

Qualidade na Indústria de Cerâmica Vermelha: Medidas e Alternativas para o Controle Dimensional

W. A. Braga^{a*}, M. W. L. C. Santos^a, J. C. Sales^a

^aUniversidade Estadual Vale do Acaraú – UVA-CE, Campus CIDAQ, Sobral, CE, Brasil

*e-mail: weberfila15@gmail.com

Resumo

A indústria da cerâmica vermelha no Brasil ainda apresenta processos produtivos ultrapassados que dependem bastante material e energia à ponto do setor ser considerado em sua maior parte artesanal. A extrusão – por ser o método de conformação mais utilizado na fabricação de peças cerâmicas (blocos, telhas e tubos) – necessita de constante controle para o bom funcionamento desta e das demais etapas do processo produtivo. Este trabalho tem por objetivo descrever os principais métodos de controle da qualidade na indústria da cerâmica vermelha em relação à variação dimensional das peças cerâmicas especialmente na etapa de extrusão; e também, discutir as alternativas que já são, e que podem ser, aplicadas na automação desta etapa do processo produtivo, promovendo assim a inovação tecnológica na indústria da cerâmica vermelha.

Palavras-chave: cerâmica vermelha, qualidade, extrusão, controle.

1. Introdução

A indústria de cerâmica vermelha é, de fato, bastante artesanal, pois possui processos produtivos ultrapassados, métodos e sistemas defasados, pouquíssima inovação tecnológica e baixo valor agregado em seus produtos. Inexiste em grande parte dela o conceito de qualidade (gestão, controle e melhoria) e, por causa disso, apresenta problemas graves como a alta taxa de desperdício e a baixa capacidade de reutilização de seus resíduos.

O controle de qualidade ainda é visto isoladamente nas empresas de médio e grande porte, não existe regularidade nas atividades de controle dos processos. Dessa maneira, as possibilidades de avanço para o setor são bastante prejudicadas.

A extrusão é a tipo de conformação mais utilizado na fabricação de peças de cerâmica vermelha, como blocos, telhas e tubos. Além de antigo, o maquinário utilizado nesta indústria é barato e de fácil manutenção, porém não há nos ceramistas a preocupação com a eficiência e a melhoria dos processos. Logo, o controle da etapa de extrusão acaba perdendo a devida importância, deixando a desejar em desempenho e economia.

1.1. Níveis de controle

Na extrusão, o conhecimento do processo é antecipado pela caracterização e identificação dos problemas relacionados à variação dimensional dos produtos cerâmicos e leva à detecção das causas, ou seja, das variáveis que necessitam ser controladas. O controle ocorre em três diferentes níveis que estão relacionados com o estado de automatização do processo produtivo^[1]:

- Nível 1 - controle manual;
- Nível 2 - controle automático das variáveis da máquina;

- Nível 3 - controle automático das variáveis do produto; e
- Nível 4 - controle global.

A partir do nível 2, quando as variáveis do processo são satisfatoriamente conhecidas, os sistemas de instrumentação podem ser aplicados. O nível de aplicação das ferramentas de medição está diretamente ligado ao conhecimento do processo e o grau de monitoramento das etapas do processo.

A automatização de qualquer setor da indústria é facilitada pelo estado da arte de setores similares. Neste trabalho, como iremos tratar da indústria cerâmica, é oportuna a discussão acerca das possibilidades de incorporação de técnicas de controle bem-sucedidos na indústria de revestimentos, que possui inúmeros estudos sobre sistemas avançados de controle do processo de conformação de artefatos cerâmicos alcançados pela adaptação de sistemas já existentes em outras indústrias mais avançadas.

1.2. Comportamento das argilas

O conhecimento acerca do comportamento da argila durante a extrusão, assim como o modelamento matemático de algumas de suas características, em especial a plasticidade, tornam-se dificultados pelo fato de muitas variáveis estarem envolvidas, não havendo consenso quanto à escolha do método de ensaio^[2,3].

O teor de umidade da massa de argila interfere diretamente na plasticidade. A plasticidade depende das características da massa, como a composição química e mineralógica e a granulometria. De modo geral, os valores de plasticidade obtidos em argilas *magras* são menores do que os valores apresentados por argilas *gordas* para

uma mesma quantidade de água. A plasticidade elevada corresponde à uma maior força de coesão entre as partículas de argila devido à capacidade destas de retenção de água na superfície dos argilominerais.

