamanho médio e o caráter bimodal da distribuição de tamanho de partícula do sólido⁹. Estes resultados concordam com o que prediz o modelo de Farris¹¹.

Uma vez determinado o comportamento das tintas preparadas com cada um dos pigmentos estudados e com o veículo V1, é possível prever o comportamento de outras tintas preparadas com estes pigmentos na mesma proporção base/pigmento e outros veículos diferentes.

Para comprovar esta hipótese foi realizado o estudo reológico de uma tinta preparada com o pigmento A, a base B e o veículo V2 (V2A). Neste caso foram ensaiados somente quatro teores em sólidos distintos em comparação aos nove que foram necessários para caracterizar corretamente a tinta V1A. Para determinar os parâmetros do modelo de Krieger-Dougherty desta tinta considerou-se que a fração máxima de empacotamento era a mesma que a da tinta V1A, pois o sólido empregado em ambas as tintas é o mesmo.

Na Figura 5 apresenta-se a evolução da viscosidade relativa em função do teor volumétrico de sólidos para as tintas V1A, V2A e V1N. Neste caso pode-se ver como o ajuste realizado com o modelo de Krieger-Dougherty (linhas contínuas) também reproduz adequadamente os resultados experimentais (pontos). A observação desta figura mostra como para um determinado teor em sólidos o emprego do veículo V2 dá lugar a uma tinta com uma viscosidade relativa maior que com o veículo V1, sendo mais similar à que apresenta a tinta V1N que, como já comentado, tem uma viscosidade relativa maior devida a sua fração máxima de empacotamento mais baixa.

Partindo-se da viscosidade da tinta necessária pelo sistema de aplicação, pode-se determinar o teor em sólidos e as condições para preparação da tinta, Tabela 3. Sendo necessária uma viscosidade de 152 cP a elevados gradientes de velocidade, pode-se calcular o teor volumétrico em sólidos que as tintas devem ser preparadas quando são empregados os dois veículos ensaiados, V1 e V2.

Empregando-se o veículo V2 podem ser obtidos teores de sólidos mais altos, o que é benéfico, dado que podem ser obtidas intensidades

Tabela 2. Fração máxima de empacotamento e viscosidade intrínseca empregados para o ajuste do modelo de Krieger-Dougherty.

Tinta	V1A	V1C	V1M	V1N
ϕ_m : fração máxima de empacotamento	0,487	0,469	0,475	0,458
$[\eta]$: viscosidade intrínseca	3,164	3,164	3,164	3,164

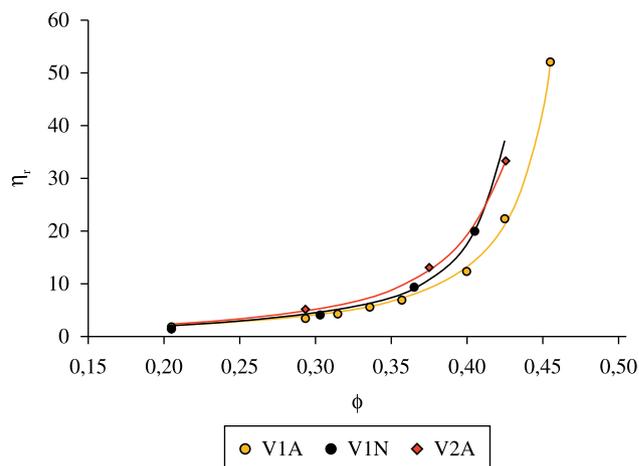


Figura 5. Variação da viscosidade relativa com o teor volumétrico para as tintas V1A, V1N e V2A.

Tabela 3. Características reológicas para as amostras dos veículos V1 e V2.

Tinta	V1A	V2A
Teor de sólidos (%)	55,0	59,9
ϕ (%)	0,31	0,35
$\eta_{\infty \text{ tinta}}$ (mPa.s)	152	152
$\eta_{\infty \text{ veículo}}$ (mPa.s)	31,6	15,8
η_r	4,8	9,6

de cor mais elevadas; no entanto, deve ter-se em conta que na zona de trabalho ($\phi = 0,35$) o veículo V2 dá lugar a variações superiores da viscosidade com o teor em sólidos, o que confere à tinta uma maior falta de estabilidade em relação à aparição de tonalidades.

4. Validação dos Resultados em Escala Industrial

Foram realizadas várias provas semi-industriais na planta piloto da empresa Fritta para verificar os resultados obtidos. As provas foram realizadas com condições de trabalho muito similares às da produção industrial: suporte cru de revestimento de monoporosa de massa branca e de porcelânico; temperatura das peças durante a aplicação do vidro entre 90 e 100 $^{\circ}\text{C}$; umectação com pistola “airless” com 4 g em peças 30 \times 30 cm; aplicação de engobe a campânula de 35 g em peças 30 \times 30 cm; aplicação do vidro (brilho ou mate) de 70 g em peças 30 \times 30 cm; decoração das peças com uma máquina Rotocolor S5 em quadricromia empregando-se dois tipos de tintas, ciano-magenta-amarelo-negro (CMYK) e ciano-magenta-bege-negro (CMBK).

As paletas obtidas foram registradas em PhotoshopTM como uma paleta de perfis que foi utilizada depois para o desenvolvimento de modelos. A queima das peças foi realizada em um forno de rolos em ciclos industriais. Na Figura 6 são mostradas algumas das peças obtidas, onde se pode observar uma ampla gama cromática, assim como a integração e a definição das tintas tanto em vidro brilhante como mate.

