

Efeito de Aditivo Defloculante no Processamento de Massa para a Obtenção de Blocos Cerâmicos Estruturais

Débora Cristina Niero Fabris^{a,b*}, Joselane Ramos da Silva^b, Ana Paula Rodrigues^b, Oscar Rubem Klegues Montedo^c, Agenor De Noni Jr.^c

^a *Curso de Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil*

^b *Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI/SC, Criciúma, SC, Brasil*

^c *Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil*

*e-mail: deboracnfabris@gmail.com

Resumo

Os processos de fabricação de cerâmica vermelha são baseados principalmente na extrusão de uma massa plástica, normalmente composta por argilas e materiais não plásticos para melhorar o processamento. A utilização de aditivos é uma alternativa para facilitar o fluxo da massa durante o processo de extrusão, proporcionando a melhoria das propriedades mecânicas e/ou a redução do ciclo de secagem. Neste trabalho estudou-se o efeito de um aditivo para a secagem disponível comercialmente, composto de silicato de sódio e TPF, que são defloculantes, e carbonato de cálcio. O material foi caracterizado por fluorescência de raios X e difração de raios X. Foi empregada a dosagem de 3% de aditivo, conforme recomendação do fabricante, em massa utilizada para a fabricação de tijolos, sendo analisada a influência deste sobre a plasticidade da massa pelo método de Casagrande e sua influência sobre a secagem através da curva de secagem e curva de Bigot. Os corpos-de-prova foram caracterizados antes da queima por meio da determinação da densidade aparente e da resistência à flexão, e após a queima por meio da determinação da densidade aparente, da resistência à flexão e da absorção de água. O estudo da plasticidade da massa pelo método de Casagrande mostrou alterações no limite líquido das amostras, havendo uma redução deste de 37,3 para 33,6%, enquanto a umidade de extrusão foi reduzida de 26,2 para 22,8%. Houve ainda um aumento na resistência mecânica a seco de 6,6 para 10,1 MPa. Os corpos de prova da massa com aditivo sinterizados a 890 °C apresentaram valores de resistência à flexão semelhantes aos valores dos corpos de prova da massa padrão sinterizados a 920 °C, respectivamente 12,7 e 12,3 MPa.

Palavras-chave: cerâmica estrutural, secagem, aditivos.

1. Introdução

O Brasil possui cerca de 6900 unidades fabris de cerâmica estrutural, de acordo com dados do IBGE. Destas empresas, 63% são fabricantes de blocos e tijolos para revestimento. O principal processo utilizado para a conformação durante a manufatura destes produtos é a extrusão [1].

Em comparação aos outros métodos de conformação, a extrusão oferece alta produtividade e baixa complexidade [2]. Isto vai ao encontro dos requisitos típicos dos níveis atuais de produção, visto que são produzidos 4 bilhões de peças por mês em âmbito nacional [1].

Uma das etapas mais importantes no ciclo de produção destes produtos é a secagem. Nesta etapa ocorre a eliminação parcial da água de extrusão, que geralmente é superior a 20% em massa, resultando em significativas retrações e gerando tensões que podem ocasionar defeitos [3,4]. Por este motivo, normalmente a secagem é uma das etapas mais lentas do processo.

O uso de aditivos para acelerar a secagem de materiais extrudados é uma alternativa para a redução do tempo de processamento. Seu emprego pode, ainda, acarretar na redução da temperatura de queima e, conseqüentemente, provocar alteração nas propriedades físicas do material [5].

O presente trabalho visa estudar a influência de um aditivo a base de Silicato de Sódio, Tripolifosfato de Sódio e carbonato de cálcio na plasticidade de uma massa cerâmica industrial, bem como seu efeito nas propriedades físicas das peças extrudadas e sinterizadas.

2. Materiais e Métodos

Para realização deste trabalho, foi utilizada uma massa cerâmica industrial para blocos cerâmicos de vedação horizontal de nove furos, coletada na saída do laminador. O aditivo testado consiste em um material comercial aplicado para facilitar a secagem. A composição química da massa cerâmica e do aditivo foi determinada por fluorescência de Raios X (Philips PW2400) e os resultados são mostrados nas Tabelas 1 e 2. A composição mineralógica foi determinada através da difração de Raios X (Bruker AXS, modelo D8 ADVANCE), utilizando tubo de cobre (radiação Cu K α), com leitura no intervalo de ângulo 2 θ de 2 a 72°, e passo de 0,02°, como demonstra a Figura 1.

