

Análise da variação cromática em revestimentos cerâmicos usando planejamento fatorial

Flávia Ribeiro^{1,2}, Aline Ribeiro^{2}, Hermes Mariot², Morgana Nuernberg Sartor Faraco¹, Aline Resmini Melo¹*

¹Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC). Graduação em Engenharia Química. Rua Pascoal Meller, 73, Bairro Universitário, CEP 88805-380, Criciúma, Santa Catarina.

²Eliane S/A Revestimentos Cerâmicos. Rua Maximiliano Gaidzinski, 245, Bairro Centro, CEP 88845-000, Cocal do Sul, Santa Catarina.

flavia.ribeiro@eliane.com, aline.ribeiro@eliane.com*, hermes.mariot@eliane.com, morgana.sartor@satc.edu.br, aline.melo@satc.edu.br (*corresponding author)

RESUMO

Na produção de cerâmica de revestimento, a fabricação de peças especiais utiliza a técnica de serigrafia plana com revestimentos cerâmicos já vitrificados. Essa técnica aplicada em revestimentos monocores pode ser considerada crítica, devido a variação de tonalidade resultante. O presente trabalho teve como objetivo identificar qual variável mais interfere na variação de tonalidade através do planejamento fatorial, sendo que inicialmente foi elaborado um levantamento com todas as variáveis e selecionadas àquelas que possuem influência direta com a variação de camada de tinta aplicada. As variáveis selecionadas foram: densidade da tinta, desgaste da tela serigráfica e o desgaste da espátula. De acordo com os resultados, a densidade é o fator que apresenta maior influência na variação de tonalidade. Com relação às interações dos fatores verificou-se que quando ocorre um aumento da densidade da tinta, simultaneamente com um aumento no desgaste da espátula, há aumento da camada de tinta aplicada. Os resultados evidenciam a importância de manter o controle da densidade da tinta e do desgaste da espátula durante o processamento.

Palavras-chave: variação de tonalidade, serigrafia plana, planejamento experimental fatorial.

1 INTRODUÇÃO

Um problema comum relacionado ao processo de fabricação de revestimentos cerâmicos é a dificuldade em manter uma constância de cores entre peças (Cabrelon, 2004; De Noni Jr., 2006; Melchiades, 1999). Essas variações de cor deterioram a aparência do produto aumentando o número de lotes produzidos. Esse fato aumenta os custos de gerenciamento de estoques e interfere na competitividade do produto cerâmico (Cabrelon, 2004; Schabbach, 2008). Um grande número de tons em estoque dificulta o atendimento ao cliente, podendo gerar insatisfação do consumidor final em receber um produto com tonalidades diferentes. Com o tempo, a comercialização destes materiais se torna cada vez mais difícil, sendo vendidos com preços inferiores e reduzindo a margem de lucro da empresa (Pessler, 1999).

As causas das variações de tom podem ser classificadas em: 1) processo de preparação de pigmentos; 2) condições de aplicação do pigmento; 3) características químicas dos pigmentos (Cabrelon, 2004).

Em relação à preparação de pigmentos, as condições podem afetar as propriedades físicas e químicas dos pigmentos e opacificadores (Schabbach, 2008). No que diz respeito às condições de aplicação, qualquer fator

que possa alterar a concentração e a composição da tinta produzirá variações de cores (De Noni Jr., 2006). Dentro da etapa de decoração as causas possíveis podem ser originadas na regulagem da máquina serigráfica, a pasta serigráfica e a tela serigráfica. A regulagem da máquina apresenta como variável que pode contribuir para a diferença de tonalidade a altura da tela em relação à superfície da peça, a natureza e características técnicas da espátula e a inclinação e pressão da mesma (Moraes, 1999).

Em relação às características químicas e físicas, as tintas de serigrafia são suspensões formadas por uma fase sólida (pigmento) e uma fase líquida (meio). Os pigmentos são óxidos e o meio é uma mistura de polímeros ou óleos minerais. As propriedades reológicas das suspensões são influenciadas pelo meio e pelo conteúdo de sólidos. Formada a suspensão, as tintas de serigrafia requerem características reológicas, físicas e químicas estáveis para manter a estabilidade das cores durante a decoração. (Elyseu, 2012).

A dificuldade encontrada em manter estável a tonalidade na técnica de serigrafia se deve ao grande número de variáveis envolvidas. Apesar de a literatura identificar quais são estas variáveis, não há um consenso sobre a mais significativa, levando em consideração que há particularidades em cada processo (Costa, 2004).

A cor é um fenômeno físico, psicológico e biológico, que depende do observador, da fonte de luz e do objeto iluminado. Como resultado, se obtém um espectro de intensidade de luz dependendo do comprimento de onda (dentro do espectro visível). A diferença de cores pode ser determinada calculando três parâmetros, expressos em um conjunto de coordenadas cartesianas X, Y, Z. Um dos sistemas mais comuns é o CIELab, onde a variação de tonalidade de placas cerâmicas podem ser obtido pela análise das coordenadas cromáticas L^* , a^* e b^* fornecidos por um espectrofotômetro (De Noni Jr., 2006; Schabbach, 2008). A variação de tonalidade também pode ser analisada pelas curvas de refletância espectral (Schabbach, 2008).

O parâmetro L^* diz respeito à luminosidade, variando entre escuro (zero) a claro (cem). Os parâmetros a^* e b^* são referentes às variações de cores, sendo que o a^* varia entre verde (negativo) e vermelho (positivo) e o b^* entre azul (negativo) e amarelo (positivo) (Melchiades, 1999). Porém, parte da indústria brasileira de revestimentos cerâmicos ainda utiliza o método de comparação visual para controlar a tonalidade, que é um método não adequado (Elyseu, 2012).

Os processos decorativos podem ocorrer em produtos já findados, ou seja, sobre revestimentos que já passaram por um tratamento térmico, pois a temperatura de queima das matérias-primas utilizadas para a decoração de peças especiais é inferior à temperatura necessária para a produção do revestimento (Cabrera, 2006).

