

Influência de Diferentes Processos de Conformação nas Características Finais de Produtos Cerâmicos

**Cesarina S. R. Freitas, Ingride A. F. S. Pereira, Maria L. G. Pereira,
Teresa C. R. Simões, António A. L. Ferreira***

*Escola Superior de Tecnologia Gestão – ESTG,
Instituto Politécnico de Viana do Castelo – IPVC,
Praça General Barbosa, 4900-347 Viana do Castelo, Portugal
e-mail: labrincha@estg.ipvc.pt

Resumo: Estudaram-se as três vias possíveis de conformação usadas na indústria cerâmica (via plástica, seca e líquida) avaliando determinadas propriedades finais dos materiais, tais como, percentagem de retracção verde-seco e seco-cozido, resistência mecânica a seco e em cozido e a absorção de água de provetes cozidos a uma temperatura de 1050 °C, de uma pasta de faiança calcária, com o intuito de verificar a influência do método de conformação nestas características. Com este conhecimento pretendia-se, onde tal possibilidade ocorra, escolher o método de conformação mais adequado ao tipo/forma das peças e às características necessárias do produto final. Os resultados obtidos permitem discernir divergências óbvias para diferentes propriedades em diferentes etapas do processo de fabrico. As retracções totais, verde-cozido, são claramente inferiores em peças conformadas por prensagem e os valores de resistência mecânica, tanto em seco como em cozido, são manifestamente superiores quando o processo de conformação utilizado é a extrusão.

Palavras-chave: *extrusão, enchimento, prensagem, absorção de água, resistência mecânica, faiança calcária.*

1. Introdução

A etapa de conformação é fundamental, uma vez que é nesta que o material adquire a forma e características estruturais pretendidas. No entanto é importante saber que processo de conformação se deve/ pode usar para que o objectivo seja conseguido. As peças podem então ser conformadas segundo três vias: via plástica, via seca e via líquida, por exemplo, recorrendo-se ao processo de extrusão, prensagem a seco e enchimento tradicional, respectivamente.

1.1. Extrusão

A extrusão é um processo bastante utilizado e tem mostrado grande relevância em várias indústrias, nomeadamente na indústria cerâmica. Tem a grande vantagem de tanto ser usada como técnica de conformação plástica para produtos de secção constante (ex. tijolos), como também, processo de mistura e homogeneização das pastas, possibilitando a aquisição de determinadas propriedades por parte da pasta, para que possa ser sujeita a outro tipo de processo, nomeadamente Roller e Jaule.

Basicamente, não é mais do que a compactação de uma pasta plástica, no interior de uma câmara, contra um molde que possui a forma do produto que se pretende obter¹. As principais variáveis a controlar são a velocidade/pressão de extrusão, a plasticidade da pasta, tipo de feira/molde utilizados² e o uso de vácuo aquando da extrusão.

As principais vantagens da utilização da extrusão são o seu baixo custo, e a possibilidade de produzir formatos diversos bem como peças de comprimentos elevados. Tem como inconvenientes o facto de promover a orientação das partículas e de necessitar de uma operação de remoção do ligante utilizado, na cerâmica tradicional a água³.

1.2. Prensagem a seco

A operação de conformação por prensagem a seco baseia-se na colocação de uma massa de pó granulado no interior de uma matriz rígida, ou de um molde flexível, que é compactada devido à aplicação de uma força de pressão. A matriz utilizada tem a forma da peça pretendida, ficando esta com um aspecto praticamente definitivo após a compactação, e uma resistência mecânica tal, que permite aguentar os tratamentos seguintes.

Este processo é de elevada produtividade, de fácil automatização e bastante versátil, uma vez que é possível a produção de peças de vários tamanhos e formas, que não apresentam retracção significativa durante a secagem e por isso, a variação dimensional nessa operação é baixa⁴. Esta baixa ou mesmo nula retracção na secagem deve-se ao uso de teores de humidade tipicamente inferiores a 5%⁵. Contudo, promove gradientes de densidade ao longo das peças e as secções transversais possíveis são limitadas³.