A determinação do teor de umidade dos materiais foi realizada mediante secagem em estufa laboratorial

Tabela 1. Análise química da massa.

Óxido	Concentração (%)
SiO ₂	66,92
Al ₂ O ₃	17,25
K ₂ O	2,18
Na ₂ O	0,24
MgO	0,84
CaO	0,12
Fe ₂ O ₃	5,78
MnO	0,04
P ₂ O ₅	0,06
TiO ₂	0,86
BaO	0,18
Co ₂ O ₃	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02
PbO	0,01
SrO	0,04
ZnO	0,03
ZrO ₂	0,03
Perda ao fogo	5,9

Tabela 2. Análise química do aditivo.

Componente	Concentração (%)
Na ₂ O	25,30
MgO	0,16
Al ₂ O ₃	0,12
SiO ₂	21,18
P ₂ O ₅	13,67
SO ₃	0,02
K ₂ O	0,04
CaO	23,03
Fe ₂ O ₃	0,07
NiO	0,02
CuO	0,01
SrO	0,09
Perda ao Fogo	16,30

(Ceramic Instruments modelo OPV 500) a 110 °C por 24 h. A massa úmida e seca dos materiais foi obtida através de pesagem em balança de resolução 0,01 g (Ohaus Corporation modelo TP4KD). Foram utilizadas 3 amostras de 50 g para a massa cerâmica e uma amostra de 150 g do aditivo.

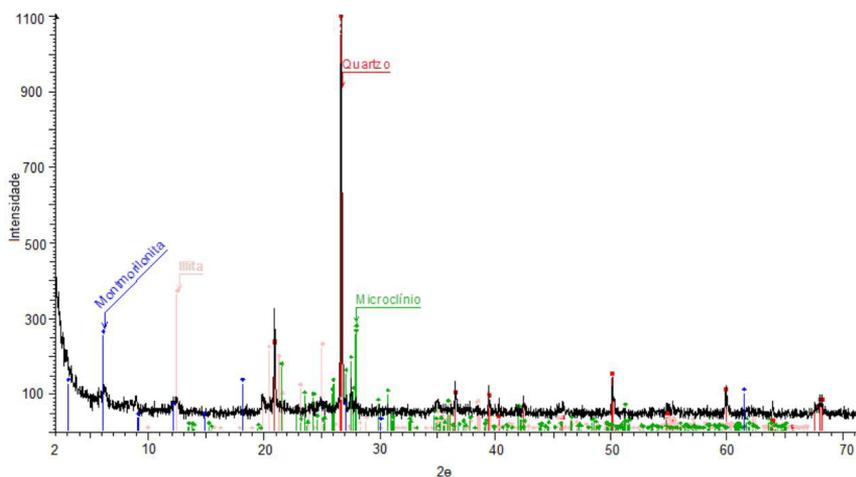
A composição granulométrica foi determinada por peneiramento a úmido. Foram utilizadas 150 g de amostra, a qual foi dispersa em 1 L de água e mantida em agitação mecânica por 2 h, realizando-se o peneiramento nas malhas de abertura 1000, 500, 250, 125 e 63 µm e pesagem do material retido em balança de resolução 0,01 g (Ohaus Corporation modelo TP4KD).

A mistura e homogeneização do aditivo na massa foi realizada com o auxílio de uma extrusora, utilizando-se teor de 3% de aditivo sobre a carga de massa seca, conforme recomendação do fabricante. A plasticidade da massa cerâmica padrão e aditivada foi avaliada por meio da determinação dos índices de Atterberg, conforme a NBR 7180 [6] e a NBR 6059 [7], sem a realização de moagem.

Corpos de prova de dimensões 25,5 mm x 100 mm x 9,5 mm foram obtidos em extrusora laboratorial (Netzsch maromba V5). A consistência dos corpos de prova da massa cerâmica em condição fabril (STD) foi tomada como padrão para a conformação dos corpos de prova com massa cerâmica aditivada (ADT). A umidade de extrusão foi determinada logo após a retirada das amostras da boquilha durante o procedimento.

Os corpos de prova foram submetidos à secagem natural por 5 dias, sendo posteriormente secados em estufa por no mínimo 24 h.

