

## Utilização das Sub-rotinas DRD para Ajustar a Retração de Queima e a Absorção de Água de Produtos Extrudados\*

**Dennis R. Dinger**<sup>\*1</sup>

*Dinger Ceramic Consulting Services, 103 Augusta Rd, C.P. 29631 Clemson - SC, USA*

*www.dingerceramics.com*

*\*1 e-mail: dennis@DingerCeramics.com*

**Resumo:** Neste trabalho discute-se a aplicação das sub-rotinas DRD para o cálculo dos valores de porosidade mínima, bem como outros fatores que influenciam a retração de queima e a absorção de água. Para isso, neste trabalho, assume-se que todas as outras variáveis que influenciam a retração de queima e a absorção de água estão sob controle, ou seja, fixadas.

**Palavras-chave:** *processamento, extrusão, distribuição de tamanho de partículas*

### 1. Variáveis que Afetam a Retração de Queima e a Absorção de Água

A retração de queima e a absorção de água estão obviamente relacionadas. Este fato ocorre, pois na medida em que os poros entre as partículas primárias de um compacto são eliminados, a porosidade aberta (capaz de absorver água) que permanece na peça queimada torna-se menor. Dessa forma, a **porosidade entre as partículas primárias** nos estágios verde e seco é uma variável fundamental relacionada com a retração de queima e a absorção de água. Esta é a variável de controle que deu origem às seguintes questões: Qual é a porosidade do produto extrudado? Como se controla a porosidade de produtos extrudados? Como é que a porosidade entre as partículas primárias, das peças, se relaciona com a distribuição de tamanhos de partículas dos pós?

A outra variável fundamental que relaciona a porosidade entre as partículas primárias com a retração de queima e a absorção de água, é o **comportamento de queima**. Será o objetivo queimar e sinterizar a peça até porosidade nula? Será que o corpo contém uma fase líquida que cimenta todas as partículas? Até que ponto o corpo realmente maturou durante a queima?

Quando todas as peças são queimadas até porosidade nula, a retração de queima está diretamente relacionada com a porosidade da peça seca, não queimada. Quando a

queima não elimina toda a porosidade e a absorção de água tem valores finitos positivos, ou a queima se traduz em absorções de água que variam de dia para dia dentro de uma gama de valores, então não existe uma correlação estreita entre a retração de queima e a porosidade.

Para simplificar a organização deste artigo, considera-se que cada produto tem a absorção de água final desejada, constante, que é regularmente atingida. Em outras palavras, considera-se que os trabalhadores em cada unidade de produção sabem como monitorar e controlar a queima de seus produtos de forma a obter absorção de água constante e com o valor desejado. Impondo estas restrições de queima, pode-se analisar mais facilmente as variáveis que afetam a retração de queima de peças extrudadas.

#### 1.1. Efeitos da porosidade sobre a retração de queima

Se um compacto contém 40% de porosidade entre as partículas primárias, e a queima elimina toda essa porosidade, a retração de queima será bastante elevada. Se a porosidade entre as partículas primárias for conhecida, a retração de queima poderá ser calculada. Considerando uma peça seca com 1000 cm<sup>3</sup> e 40% em volume de porosidade entre as partículas primárias, queimada até porosidade nula

---

\*As sub-rotinas DRD são um conjunto de funções criadas por Dennis R. Dinger que trabalham com o programa de cálculo MS Excel® e permitem fazer cálculos de distribuições de tamanhos de partícula, áreas superficiais, números de partículas e parâmetros de empacotamento. Como muitos dos equipamentos de análise de tamanhos de partículas são totalmente compatíveis com o MS Windows® e o MS Excel®, os dados podem ser facilmente exportados pelo equipamento e importados para a folha de cálculo, onde podem ser tranqüilamente manipulados com o auxílio destas funções.

e absorção de água nula, irá apresentar um volume final de  $600 \text{ cm}^3$  (o volume original menos a porosidade). Se a porosidade entre as partículas primárias da peça seca for superior a 40%, a retração de queima até porosidade nula será ainda maior. Se a porosidade entre as partículas primárias da peça seca for inferior a 40%, a retração de queima até porosidade nula será menor. Por exemplo, se a peça de  $1000 \text{ cm}^3$  tiver apenas 10% de porosidade, a peça queimada ficará com  $900 \text{ cm}^3$ .