Existem diversos métodos de medição e caracterização da plasticidade de uma massa argilosa, embora a sua determinação experimental dependa, em alguns casos, da maior ou menor habilidade do operador, sendo a comparação dos resultados entre diferentes ensaios problemática^[4,5].

No processo de extrusão, as argilas com elevada plasticidade apresentam maior facilidade de deslizamento no interior da extrusora. Esse menor atrito significa uma pressão maior que leva a uma compactação elevada da massa. As considerações feitas por Ribeiro, entre outros^[4], apontam para a necessidade de evitar variações na composição da argila, dado que as condições de fluxo do material argiloso através da extrusora dependem basicamente da plasticidade.

1.3. Variação dimensional

As variáveis que regem a operação de conformação de produtos cerâmicos por extrusão determinam tanto o comportamento da peça durante o resto do processo produtivo quanto suas propriedades e dimensões finais, como apontam Aguilera, entre outros^[6]. Segundo os mesmos autores, não se encontram na literatura trabalhos preocupados em estabelecer relações entre as variáveis da etapa de extrusão e as propriedades do produto final.

Atenção semelhante é dada por Gelves, entre outros^[7], que mostram a preocupação na escolha do método de conformação que melhor se adapta aos interesses dos fabricantes de cerâmica, considerando os diferentes parâmetros de desempenho de cerâmicas extrudadas e prensadas. Resultados de ensaios em laboratório mostram que as médias e os desvios na variação dimensional de peças cerâmicas na secagem são muito maiores quando extrudadas do que quando prensadas.

Sendo assim, põe-se em discussão a necessidade de aplicação de métodos e de medidas para o controle dimensional na etapa de extrusão que é empregada na indústria de cerâmica vermelha. Isso será possível através de uma ampla revisão bibliográfica que não se limite ao setor em estudo, mas que busque encontrar o estado da arte de diversos setores que possuem processos semelhantes.

2. Objetivos e Metodologia

Neste trabalho, a revisão bibliográfica, acompanhada de discussões, nos permitiu obter detalhes mais precisos acerca dos problemas e das soluções propostos em diversos estudos acerca do controle das variáveis envolvidas com a variação dimensional, durante a fabricação de produtos de cerâmica vermelha.

Nosso trabalho preocupou-se em mostrar resumidamente quais métodos aplicados foram bem-sucedidos e que se mostraram aplicáveis ao nosso contexto tendo em vista as dificuldades naturais de cada setor na incorporação de novas tecnologias aos seus respectivos processos produtivos; e a falta de capacitação da mão de obra, que, muitas vezes,

impede a implementação de técnicas de monitoramento e de melhoramento das etapas de produção.

3. Modelos Teóricos e Aplicações

Em situações normais de trabalho na indústria de cerâmica, um operário realiza as medidas de umidade na etapa de alimentação de forma descontínua e regula a vazão de água que molha a massa a fim de manter a umidade da massa de argila. Ao mesmo tempo, verifica-se, periodicamente, o consumo da extrusora, o consumo da amassadora, e a pressão da boquilha, visto que, estas variáveis estão relacionadas com a consistência da massa^[3,4,6].

Alguns autores constataram a relevância que o teor de umidade e a densidade aparente da massa de argila têm para a estabilidade dimensional dos produtos conformados por extrusão. Trabalhos^[6-9] mostram que um incremento crescente do teor de umidade reduz significativamente a consistência da massa de argila. O aumento da quantidade de água produz um maior distanciamento das partículas de argila, e a perda de água durante o processo de secagem do material conformado provoca retração e variações dimensionais imprevistas.

Como foi observado em vários trabalhos, a retração durante a secagem tem uma ótima correlação linear com o teor de umidade^[6,8,9]. A ênfase é dada à etapa de secagem, pois é nela onde as variações dimensionais são mais evidentes e a influência do teor de umidade é muito significativa.

