



V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
V EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
22 e 23 de outubro de 2020



DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES DE TRATAMENTO E CONVERSÃO DE DADOS PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS MESTRAS DE SINTERIZAÇÃO

MAYARA EID ORLANDINI¹, HUYRÁ ESTEVÃO DE ARAÚJO²

¹Graduanda em Engenharia Elétrica, Bolsista CNPq/PIBITI, IFSP Campus Piracicaba, mayaraeid@gmail.com

² Professor Doutor, IFSP Campus Piracicaba, huyraestevao@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.02-0

RESUMO: Para que os materiais cerâmicos obtenham ótimas performances esses materiais devem passar por etapas de processamento, sendo umas dessas etapas a sinterização. A sinterização é tida como o estágio no qual o material cerâmico é submetido a elevadas temperaturas buscando que sua microestrutura se altere, resultando em uma densidade diferente da inicial. Um método útil para se analisar a sinterização é por meio da construção de Curvas Mestras de Sinterização (MSC) que tem o objetivo de mostrar, de maneira gráfica, a evolução da densidade em função de parâmetros variáveis de tempo e temperatura. Sabendo disso, torna-se fundamental estudar como a densidade dos materiais cerâmicos se comporta quando esses recebem energia térmica e, para otimizar esse processo de análise, é fundamental o desenvolvimento de softwares de tratamento de dados relacionados ao processamento cerâmico.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmica; sinterização; densidade; software; filtragem.

INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos estão presentes nos mais variados setores da indústria mesmo que estes ainda não tenham conseguido grande destaque (MATIZAMHUKA, 2018). Visando que propriedades adequadas sejam adquiridas para que estes materiais possam ser implementados em larga escala no setor industrial, os mesmos devem passar por etapas de processamento. Neste processamento cerâmico destaca-se a sinterização, definida como um processo ativado termicamente, resultando na movimentação de átomos e íons, alterando a densidade do mesmo (POUCHLY; MACA, 2010).

Uma das possíveis formas de se analisar a sinterização cerâmica é construindo Curvas Mestras de Sinterização. Essas curvas nada mais são do que um método gráfico que relaciona a evolução da densidade do corpo cerâmico quando tal corpo é exposto a elevadas temperaturas durante certo período de tempo (POUCHLY; MACA, 2010). Percebe-se que a análise da densidade é uma etapa fundamental para a futura construção das MSCs e, portanto, este fenômeno deve receber certa atenção.

Como as Curvas Mestras de Sinterização são criadas através da junção de métodos teóricos e experimentais (WANG; TENG, 2010), esses dados devem receber um tratamento antes de serem destinados a construção das MSCs. Na maioria dos casos, os dados experimentais incluem valores de retração e então é necessário converter esses valores para valores de densidade (RAY et al., 2012).

Os cálculos envolvidos no processo de construção das Curvas Mestras de Sinterização são complexos e, objetivando uma inspeção mais eficaz dessa etapa de processamento, desenvolveu-se softwares auxiliares que tratam os dados experimentais para que esses, futuramente, gerem as MSCs.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os materiais cerâmicos avançados demonstram ótima performance quando são submetidos a condições atípicas. Embora o desempenho desses materiais seja satisfatório, as cerâmicas ainda não conseguiram adentrar o setor industrial de forma ampla (MATIZAMHUKA, 2018).

Mesmo que a expressividade dos materiais cerâmicos ainda não seja de grande relevância, por meio de estudos, pesquisas e testes comprovou-se a capacidade que os mesmos têm de compor as mais diversas áreas: eletrônica, engenharia química, automobilística, espacial, saúde, setor da energia entre outros. Sabe-se então que, de fato, os materiais cerâmicos propiciam um enorme avanço tecnológico e científico, permitindo que esse progresso ocorra de maneira sustentável (DEY; RANGAPPA; MADHUSOODANA, 2019).

