

Estudo da Curvatura Central das Placas Cerâmicas para Revestimentos: a Influência da Fusibilidade e Coeficiente de Expansão Térmica da Camada de Engobe nas Curvaturas Desenvolvidas Durante e Após a Queima

Bruno Caio Rodrigues^{a*}, Fábio Gomes Melchíades^b, Anselmo Ortega Boschi^c

^a Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAI, Rio Claro, SP, Brasil

^b Centro de Revestimentos Cerâmicos, CRC, São Carlos, SP, Brasil

^c Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos, SP, Brasil

*e-mail: brunotecmat@gmail.com

Resumo

Todos os revestimentos cerâmicos possuem uma camada de engobe e este influencia significativamente nas características das placas. Em contraste com essa realidade, a literatura especializada sobre engobes é escassa e superficial. Sabe-se, por experiência, que o engobe afeta a textura da superfície esmaltada, a curvatura das peças, o surgimento de patologias como a mancha d'água, etc. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é contribuir para o melhor entendimento do papel do engobe nos revestimentos cerâmicos. Para isso será estudado a influência de diferentes engobes com características distintas de fusibilidade e coeficiente de expansão térmica sobre o desenvolvimento das curvaturas das placas durante e após a queima. Para determinar as diferentes propriedades de fusibilidade dos materiais foi utilizado microscopia ótica de aquecimento e para determinar o coeficiente de expansão térmica (CET) foi utilizado um dilatômetro de contato. Para identificar a variação da curvatura em diferentes combinações de massa, engobe e esmalte foi utilizado o flexímetro óptico de aquecimento. Com os resultados é possível perceber que a diferença de fusibilidade dos engobes em relação à massa influencia no desenvolvimento das curvaturas durante o aquecimento e patamar de queima e a diferença de CET dos engobes em relação à massa influencia no desenvolvimento das curvaturas durante o resfriamento até a temperatura final.

Palavras-chave: curvatura central, engobe, acoplamento.

1. Introdução

A planaridade é importante características das placas cerâmicas. Durante a queima estas podem desenvolver curvaturas em função de variáveis do processo e das características dos materiais que as compõem: massa, engobe e esmalte.

De acordo com Amorós et. al (1997), durante a queima, no aquecimento, o esmalte se funde e assume o estado líquido acompanhando as variações de tamanho e forma sofrida pela massa em função da retração de queima (densificação) e, durante o resfriamento, a partir da temperatura de transição vítrea (T_g), o esmalte volta a se comportar como um sólido e a diferença de dilatação entre o esmalte e massa proporcionarão curvaturas convexas ou côncavas devido a tensão gerada entre as camadas.

Muito embora esse tema tenha sido bastante estudado, a literatura especializada raramente contempla os efeitos do engobe. De acordo com MELCHÍADES, BARBOSA, BOSCHI, 2000, a refratariedade e expansão térmica dos engobes são características relevantes para controlar a curvatura das placas. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desenvolvimento da curvatura central das placas cerâmicas em função das diferenças de fusibilidade e coeficiente de expansão térmica (CET) dos engobes em relação à massa ao longo da queima.

2. Metodologia

Para a realização deste trabalho foram utilizados quatro engobes com diferentes coeficientes de expansão térmica (CET) e fusibilidades, uma massa BIIb processada por via seca, típica da região de Santa Gertrudes/SP, e quatro esmaltes também com diferentes CETs e fusibilidades.

A Tabela 1 apresenta a nomenclatura utilizada para identificar os engobes e esmaltes de acordo com suas características de expansão térmica e fusibilidade.

2.1. Preparação dos materiais

A massa foi obtida em uma indústria cerâmica já beneficiada com 10,5% de umidade e em seguida foram prensados corpos de prova com pressão específica de 257 Kgf/cm², obtendo-se densidade geométrica média de 1,95 g/cm³, após a secagem.

Os corpos de prova foram queimados nas temperaturas de 980 °C, 1020 °C, 1060 °C e 1100 °C e, posteriormente, foram determinadas a porcentagem de absorção de água, conforme a norma ABNT NBR 13818:1997 – anexo B, e a porcentagem de retração linear de queima. Com estes resultados foi elaborada a curva de gresificação da massa, visando definir a temperatura de queima adequada para obtenção da absorção de água maior que

6% e menor ou igual a 10%, conforme prevê a norma ABNT NBR 13817:1997.

Os engobes e esmaltes, formulados com o objetivo de se obter diferentes fusibilidades e CET, foram preparados em moinhos excêntricos com tempo de moagem de 50 minutos. Para avaliar a distribuição de tamanhos de partículas dos engobes e esmaltes foi utilizado o analisador de tamanhos de partículas a laser Mastersizer 3000 - MALVERN. Esta análise foi realizada com o objetivo de verificar possíveis variações no grau de moagem dos engobes e esmaltes.

2.2. Caracterização dos materiais

Com a massa, engobes e esmaltes preparados foram realizados os seguintes ensaios de caracterização para determinação dos CETs e fusibilidades, respectivamente:

- Dilatometria (CET): dilatômetro de contato BP3000 com taxa de aquecimento de 5 °C/minuto;
- Microscopia de aquecimento (fusibilidade): microscópio de aquecimento MISURA HSMFLEX com taxa de aquecimento de 20 °C/minuto até fusão completa.

2.3. Método de análise do desenvolvimento das curvaturas

Para avaliar a influência da diferença de fusibilidade e CET entre a massa, o engobes e o esmaltes no desenvolvimento das curvaturas foi utilizado o flexímetro óptico de aquecimento MISURA HSMFLEX.

Os corpos de prova para o flexímetro óptico foram prensados com pressão específica de 257 Kgf/cm² com dimensões de 80,0 mm de comprimento, 7,5 mm de

largura e 6,0 mm de espessura. Em seguida, os engobes e esmaltes, com densidade aparente de 1,50 g/cm³, foram aplicados por aerografia em uma das superfícies dos corpos de prova. As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos controles de preparação das amostras.

Os testes de flexometria óptica foram realizados com taxa de aquecimento de 20 °C/minuto até a temperatura de 1040 °C com acompanhamento do desenvolvimento da curvatura durante o resfriamento.

Este ensaio foi realizado com a massa individualmente e com a massa combinada com os quatro engobes e com os quatro esmaltes.

3. Resultados e Discussões

A seguir estão apresentados, primeiramente, os resultados de caracterização da massa, engobes e esmaltes visando comprovar a diferença de CET e fusibilidade entre os materiais utilizados e, em seguida, estão apresentados os resultados da influência das diferenças de fusibilidade e CET dos engobes e esmaltes em relação à massa no desenvolvimento da curvatura durante a queima.