Nos mesmos trabalhos, são propostos sistemas de controle automático das variáveis do processo de extrusão no intuito de manter a estabilidade dimensional de produtos cerâmicos através da previsão das variações intrínsecas à massa de argila e de parâmetros de medição baseados em planejamento experimental e a utilização de sensores dos mais diversos tipos^[1]. A implantação desses sistemas concorre para um aumento do nível de automatização do processo produtivo em geral.

O controle da retração de secagem é mais facilmente orientado por modelos probabilísticos que conseguem prever com alta confiabilidade a faixa de estabilidade dimensional^[15-17]. Estes métodos são possíveis de serem aplicados apenas quando já existem controles estatísticos de processo totalmente implementados^[13].

4. Variáveis de Controle na Extrusão

Das variáveis do processo de fabricação da cerâmica vermelha, as que correm para uma maior influência na variação dimensional e estão relacionados à etapa de extrusão são: umidade da massa, compactidade e características da argila. Estes três são determinados por condições do processo e de preparação da massa que serão discutidas a seguir.

A umidade de extrusão, como mostra a literatura, atua como facilitador da conformação devido às propriedades da plasticidade da argila, porém, existe um limite a partir do qual a água reduz a consistência da massa. Quando a massa não apresenta mais consistência, ela apresentará uma resposta reduzida à variação de pressão e, assim,

não obterá compacidade suficiente para a conformação. Considera-se que, caso a pressão aumente, a compacidade da massa será maior.

Caso a massa plástica não venha a se tornar inconformável, o que o que acontece quando a argila alcança seu *limite de liquidez* devido a grandes incrementos de água, ela terá sua densidade reduzida. A redução da densidade se deve à incorporação de água na massa, elevando a quantidade de vazios progressivamente, durante a secagem pós-conformação. A pressão da extrusão consegue a saída da água até um certo ponto, que está próximo limite de compressão da massa.

Como mostra Melchiades, entre outros^[9], a densidade da massa pós-conformação tem bastante influência sobre a estabilidade dimensional. Como os autores ilustram, durante o processo de secagem, os espaços antes preenchidos com água da conformação correspondem agora aos vazios. Uma crescente redução de água dos vazios da massa leva a uma retração gradativa de seu volume aparente. A retração da massa é estudada em vários trabalhos, onde foi possível determinar correlações matemáticas bastante precisas entre a taxa de retração e a temperatura de queima^[9,14,18].

Considerações acerca da influência das características da argila na variação dimensional são muito importantes quando tratamos de processos em que as composições da massa variam muito de um lote para outro. De modo geral, a composição química das argilas e a granulometria, por estarem relacionadas às propriedades dos argilominerais, variam sensivelmente às mudanças do meio, como mostra a literatura^[2,4,9,17].

5. Controle da Extrusão

Conhecidas as variáveis do processo de extrusão, é necessário apontar medidas que possibilitem o controle das tais. A partir daqui, serão discutidas medidas que já são e que podem ser implantadas nesta etapa que têm como fim o controle dimensional dos produtos de cerâmica vermelha. Trataremos, inicialmente, do estado em que se encontra o controle manual; e, posteriormente, do estado da arte do controle automático das variáveis.

5.1. Controle Manual

O controle manual das variáveis da de extrusão se dá através de pequenos ajustes feitos pelo operador de máquina nas características do processo ou do material. Esses ajustes são feitos periodicamente através de comandos não automáticos, em que se procuram níveis de eficiência próximos de limites aceitáveis determinados empiricamente.

As máquinas emegadas na etapa de extrusão já permitem que sejam feitas mudanças nas condições de operação do processo a fim de aumentar a produtividade. O rendimento da extrusão depende, basicamente, dos seguintes fatores^[10]:

- Composição e preparação da massa de argila;
- Plasticidade da massa;
- Moldes de extrusão (boquilhas); e

- Tipo de extrusora e qualidade do vácuo.