Para que os materiais cerâmicos consigam atingir boas performances é necessário que algumas etapas sejam seguidas. Uma dessas etapas é a sinterização, definida como a técnica utilizada para obter, assim que aplicada determinada quantidade de energia térmica, materiais com densidade controlada. Na sinterização ocorre a junção de partículas como resultado do crescimento de grãos e retração de poros que constituem a microestrutura do material. Essa modificação na microestrutura cerâmica acontece devido a métodos de difusão e, como resultado a densidade do corpo aumenta (CARTER et al., 2007).

Os parâmetros analisados nessa etapa do processamento cerâmico são temperatura, tempo e ambiente. Outros fatores como tamanho do grão, densidade inicial da partícula bem como tensão aplicada influenciam nas propriedades finais que esse material apresentará (BORDIA; KANG; OLEVSKY, 2017).

Um dos métodos que permite a análise do processo de sinterização é conhecido como Curva Mestre de Sinterização (MSC), desenvolvido por Su e Johnson (1996). A MSC é definida como um método gráfico que permite a análise da evolução da densidade do material cerâmico quando este é submetido a diferentes taxas de temperaturas durante um período de tempo pré estabelecido (HUNGHAI; JOHNSON, 1996). O formato dessa curva, obtido por meio da Equação 1, é sigmoïdal.

$$\frac{k}{y \Omega \delta D_0} \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{(G(p))^n}{3 \rho \Gamma(\rho)} d\rho = \int_0^t \frac{1}{T} \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) dt \quad (1)$$

onde,

k - constante de Boltzmann,

y - energia da superfície

Ω - volume atômico

δ - espessura do limite do grão

D_0 - coeficiente de difusão de limite de grão

G - tamanho médio do grão

ρ - densidade

Γ - fatores geométricos

t - tempo

T - temperatura

Q - energia de ativação

R - constante universal dos gases ideais

Pelo fato da Equação 1 apresentar inúmeras variáveis relacionadas a microestrutura do grão optou-se por criar uma variável θ , dependente do tempo e temperatura, com o intuito de facilitar o equacionamento bem como possibilitar a construção da MSC. Esse procedimento é observável na Equação 2.

$$\theta(t, T(t)) = \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{1}{T} \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) dt \quad (2)$$

onde,

t - tempo

T - temperatura

ρ - densidade

Q - energia de ativação

R - constante universal dos gases ideais

A submissão das amostras de materiais cerâmicos a elevadas temperaturas, faz com que esses corpos alterem suas dimensões. Essa variação é conhecida como retração e, analisar esse fenômeno é uma etapa fundamental para compreender o processamento cerâmico, visto que esse estudo permite, futuramente, a construção de Curvas Mestras de Sinterização e conseqüentemente a análise completa da sinterização cerâmica (MACA; POUCHLY; BOCCACCINI, 2008). A análise da densidade das partículas, portanto, apresenta certa vantagem uma vez que permite monitorar a retração sofrida pelo material conforme parâmetros específicos sofrem variações e é neste cenário que a Curva Mestre de Sinterização ganha grande importância, já que é a única maneira de se relacionar o comportamento da densidade em função de parâmetros de tempo e temperatura combinados (RAY et al., 2012).

Para a elaboração de tal gráfico, no entanto, além de relacionar os parâmetros de tempo, temperatura e energia de ativação, como feito por Su e Johnson (1996), é necessário que se relacione os valores de retração, ou seja, as taxas de encolhimento sofridos pela partícula, com a densidade do material. Tal relação é demonstrada na Equação 3 (RAY et al., 2012).

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{1}{1 + \Delta L / L_0} \right)^3 \quad (3)$$

onde,

ρ – densidade

L_0 - comprimento inicial

ΔL - a variação de tamanho

Analisando a teoria e as expressões matemáticas descrita anteriormente fica nítido que o processo de construção da MSC que possibilita uma análise detalhada da sinterização é árduo. Visando a otimização, este estudo consiste no desenvolvimento de um software que trate os dados experimentais para que tais valores consigam ser inseridos em um outro software que, posteriormente, permitirá a criação das MSCs.

METODOLOGIA

Para que o desenvolvimento e execução desse presente estudo tornasse-se possível foi necessário subdividi-lo em tópicos.