Na prensagem uniaxial de acção simples, a pressão é aplicada pelo punção superior, o qual é introduzido na cavidade que contém a massa de pó. Após a compactação, o punção superior é removido, e a extracção da peça dá-se pela subida do punção inferior. É um sistema utilizado quando se pretende obter peças de geometria simples e espessura reduzida⁶.

Como em qualquer outro processo cerâmico, também na prensagem a seco existem variáveis que influenciam cada etapa do processo, nomeadamente, a velocidade de aproximação do punção à matriz, o número e duração dos patamares de aplicação da força de compactação, a velocidade de subida da força de compactação entre patamares, a força de compactação máxima e o número de ciclos de carga e descarga, caso a força de pressão máxima seja cíclica.

1.3. Enchimento

O método de conformação por enchimento baseia-se na eliminação de parte do líquido constituinte da barbotina, quando colocada em contacto com um molde, normalmente de gesso.

O processo de enchimento é composto pelas seguintes etapas: preparação da barbotina de enchimento; enchimento do molde; fase de consolidação e desmoldagem.

A duração da formação da parede depende de factores relacionados com a estrutura capilar do gesso do molde, da permeabilidade da parede formada e das propriedades reológicas (viscosidade e tixotropia) da suspensão, pois os capilares do molde têm de ser capazes de “sugar” a água da suspensão. A permeabilidade da parede formada, é função das características reológicas da barbotina. Com o tempo, a parede formada torna-se cada vez mais espessa e à medida que a parede vai ganhando espessura, esta actua como barreira, oferecendo cada vez mais resistência à passagem da água da barbotina para o molde, e os poros do molde como já estão saturados de água vão perder o poder de sucção.

O processo de conformação apresenta as vantagens de permitir produzir peças de elevados tamanhos e de formas complexas e de utilizar equipamento de baixo custo. Tem como principais limitações a necessidade de mão-de-obra intensiva, trabalhar com ciclos longos de produção e utilizar grandes áreas de laboração³.

2. Procedimento Experimental

Os provetes de enchimento foram conformados a partir de uma barbotina com uma densidade igual a 1,6 g.cm⁻³. A viscosidade dessa barbotina foi controlada através da adição de silicato de sódio nas proporções adequadas para a obtenção de barbotinas com 1300 e 500 cP. A absorção da água excedente foi realizada por um típico molde de gesso. As amostras obtidas por prensagem a seco foram conformadas num molde de aço através da realização de uma prensagem uniaxial de acção simples a pressões de 240 e 400 kgf.cm⁻² em uma prensa hidráulica. Os provetes extrudidos foram processados numa extrusora de dupla hélice com câmara de vácuo.

As diferentes análises térmicas foram realizadas com o intuito de caracterizar a pasta (análises termogravimétricas e diferencial e análise dilatométrica) e de verificar o comportamento de amostras processadas por diferentes técnicas de produção (análises dilatométricas). O equipamento utilizado é da marca Netzsch e

consiste num dilatómetro modelo 402 EP e de uma termo-balança modelo 409 EP.

Os valores das diferentes variações dimensionais foram avaliados recorrendo a craveiras electrónicas marca Mitutoyo modelo CD-15D com capacidade de leitura até à centésima de milímetro. Os ensaios de resistência à flexão foram realizados numa máquina de ensaios universal marca Lloyd e modelo LR 30K. As amostras foram sinterizadas numa mufla eléctrica em ar a uma temperatura de 1050 °C pelo período de 30 minutos utilizando-se taxas de aquecimento e de arrefecimento de 5 °C/min. Os ensaios de absorção de água, com imersão em água a ferver e em água a temperatura ambiente por períodos de 10 minutos, tiveram as pesagens realizadas numa balança electrónica de marca AND e modelo FX-3000 com sensibilidade à centésima da grama.