A avaliação do efeito do aditivo na massa cerâmica foi realizada por meio da curva de Bigot. A secagem ocorreu em ambiente controlado, com umidade relativa de 48%, determinada com um termo-higrômetro (Minipa modelo MT 241). As medições de massa (balança Ohaus Corporation modelo TP4KD) e comprimento (paquímetro Mitutoyo modelo CD-8C) foram registradas com intervalo de aproximadamente 2,5 h. Cada medida de umidade

**Figura 1.** Difratograma (DRX) da massa.

foi calculada em relação à massa final do experimento (massa seca em estufa) e a retração de secagem em relação à dimensão inicial do corpo de prova.

Para analisar a eficiência do aditivo na redução do tempo de secagem, a taxa de secagem foi avaliada em um túnel de vento, com temperatura do ar de 60 °C e velocidade de 2 m/s. A temperatura média de bulbo seco durante o experimento foi de 20,6 ± 0,6 °C e a de bulbo úmido 17,7 ± 0,6 °C, resultando na umidade relativa média de 75%, obtida a partir de carta psicrométrica.

A determinação da higroscopia das amostras secas foi realizada por meio, inicialmente, da eliminação total da umidade em estufa (Ceramic Instruments modelo OPV 500) e posterior umidificação por confinamento em um recipiente com água por 36 h, sem permitir que as amostras entrassem em contato direto com a água, sendo realizado o registro da massa (balança BEL MARK modelo 210 A).

A determinação da resistência mecânica à flexão a três pontos, a seco e a queimado, foi realizada em uma máquina universal de ensaios mecânicos (EMIC, modelo DL 20000, com célula de carga de 50 kgf).

A densidade aparente das amostras a seco e sinterizadas foi determinada por imersão em mercúrio (Princípio de Arquimedes).

A temperatura de queima dos corpos de prova extrudados foi definida em um dilatômetro Netzsch (modelo DIL C), com taxa de aquecimento de 10 °C/min até temperatura máxima de 1200 °C. A partir da dilatometria, foram definidas as temperaturas de 890, 920, 950 e 980 °C para a realização de um diagrama de gresificação. Para isto, as queimas foram realizadas em forno mufla (Shally modelo lab 27.13) com taxa de aquecimento de 5 °C/min e patamar de queima de 180 min.

A retração linear após a extrusão, a secagem e a queima foi determinada com auxílio de um paquímetro digital de resolução 0,01 mm (Mitutoyo modelo CD-8C). A perda ao fogo foi determinada por meio da pesagem das amostras secas e após sinterização em uma balança (Ohaus Corporation modelo TP4KD).

A absorção de água das amostras queimadas foi realizada conforme a norma NBR 13818 em Ebonorme (Gabrielli modelo 434).

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização das matérias-primas

A Tabela 1 mostra que a massa cerâmica padrão é formada majoritariamente por SiO₂ e Al₂O₃, que são os principais óxidos constituintes dos argilominerais montmorilonita e illita (Figura 1). As fases quartzo e microclínio também estão presentes na amostra, como demonstrado na Figura 1.

O teor de Fe₂O₃ justifica a coloração avermelhada, típica de massas de cerâmica vermelha após a queima, e encontra-se dentro dos padrões encontrados na literatura. Há também um teor significativo de K₂O, que é considerado um óxido fundente, que auxilia na diminuição da temperatura de sinterização.

A análise química do aditivo utilizado pode ser vista na Tabela 2 e demonstra que este é composto basicamente pelos óxidos de sódio, silício, fósforo e cálcio. Realizando-se a análise estequiométrica desta composição, é possível identificar que este é formado por 23,75% de Tripolifosfato de sódio (TPF), 29,94% de silicato de sódio e 6,45% de dióxido de silício. A presença de óxido de cálcio e a perda ao fogo indicam a existência de carbonato de cálcio, sendo que este representa 39,33% do total do aditivo.

A Tabela 3 apresenta a análise da distribuição de tamanhos de partículas da massa. O teor de partículas grosseiras (superior a 63 µm) é consequência da adição de chamote à massa e da presença de areia. A maior parte das partículas da composição é inferior a 63 µm, já que a massa é composta principalmente de argilas, cujo diâmetro médio é inferior a 2 µm.

Os resultados do teste de plasticidade pelo método Atterberg são apresentados na Tabela 4. É possível observar que há uma redução considerável no limite líquido com o emprego do aditivo (de 56,42 para 32,94% de umidade em base seca). O limite plástico das amostras não apresentou significativa alteração (21,2% para a massa padrão e 20,6% para a massa aditivada).

Deve ser considerado ainda que a variação de umidade entre os golpes é muito maior no caso da massa sem aditivo do que na massa aditivada, o que indica que a massa aditivada apresenta maior sensibilidade em sua consistência com a variação de umidade, podendo dificultar o processamento.