As condições do processo referentes às máquinas estão são bastante relacionados às características da superfície interna da extrusora, pois elas determinam as interações físicas (atrito) entre a máquina e a argila, que, por sua vez, terão efeito sobre o fluxo da argila; e determinarão a importância de detalhes operacionais da própria máquina, como, por exemplo: a rugosidade, a resistência ao desgaste da parte interna da extrusora, a pressão e a velocidade de fluxo da argila, *etc.*

O controle do fluxo da massa é importante, visto que, velocidade diferentes na extrusão provocam diferenças de pressão e, conseqüentemente, diferenças de compactação entre pontos distintos da massa de argila. A consequência disso são retrações diferenciadas nas peças extrudadas durante a secagem. Estas retrações diferenciadas aumentam as forças de tração criadas nas regiões extrudadas a uma menor pressão, originando deformações e trincas de secagem^[4,10].

5.2. Controle automático (estado da arte)

Grande parte dos problemas frequentes na etapa da extrusão exige que se tenha o elevado conhecimento das complexas características do material com que se trabalha. Na indústria de cerâmica vermelha, esta máxima é muito difícil de ser acatada pois o que se vê é um limitado conhecimento das etapas de produção e uma dificuldade estrutural de integração de tais etapas.

A automatização dos processos produtivos busca superar estes problemas através da implantação de sistemas de controle capazes de coordenar as operações de intervenção no processo produtivo levando em consideração todos os principais fatores que influem nas características finais do produto, e, também, que atuam sobre um suporte de modelos computacionais que permita uma precisão matemática na detecção da causa de problemas e na tomada de decisões.

Na indústria cerâmica, isto vem sendo abordado há alguns anos, principalmente, no setor de revestimentos. As pesquisas se concentram no estudo de técnicas de controle, exatamente, na etapa de conformação das peças cerâmicas. A preocupação se limita bastante à influência da densidade aparente no comportamento da peça durante as etapas posteriores à conformação, em algumas das características do produto final (acabamento, porosidade, resistência mecânica) e na própria estabilidade dimensional, como foi mostrado.

Alguns trabalhos buscaram desenvolver novas técnicas para a medição da densidade aparente na linha de produção a fim de substituir os ensaios que são utilizados atualmente no controle na indústria, visto que, são tratam-se de procedimentos manuais, destrutivos e descontínuos. Foi avaliado, por exemplo, o emprego de ultra-som para este tipo de aplicação, obtendo-se resultados muito promissores^[1].

Também, existem trabalhos que buscam avaliar a viabilidade da instalação de sensores de infravermelho para a medição da umidade das peças recém-conformadas^[8].

É proposto um sistema de controle baseado na modificação de pressão máxima de compactação para corrigir variações da umidade do material solto que deve ser medida continuamente nas peças conformadas. A validade deste procedimento foi comprovada em laboratório e em escala industrial.

A viabilidade da aplicação de controle automático é a mesma para o processo de extrusão, onde as variações de umidade são maiores, gerando baixa estabilidade dimensional. As dificuldades no controle da umidade da argila durante a mistura tornaram propícia a experimentação de um dispositivo capaz de regular a adição de água à massa de argila^[6]. Tal dispositivo relacionava esta variável do processo (teor de umidade) com uma variável da máquina (intensidade da corrente na extrusora) no intuito de controlar as variações na retração de secagem, que, por sua vez, reflete na variação dimensional do produto final. Como foi possível observar, o tamanho da faixa de distribuição do tamanho das peças, após a implantação deste sistema, reduziu consideravelmente.

O sucesso deste tipo de sistema mostra as possibilidades de aplicação de outros sistemas que tornem possível a integração maior das variáveis do processo em que seja possível a antecipação na detecção de variações no produto e a no ajuste das características do produto final.

7. Considerações Finais

As possibilidades de aplicação dos diversos métodos de controle da extrusão são reforçadas pela necessidade do controle dimensional durante todas as etapas da fabricação, que, em muitas fábricas, não obtém resultados satisfatórios devido à falta de visão dos gerentes e o incentivo incipiente à pesquisa e à inovação. A implantação de sistemas mais avançados no controle dos processos na indústria de cerâmica vermelha poderá ser possível com uma mudança de cultura, em que seja incentivada a busca por alternativas que tragam benefícios não só à curto prazo, mas também à médio e longo prazo e que agreguem valor maior aos produtos cerâmicos.