3. Resultados e Discussão

A análise térmica dilatométrica da pasta, Figura 1, revela uma pasta com uma dilatação moderada até cerca dos 800 °C seguida de uma retracção súbita até cerca de 900 °C e uma não variação dimensional até cerca dos 1100 °C, temperatura a partir da qual volta a retrair significativamente devido às reacções típicas de um processo de sinterização. As semelhanças com dilatometrias do mineral argiloso caulinite observadas para temperaturas superiores a 800 °C são notórias pelo que se depreende que esta pasta terá caulinos ou argilas predominantemente cauliniticas na sua constituição. A curva gravimétrica, Figura 1, apresenta uma perda inicial de peso, cerca dos 100 °C, devida à libertação de humidade residual da pasta. A partir daí e até aos 500 °C ocorre uma perda gradual de peso devida à queima de matéria orgânica e entre os 500-600 °C liberta-se a água de constituição dos minerais argilosos constituintes da pasta. Entre os 650 e 800 °C ocorre uma acentuada perda de peso indiciando a presença de carbonatos nesta pasta. A análise térmica diferencial, Figura 1, apresenta nesta gama de temperaturas dois picos endotérmicos indiciando assim a presença de dolomite. Esta análise evidencia também um acentuado pico exotérmico cerca dos 950 °C devido à formação de mulite sendo este fenómeno bastante típico da caulinite, reforçando assim a conclusão inferida da análise da curva dilatométrica. Concluindo, depreende-se que esta é uma pasta de faiança calcária.

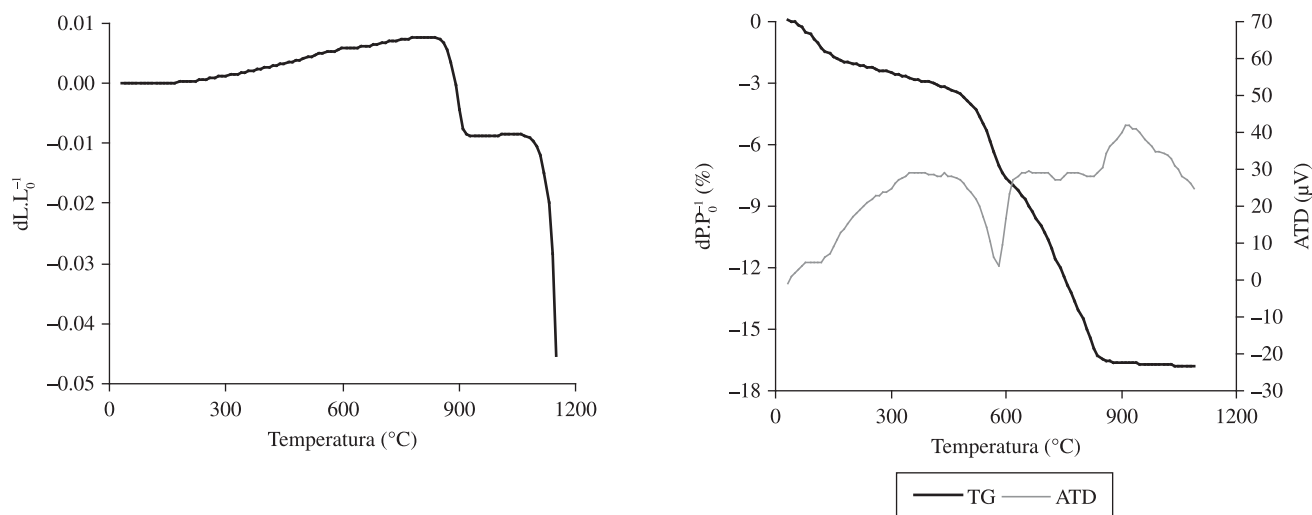


Figura 1. Análises térmicas (dilatometria, termogravimétrica e diferencial) da pasta utilizada nestes ensaios.