3.1. Caracterização da massa

3.1.1. Curva de gressificação

Com os resultados das porcentagens de absorção de água e das porcentagens de retração linear de queima da massa nas diferentes temperaturas de queima foi elaborada uma curva de gressificação que está apresentada na Figura 1.

Por se tratar de uma massa da tipologia BIIb, pode-se observar que a temperatura aproximada para obtenção da porcentagem de absorção de água maior que 6% e menor ou igual a 10% é de 1040 °C. Essa temperatura

Tabela 1. Nomenclatura de identificação dos materiais.

Material	Nomenclatura	Características
Engobes	DAF	Dilatação alta e fundente
	DAR	Dilatação alta e refratário
	DBF	Dilatação baixa e fundente
	DBR	Dilatação baixa e refratário
Esmaltes	EDAF	Dilatação alta e fundente
	EDAR	Dilatação alta e refratário
	EDBF	Dilatação baixa e fundente
	EDBR	Dilatação baixa e refratário

Tabela 2. Controles de preparação dos corpos de prova da massa com os engobes para flexometria óptica.

	DBF	DBR	DAF	DAR
Densidade (g/cm ³)	1,48	1,47	1,50	1,50
Resíduo (%)	0,053	0,013	0,09	0,093
Camada (g/m ²)	251,7	251,7	260,0	293,3

Tabela 3. Controles de preparação dos corpos de prova da massa com os esmaltes para flexometria óptica.

	EDBF	EDBR	EDAF	EDAR
Densidade (g/cm ³)	1,50	1,50	1,50	1,50
Resíduo (%)	4,18	1,52	0,53	3,88
Camada (g/m ²)	489,0	369,2	256,5	416,2

foi utilizada como referência para realização dos ensaios de microscopia de aquecimento e flexometria óptica.

3.1.2. Coeficiente de expansão térmica da massa

O CET da massa foi possível ser determinado até a temperatura de 900 °C, devido a inversão de comportamento ocorrida acima dessa temperatura que é provocada pela retração da massa, conforme ilustra a Figura 2.

O CET da massa foi determinado com o intuito de comparar com os CETs dos engobes e esmaltes para

que seja possível avaliar a influência dessas diferenças no desenvolvimento das curvaturas durante a queima.

3.2. Caracterização dos engobes

3.2.1. Distribuição de tamanhos de partículas

As distribuições de tamanhos de partículas (DTP) dos engobes foram determinadas para avaliar a variação do grau de moagem entre estes. A Figura 3 apresenta o resultado comparativo entre as DTPs dos engobes.

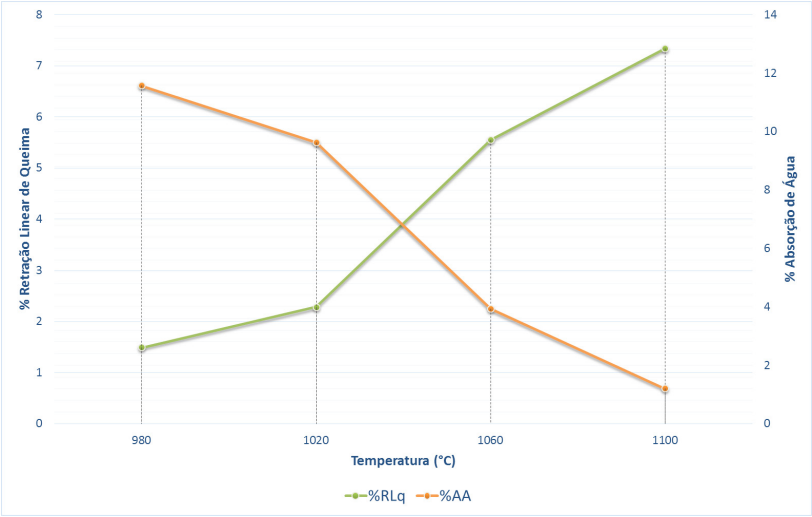


Figura 1. Curva de gressificação da massa.

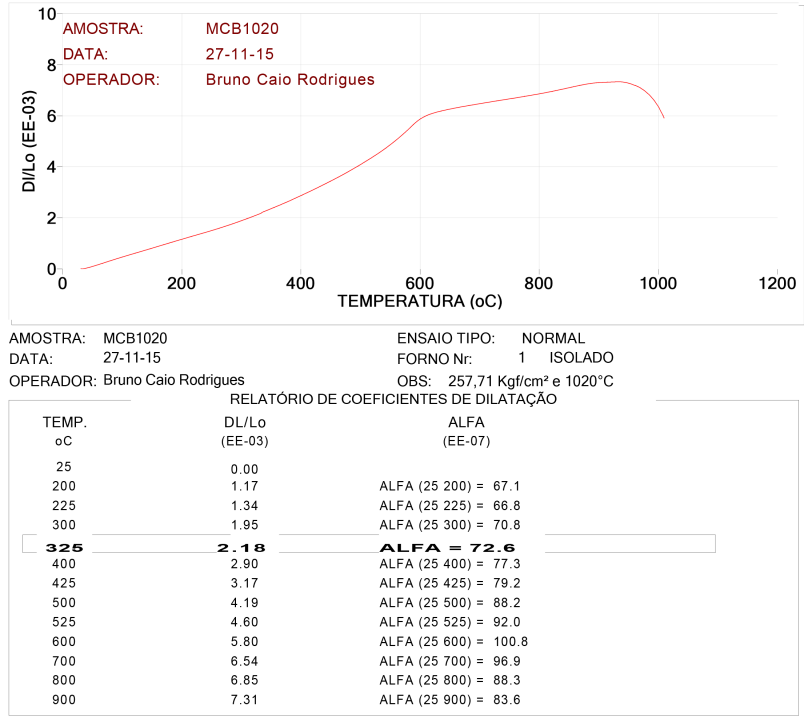


Figura 2. Curva dilatométrica da massa.

Pode-se observar que houve pouca variação entre as DTPs dos engobes, com exceção do engobe DBF que apresentou maior grau de moagem, com uma concentração maior de partículas entre os tamanhos de 0,2µm e 10µm.

3.2.2. Coeficientes de Expansão Térmica dos engobes

Os CETs dos engobes foram determinados até a temperatura de 900 °C, com exceção do engobe DAF, que a partir de 800 °C inverteu o comportamento, conforme ilustra a Figura 4.