O processo de decoração de peças especiais para revestimento em paredes e piscinas ocorre geralmente por meio da técnica de serigrafia plana. Esse método apesar de pouco utilizado atualmente, permite a criação de diversos efeitos com diferentes tipos de matérias-primas. O método de impressão a jato de tinta para decoração em revestimentos promoveu grandes mudanças dentro do setor, entretanto esta técnica é limitada em relação a gama cromática ao contrário da serigrafia plana que permite a aplicação de diversas cores e com maior intensidade.

A decoração em peças especiais por serigrafia consiste na passagem de uma matéria-prima pelos orifícios de uma tela previamente preparada com o auxílio de um aparelho mecânico, comumente chamado de espátula. Estes orifícios em conjunto, formam um desenho que é definido conforme as características estéticas que o produto deverá obter ao fim do processo. A tela mencionada pode ser plana ou curva, sendo que no caso das telas planas, quando os orifícios são carregados pela matéria-prima e a peça encontra-se abaixo da tela, a espátula exerce uma pressão sobre a tela depositando a matéria-prima no revestimento já vitrificado (Berto, 2000).

O processo de decoração por tela serigráfica plana por via úmido pode ser composta por duas etapas. Na primeira etapa o avanço mecânico da espátula gera uma força que é responsável por carregar os orifícios da tela, sendo que esta força ocorre de forma perpendicular à superfície aplicada. Já na segunda etapa, ao mesmo tempo em que se faz o recuo da espátula, existe uma pressão da espátula sobre a tela e como consequência tem-se o contato da tela com o revestimento sinterizado. Neste momento acontece a transferência da tinta presente na tela para a peça cerâmica já vitrificada (Sanz, 1999).

De acordo com Zauberas (2003), a produção de revestimentos cerâmicos apresenta em cada etapa do processo produtivo, inúmeras variáveis que podem partir de um ajuste de equipamento no processo até os controles de matérias-primas em laboratório, por exemplo. Essas variáveis devem ser mantidas constantes durante a fabricação para proporcionar de forma eficiente, econômica e controlada, um produto final dentro dos padrões pré-estabelecidos. Entretanto, quando há a necessidade de corrigir uma variável, o ajuste é baseado em métodos não estatísticos, fazendo com que o processo seja suscetível a eventos inesperados.

O uso de métodos estatísticos, conforme Berto (2004) elimina a possibilidade de opiniões ou adivinhações induzirem determinadas conclusões na análise de situações problemas, uma vez que a estatística proporciona

resultados de forma numérica. Esses números são obtidos por meio de medições que devem ser previamente planejadas permitindo que as variáveis estudadas constituam uma correlação e sofram influência entre as mesmas.

Box (2005) afirma que de nada valem as técnicas estatísticas sem a experiência do assunto abordado, portanto o uso dos métodos estatísticos deve estar alinhado ao conhecimento para que as interpretações dos dados se façam de forma coerente à realidade aplicada.

No que se refere à definição de procedimento experimental fatorial, Box (2005) afirma que os experimentos são baseados em todas as possíveis combinações das variáveis, levando em consideração a magnitude das mesmas.

Montgomery (2014) alega que o planejamento fatorial fornece o menor número de corridas, ou seja, testes a serem realizados relacionando todos os fatores selecionados. Dessa forma, o mesmo é indicado para fases iniciais de uma investigação experimental, quando há necessidade de identificar qual variável a ser controlada tem maior influência sobre a variável de resposta escolhida. Estas variáveis de resposta estão relacionadas aos fatores de controle que uma vez alterados provocam efeitos diversos nas variáveis dependentes.

Segundo Montgomery (2014), um planejamento experimental pode apresentar modificações entre fatores e níveis que alteram o número de experimentos ou corridas a serem analisadas. Por exemplo, um planejamento fatorial do tipo 2^k apresenta dois níveis e diversos fatores, representados pelo número 2 e pela letra “k”, respectivamente.

Juran (1998) ressalta que este tipo de planejamento é amplamente aplicado na indústria, pois permite a visualização dos impactos individuais de cada fator e simultaneamente, os resultados das interações entre os mesmos, facilitando a identificação das melhores condições do processo de fabricação ou produto.

Montgomery (2014), cita que um modelo estatístico tem como base o teste de hipótese. Este teste verifica se uma hipótese é verdadeira ou não de acordo com o nível de confiança. Também conhecido como valor P, o nível de confiança é o valor mínimo em que os dados são considerados significativos permitindo rejeitar ou não a hipótese nula, que possui o mesmo significado de hipótese não verdadeira.

Apesar de atualmente a técnica de serigrafia plana ser utilizada dentro da indústria cerâmica, a inserção de outras tecnologias reduziu consideravelmente a pesquisa sobre este método e desta forma, justifica-se o breve referencial deste estudo.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as variáveis de processo: densidade da tinta, desgaste da tela e espátula através do planejamento fatorial, identificando quais variáveis tem maior significância na variação de tonalidade de peças especiais monocores.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As variáveis selecionadas para o estudo foram definidas de acordo com a influência sobre a camada de tinta aplicada. Essa possui relação direta com o problema de variação de tonalidade. Dessa forma, os fatores selecionados foram: o desgaste da tela, o desgaste da espátula e a densidade da tinta serigráfica. Para a realização dos testes foram confeccionados gabaritos para padronizar a altura da tela em relação à peça cerâmica. Assim, foi considerado que o ângulo e a pressão da espátula eram constantes. Foi elaborada uma classificação prévia dos revestimentos cerâmicos já vitrificados que foram utilizados nos testes para selecionar os que apresentassem menores variações de curvatura.

A condição em que os testes foram realizados foi selecionada com a finalidade de representar a condição crítica de produção, no caso um produto com uma decoração monocolor de cor verde intenso, onde a mesma possui um tamanho de 0,30 m x 0,40 m e posteriormente é conduzido à etapa de corte para obtenção de peças menores, 0,07 m x 0,25 m, evidenciando a variação de tonalidade. Na Tabela 1 está a matriz de experimentos elaborada com auxílio do software *Statística* e que representa todas as combinações possíveis entre os três fatores selecionados e suas respectivas variações: três valores diferentes de densidade e três valores de desgaste para tela e para espátula serigráfica.