Tabela 1. Resultados de diferentes propriedades, avaliadas antes da cozedura, de amostras obtidas pelas diferentes técnicas de conformação.

Parâmetro	Extrusão		Enchimento		Prensagem	
	Com vácuo	Sem vácuo	1300 cP	500 cP	240 kgf.cm ⁻²	400 kgf.cm ⁻²
% Humidade	–	22,23	–	–	1,62	
% Retracção V-S	5,17	4,51	3,73	2,91	±0	±0
Densidade a seco (g.cm ⁻³)		1,724		1,559		1,408
MR _{seco} (N.mm ⁻²)	4,96	3,85	1,50	1,61	Demasiado frágeis	

Os resultados obtidos na caracterização das diferentes amostras, antes das mesmas serem submetidas ao processo de cozedura, Tabela 1, apresentam valores de retracção superiores para os provetes conformados por extrusão e enchimento, tal como esperado, decorrentes da superior humidade destas pastas. A resistência mecânica das amostras prensadas é estranhamente baixa uma vez que o superior desempenho mecânico é referido na literatura como uma das vantagens deste processo de conformação^{4,7}. A justificação para a obtenção deste resultado será a reduzida humidade dos pós aquando da prensagem, tornando-os pouco deformáveis plasticamente inviabilizando uma maior compactação, como evidência o valor da densidade em seco das amostras prensadas, e impedindo uma melhor ligação entre os diferentes grãos⁸⁻⁹. Contudo, refira-se que já outros autores apresentaram resultados semelhantes em estudos prévios, no caso para amostras produzidas exclusivamente com argilas¹⁰.

O aumento da viscosidade das barbotinas promove uma estrutura menos compacta implicando maiores retracções na secagem de amostras produzidas com barbotinas de maior viscosidade. A resistência mecânica em seco de provetes produzidos por enchimento não parece particularmente afectada pela viscosidade da barbotina e é relativamente baixa quando comparada com amostras extrudidas que produz corpos significativamente mais compactos. Assim sendo, o manuseamento de peças produzidas por extrusão afigura-se menos problemático quando comparado com o manuseamento de peças

obtidas pelas outras técnicas de conformação. De referir que a realização de vácuo aquando da extrusão trouxe benefícios óbvios ao processo, ou seja, a resistência mecânica das peças produzidas dessa maneira é a mais elevada de todas. Contudo, surpreendentemente, a retracção verde-seco destas amostras é algo elevada.

As dilatométricas dos provetes obtidos por extrusão, enchimento e prensagem evidenciam maiores retracções para as amostras que apresentavam inferior densificação em seco, Figura 2. Assim sendo, provetes extrudidos apresentam menor variação dimensional durante o processo de cozedura e provetes prensados apresentam superior retracção. Os provetes prensados a mais baixa pressão são os que apresentam retracção mais significativa e os efeitos da viscosidade (nos provetes de enchimento) e da realização de vácuo (nas amostras extrudidas) não promovem alterações muito relevantes no comportamento durante o processo de cozedura. Refira-se que só acima dos 900 °C se verificam diferenças relevantes sendo estas mais significativas para temperaturas superiores a 1100 °C.

Avaliando alguns parâmetros (retracção seco-cozido, módulo de rotura à flexão de provetes cozidos e absorção de água) de amostras cozidas, Tabela 2, constata-se que os mesmos continuam a reflectir as tendências já demonstradas previamente a esta operação. Isto é, apesar de as amostras prensadas retrairém mais na cozedura tal ainda não é suficiente para recuperar os “atrasos” na densificação que tais amostras apresentavam depois da secagem. Isto também reflecte que a temperatura de cozedura utilizada, relativamente usual para a cozedura de produtos de faiança, não é suficientemente elevada para produzir alterações severas nas propriedades destes corpos cerâmicos.