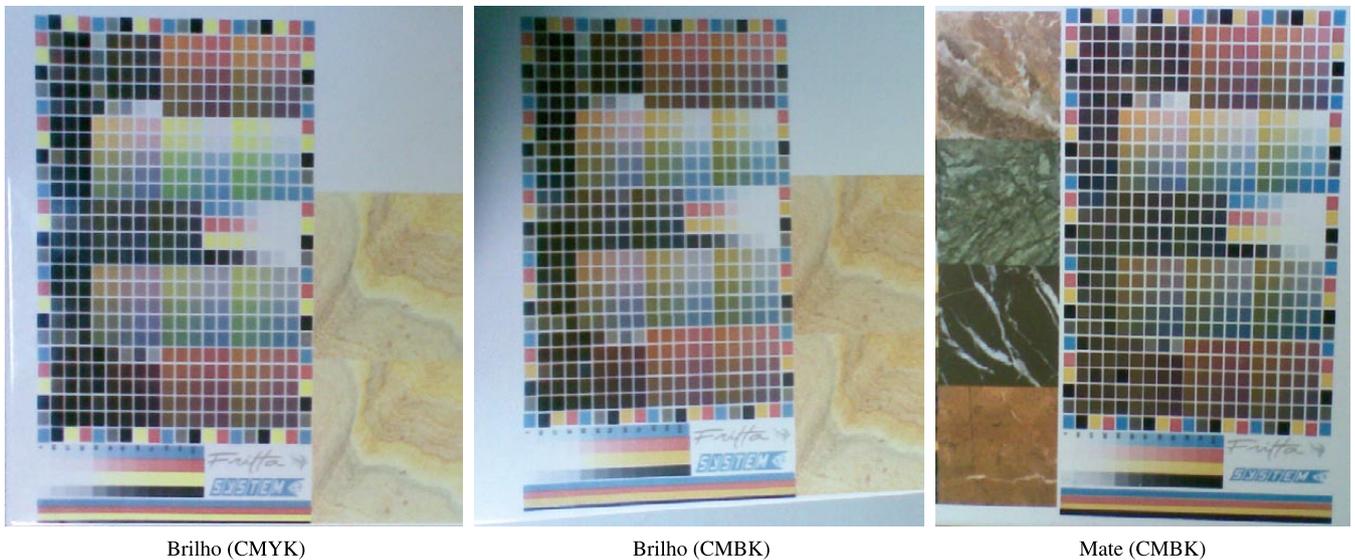


Figura 6. Amostras das peças aplicadas sobre vidro brilhante nas escalas CMYK e CMBK, e sobre vidro mate na escala CMBK.

5. Conclusões

Os resultados obtidos podem ser resumidos como:

- Foi desenvolvido um tipo de incisão para encavografia que facilita o trabalho em quadricromia, sendo a duração deste tipo de incisão igual à de uma incisão padrão;
- Foi desenvolvida uma gama de tintas com as quais foi obtida uma paleta de tonalidades muito ampla;
- A combinação da incisão com as tintas permite trabalhar com uma grande estabilidade de cor ao longo do tempo;
- Pequenas diferenças de centralização não afetam o resultado estético das peças;
- Com as mesmas tintas podem-se produzir modelos de aspecto gráfico muito diferente;
- Simplifica-se o desenvolvimento de projetos cerâmicos gráficos pelo uso de sistemas de gestão de cor.

Referências

1. MARTÍNEZ, J. A. et al. Diseño de tintas optimizadas para decoración mediante la técnica de huecogrado. *Ediceram*, v. 3, p. 50-62, 2001.
2. CAMPOS, J. M. et al. Influencia de las variables de materiales y proceso sobre la presencia de tonalidades en baldosas cerámicas decoradas con técnica de rodillo huecogrado. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO – QUALICER, 7., 2002. *Anais...* Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2002. vol. I, p. P.GI4-1-P.GI59.
3. LLANES, M. D. et al. Propuesta de mejora en la fase de desarrollo en procesos de decoración mediante la técnica de huecogrado. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO – QUALICER, 7., 2002. *Anais...* Castellón: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación, 2002. vol. I, p. P.GI77-P.GI92.
4. LÓPEZ-ACEDO, C. et al. Comportamiento reológico en empastes en serigrafías para impresión en máquinas rotativas de huecogrado: estudio de tintas y desarrollo de un nuevo vehículo. *Cerámica Información*, v. 300, p. 81-87, 2003.
5. RECAJ, J. L. La impresión mediante huecogrado más sencilla. *Técnica Cerámica*, v. 317, p. 1186-1189, 2003.
6. SÁNCHEZ RIVERO, P.; PERIS FAJARNÉS, G.; LATORRE CERMONA, P. Necesidad de normativa en los sistemas de impresión cerámicos. *Técnica Cerámica*, v. 290, p. 55-57, 2001.
7. MORENO BOTELLA, R. *Reología de suspensiones cerámicas*. Madrid: CSIC, 2005.
8. AMORÓS, J. L. et al. Comportamiento reológico de las suspensiones de esmalte. Influencia de las características de la suspensión. *Técnica Cerámica*, v. 214, p. 384-398, 1993.
9. PEÑALVER, J. et al. Estudio de las variables de control de la aplicación serigráfica y su influencia sobre la dispersión de tonalidades en baldosas. *Cerámica Información*, v. 229, p. 37-43, 1997.
10. BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. *An introduction to rheology*. Amsterdam: Elsevier, 1989.
11. FARRIS, R. J. Prediction of the viscosity of multimodal suspensions from unimodal viscosity data. *Transactions of the Society of Rheology*, v. 12, n. 2, p. 281-301, 1968.