A primeira simulação no programa foi elaborada com base no modelo 2^3 , uma vez que o trabalho selecionou três níveis para cada fator, obtendo assim 27 tratamentos ou corridas. Entretanto para esse número de experimentos tornaria o estudo inviável, pois seria necessária uma quantidade excessiva de peças e um período extenso de provas e por essa razão a matriz de experimentos foi otimizada: o modelo estatístico foi modificado para reduzindo as combinações possíveis entre os níveis superiores e inferiores com a adição do ponto intermediário em triplicata (artifício comumente utilizado). O ponto intermediário corresponde às corridas 9, 10 e 11 da Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de experimentos do planejamento fatorial.

| Experimento | Densidade da tinta (g/cm ³) | Desgaste da Tela (Peças aplicadas) | Desgaste da Espátula (Peças aplicadas) |
|-------------|---|------------------------------------|--|
| 1 | 2,05 | 0 | 6000 |
| 2 | 2,05 | 0 | 0 |
| 3 | 2,13 | 0 | 0 |
| 4 | 2,13 | 0 | 6000 |
| 5 | 2,05 | 6000 | 6000 |
| 6 | 2,05 | 6000 | 0 |
| 7 | 2,13 | 6000 | 0 |
| 8 | 2,13 | 6000 | 6000 |
| 9 (C) | 2,09 | 3000 | 3000 |
| 10 (C) | 2,09 | 3000 | 3000 |
| 11 (C) | 2,09 | 3000 | 3000 |

Foram definidas então como variáveis dependentes a camada de tinta aplicada, a análise colorimétrica e a análise visual, sendo que o nível de confiança do modelo estatístico utilizado foi de 95%. Não foi considerado o valor de ΔE , pois em algumas situações, este valor pode não representar a variação de cor observada.

Os testes foram realizados em uma máquina serigráfica industrial, utilizando um revestimento com acabamento de esmalte acetinado e tamanho 0,30 m x 0,40 m. A tela serigráfica deste mesmo produto apresentava uma aplicação inteira da peça em malha 68 mesh. A espátula utilizada para a decoração foi de poliuretano, contendo uma altura média de 0,50 m, espessura de 0,097 m e dureza de 55 shore. As medidas de dureza foram obtidas por meio do equipamento durômetro da Wootest com modelo shore A MP3 analógico e normas DIN 53505 e ASTM D 2240.

Posteriormente à confecção das peças em linha de produção, as mesmas foram queimadas na mesma posição em forno a rolo industrial a 1040 °C com um ciclo de queima de 55 minutos. Após a queima as peças foram cortadas em peças de 0,07 m x 0,25 m e em seguida foram secas em um secador industrial a 300 °C, sendo analisadas visualmente em um painel adequado e realizado a análise colorimétrica em todas as peças 0,07 m x 0,25 m. As medidas colorimétricas foram feitas usando um espectrofotômetro BYK Gardner com uma fonte de luz D65 e um ângulo de observação de 10°. Os valores da análise colorimétrica foram obtidos com uma média de três pontos de leitura em cada peça cortada, sendo inseridos no software posteriormente.

A análise visual foi elaborada com o auxílio de cinco voluntários e de forma individual, analisando primeiramente a homogeneidade da cor em cada experimento. A classificação de tonalidade foi: ruim (-1), razoável (0) e bom (1); homogeneidade da cor entre experimentos, comparando com a coloração do experimento 11 (ponto central): mesma tonalidade (0), mais claro (-1), muito mais claro (-2), mais escuro (1) e muito mais escuro (2). Na Tabela 2 está a escala de análise visual utilizada.

Tabela 2 - Escala de classificação da análise visual.

| Classificação da tonalidade | Por experimento | Entre experimentos |
|-----------------------------|-----------------|--------------------|
| Ruim | -1 | - |
| Razoável | 0 | - |
| Bom | 1 | - |
| Mesma tonalidade | - | 0 |
| Mais claro | - | -1 |
| Muito mais claro | - | -2 |
| Mais escuro | - | 1 |
| Muito mais escuro | - | 2 |

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

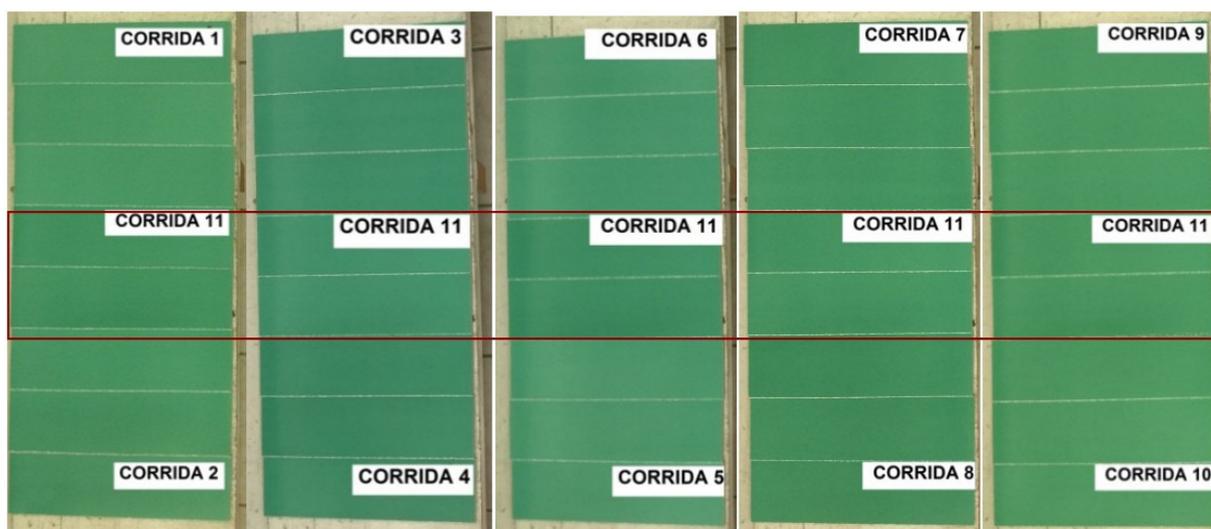
Na Tabela 3 estão os resultados de homogeneidade da cor por experimento (corrida) e no comparativo da cor de cada experimento com o experimento onze (ponto central).