Os corpos de prova extrudados foram submetidos ao teste de plasticidade por penetrometria, a fim de se verificar a consistência das massas extrudadas. As massas apresentaram consistência semelhante, resistência à penetração de 4,83 kgf para a massa padrão e 5,00 kgf para a massa aditivada.

A curva de Bigot representada na Figura 2 demonstra o comportamento de secagem da massa padrão (STD) e da massa aditivada nas condições indicadas pelo fabricante

Tabela 3. Distribuição de tamanhos de partículas da massa.

Tamanho de partícula (µm)	Concentração (%)
>1000	2,94
500-1000	2,98
250-500	2,99
125-250	4,70
63-125	4,68
<63	81,71

Tabela 4. Plasticidade da massa padrão e da massa aditivada.

Nº de Golpes	Umidade (%)	
	ADT	STD
10	34,51	70,07
20	34,91	62,91
30	32,94	56,42
40	32,44	51,74
50	31,87	47,94

(ADT). A Figura 2 indica que a retração de secagem da massa padrão foi superior a da massa aditivada, respectivamente 5,48 e 4,85%. Isto ocorre porque a massa padrão requer maior umidade para conformação (26,2% para a massa padrão e 22,8% para a massa aditivada).

Analisando-se o efeito do aditivo em um mesmo teor de umidade, é possível observar que a retração de secagem da massa aditivada é superior a da massa padrão. Isto ocorre porque o aditivo em questão possui alto teor de defloculantes, que durante o processo de conformação diminuem a atração entre as partículas, diminuindo a compactação. Assim, a porosidade da massa aditivada na saída da extrusora tende a ser maior, resultando em maior retração durante a secagem.

Observa-se também que o comportamento da retração na secagem das duas massas estudadas é muito próximo até a umidade em torno de 10%. As duas massas estudadas apresentaram mesma umidade de equilíbrio (~5%) nas condições de ambiente testadas, obtida a partir de medidas em diferentes dias.

Na Figura 3 pode ser avaliado o comportamento da massa aditivada e da massa padrão em relação ao tempo de

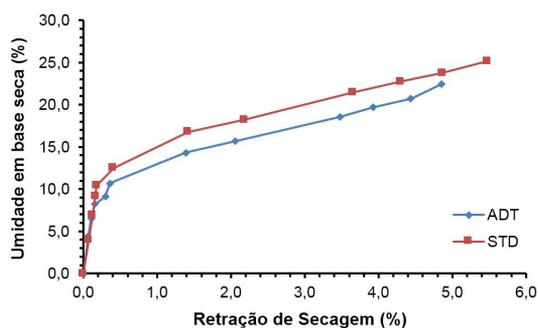


Figura 2. Curva de Bigot.

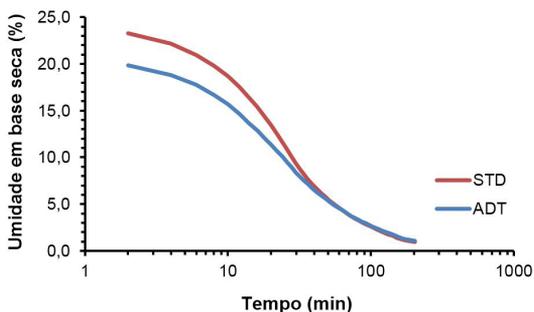


Figura 3. Tempo de secagem.

secagem. Observa-se que a partir de aproximadamente 10% de umidade as duas condições não apresentam diferenças significativas de redução de umidade ao longo do tempo e possuem ainda o mesmo teor de umidade de equilíbrio nestas condições. No entanto, embora não haja ganho em relação ao tempo de secagem na utilização deste aditivo, há um menor teor de umidade para a conformação, que pode ser associado a um menor gasto energético na secagem. É importante destacar que trincas podem surgir no início do processo de secagem em decorrência de maior umidade inicial da massa. Assim, a massa aditivada apresenta menor tendência à geração de trincas de secagem.

As amostras secas foram caracterizadas em relação à resistência mecânica e densidade aparente. Foram realizados ensaios nas peças secas naturalmente e com secagem no túnel de vento (secagem forçada). O resultado está apresentado na Tabela 5.