Estes dados mostram que o tamanho final (após queima) das peças produzidas por uma mesma feira, varia conforme a oscilação da porosidade entre as partículas primárias na peça verde e seca. Porém, a porosidade entre as partículas primárias é afetada pela variação da distribuição de tamanhos de partículas (DTP). Pode-se obter uma estimativa da porosidade entre as partículas primárias a partir da DTP, usando as sub-rotinas *DRD*. Deve-se considerar, no entanto, que as porosidades entre as partículas primárias reais nunca serão tão baixas quanto as estimativas calculadas. Em sistemas defloculados, a porosidade entre as partículas primárias acompanha e corresponde ao valor mínimo calculado: quanto menor for o valor calculado, menor será o valor real. Por esta razão, a alteração da DTP para diminuir a porosidade mínima calculada deverá traduzir-se em melhor empacotamento nas suspensões e nas massas para a conformação.

**Todavia**, quando as suspensões e as massas estão **floculadas**, ou até mesmo apenas parcialmente floculadas, as porosidades reais podem não ter qualquer relação com as porosidades mínimas calculadas a partir das DTPs. A viscosidade e as propriedades reológicas de suspensões floculadas são quase sempre favorecidas por DTPs com baixas porosidades mínimas calculadas, mas as porosidades entre as partículas primárias nos estágios verde e seco de massas floculadas são controladas pela floculação, e não pela DTP.

As DTPs consideradas excelentes do ponto de vista do empacotamento, são as mesmas que conferem baixas viscosidades em sistemas defloculados, independentemente do teor de sólidos considerado. Quando se pretende obter suspensões de **viscosidades mais baixas** para um teor de sólidos mais elevado, deve-se trabalhar a **DTP** das partículas mais adequada (ou seja, melhorar a DTP para se conseguir um valor mais baixo da **porosidade mínima calculada**), **deflocular** o sistema, e elevar o **teor de sólidos da suspensão**. Estas cinco variáveis estão estreitamente relacionadas. Cada DTP terá um teor de sólidos máximo com o qual pode ser usada na prática. Por outro lado, quando se deseja trabalhar com um teor de sólidos mais baixo, só é necessário diluir e flocular as suspensões e as massas. Não é necessário alterar a DTP.

Numa suspensão de uma boa DTP, defloculada e com elevado teor de sólidos, a porosidade entre as partículas primárias será mínima, a retração de secagem será mínima,

e a retração de queima também será mínima. A retração de queima estará relacionada com a porosidade entre as partículas primárias real, a porosidade entre as partículas primárias calculada, e a DTP na massa defloculada. Numa suspensão floculada com baixo teor de sólidos, a porosidade entre as partículas primárias será alta e a retração de queima será alta. A retração de queima estará relacionada com a porosidade entre as partículas primárias real na massa floculada, mas não com a porosidade entre as partículas primárias calculada nem com a DTP na massa floculada.

A otimização (do ponto de vista do empacotamento) da DTP de qualquer massa contribui para a redução da viscosidade e a otimização das propriedades reológicas, mas não necessariamente na porosidade entre as partículas primárias nem na retração de queima. Se o objetivo é um corpo realmente denso com alto teor de sólidos, então a DTP **deve ser** melhorada e a massa geralmente terá que ser pelo menos parcialmente defloculada para se obter viscosidades praticáveis com o elevado teor de sólidos. Os corpos conformados serão então razoavelmente densos e as retrações na secagem e na queima serão relativamente baixas. Quando a prioridade não é um corpo denso, a DTP não é crítica, o teor de sólidos não é crítico, as massas e as suspensões são frequentemente (e preferivelmente) floculadas, e as retrações de queima irão apresentar pouca relação com a porosidade entre as partículas primárias calculada.

Esta explicação foi apresentada para demonstrar que as retrações de queima estão relacionadas com a DTP dos pós em alguns sistemas, mas não em todos os sistemas. Dependendo de quais propriedades da massa são importantes e de como as massas são controladas, assim a DTP e as porosidades mínimas calculadas poderão ou não estar relacionadas com a retração de queima.