Tabela 3 - Média dos resultados da análise visual.

| Experimento | Densidade (g/cm ³) | Desgaste da Tela (Peças) | Desgaste da Espátula (Peças) | Por experimento | Entre Experimentos |
|-------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1 | 2,05 | 0 | 6000 | 0 | -1 |
| 2 | 2,05 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 3 | 2,13 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 2,13 | 0 | 6000 | -1 | 2 |
| 5 | 2,05 | 6000 | 6000 | -1 | -2 |
| 6 | 2,05 | 6000 | 0 | 0 | -2 |
| 7 | 2,13 | 6000 | 0 | -1 | 1 |
| 8 | 2,13 | 6000 | 6000 | 0 | 2 |
| 9 | 2,09 | 3000 | 3000 | 1 | 0 |
| 10 | 2,09 | 3000 | 3000 | 1 | 0 |
| 11 | 2,09 | 3000 | 3000 | 1 | - |

É possível notar através da Tabela 3 que na análise visual foram identificadas diferenças de tonalidade por experimento e entre experimentos, pois em ambos há diferentes números de classificação, no caso, se todos os experimentos apresentassem homogeneidade na cor, os resultados consistiriam em zero. O significado de cada número observado nas duas condições (por experimento e entre experimentos) da Tabela 3 pode ser verificado na Tabela 2 de escala de classificação da análise visual.

Os resultados com relação à análise visual das comparações do experimento onze com cada experimento estão apresentados na figura 1, sendo importante salientar que nas imagens as diferenças de tonalidade entre os experimentos demonstraram-se menos intensas do que a análise visual propriamente dita.

**Figura 1:** Análise visual das comparações de cada corrida com a corrida onze.

Por meio da figura 1, observa-se que o retângulo em vermelho destaca as peças correspondentes ao experimento onze, onde as demais peças, tanto acima quanto abaixo representam os demais experimentos. Observa-se na Tabela 3 o resultado de análise visual, conforme a média dos cinco voluntários e destaca-se que as corridas quatro e oito apresentaram-se mais intensas do que a onze (ponto central), ressaltando que estes experimentos também obtiveram os maiores valores para a variável dependente de camada.

O diagrama de Pareto demonstra qual fator ou interação tem maior influência sobre determinada variável dependente, por meio do nível de confiança determinado previamente. No caso do presente estudo, para cada variável dependente foi possível confeccionar um diagrama de Pareto, onde os fatores densidade, desgaste da espátula e desgaste da tela foram enumerados em sequência de 1 à 3 para uma melhor representação de suas interações. A figura 2 apresenta os resultados obtidos em relação a variável de camada de tinta aplicada e a figura 3 os resultados obtidos para a coordenada L*, parâmetro este que avalia a luminosidade. Vale lembrar que os diagramas para cada coordenada colorimétrica (a*, b* e L*) são referentes apenas às leituras efetuadas nas peças com tamanho 0,30 m x 0,40 m.

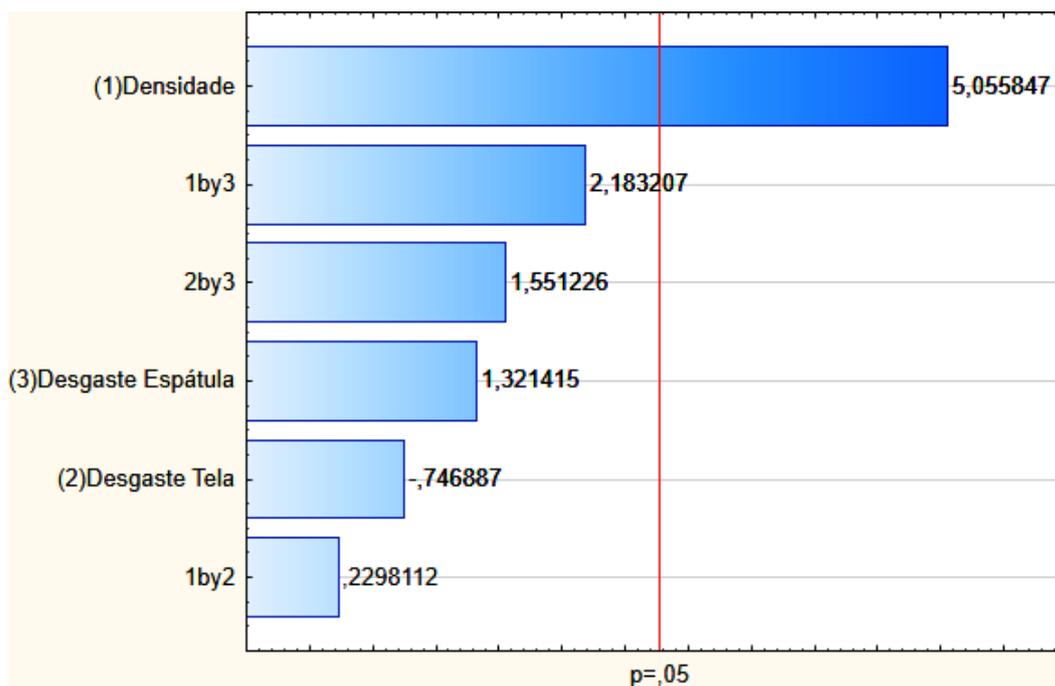


Figura 2 - Diagrama de Pareto para camada de tinta.

De acordo com a figura 2 pode-se perceber que o diagrama revela a densidade como o fator que possui maior significância na variável camada, sendo os demais fatores e interações com $p < 0,05$.