O primeiro estágio do projeto consistiu na busca bibliográfica objetivando que um maior entendimento sobre os materiais cerâmicos fosse adquirido. O enfoque, dentro da área das cerâmicas, foi dado ao processo de sinterização, Curvas Mestras de Sinterização e análise do comportamento da densidade de materiais cerâmicos no processo de sinterização.

Após o entendimento sobre os assuntos necessários, iniciou-se a busca bibliográfica no que diz respeito a linguagem de programação que o software foi desenvolvido: o Python. Nesse estágio foram analisadas outras possíveis linguagem, como a C, porém, optou-se pelo Python pela razão de ser uma linguagem de alto nível, por possuir uma série de bibliotecas que otimizam o processo de construção do programa e por, nos dias atuais, ser bastante conhecida, dando a possibilidade para futuras colaborações. Toda a busca realizada para se aprofundar na linguagem Python foi realizada através de materiais de livre acesso disponibilizados de maneira gratuita na internet.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de construir, futuramente, Curvas Mestras de Sinterização, desenvolveu-se softwares auxiliares de tratamento de dados para que os dados experimentais, antes de serem destinados a construção dessas curvas, fossem melhorados e deixados prontos para serem inseridos no software gerador de MSCs.

É válido saber que os dois softwares que serão citados nesta seção trabalham paralelamente ao Excel, com a extensão de documentos xlsx. Para o funcionamento de ambos é necessário inserir nos programas uma tabela com três colunas identificadas com “tempo”, “temperatura” e “retração”. Como esses dados são provenientes de experimentos, a quantidade de linhas presentes nas tabelas, é numerosa.

O primeiro software, conhecido como “Filtragem de dados” (Figura 1) tem a finalidade de diminuir a quantidade de dados de tempo, temperatura e retração. Essa redução é justificada uma vez que uma menor quantidade de dados não sobrecarrega a máquina no qual o programa está instalado, acelerando todo o processo seguinte. A lógica que o algoritmo utiliza para realizar tal redução é, após fazer a leitura de todos os dados presente na tabela que será inserida no programa, realizar uma média aritmética utilizando o parâmetro tempo como referência. O algoritmo, a cada período de 3 segundos, soma os valores de retração, armazenando-os em uma variável e repete o processo para os valores de temperatura. Após isso, divide as variáveis de armazenamento pela quantidade de dados que foram somados, substituindo esses dados pelo valor da média calculada.

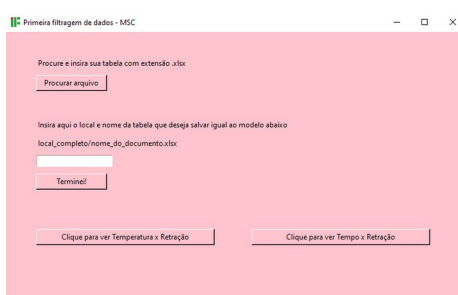


Figura 1: Interface gráfica do software de filtragem de dados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram realizados testes e comparando esses testes com a literatura percebeu-se que, além do processo reduzir a quantidade de possíveis ruídos provenientes de experimentos, informações não são perdidas e o resultado final não é alterado. Na Figura 2 é possível observar o comportamento da retração pelo tempo de um material cerâmico (Barbotina) quando este não passa pela filtragem de dados e, comparando com a Figura 3, que passou pela redução da quantidade de dados, comprovar a afirmação acima, visualizando que a perda de informações não acontece.