Os resultados confirmam os comportamentos desejados, o CET dos engobes de dilatação baixa (DB) estão próximos a $65 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e os de dilatação alta (DA) próximos a $92 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (Tabela 4).

3.2.3. Fusibilidade dos engobes

A fusibilidade dos engobes foi determinada por meio do microscópio de aquecimento, onde a variação da altura do corpo de prova com o aumento da temperatura é avaliada. Os resultados são apresentados na Figura 5.

Pode-se observar que os engobes fundentes apresentaram maior retração até a temperatura de 1040 °C, em relação aos refratários. A Tabela 5 apresenta os resultados de retração dos engobes obtidos pela microscopia de aquecimento até a temperatura de 1040 °C.

É possível perceber que os engobes de dilatação alta apresentam maior diferença de fusibilidade entre eles do que os engobes de dilatação baixa.

3.3. Caracterização dos esmaltes

3.3.1. Distribuição de tamanhos de partículas

As DTPs dos esmaltes foram determinadas para avaliar a variação do grau de moagem entre estes. A Figura 6 apresenta o resultado comparativo entre as DTPs dos esmaltes.

Com os resultados pode-se observar que houve pouca variação entre as DTPs dos esmaltes, sendo que, as curvas dos esmaltes EDBF e EDAR estão praticamente sobrepostas, assim como as dos esmaltes EDBR e EDAF.

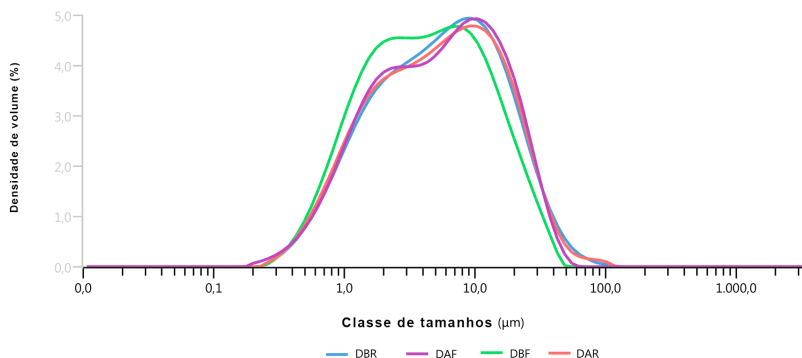


Figura 3. Distribuição de tamanhos de partículas dos engobes.

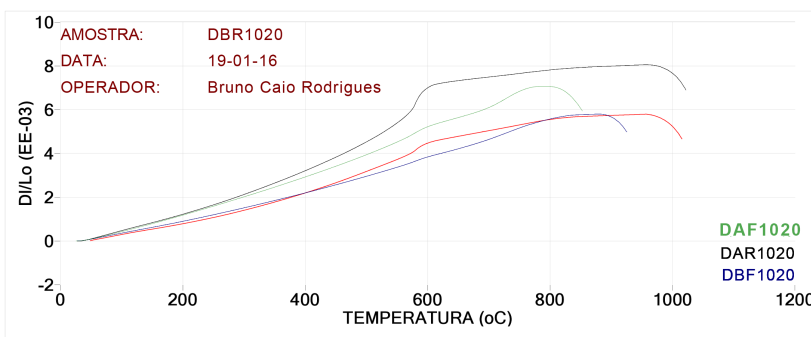


Figura 4. Curvas dilatométricas dos engobes.

Tabela 4. Coeficientes de expansão térmica dos engobes.

Engobes	$\alpha \times 10^{-7} ({}^{\circ}\text{C}^{-1})$		
	(25-325 °C)	(25-800 °C)	(25-900 °C)
DBF	56,9	72,1	64,2
DBR	58,9	72,3	65,7
DAF	74,9	91,8	-
DAR	80,1	101	91,4

3.3.2. Coeficientes de Expansão Térmica dos esmaltes

Os resultados dos CETs dos esmaltes fundentes foram determinados até diferentes temperaturas devido à diferença de fusibilidade entre estes, conforme ilustra a Figura 7 e a Tabela 6 a seguir.

Tabela 5. Retração dos engobes obtidas por microscopia de aquecimento até a temperatura de 1040 °C.

	DBF	DBR	DAF	DAR
%Retração	4,26	2,25	7,06	1,10

Com os resultados obtidos pode-se observar que os esmaltes denominados de dilatação baixa (EDB), apresentaram o CET menor do que os esmaltes denominados de dilatação alta (EDA) até a temperatura de 700 °C, no entanto, nas temperaturas máximas registradas, o CET do esmalte EDAR se aproximou dos CETs dos esmaltes de dilatação baixa.

3.3.3. Fusibilidade dos esmaltes

Com os resultados da microscopia de aquecimento dos esmaltes pode-se observar que os esmaltes denominados fundentes, EDBF e EDAF, foram os que mais retraíram e

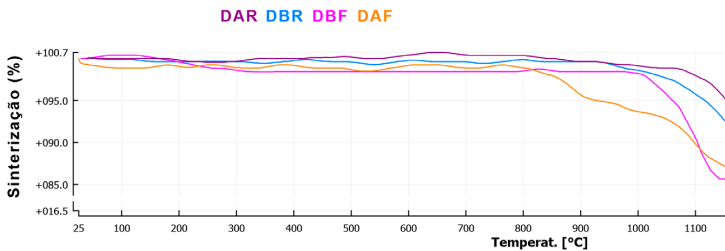


Figura 5. Microscopia de aquecimento dos engobes.

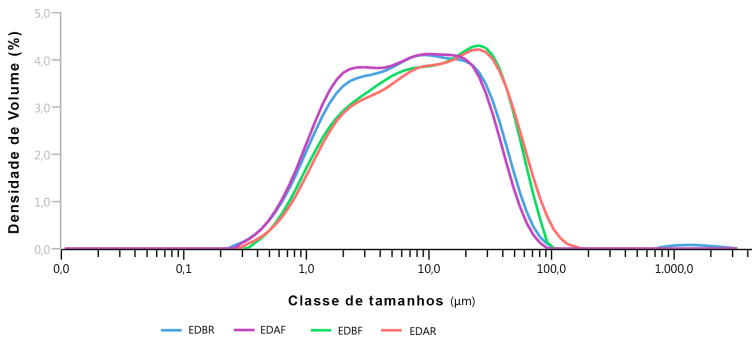


Figura 6. Distribuição de tamanhos de partículas dos esmaltes.