Analisando a figura 3, pode-se observar que a coordenada L^* é a variável dependente que mais sofre o efeito de alterações dos fatores, sendo a densidade o fator que possui maior contribuição.

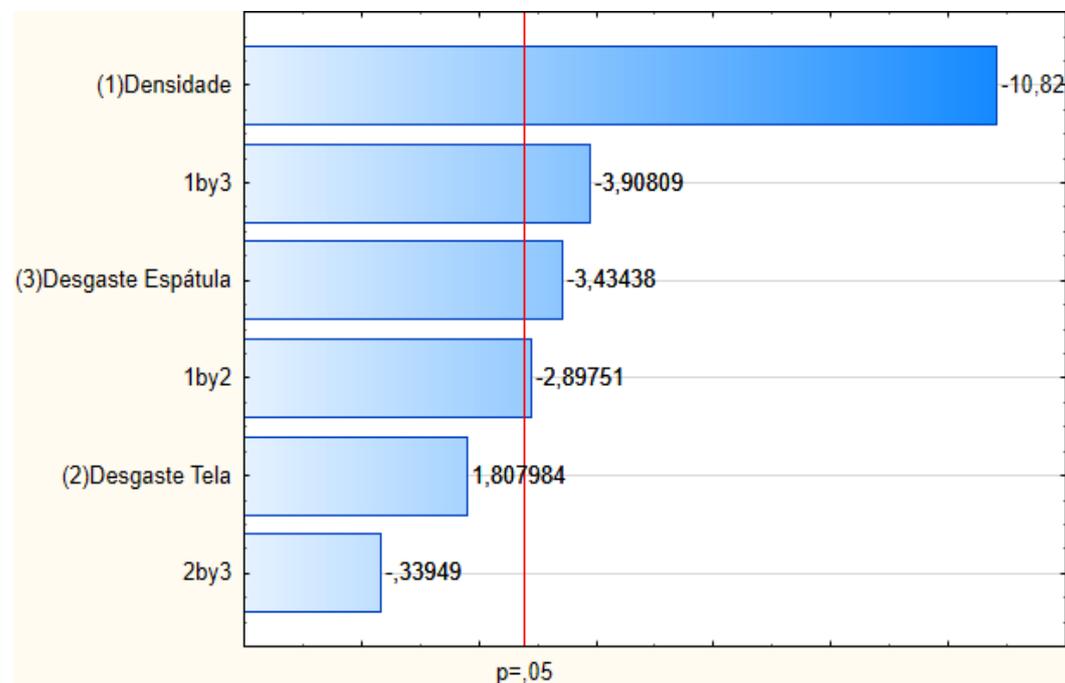


Figura 3 - Diagrama de Pareto para coordenada colorimétrica L^* .

O desgaste da espátula de forma individual é o terceiro fator que influencia na coordenação L^* de forma significativa, porém a interação entre o desgaste da espátula e a densidade tem maior efeito sobre esta variável.

Na figura 4 tem-se o resultado em relação à coordenada a^* que corresponde a variação de cor entre verde (negativo) e vermelho (positivo)

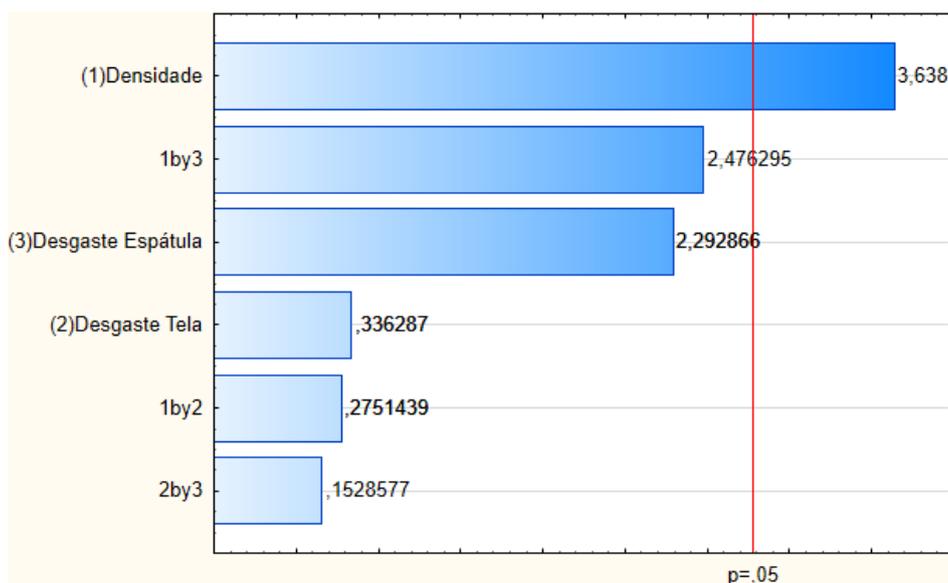


Figura 4 - Diagrama de Pareto para a coordenada colorimétrica a^* .

Observa-se na figura 4 que a densidade possui uma interferência significativa sobre a variação da coordenada colorimétrica a^* , ao contrário da coordenada b^* , da figura 5, que nenhum dos fatores apresentou interferência significativa. A coordenada a^* pode ter sofrido de maneira mais significativa o efeito da densidade pelo fato de a cor da tinta utilizada ser verde e estar dentro das cores que esta coordenada colorimétrica pode avaliar: verde (negativo) e vermelho (positivo).

A figura 5 e coordenada b^* que se refere à variação de cor entre amarelo (positivo) e azul (negativo).