## *1.2. Efeitos da distribuição de tamanhos de partículas sobre a porosidade*

Quando a DTP afeta realmente a porosidade, qual é a relação entre as duas? A distribuição de tamanhos de partículas dos pós de uma massa é a variável principal que acaba controlando a porosidade nesse tipo de compacto. Uma monodispersão de partículas (todas as partículas são de um só tamanho) originará porosidades de cerca de 40%. Uma distribuição larga, projetada para apresentar empacotamento perfeito, poderá conduzir a, por exemplo, uma porosidade final de 5%. Em cada um destes dois sistemas, se a mistura for *perfeita*, as porosidades mínimas calculadas (40% e 5%) poderão ser atingidas.

Como se reduz a porosidade mínima calculada? Melhorando a capacidade de empacotamento da distribuição de tamanhos de partículas. Como? A equação da distribuição de tamanhos de partículas que conduz ao empacotamento máximo é:

$$\text{CPFT}/100 = (D^n - D_s^n)/(D_L^n - D_s^n) \quad (1)$$

onde CPFT = porcentagem acumulada abaixo de (*cumulative percent finer than*), D = tamanho de partícula,  $D_L$  = tamanho da maior partícula,  $D_s$  = tamanho da menor partícula, e n = módulo da distribuição.

Para melhorar o empacotamento e diminuir a porosidade, é necessário que a distribuição seja tão larga quanto possível (ou seja, que cubra a gama mais larga possível de tamanhos de partículas), e que satisfaça esta equação com um módulo de distribuição  $n = 0,37$ . Na realidade, não é muito prejudicial (em termos de porosidades calculadas) procurar atingir módulos de distribuição mais baixos, entre  $n = \sim 0,37$  e  $n = \sim 0,20$ . Baixar o módulo da distribuição não afeta muito a porosidade, mas frequentemente implica incluir mais finos na distribuição, o que ajuda na viscosidade e propriedades reológicas.

Em termos práticos, o que isto significa? Uma distribuição que empacote realmente bem tem a distribuição de tamanhos adequada para que as partículas mais finas empacotem em todos os poros disponíveis criados no empacotamento das partículas mais grossas. Uma das maneiras de compreender isto é imaginar uma monodispersão com os seus 40% de poros. Determinar que tamanhos de partículas podem ser acomodados em cada um dos poros e adicioná-las à distribuição. Este procedimento cria mais poros, menores. Determinar que tamanhos de partículas podem agora ser acomodados em cada um destes novos poros e adicioná-las à distribuição. Continuar este procedimento até se esgotarem as partículas mais finas a serem empacotadas. Esta é uma das maneiras de criar uma DTP de empacotamento denso. Esta explicação não considera distribuições contínuas de partículas, mas a idéia é sempre a mesma. Quando existem poros, é necessário adicionar partículas com o tamanho adequado para encher esses poros. Na medida em que isto for ocorrendo, a porosidade vai diminuindo.

A Eq. 1 descreve as DTPs que estão de acordo com esta explicação, mas a equação pressupõe que a distribuição de tamanhos de partículas é contínua – isto é, o pó contém todos os tamanhos de partícula possíveis. A equação também pressupõe condições de semelhança no empacotamento de todas as partículas – isto é, pedras estão rodeadas por partículas menores de forma semelhante à maneira como grãos de areia estão rodeados por partículas mais finas. Quando o empacotamento em torno de cada partícula de um tamanho é semelhante ao empacotamento em torno das partículas de todos os outros tamanhos, existem condições de semelhança no empacotamento. E a condição de semelhança é uma característica de equações com a forma da Eq. 1.

### 1.3. Efeitos de mistura

O empacotamento das partículas em um compacto não depende exclusivamente da DTP. Não é tão simples assim.

Distribuições perfeitas de tamanhos de partículas não empacotarão perfeitamente se as partículas não forem adequadamente (homogeneamente) misturadas. Considere uma distribuição de tamanhos de partículas que satisfaça perfeitamente a Eq. 1. Será uma distribuição larga de partículas, contendo desde partículas realmente grossas até partículas realmente finas e o módulo da distribuição será perfeito ( $n = 0,37$ ). Esta distribuição *perfeita* tanto pode empacotar com porosidade de 40% como com a porosidade mínima (empacotamento perfeito), ou com qualquer outra entre as duas.