Observa-se que há um aumento da densidade aparente com a utilização do aditivo, uma vez que este possui alto teor de defloculantes, que facilitam o deslizamento das partículas. Por proporcionar melhor empacotamento de partículas, a utilização do aditivo também resultou em maior resistência mecânica à flexão. Comparando-se as amostras secas naturalmente com posterior secagem em estufa e as amostras que sofreram secagem forçada a partir da umidade de extrusão, é possível observar que para a amostra padrão, não houve variações de resistência mecânica nas duas condições enquanto que para a amostra aditivada houve um pequeno decréscimo com a realização da secagem forçada.

A densidade aparente obteve o comportamento inverso. Para a amostra padrão a densidade aparente diminuiu com a realização de secagem forçada, enquanto que a amostra aditivada não apresentou variações de densidade aparente.

Com base nos dados do módulo de resistência mecânica à flexão em secagem natural, é possível estimar uma redução na espessura dos corpos-de-prova de aproximadamente 20% devido à utilização do aditivo. Em condições industriais, a redução na espessura do produto causaria economia de matérias-primas e redução de custos para a secagem e queima do material.

A higroscopia das amostras secas foi semelhante, sendo 3,07% para as amostras aditivadas e 3,22% para as amostras padrão.

A Figura 4 mostra o comportamento da massa padrão e aditivada no ensaio de dilatométrica a cru. Nos dois casos há uma expansão térmica até aproximadamente 900 °C. Até este ponto não se observa qualquer efeito do aditivo empregado. O pico da derivada primeira a aproximadamente 573 °C é referente à transformação alotrópica do quartzo e causa uma expansão mais acentuada neste ponto da curva.

Tabela 5. Propriedades das amostras secas.

Condição de secagem	STD				ADT			
	D_{ap} (g/cm ³)	DP	RMF (MPa)	DP	D_{ap} (g/cm ³)	DP	RMF (MPa)	DP
Natural	1,96	0,02	6,64	0,41	1,99	0,01	10,07	0,32
Forçada	1,94	0,00	6,43	0,42	1,99	0,02	8,01	0,43

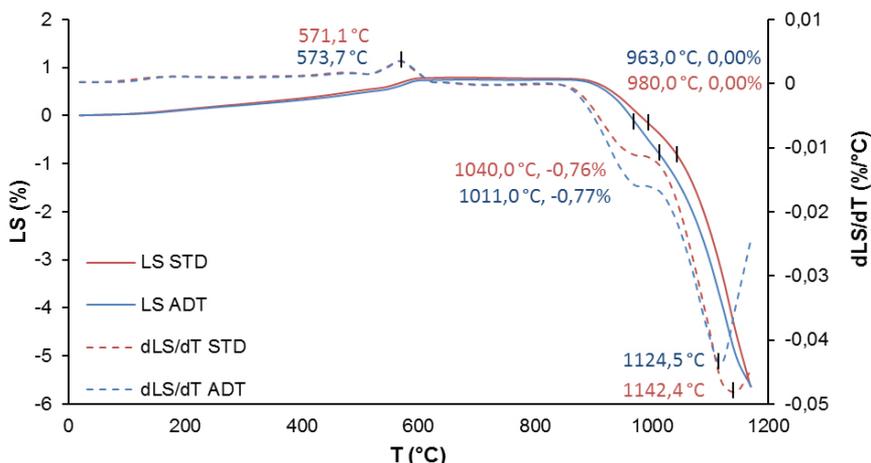


Figura 4. Curvas de dilatométrica das composições estudadas.

Tabela 6. Propriedades das amostras queimadas.

T (°C)	STD		ADT	
	RL (%)	D _{ap} (g/cm ³)	RL (%)	D _{ap} (g/cm ³)
890	-0,01	1,83	-0,21	1,88
920	0,16	1,84	0,22	1,90
950	0,29	1,87	0,53	1,92
980	0,58	1,88	1,39	1,95

A partir de 900 °C, as duas massas investigadas começam a retrair, que se pode associar ao início da sinterização. Este processo se estende a temperaturas acima de 1200 °C.

Analisando-se isoladamente as duas curvas, pode ser verificado que as duas massas apresentam diferentes temperaturas de máxima taxa de retração: 1124 °C para a massa aditivada e 1142 °C para a massa padrão. A partir deste gráfico, torna-se evidente que o aditivo causa alterações na sinterização da massa. O diagrama de gresificação demonstra o comportamento do material do ponto de vista tecnológico.

Com base nos dados de dilatométrica a cru e de informações industriais, foram definidas as temperaturas de queima das amostras. Foram utilizadas as temperaturas de 890 e 920 °C por se tratar do padrão fabril de queima e as temperaturas de 950 e 980 °C devido ao comportamento da amostra observado por dilatométrica.