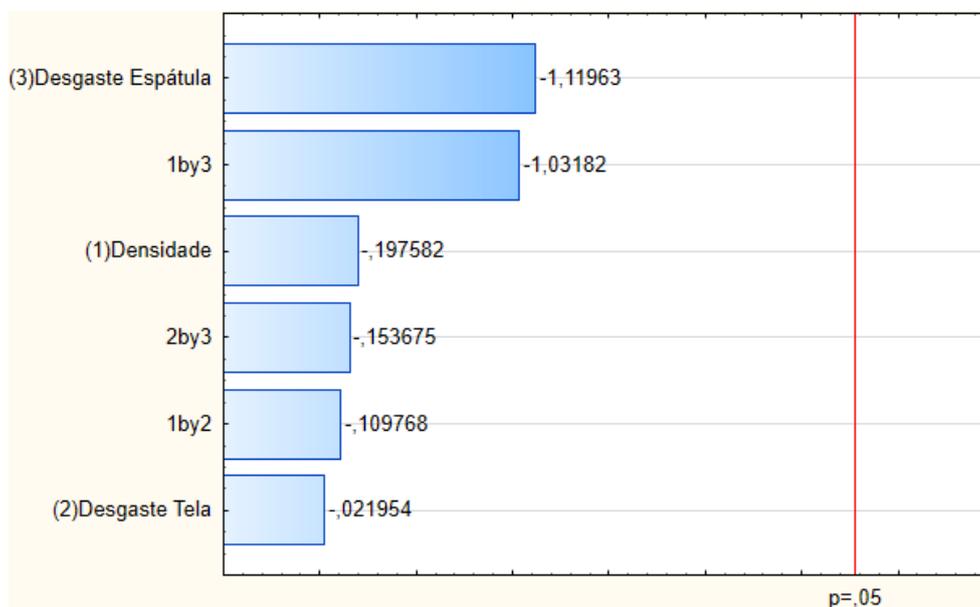


Figura 5 - Diagrama de Pareto para coordenada colorimétrica b^* .

O fato da coordenada b^* não ter sofrido interferência de nenhum fator justifica-se por esta coordenada avaliar a variação de cor entre amarelo (positivo) e azul (negativo), ou seja, fora do range da cor que a tinta utilizada apresenta. Dessa forma, considera-se que para os parâmetros de cor (a^* e b^*) o efeito dos fatores varia conforme a cor selecionada. Na sequência, a figura 6 demonstra os resultados com relação à análise visual da homogeneidade da cor por experimento.

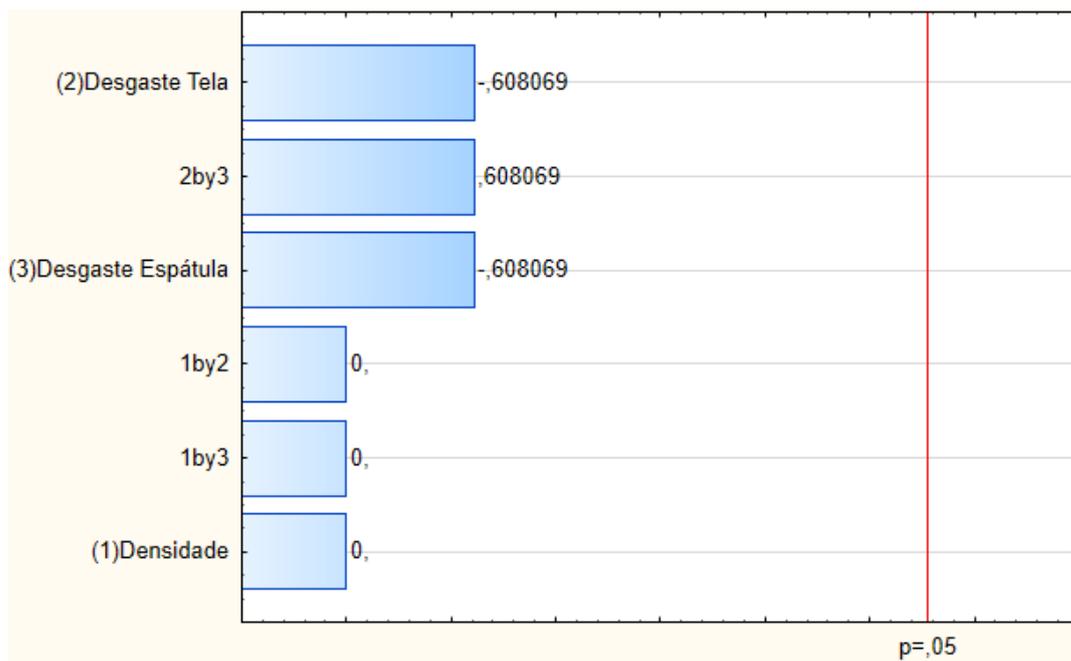


Figura 6 - Diagrama de Pareto para a homogeneidade da cor por experimento.

Da mesma forma que a coordenada b^* , verifica-se na figura 6 que a homogeneidade da cor por experimento também não sofre efeito dos fatores.

A figura 7 ilustra os resultados referente a análise visual da homogeneidade da cor entre experimentos.