Como é que uma distribuição *perfeita* pode empacotar com 40% de porosidade? Quando a distribuição está totalmente heterogênea e todas as partículas estão segregadas por tamanhos, de forma a empacotarem só com as outras do mesmo tamanho. O empacotamento será semelhante ao de um sistema monodisperso. Para compreender melhor, Considere um sistema que contém uma distribuição perfeita de bolas de basquete, de futebol, de voleibol, de handebol, de beisebol, de golfe e de bolinhas de gude. Esta distribuição pode ser empacotada com um fator de empacotamento (FE) de 80%, que corresponde a 20% de porosidade. Mas como é que pode empacotar a 40% de porosidade?

Se todas as bolas de basquete se empacotarem entre si, haverá 40% de porosidade entre elas. Se a camada seguinte, por cima delas, for a das bolas de futebol, seu empacotamento será também de 40% de porosidade. Continuando deste modo e adicionando uma camada de bolas de voleibol (a 40% de porosidade), uma camada de bolas de handebol (a 40% de porosidade), etc., o sistema global também terá uma porosidade de  $\sim 40\%$ . Apesar de ser uma distribuição perfeita, ainda assim pode empacotar a 40% de porosidade.

Se o volume total neste exemplo for bem misturado (e as camadas de um só tamanho deixarem de existir), a porosidade da distribuição passará a ser bem inferior a 40%. Caso queira comprovar este exemplo, faça a seguinte experiência para comprovar o argumento. A experiência é a seguinte: defina uma distribuição com empacotamento excelente que satisfaça a Eq. 1; separe todos os tamanhos de partículas usando peneiras; e empacote os pós numa proveta graduada por ordem de tamanhos – grossos primeiro, finos por último. Não use vibração para ajudar a empacotar os pós na proveta – verta, simplesmente, na proveta uma classe de tamanhos de pó de cada vez, grossos primeiro, finos por último. Quando tiver vertido todos os pós, anote o volume total ocupado. Em seguida, verta os pós num recipiente, agite e misture bem, e verta a mistura de novo na proveta. O resultado deverá ser um empacotamento muito melhor, que ocupa um volume menor na proveta.

Moral da história? Distribuições *perfeitas* de tamanhos de partículas, se não forem bem misturadas, **não** originarão as porosidades esperadas. A mistura, portanto, é importante para se ter sucesso na obtenção de porosidades controladas.

#### 1.4. Efeitos dos aditivos

Podem as distribuições empacotar de forma a conferir porosidades superiores a 40%? Podem, sim. No exemplo anterior, imagine que todas as bolas de basquete, futebol, voleibol, etc., foram pintadas com cimento-cola antes de serem largadas no recipiente. Quando partículas revestidas como estas são vertidas num recipiente, as porosidades podem ser de 50% ou ainda maiores. Quando as partículas não podem escorregar umas sobre as outras e, pelo contrário, ficam coladas entre si no ponto de contato inicial, surgem porosidades elevadas. Talvez você não esteja usando cimento-cola na formulação de seus produtos, mas muitos produtos extrudados usam ligantes, que são primos afastados do cimento-cola. Alguns produtos contêm partículas extremamente rugosas e partículas extremamente finas (coloidais) com áreas superficiais particularmente elevadas. Seu comportamento é idêntico!

Muitas massas de conformação são floculadas, e a floculação também é prima afastada do cimento-cola. A floculação faz com que as partículas se juntem, formem cadeias e em seguida estruturas tridimensionais de um gel cheio de canais de poros. Muitos destes canais são bastante largos. Uma distribuição de tamanhos de partículas de empacotamento perfeito nunca empacotará densamente se for usada no estado floculado. Para se ver um empacotamento perfeito, os sistemas têm que estar extremamente defloculados. Mas defloculação extrema pode ser ruim para a reologia, e, por isso, não é desejável.

Outra questão sobre aditivos é a mistura. É relativamente fácil misturar defloculantes a uma massa e conseguir homogeneidade; é mais difícil misturar floculantes e conseguir homogeneidade; e é muito difícil misturar ligantes a uma massa e conseguir homogeneidade. O nível de dificuldade da mistura aumenta com o teor de sólidos — e massas de extrusão normalmente têm elevado teor de sólidos. Isto significa que será muitíssimo difícil misturar uniformemente aditivos numa massa de extrusão com teor de sólidos elevado.