Na Figura 5 podem ser observados os comportamentos das amostras em relação a absorção de água e resistência mecânica à flexão.

As duas amostras apresentaram um aumento de resistência à flexão com o aumento da temperatura de queima, com consequente redução na absorção de água, uma vez que na sinterização ocorre a redução da porosidade.

Observa-se que em todas as temperaturas a massa aditivada apresentou melhor desempenho mecânico que a massa padrão. Em condições industriais, onde a temperatura situa-se entre 890 e 920 °C, a utilização do aditivo possivelmente permitiria a obtenção de melhores propriedades do produto. Poderia ainda ser realizada uma

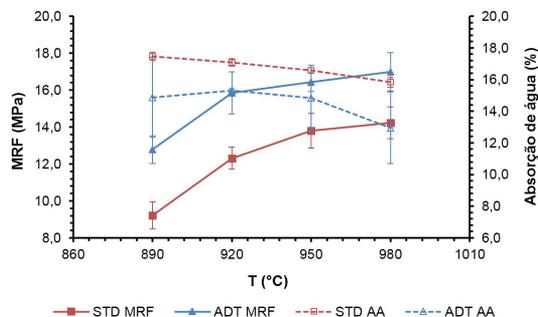


Figura 5. Diagrama de gresificação das composições estudadas.

redução na temperatura de queima de aproximadamente 30 °C sem prejuízo às propriedades do produto.

A Tabela 6 demonstra as características das amostras após a queima. Pode ser observado que há um aumento na retração e densidade aparente com o aumento da temperatura de queima, sendo este comportamento coerente com os resultados obtidos para absorção de água e resistência mecânica.

4. Conclusão

A caracterização do aditivo demonstra que este é basicamente um defloculante, por ser composto por silicato de sódio e tripolifosfato de sódio. Desta forma, ele é capaz de aumentar o empacotamento entre as partículas.

Os testes realizados com o aditivo demonstraram que este não apresenta efeito sobre o tempo de secagem da massa, o que significa que não há ganho no processo produtivo com relação à redução de ciclo de secagem. No entanto, este possibilita a utilização de menor quantidade de água para conformação, resultando em maior empacotamento de partículas e menor retração de secagem para extrusão da massa. Como consequência, os gastos energéticos para eliminação da água na secagem são menores e a tendência ao aparecimento de trincas é reduzida.

Há ainda um ganho significativo nas propriedades mecânicas do material extrudado, resultado do maior empacotamento das partículas.

A redução na temperatura de sinterização também é considerável, sendo perceptível o melhor desempenho das peças aditivadas, havendo maior garantia de que com as variações de temperatura que ocorrem na queima de cerâmica vermelha as propriedades mecânicas mínimas requeridas sejam atingidas.

Por fim, a utilização deste aditivo é uma alternativa viável sob ponto de vista técnico para massas que apresentam problemas de baixa resistência mecânica. A adição deste causa um aumento na resistência mecânica a seco e, por utilizar menor umidade para extrusão, reduz as alterações dimensionais. Assim, há menor tendência a aparição de defeitos que podem

comprometer a resistência mecânica. Além disso, a temperatura de sinterização é reduzida.

Referências

- [1] IBGE Seção C, Divisão 23, Grupo 234, Classe 2342-7, **Fabricação de Produtos Cerâmicos Não-Refratários para Uso Estrutural na Construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social**. Brasil, 2008
- [2] FONSECA, António Tomás da. **Tecnologia do processamento cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000. 554 p.
- [3] RIBEIRO, Manuel J.; FERREIRA, António A.L.; LABRINCHA, João A.. **Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas**. *Cerâmica Industrial*, 8 (1), (2003), 37-42.
- [4] VIEIRA, Carlos M. Fontes, FEITOSA; Hygina Sales e MONTEIRO, Sergio Neves. **Avaliação da Secagem de Cerâmica Vermelha Através da Curva de Bigot**. *Cerâmica industrial*, 8 (1), (2003), 42-46.
- [5] MACEDO, R. S; MENEZES, R. R; NEVES, G. A; FERREIRA, H. C. **Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos**. *Cerâmica*, 54, p. 373-381, 2008.
- [6] Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180. Determinação do índice de plasticidade – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 1985.
- [7] Associação brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459. Determinação do limite de liquidez de solos**. Rio de Janeiro, 1984.