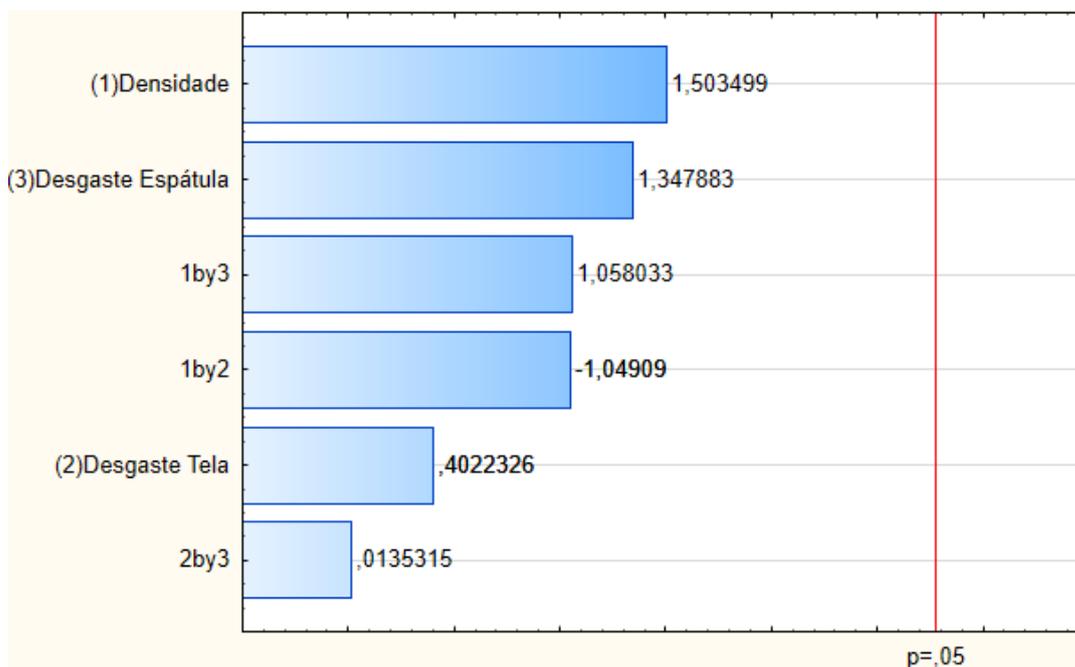


Figura 7 - Diagrama de Pareto para a homogeneidade entre experimentos.

É possível avaliar, através da figura 7 que mesmo com uma diferença de tonalidade observada no ensaio de análise visual, a homogeneidade da cor na comparação das corridas com o ponto central (experimento 11), não sofreu efeito de nenhum dos fatores selecionados, muito menos de suas interações.

Para as variáveis que apresentaram significância foram plotados as superfícies de resposta. A figura 8 mostra a superfície de resposta entre densidade e o desgaste da espátula em relação a camada de tinta aplicada.

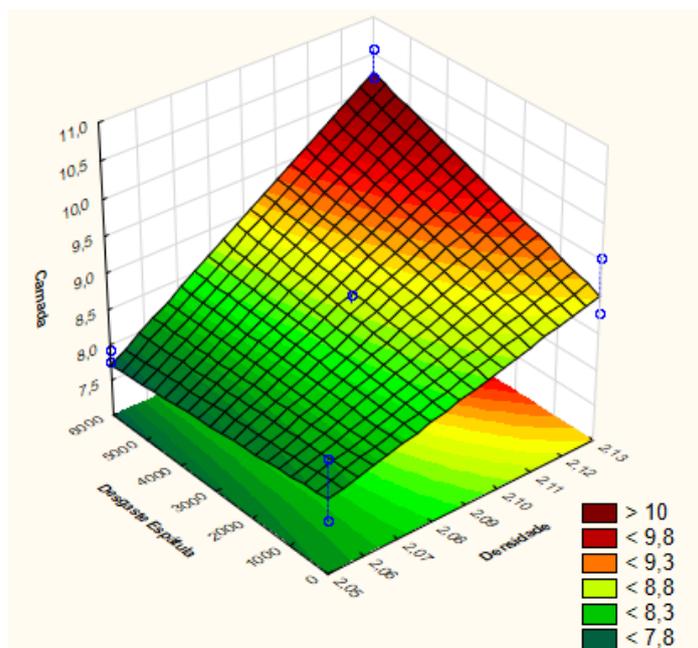


Figura 8 - Superfície de resposta do efeito da densidade e do desgaste da espátula sobre a camada de tinta.

Observa-se pelo gráfico de superfície de resposta da figura 8 que com o aumento da densidade da tinta serigráfica combinado ao aumento do desgaste da espátula, há por consequência um aumento da camada, confirmando a análise do diagrama de Pareto da figura 2.

O resultado verificado no gráfico da figura 8 corrobora dados anteriores que afirma que a densidade e o comportamento reológico da tinta influenciam de forma direta na camada depositada no suporte (Sanz, 1999). Com relação à densidade, foi comprovado experimentalmente pelo método CIELab, que quanto mais denso, maior a quantidade de sólidos depositados na peça e por consequência maior a intensidade da cor ao final do processo (Sanz, 1999). A figura 9 exhibe a superfície de resposta da coordenada L^* .

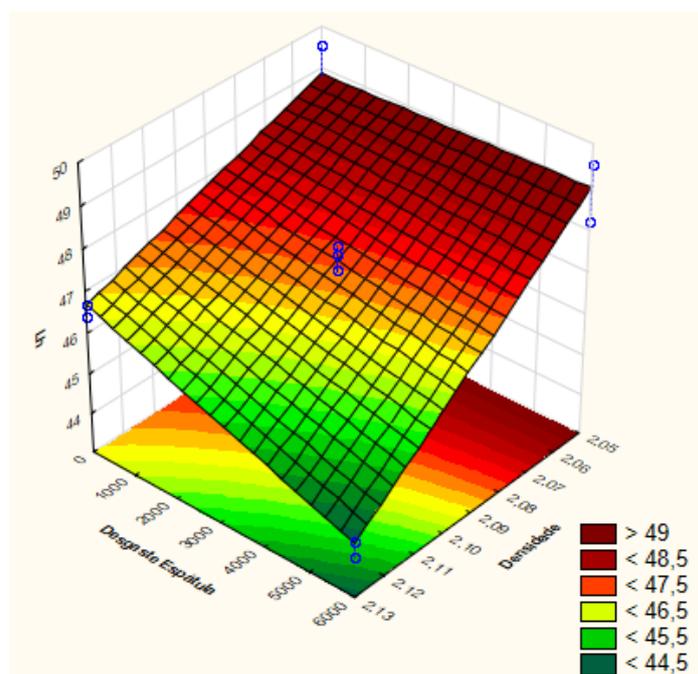


Figura 9 - Superfície de resposta do efeito da densidade e do desgaste da espátula sobre a coordenada L^* .

O diagrama de Pareto elaborado para a variável dependente L^* indicou que a mesma sofre interferência da densidade e do desgaste da espátula de forma significativa. Este resultado pode ser observado também na superfície de resposta da figura 9, onde o aumento da densidade junto ao desgaste da espátula diminui o valor de luminosidade, ou seja, tornam as peças de coloração mais intensa (escura).