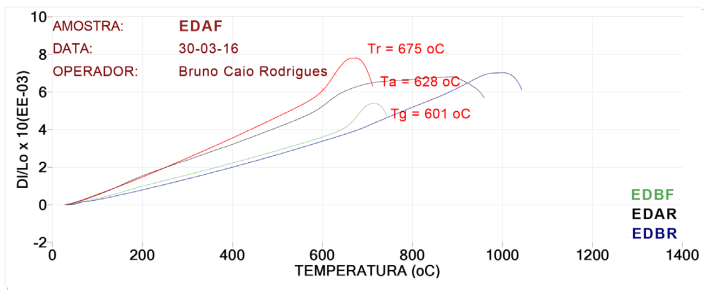


Figura 7. Curvas dilatométricas dos esmaltes.

Tabela 6. Coeficientes de expansão térmica dos esmaltes.

Esmaltes	$\alpha \times 10^{-7} (^{\circ}\text{C}^{-1})$			
	(25-325 °C)	(25-600 °C)	(25-700 °C)	(25-900 °C)
EDBF	59,0	62,6	78,7	-
EDBR	51,7	59,2	63,0	71,7
EDAF	92,6	107,3	-	-
EDAR	87,3	93,0	95,7	76,8

os esmaltes denominados refratários apresentaram menor retração, EDBR e EDAR, conforme ilustra a Figura 8.

A Tabela 7 apresenta os resultados de retração dos esmaltes obtidos pela microscopia de aquecimento, até a temperatura de 1040 °C.

3.4. Resultados da flexometria óptica

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de flexometria óptica da massa individualmente e da massa combinada com os quatro diferentes engobes e com os quatro diferentes esmaltes.

3.4.1. Resultados da massa

O resultado da flexometria óptica é dado pela variação da curvatura do corpo de prova em função da variação de temperatura e tempo de queima. Os valores positivos, em micron ou em porcentagem de flexão, correspondem à curvatura convexa e os valores negativos à curvatura côncava. Na Figura 9 é apresentado o resultado de flexometria da massa ensaiada sem engobe e sem esmalte.

Pode-se observar que até 825 °C (aproximadamente 40 minutos de queima) o corpo de prova desenvolveu curvatura convexa (empeno positivo) e acima dessa temperatura começou a inverter o comportamento.

Próximo à temperatura máxima de queima (1000 °C, aproximadamente 50 minutos de queima) o corpo de prova assumiu a curvatura côncava (empeno negativo), o

qual se manteve até o final do ensaio. É possível observar também que, no início do resfriamento, por volta de 1000 °C (aproximadamente 56 minutos de queima) ocorre um retorno da curvatura côncava e em seguida volta a flexionar, apresentando uma flecha de curvatura total de -317µm.

3.4.2. Efeito da camada de engobe

Para avaliar a influência da diferença de CET e fusibilidade dos engobes em relação à massa, estes foram aplicados por aerografia na superfície superior dos corpos de prova da massa para o ensaio de flexometria óptica de aquecimento.

Os resultados dos ensaios de flexometria óptica da massa combinada com os quatro diferentes engobes são apresentados na Figura 10.

Até 930 °C (aproximadamente 45 minutos de queima), no aquecimento, os corpos de prova com os engobes fundentes, DAF e DBF, apresentaram curvatura convexa (empeno positivo) e acima dessa temperatura começaram a flexionar para a curvatura côncava, apresentando um perfil parecido com o resultado da massa ensaiada sem engobe e esmalte, diferenciando-se principalmente pela intensidade da flexão ocorrida na região da temperatura máxima de queima. É possível perceber que no início do resfriamento, próximo de 56 minutos de queima e temperatura de 1000 °C, ocorre um leve retorno da curvatura côncava e, a partir deste ponto as curvas se distanciam devido às diferenças dos CETs dos engobes em relação à massa. A curvatura final dos corpos de prova com os engobes fundentes foi côncava (empeno negativo), sendo que o corpo de prova com o engobe DAF apresentou a flecha de curvatura total de -256µm e o corpo de prova com o engobe DBF -140µm.

Tabela 7. Retração dos esmaltes obtida por microscopia de aquecimento até a temperatura de 1040°C.

	EDBF	EDBR	EDAF	EDAR
%Retração	26,25	17,49	36,51	19,84

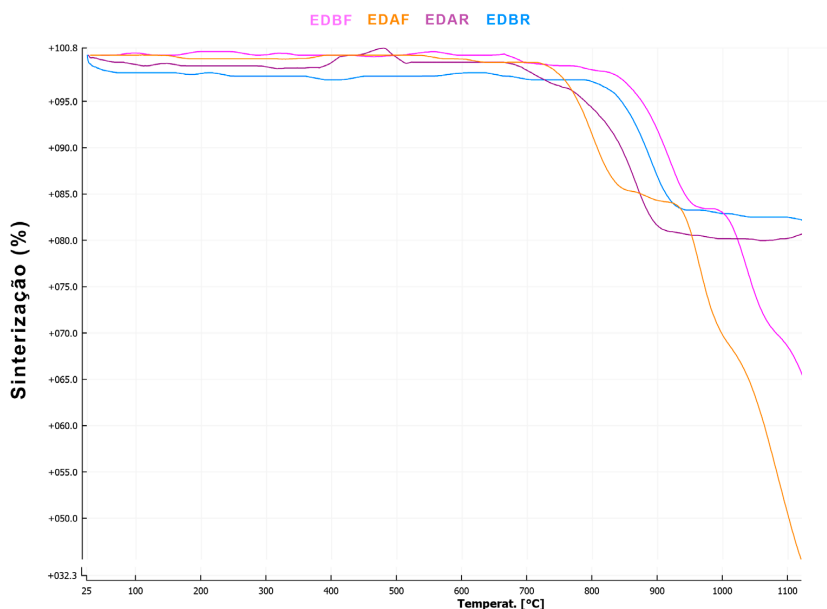


Figura 8. Microscopia de aquecimento dos esmaltes.