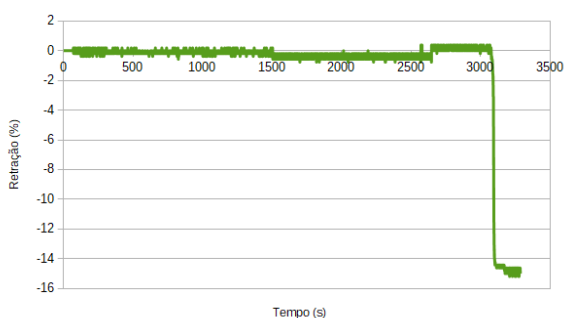


Figura 2: Comportamento da retração em função do tempo sem filtragem de dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

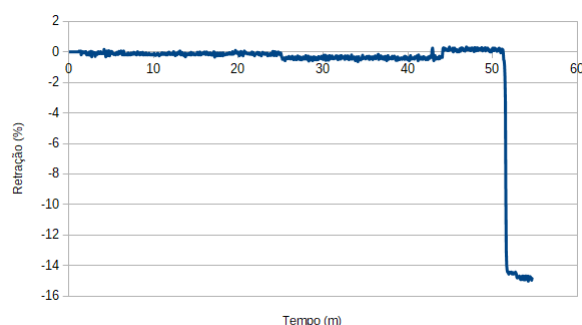


Figura 3: Comportamento da retração em função do tempo com filtragem de dados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste exemplo, a tabela inicial contava com 10164 dados e após passar pelo software resultou em 1095 dados, ocorrendo uma redução de aproximadamente 90%, sem que a compreensão fenomenológica

fosse comprometida e viabilizando que tais dados fossem utilizados como entrada para outros softwares sem a requisição de hardwares avançados de processamento.

O segundo software desenvolvido consiste em converter os valores de retração que foram obtidos experimentalmente em valores de densidade que, futuramente, serão utilizados na construção da MSC. Sua interface é semelhante ao software anterior e pode ser visualizada na Figura 4 e 5.

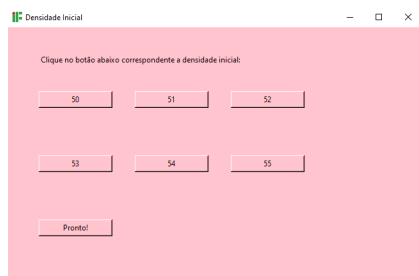


Figura 4: Interface gráfica do software de conversão
Fonte: Elaborada pelo autor.

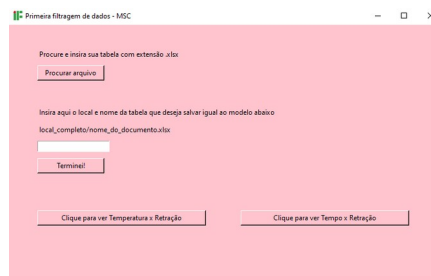


Figura 5: Interface gráfica do software de conversão.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente, é necessário que se insira o valor da densidade inicial da amostra. Tal valor pode ser encontrado realizando uma busca na literatura. Após isso realiza-se a leitura dos dados de tempo, temperatura e retração inseridos no programa por meio de uma tabela e, depois, variáveis captam os valores contidos nessa tabela e inserem os números na Equação 3, apresentada na seção de fundamentação teórica. Os valores são armazenados em uma nova tabela e, após esse processo, é possível prever o comportamento da densidade em função do tempo e da temperatura, resultado importante para análise e estudo do processamento cerâmico. Nas Figuras 6 e 7 é possível analisar o comportamento da densidade de outro material cerâmico (BCY). A densidade do material tende a aumentar durante o processo de sinterização ao qual esse é submetido e, observando os gráficos, percebe-se tal aumento.

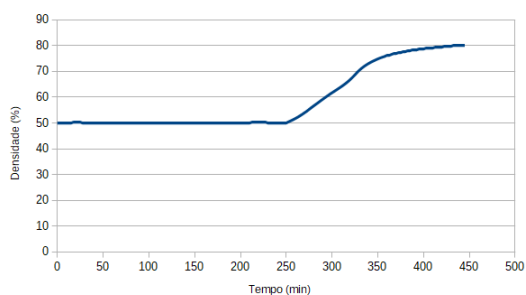


Figura 6: Comportamento da densidade em função do tempo.
Fonte: Elaborada pelo autor.