Referências

1. J. G. MALLOL. Controle e Automação na Indústria Cerâmica: Evolução e Perspectivas. *Cerâmica Industrial*. Vol. 12 (3), p. 15-26 (2007).
2. F. A. ANDRADE, H. A. AL-QURESHI, D. HOTZA. Modelo matemático aplicado ao processo de extrusão de argilas. *Cerâmica*. Vol. 57, 342, p. 180-184 (2011).
3. R. S. MACEDO, R. R. MENEZES, G. A. NEVES, H. C. FERREIRA. Estudo das argilas usadas em cerâmica vermelha. *Cerâmica* 54, 332, p. 411-417 (2008).
4. M. J. RIBEIRO, A. A. L. FERREIRA, J. A. LABRINCHA. Aspectos fundamentais sobre extrusão de massas cerâmicas vermelhas. *Cerâmica Industrial*. Vol. 8 (1) p. 37-42 (2003).
5. L. F. A. CAMPOS, R. S. DE MACEDO, P. K. KIYOHARA, H. C. FERREIRA. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural. *Cerâmica*. Vol. 45, 295, p. 140-145 (1999).
6. M. AGUILLELLA, L. FOUCARD, J. G. MALLOL, M. J. SÁNCHEZ, M. LÓPEZ, R. BENAGES. Estudio y control automático de la operación de extrusión de baldosas cerámicas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vitro*. Vol. 51 (2) p. 83-88 (2012).
7. J. F. GELVES, R. MONROY, J. SÁNCHEZ, R. P. RAMIREZ. Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el Área Metropolitana de Cúcuta. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vitro*. Vol. 52 (1), p. 48-54 (2013).
8. J. L. AMORÓS, J. G. MALLOL, A. MEZQUITA, D. LLORENS, F. C. LOPES, J. A. CERISUELO, M. VARGAS. Melhoría da estabilidade dimensional de peças de grês porcelânico através da medida contínua da umidade dos suportes prensados. *Cerâmica Industrial*. Vol. 9 (2), p. 6-15 (2004).
9. F. G. MELCHIADES, C. DEL ROVERI, J. SOTÉRIO, L. L. SILVA, A. O. BOSCHI. Controle dimensional e do formato de revestimentos cerâmicos. Parte I: Dimensões. *Cerâmica Industrial*. Vol. 6 (5) 27-33 (2001).
10. R. WIECK, J. DUAILIBI FILHO. Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções. *Cerâmica Industrial*. Vol. 18 (3), p. 16-23 (2013).
11. J. DUAILIBI FILHO, A. J. N. DIAS, C. A. VILARDO. Aplicação de cerâmicas de alta resistência ao desgaste em moldes de extrusão utilizados na indústria de cerâmica vermelha. In: Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 30 de maio a 2 de junho de 2001 - Florianópolis-SC. 12p.
12. L. D. D. MEDEIROS, D. C. S. SILVA, D. O. COSTA, G. MIRANDA. Estudo e aplicação das ferramentas da qualidade em uma indústria cerâmica do Rio Grande do Norte. In: VII SEPRONE. Mossoró-RN, 26 a 29 de junho de 2012. 12p.
13. P. SALDANHA, C. K. ROTHE. Análise de um processo de extrusão através do controle estatístico do processo. Curso de Tecnologia em Gestão de Qualidade. FACCAT. 2013.
14. V. R. BATISTA, J. J. S. NASCIMENTO, A. G. B. DE LIMA. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Vol. 3 (1), p. 46-61 (2008).
15. A. NONI JUNIOR. Modelagem matemática aplicada ao controle dimensional de placas cerâmicas de monoqueima processadas por via úmida. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação). Florianópolis, 2005. 92p.
16. M. DAL BÓ, W. F. NEVES. Estatística básica aplicada a variação dimensional de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*. Vol. 10 (5/6), p. 37-40 (2005).
17. A. C. A. PRADO, A. ZANARDO, A. P. M. MENEGAZZO, M. M. T. MORENO. Influência da distribuição granulométrica na estabilidade dimensional de placas cerâmicas de base vermelha. *Cerâmica* Vol. 54, 332, p. 466-471 (2008).
18. D. S. BARBOSA, D. HOTZA, J. BOIX, J. G. MALLOL. Modelling the influence of manufacturing process variables on dimensional changes of porcelain tiles. *Advanced in Materials Science and Engineering*. Vol. 2013, p. 1-12 (2013).