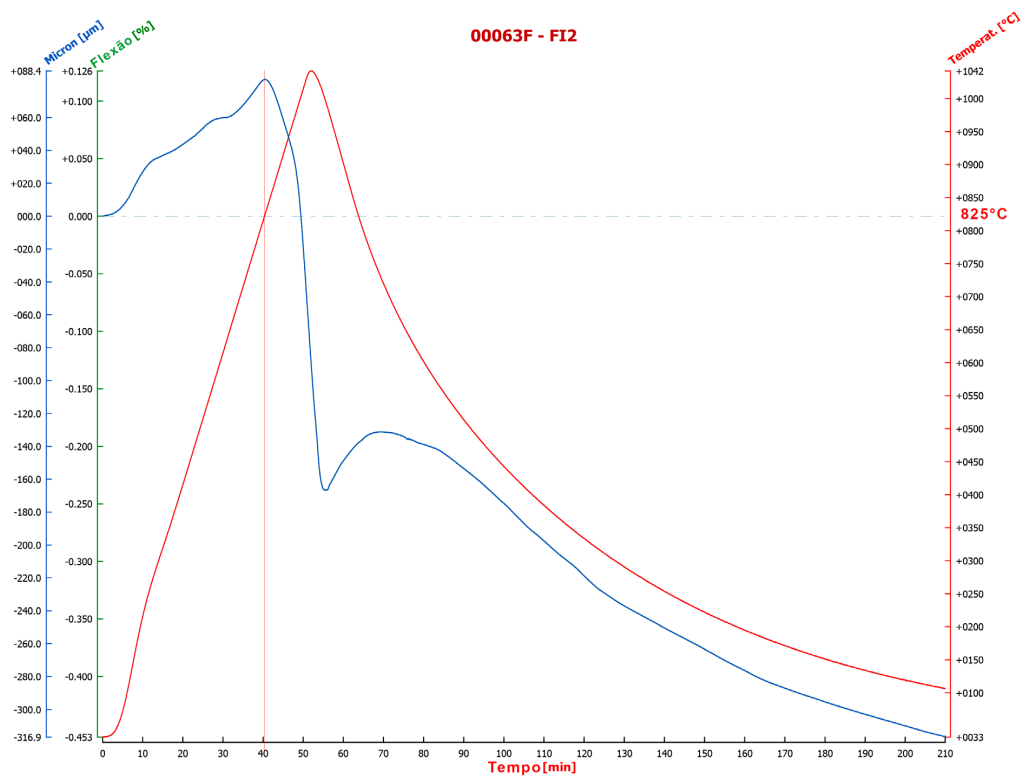


Figura 9. Flexometria da massa individualmente.

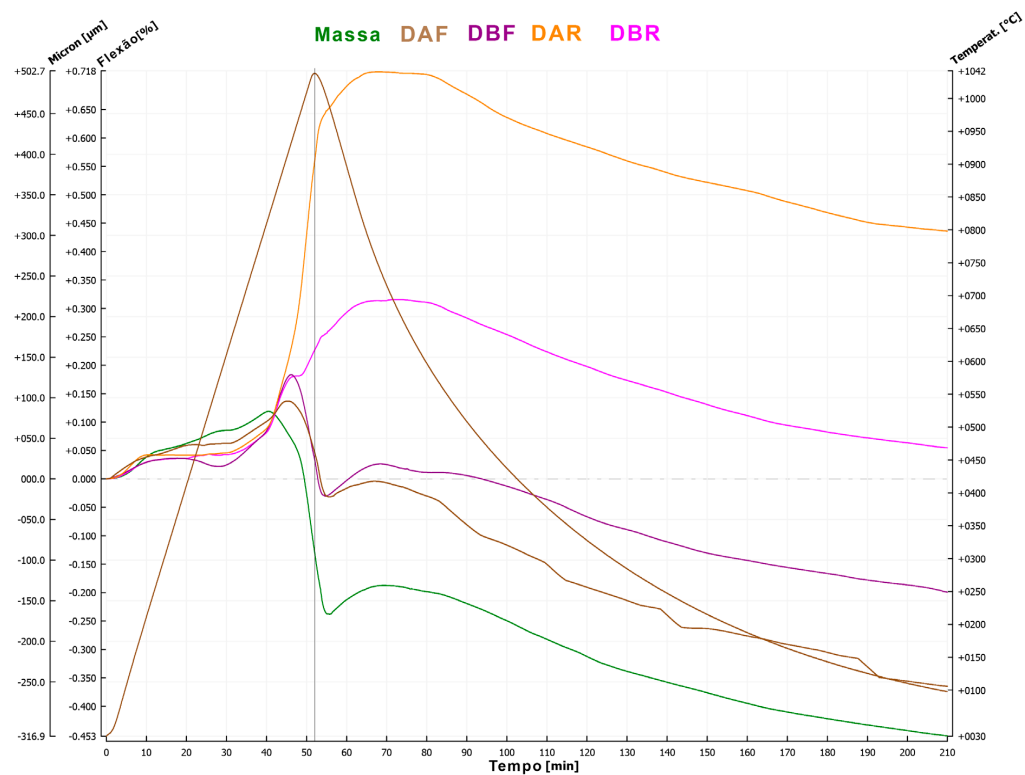


Figura 10. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro engobes.

Os corpos de prova com os engobes refratários, DBR e DAR, durante o aquecimento, também assumiram curvatura convexa, porém, diferente dos resultados de flexometria óptica da massa individualmente e da massa com os engobes fundentes, na região de máxima temperatura de queima, ao invés de inverter o comportamento a curvatura convexa se intensificou. Essa intensificação da curvatura pode ser explicada pela menor retração dos engobes em relação a massa. É possível perceber na Figura 10 que o teste com o engobe DAR apresenta maior flecha de curvatura convexa (empeno positivo) do que o teste com o engobe DBR. Isso pode ser explicado pela maior refratariedade do engobe DAR em relação ao engobe DBR. No resfriamento, a partir de aproximadamente 740 °C e 67 minutos de queima, a curvatura convexa começou a diminuir, mas, ambos terminaram com curvatura convexa (empeno positivo), sendo que o corpo de prova com o engobe DBR apresentou a flecha de curvatura total de +40µm e o corpo de prova com o engobe DAR +305µm.

Considerando o mesmo estado de deformação em todos os testes com engobes, no início do resfriamento é possível observar a influência dos diferentes CETs no desenvolvimento da curvatura durante o resfriamento, conforme ilustra a Figura 11.

Pode-se observar que os testes com os engobes com CETs baixos apresentaram menor diferença da flecha de curvatura do início do resfriamento até a temperatura final (100 °C) do que os engobes com CETs alto.

3.4.3. Efeito da camada de esmalte

Para avaliar a influência da diferença de CET e fusibilidade dos esmaltes em relação à massa, estes foram aplicados por aerografia na superfície superior dos corpos de prova da massa para o ensaio de flexometria óptica de aquecimento.