## 2. Como Usar as Sub-rotinas DRD para Manipular a Retração?

A sub-rotina *DRD* necessária é a função *DRD\_Porosity*, que calcula a porosidade mínima esperada.

### 2.1. Retração de queima

Digamos que a porosidade mínima calculada (usando a função *DRD\_Porosity*) é 20% para uma dada massa em produção e que a **retração de queima é muito alta**. Admitindo que a queima está controlada e conduz ao mesmo valor final de absorção de água, uma retração de queima muito elevada quer dizer que a massa retrai demais e que os produtos queimados ficam demasiadamente pequenos. Isto significa que a porosidade da peça seca deve ser diminuída e a DTP melhorada do ponto de vista de

empacotamento. Para melhorar o empacotamento, deve-se a alargar a distribuição, melhorar o módulo da distribuição na Eq. 1, e/ou melhorar o ajuste geral da distribuição real de tamanhos de partículas à distribuição teoricamente melhor. Para se conseguir este tipo de melhoramento na DTP, a porosidade mínima esperada, calculada usando a função *DRD\_Porosity*, tem que ser diminuída.

Para ajustar a porosidade calculada de uma massa em produção, dispõe-se geralmente de várias DTPs para misturar na massa, e experimentam-se simplesmente diferentes combinações dessas possíveis distribuições para obter várias porosidades calculadas.

Por outro lado, se a **retração de queima é muito baixa**, a peça queimada será grande demais e é necessário acrescentar porosidade ao corpo seco. Neste caso, a distribuição deve ser piorada do ponto de vista do empacotamento, e a porosidade mínima esperada, calculada usando a função *DRD\_Porosity*, tem que ser aumentada. Para piorar a capacidade de empacotamento de uma distribuição, deve-se fazê-la mais estreita (uma menor gama de classes de tamanhos), tornar o módulo da distribuição mais alto e/ou usar demasiadas partículas em qualquer uma das classes de tamanhos. Em geral, isto é razoavelmente fácil de fazer, pois a moagem em moinho de bolas normalmente produz distribuições com módulos de distribuição relativamente altos (~ 0,6 e superiores).

Mais uma vez, devem existir várias distribuições de pós que possam ser misturadas na massa em produção. Diferentes combinações dos pós disponíveis permitirão novamente ajustar as porosidades calculadas.

### 2.2. Tamanhos de queima não-conformes

Levemos este raciocínio um pouco mais longe. Quando a feira tem um tamanho fixo, origina uma certa retração de queima, e o tamanho final das peças está não-conforme, esta questão (retração de queima) é aplicável. Quando o tamanho das peças queimadas está não-conforme e é demasiado grande, a retração de queima é demasiado baixa, a porosidade em seco é muito baixa, e a distribuição melhorou, do ponto de vista do empacotamento. Quando o tamanho das peças queimadas está não-conforme e é demasiado pequeno, a retração de queima é demasiado alta, a porosidade em seco é muito alta, e a distribuição piorou do ponto de vista do empacotamento.

Estar o tamanho das peças não-conforme é uma indicação de que existem problemas de conformação no processamento. Mas também pode ser sintoma de que a distribuição de tamanhos de partículas se alterou com o passar do tempo.

### 2.3. Misturar na extrusora

Também é altamente provável que a variação da retração de queima seja causada por problemas de mistura — especialmente em processamento por extrusão. Em

muitas extrusoras, a busca de maior velocidade de saída sacrificou o nível de mistura das massas. As massas devem ser bem misturadas antes de alimentarem a extrusora. O excesso de velocidade gera mistura inadequada de aditivos, água e ingredientes em pó alimentados na extrusora. Uma mistura heterogênea origina problemas reológicos conhecidos por *dilatância* e *bloqueios dilatantes*. Velocidades de processamento altas exacerbam estes dois problemas reológicos.