Como é conhecido¹¹, as partículas dos minerais argilosos têm a forma de placas sendo o seu comportamento anisotrópico. Também é sabido que processos como a extrusão, o roller, o jaleu promovem a orientação das partículas¹. Numa barbotina o maior ou menor estado de desfloculação também promove diferentes orientações nas partículas cerâmicas e distintos estados de aglomeração¹². Numa prensagem unidireccional não existe uniformidade na densificação⁷. Assim sendo, houve o intuito de se caracterizarem as diferentes variações dimensionais segundo diferentes eixos. A sùmula dos resultados obtidos é apresentada na Tabela 3.

A anisotropia verificada é mais elevada nas operações precedentes à cozedura, isto é, há mais anisotropia na retracção verde-seco do que na retracção seco-cozido. Existe uma forte diferença na expansão à saída do molde quando medida sobre o comprimento ou sobre a largura sendo esta bastante mais elevada segundo a largura. Tal dever-se-á ao facto de sobre o comprimento os grãos terem um maior espaço para se reorganizarem e não se gerar tanta energia elástica responsável pela referida expansão das peças à saída do molde. De referir ainda, que os processos de conformação que introduzem maior anisotropia nas peças são a extrusão e o enchimento. Tal facto deverá ser devidamente acautelado para, por exemplo, se obterem no final peças cerâmicas com as medidas finais, sobre todas as direcções, de acordo com o pretendido.

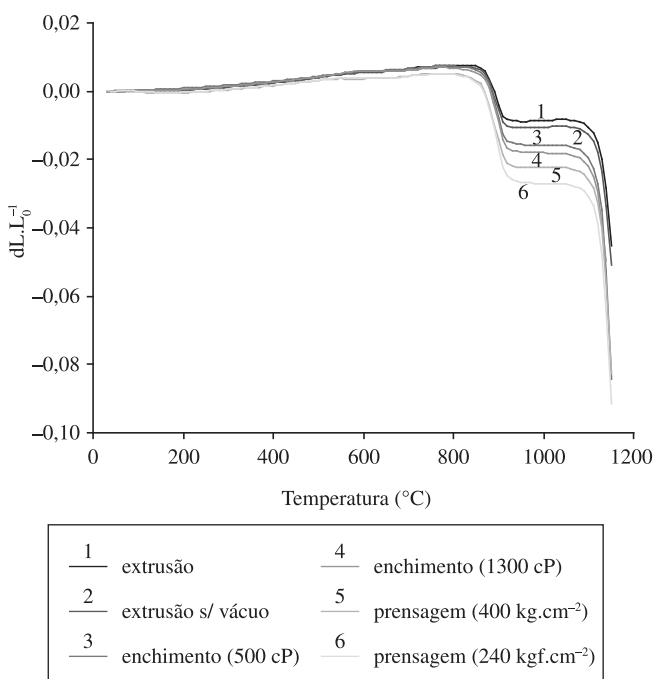


Figura 2. Análises dilatométricas de amostras processadas por diversos métodos de conformação.

Tabela 2. Resultados para a retração seco-cozido, módulo de rotura à flexão e percentagem de absorção de água de provetes conformados por extrusão, por enchimento e por prensagem a seco.

Parâmetro	Extrusão		Enchimento		Prensagem	
	Com vácuo	Sem vácuo	1300 cP	500 cP	240 kgf.cm ⁻²	400 kgf.cm ⁻²
% Retração S-C	1,74	1,86	1,78	1,86	2,59	2,20
MR _{cozido} (N.mm ⁻²)	62,49	46,78	13,85	21,73	8,45	14,0
% Absorção de água	19,54	19,53	20,17	24,02	27,57	30,50

Tabela 3. Resultados de diversas variações dimensionais sofridas pelas amostras ao longo de todo o processo cerâmico.