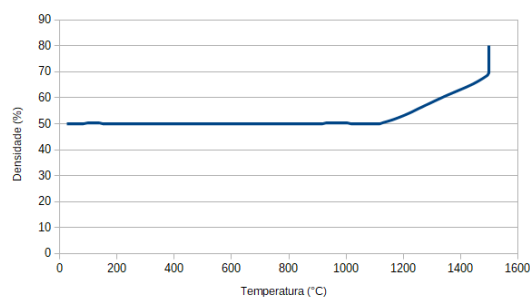


Figura 7: Comportamento da densidade em função da temperatura.
Fonte: Elaborada pelo autor.

Adicionalmente, a possibilidade de exibição do comportamento da densidade em função da temperatura e do tempo consolida-se como ferramenta fundamental para a compreensão dos mecanismos de sinterização e conseqüentemente controle dessa etapa do processamento.

CONCLUSÕES

É evidente que os materiais cerâmicos ainda não possuem lugar de destaque na indústria porém, é fato que os mesmos apresentam propriedades adequadas para expandir o meio em que são aplicados. A única

forma de transformar tal situação é por meio do estudo e pesquisa e, é com base nessa afirmação, que torna-se imprescindível analisar o processamento cerâmico com enfoque na etapa de sinterização cerâmica.

A construção dos softwares descritos anteriormente tem, basicamente, a função de preparar os dados experimentais para que, em um futuro breve, tais dados consigam dar origem a uma Curva Mestra de Sinterização, permitindo assim, que a análise do processamento cerâmico seja realizada.

O software de filtragem de dados otimiza o processo e é essencial uma vez que colabora para que todos os estágios seguintes a ele não sejam sobrecarregados. O software de conversão de dados, por sua vez, é fundamental pois consegue realizar a transformação dos valores de retração para valores de densidade em questões de segundos, aperfeiçoando a análise da sinterização e a construção das MSCs.

O fato dos softwares serem desenvolvidos em python, linguagem de programação acessível, permite que, através de colaborações com outros desenvolvedores, o processo de aperfeiçoamento dos mesmos ocorra de maneira contínua e acelerada.

Objetiva-se que com softwares e consequentemente com a otimização de métodos de análise do processamento cerâmico, esses materiais consigam adentrar nos mais diversos setores.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Piracicaba, ao orientador e ao CNPq por possibilitar o desenvolvimento do projeto por meio da bolsa de auxílio financeiro PIBIC e PIBITI..

REFERÊNCIAS

BORDIA, R. K.; KANG, S.-J. L.; OLEVSKY, E. A. CURRENT UNDERSTANDING AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS AT THE ONSET OF THE NEXT CENTURY OF SINTERING SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Journal of the American Ceramic Society**, p. 2314–2352, 2017.

CARTER, C. B. et al. Sintering and Grain Growth. In: **Ceramic Materials**. New York, NY: Springer New York, 2007. p. 427–443.

DEY, A.; RANGAPPA, D.; MADHUSOODANA, C. D. Advanced ceramics and nanomaterials for sustainable development. **Ceramics International**, v. 45, n. 18, p. 24955–24956, 2019.

HUNGHAI, S.; JOHNSON, D. L. L. Master Sintering Curve: A Practical Approach to Sintering. **Journal of American Ceramic Society**, v. 79, n. 12, p. 3211–17, 1996.

MACA, K.; POUCHLY, V.; BOCCACCINI, A. R. Sintering densification curve - A practical approach for its construction from dilatometric shrinkage data. **Science of Sintering**, v. 40, n. 2, p. 117–122, 2008.

MATIZAMHUKA, W. R. Advanced ceramics — The new frontier in modern-day technology: Part I. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 118, n. 7, p. 757–764, 2018

POUCHLY, V.; MACA, K. Master sintering curve - A practical approach to its construction. **Science of Sintering**, v. 42, n. 1, p. 25–32, 2010.

RAY, A. et al. Construction of master sintering curve of ThO₂ pellets using optimization technique. **Science of Sintering**, v. 44, n. 2, p. 147–160, 2012.

WANG, S. Y.; TENG, M. H. Why a master sintering curve model can be applied to the sintering of nano-sized particles? **Journal of Alloys and Compounds**, v. 504, n. SUPPL. 1, p. S336–S339, 2010