Os resultados dos ensaios de flexometria óptica da massa combinada com os quatro diferentes esmaltes estão apresentados na Figura 12. Pode-se observar que, no aquecimento, os testes com os esmaltes EDBR e EDAF até, aproximadamente, 820 °C e 41 minutos de queima, o teste com o esmalte EDAR até, aproximadamente, 860 °C e 43 minutos de queima e o teste com o esmalte EDBF até, aproximadamente, 900 °C e 45 minutos de queima apresentaram curvatura convexa. A partir destas temperaturas os corpos de prova começaram a se deformar e durante a temperatura máxima de queima já haviam assumido curvatura côncava.

No início do resfriamento, o teste com o esmalte EDBR próximo de 1040 °C e 52 minutos de queima, o teste com o esmalte EDAR próximo de 990 °C e 56 minutos de queima e o teste com os esmaltes EDBF e EDAF próximo de 970 °C e 57 minutos de queima, ocorre um retorno da deformação côncava e, em seguida, voltam a se deformar, intensificando a curvatura côncava. Esse retorno, nos testes com os esmaltes EDBR, EDAR e EDBF, atinge um ponto máximo a partir de, aproximadamente, 790 °C e 66 minutos de queima e no teste com o esmalte

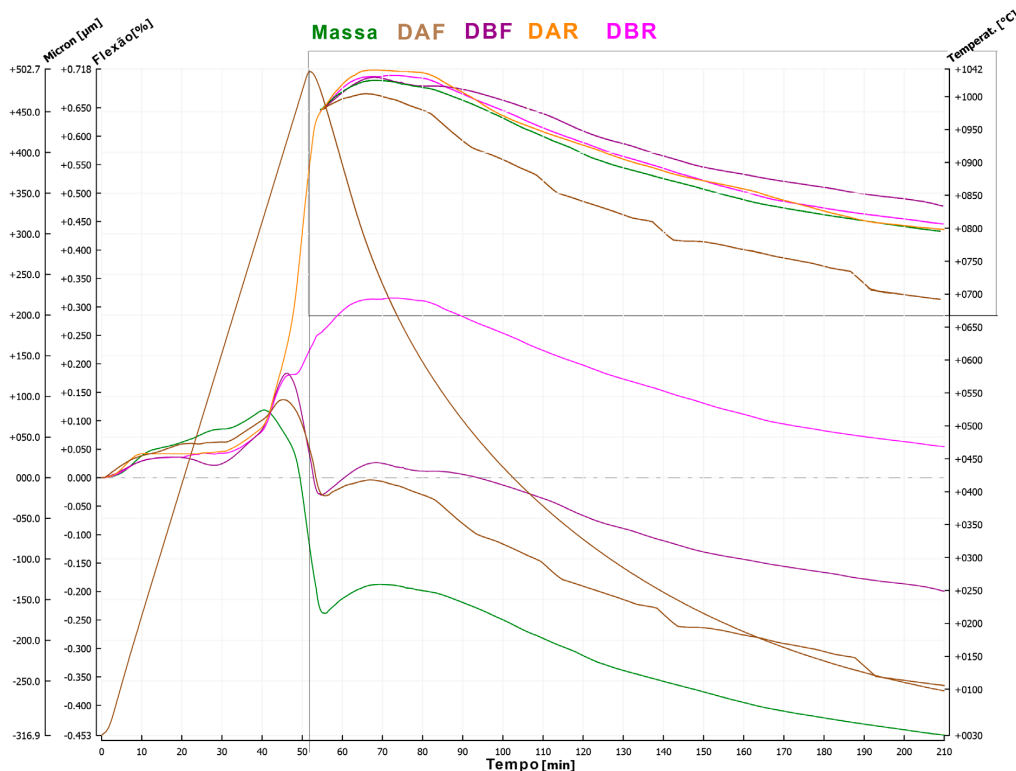


Figura 11. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro engobes considerando o mesmo estado de deformação a partir do resfriamento.

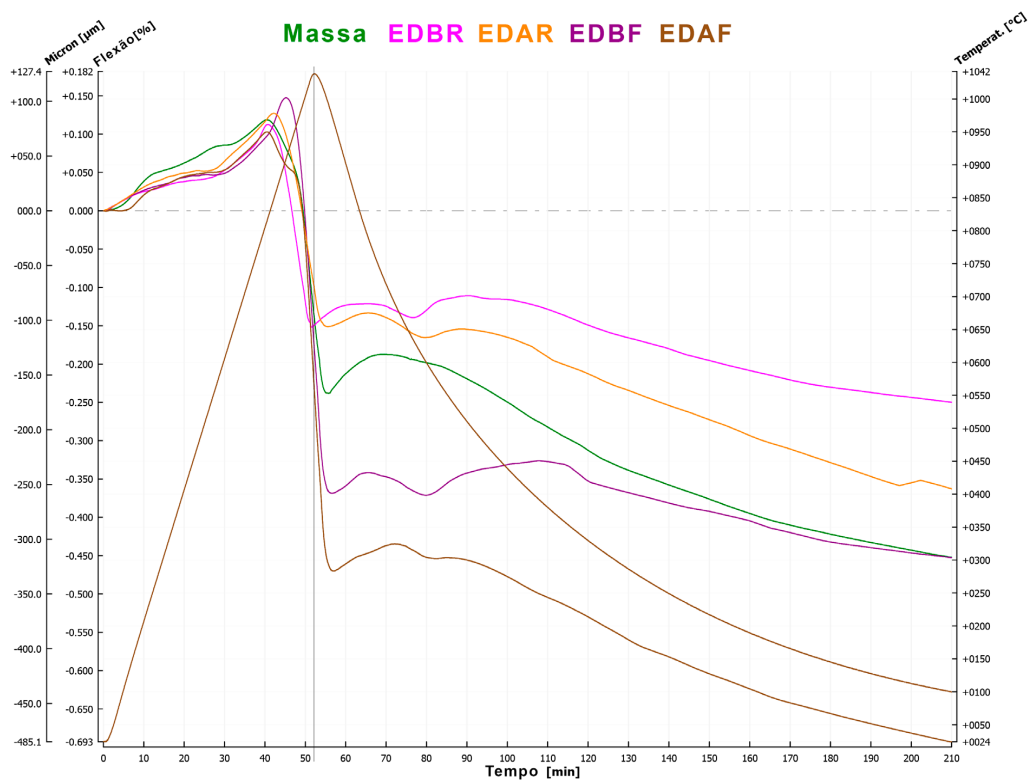


Figura 12. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro esmaltes.