Parâmetro	Extrusão		Enchimento		Prensagem	
	Com vácuo	Sem vácuo	1300 cP	500 cP	240 kgf.cm ⁻²	400 kgf.cm ⁻²
% Ret. V-S (altura)	–	–	3,59	2,16	±0	±0
% Ret. V-S (comprimento)	5,17	4,51	3,97	4,94	±0	±0
% Ret. V-S (largura)	–	–	3,64	1,63	±0	±0
% Ret. V-S (diâmetro)	3,52	2,45	–	–	–	–
% Expansão à saída do molde (comprimento)	–	–	–	–	0,26	0,04
% Expansão à saída do molde (largura)	–	–	–	–	4,15	3,92
% Ret. S-C (altura)	–	–	2,84	1,13	2,30	2,61
% Ret. S-C (comprimento)	1,38	1,27	1,13	2,05	2,79	1,79
% Ret. S-C (largura)	–	–	1,36	2,40	2,67	2,19
% Ret. S-C (diâmetro)	2,11	2,46	–	–	–	–

4. Conclusão

Produtos obtidos por extrusão apresentam superior resistência mecânica em todas as fases do processo cerâmico.

As amostras produzidas por prensagem a seco são as que evidenciam uma menor anisotropia na variação de tamanho ao longo do processo de fabrico. Para a obtenção de peças com tamanhos rigorosos, segundo os três eixos possíveis de direcção, é requerida a compensação diferenciada para cada uma das direcções.

As retrações na cozedura são superiores para amostras que apresentem menor grau de densificação quando secas, mesmo utilizando ciclos térmicos idênticos. Para baixas temperaturas de cozedura, esta etapa, não consegue a uniformização de todas as propriedades no produto cozido.

Apesar de diferentes amostras apresentarem o mesmo nível de absorção de água, decorrente da utilização de ciclos térmicos idênticos, manifesta-se evidente que o grau de compactação atingido no processo de conformação assume uma importância fundamental no comportamento mecânico das amostras após cozedura, isto é, produtos com a mesma ou idêntica percentagem de absorção de água apresentam diferentes valores de resistência mecânica à flexão que revelam já as tendências evidenciadas após secagem.

Referências

- RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, J. M.; LABRINCHA, J. A. Aspectos Fundamentais sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas. *Cerâmica Industrial*, Janeiro/Fevereiro 2003.
- RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, J. M.; LABRINCHA, J. A. Plastic behaviour of different ceramic pastes processed by extrusion. *Ceramics International*, v. 31, p. 515-519, 2005.
- DEGARMO, E. P.; BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. **Materials and processes in manufacturing**. 9th edition. [S.l.]: Wiley, 2003.
- AMORÓS ALBERO, J. L. A operação de prensagem: considerações técnicas e a sua aplicação industrial, Parte I: O preenchimento das cavidades do molde. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 5, Setembro/Outubro 2000.
- GROOVER, M. P. **Fundamentals of modern manufacturing**. 2nd edition. [S.l.]: Wiley International Edition, 2002.
- AMORÓS ALBERO, J. L. A operação de prensagem: considerações técnicas e a sua aplicação industrial, Parte V: Descrição da etapa de prensagem. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 3, Maio/Junho 2001.
- FONSECA, A. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000.
- AMORÓS ALBERO, J. L. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial - Parte III: Variáveis do Processo de Compactação. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 1, Janeiro/Fevereiro 2001.
- DE PAULA, G. R.; QUINTEIRO, E.; BOSCHI, A. O. Efeito do Teor de Umidade e da Pressão de Prensagem sobre as Características de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 2, n. 3/4, Maio/Agosto 1997.
- CARRETERO, M. I. et al. The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays. *Applied Clay Science*, v. 20, p. 301-306, 2002.
- MURRAY, H. H. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, v. 17, p. 207-221, 2000.
- LOGINOVA, M. et al. Fluidity of highly concentrated kaolin suspensions: Influence of particle concentration and presence of dispersant. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, v. 325, p. 64-71, 2008.