Novamente os resultados corroboram com dados encontrados por outros trabalhos (Sanz, 1999) que por consequência do aumento de sólidos sobre a peça há um aumento da intensidade da cor nas impressões, como pôde ser observado na figura 9 com a redução da coordenada L^* .

A figura 10 exibe a superfície de resposta da coordenada L^* .

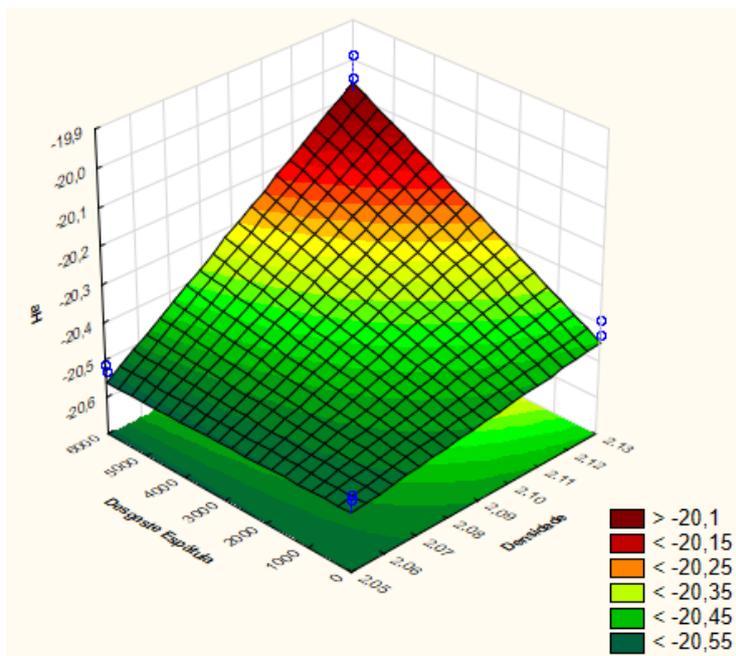


Figura 10 - Superfície de resposta do efeito da densidade e do desgaste da espátula sobre a coordenada a^* .

Observa-se na figura 10, em relação a coordenada a^* que este parâmetro também sofre influência com o aumento de ambos os fatores. O valor de a^* aumenta, ou seja, a coloração das peças com o aumento da densidade da tinta e do desgaste da espátula tende a menos verde. Em resumo, para o caso estudado, o aumento do desgaste da espátula juntamente com o aumento da densidade aumenta a camada de tinta aplicada à peça, reduzindo a luminosidade (peças mais escuras) e menos verde.

4 CONCLUSÕES

Entre os três fatores analisados (densidade, desgaste da tela e desgaste da espátula), o que possui maior interferência na variação de tonalidade, de forma isolada é a densidade, sendo influente em duas das variáveis dependentes: camada de tinta e colorimetria (coordenadas a^* e L^*). Destaca-se também que dentro da variável dependente de colorimetria, a luminosidade (coordenada L^*), foi a que mais sofreu efeito dos fatores, pois além de forma individual a densidade e o desgaste da espátula contribuíram para sua variação também por meio de interações.

Com os resultados da análise visual percebeu-se que os experimentos apresentaram diferenças de tonalidade individualmente e nas comparações de cada uma com o ponto central. No entanto, de acordo com o diagrama de Pareto nenhum dos fatores e interações, apresentaram influência em relação à homogeneidade por corrida e nas comparações. Dessa forma, concluiu-se que a diferença de tonalidade observada na análise visual não apresenta relação com os fatores utilizados, mas sim, com alguma variável que não pôde ser controlada durante a realização dos testes.

Com base no levantamento bibliográfico realizado e com os resultados observados, verificou-se que para um ganho na manutenção da tonalidade deve-se elaborar um controle efetivo da densidade e identificar qual a melhor condição e tipo de espátula para a decoração de peças monocores.

REFERÊNCIAS

- A. C. N. Moraes, *Ceram. Ind.*, **4**, (1999) 32.
- A. De Noni Junior, V. P. Rabelo, C. O. Modesto, D. Hotza, in *Congresso Mundial de la Calidad del Azulejo y Del Pavimento Cerâmico*, 2006, 265–268.
- A. M. Berto, *Ceram. Ind.*, **5**, (2000) 7.
- A. Pesserl, *Ceram. Ind.*, **4**, (1999) 7.
- D. C. Montgomery, G. C. Runger, N. C. Hubele, *Estatística Aplicada à Engenharia*, LTC, Rio de Janeiro, BR (2014) 476.
- F. Costa, A. O. Boschi, *Ceram. Ind.*, **9**, (2004) 17.
- F. Elyseu, A. M. Bernardin, *Dyes Pig.*, **95**, (2012), 427.
- F. G. Melchiades, A. O. Boschi, *Ceram. Ind.*, **4**, (1999) 11.
- G. E. P. Box, S. Hunter, W. G. Hunter, *Statistics for Experimenters: Design, Innovation and Discovery*, John Wiley, New York, USA (2005) 672.
- J. M. Juran, A. B. Godfrey, *Quality Handbook*, The McGraw-Hill Companies, New York, USA (1998).
- L.M. Schabbach, F. Bondioli, A.M. Ferrari, T. Manfredini, C.O. Petter, M.C. Fredel, *J. Eur. Ceram. Soc.* **28** (2008) 1777.
- M. D. Cabrelon, R. T. Zauberas, F. A. Guastala, F. G. Melchiades, A. O. Boschi, in *Congresso Mundial de la Calidad del Azulejo y Del Pavimento Cerâmico*, 2004, 225–228.
- M. J. Cabrera, V. Montíns, A. Foó, P. Balfagón, *Ceram. Ind.*, **11**, (2006) 7.
- M.J. Berto, G. A. Rossi, *Ceram. Ind.*, **9** (2004) 7.
- R. Zauberas, F. Deus, M. Carvalho, R. Bruno, A. Boschi, *Ceram. Ind.*, **8**, (2003) 13.
- V. Sanz, E. Sánchez, E. Bou, M. Tirado, *Ceram. Ind.*, **4**, (1999) 19.