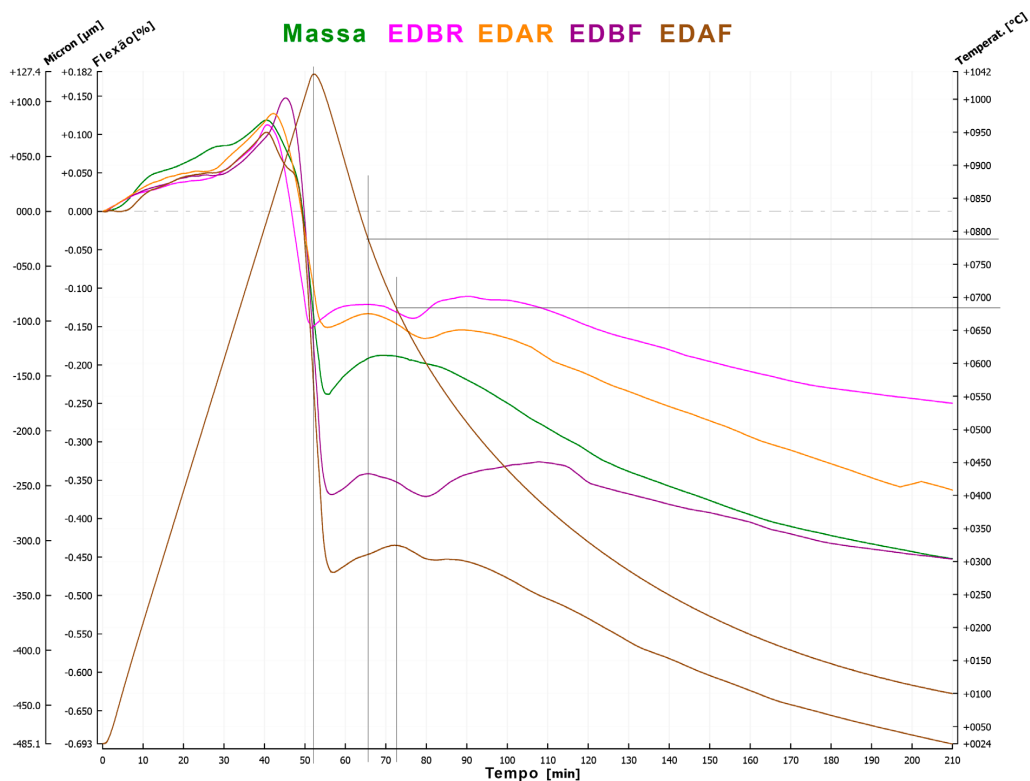


Figura 13. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro esmaltes.

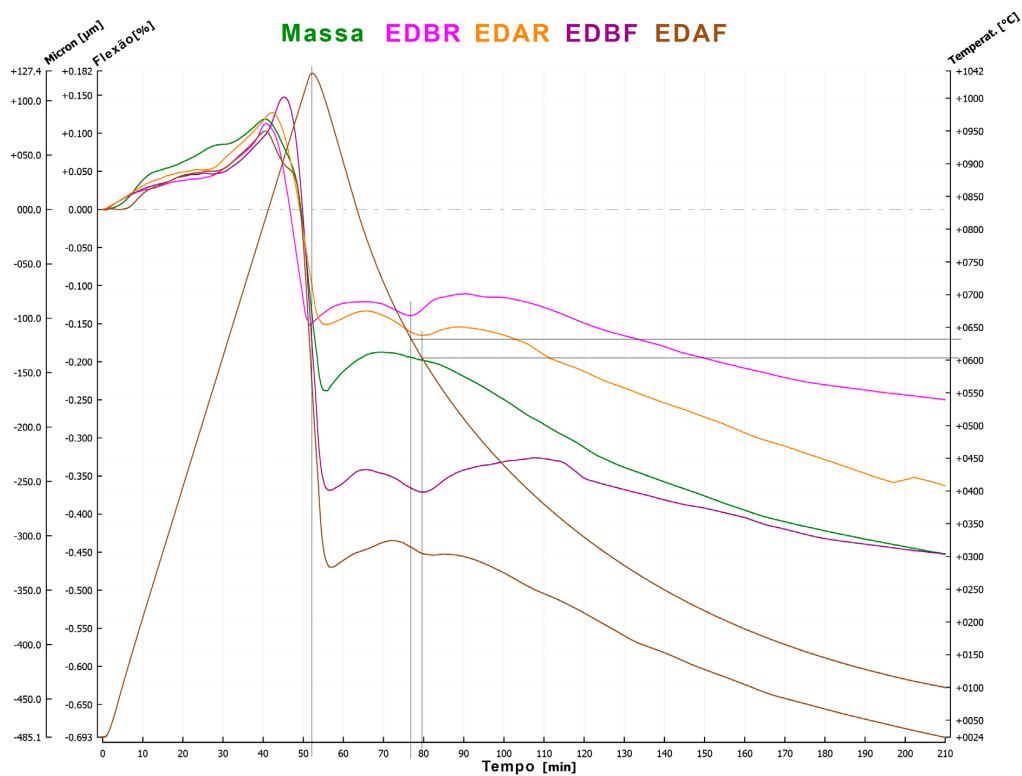


Figura 14. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro esmaltes.

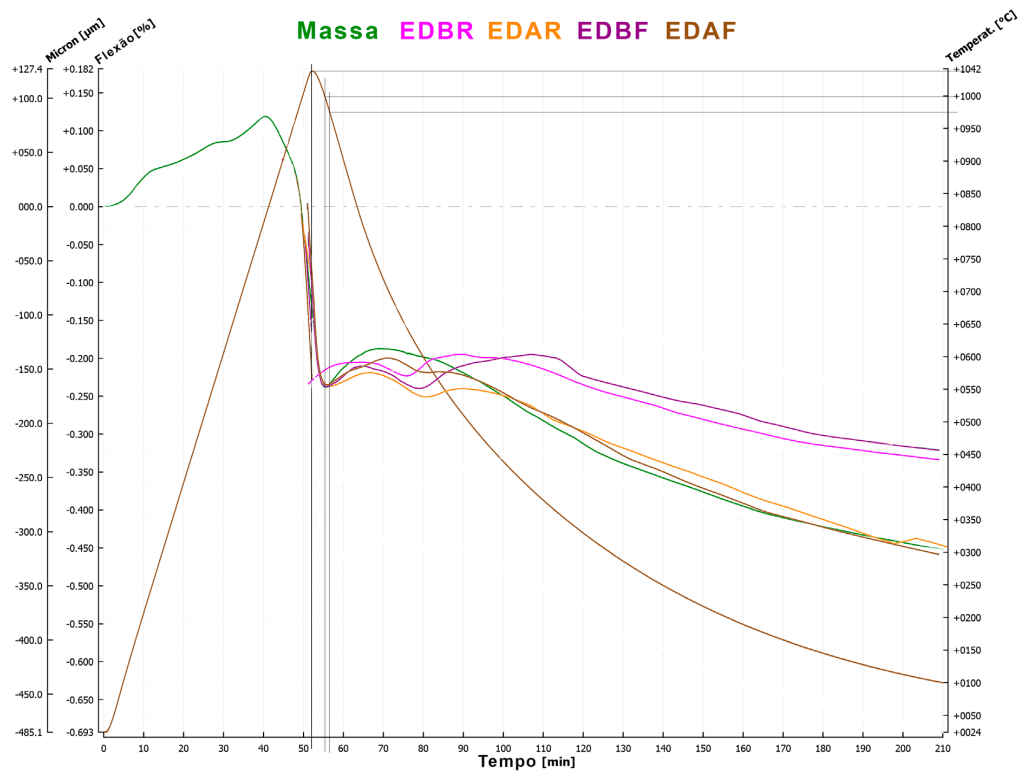


Figura 15. Flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro esmaltes considerando o mesmo estado de deformação a partir do resfriamento.

EDAF a partir de, aproximadamente, 680 °C e 72 minutos de queima, conforme ilustra a Figura 13.

Ainda durante o resfriamento é possível notar um segundo ponto de suavização da curvatura côncava (Figura 14). Este comportamento não é observado nos resultados dos testes de flexometria da massa individualmente e combinada com os quatro engobes, portanto, pode ser associado à temperatura de acoplamento do esmalte. Nos testes com os esmaltes EDAR, EDBF e EDAF, esse segundo ponto de suavização da curvatura côncava, ocorre a aproximadamente 600 °C com 80 minutos de queima e no teste com o esmalte EDBR a aproximadamente 640 °C com 76 minutos de queima, conforme ilustra a Figura 14.

Considerando o mesmo estado de deformação em todos os testes com esmaltes, no início do resfriamento é possível observar a influência dos diferentes CETs dos esmaltes no desenvolvimento da curvatura durante o resfriamento, conforme ilustra a Figura 15.

Esses resultados comprovam os fenômenos apresentados na literatura (AMORÓS), que diz que no resfriamento, a partir da temperatura de acoplamento, o esmalte deixa de se comportar como um líquido e a diferença de CET deste em relação à massa determinará a curvatura do produto. Se o CET do esmalte é maior do que o CET da massa, este favorecerá a curvatura côncava e se o CET do esmalte for menor que o CET da massa, este favorecerá a curvatura convexa.

4. Conclusões

As técnicas de microscopia de aquecimento e flexometria óptica contribuem para o entendimento dos efeitos da fusibilidade e dilatação térmica das diferentes camadas que compõem uma placa cerâmica para revestimentos no desenvolvimento das curvaturas durante a etapa de queima.

Com os resultados foi possível concluir que a diferença de retração dos engobes em relação à massa influencia as curvaturas desenvolvidas durante o aquecimento até a temperatura máxima de queima e a diferença de CET dos engobes em relação à massa influencia as curvaturas desenvolvidas durante o resfriamento.

Quanto mais refratário o engobe em relação à massa maior será a curvatura convexa (empeno positivo) e quanto mais fundente maior será a curvatura côncava (empeno negativo) e maior será a probabilidade deste acompanhar o comportamento da massa até o início do resfriamento.

No resfriamento, quanto maior for o CET do engobe em relação à massa maior será a curvatura côncava e quanto menor, maior será a curvatura convexa.

As curvaturas são desenvolvidas mais acentuadamente próximo a temperatura máxima de queima em função das diferenças de fusibilidade da massa e engobe.

Pode-se considerar que os esmaltes influenciam o desenvolvimento da curvatura apenas durante o

resfriamento devido a diferença de CET em relação à massa. Quanto maior o CET do esmalte em relação à massa maior será a curvatura côncava (empeno negativo) e quanto menor o CET do esmalte em relação à massa maior será a curvatura convexa (empeno positivo).

Agradecimentos

À cerâmica Rocha localizada em Cordeirópolis/SP, ao Ph.D. Rogers Rocha e ao SENAI/SP.

Referências

1. AMORÓS, J.L.; NEGRE, F.; BELDA, A.; SÁNCHEZ, E. Acordo Esmalte-Suporte (I): A falta de acordo como causa do empenamento, *Cerâmica Industrial*, v.01, n.04/05, Agostos/Dezembro, 1996.
2. AMORÓS, J.L.; BLASCO, A.; CARCELLER, J.V.; SANZ, V. Acordo Esmalte-Suporte (II): Expansão térmica de suportes e esmaltes cerâmicos, *Cerâmica Industrial*, v.02, n.01/02, Janeiro/Abril, 1997.
3. AMORÓS, J. L. et al. Acordo Esmalte-Suporte (III): Elasticidade dos suportes e vidrados cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 3/4, ..., 1997.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 13817:1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Classificação.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 13818:1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios.
6. BÔ, M. D. et al. Influência das características do engobe sobre a curvatura dos revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 18, n. 4, 21-25, 2013.
7. BOCCACCINI, A. R., HAMANN, B. Review *In Situ* high-temperature optical microscopy. *Journal of Materials Science*, v. 34, 5419-5436, 1999.
8. GENNARI, R. C., BÔ, M. D.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. A influência das características do engobe na curvatura central das placas cerâmicas. Parte II: A curvatura central. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 1, 14-19, 2012.
9. MELCHIADES, F. G., BARBOSA, A. R. D., BOSCHI, A. O. Relação entre a curvatura de revestimentos cerâmicos e as características da camada de engobe. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 2, 29-33, 2000.
10. SANTOS, G. R., MELCHIADES, F. G., BOSCHI, A. O. Desenvolvimento de uma metodologia para o acompanhamento da evolução do amadurecimento de engobes durante a queima. *Cerâmica Industrial*, v. 12, n. 5, 22-27, 2007.
11. PAGANELLI, M., SIGHINOLFI, D. The optical fleximeter to study deformations on ceramics. *Industrial Ceramics*, v. 29, n. 1, 2009.
12. PRACIDELLI, S. Estudos dos esmaltes cerâmicos e engobes. *Cerâmica Industrial*, v. 13, n. 1/2, 8-20, 2008.