A mistura de massas para extrusão com elevado teor de sólidos é, no mínimo, difícil. A exceção ocorre quando as massas de extrusão são misturadas na forma de suspensões com baixo teor de sólidos e são filtro-prensadas antes da extrusão. Em muitos casos, as massas são misturadas com o teor de sólidos com que devem ser extrudadas. Nos casos em que a mistura antes da extrusão é ruim, a melhor misturadora de massas poderá ser a própria extrusora. Por quê? Eu deveria ser o primeiro a dizer que as misturadoras foram projetadas para misturar, e que as extrusoras foram projetadas para extrudar e, portanto, utilize-se o equipamento correto para realizar a tarefa para a qual ele foi projetado. Mas as extrusoras submetem as massas a pressões relativamente altas com taxas de cisalhamento relativamente baixas, o que é um excelente conjunto de condições para mistura. O objetivo habitual na mistura é submeter a massa a pressões relativamente baixas com taxas de cisalhamento relativamente altas. Qualquer das combinações resulta bem e o modo pressão alta/taxa de cisalhamento baixa é particularmente bom para massas de extrusão.

A experiência mostrou que, na extrusão de certos pós não-plásticos (como alumina) com plastificantes e ligantes, a primeira passagem pela extrusora mostra o resultado de uma mistura ruim. Por exemplo, em vez de varetas de 1/4" de diâmetro, obtêm-se peças de 1/4" com a forma de pagode chinês. Porém, depois de passar os produtos extrudados várias vezes pela extrusora, os ligantes e plastificantes foram forçados (pela pressão de extrusão) mais uniformemente pela massa toda, e logo começam a ser produzidas varetas lisas de 1/4" de diâmetro.

Isto deve ser tido em consideração por quem produz peças extrudadas. Os fabricantes que iniciam com a formação de uma suspensão, seguem com a filtro-prensagem e posterior extrusão, podem não ter estes problemas. Mas os que adicionam apenas o fluido suficiente e os aditivos a pós secos para conseguir o teor de sólidos na massa de extrusão, podem encontrar problemas de mistura e os correspondentes problemas de extrusão. Quando isto acontece, algumas passagens lentas pela extrusora podem ajudar. Pelo contrário, aumentar a velocidade de extrusão, geralmente piora o problema, em vez de melhorar. Obviamente, esta solução acrescenta mais etapas ao processamento, mas é um método viável para melhorar a qualidade da extrusão.

### 3. Efeitos das Variações na DTP

É importante ter a noção de que as condições de processamento podem mascarar os efeitos das variações na DTP. Do ponto de vista do empacotamento, compactos muito porosos apresentarão alta retração para produzir peças queimadas com porosidade nula. Compactos com baixa porosidade (nos quais os pós já estão bem empacotados) não irão apresentar retração elevada.

Mas os estados floculado/defloculado durante o processamento podem mascarar os benefícios do controle da DTP. Para ver bem os efeitos da DTP, as massas devem estar defloculadas. Mas as massas defloculadas preparadas a partir de matérias-primas não-plásticas tendem a ser dilatantes, o que é ruim, e por isso não são freqüentemente usadas. Em muitas massas, adicionam-se defloculantes para diminuir o grau de floculação, mas a maior parte das massas não é deliberadamente ajustada para ficar altamente defloculada.

Isto não significa que o ajuste da DTP não terá qualquer efeito nas propriedades de processamento. Distribuições de tamanhos de partículas que empacotam bem, geralmente produzem reologias excelentes. Reologias *excelentes* são aquelas em que a dilatância não é problema. DTPs que empacotam mal tendem a ser dilatantes, mesmo sob baixas taxas de cisalhamento. A dilatância de DTPs extremamente estreitas pode ser um verdadeiro pesadelo de processamento.

Portanto, não devem ser ignorados os muitos outros parâmetros que podem e afetam a retração de queima. Mas quando forem precisos ajustes na DTP, tudo se resume a subir ou baixar as porosidades calculadas para a DTP total da massa. Se a porosidade calculada for 5%, na realidade não se deve esperar conseguir os 5%. Porosidades de 10% ou 15% podem ser conseguidas quando a porosidade calculada é 5%. O valor absoluto da porosidade calculada não é crítico. Quando o valor da porosidade calculada varia de 10% para 15% em resposta a uma variação da DTP, o aumento de empacotamento relativo (calculado) de 5% deverá ocasionar o correspondente aumento relativo de empacotamento de ~ 5% na massa. Analogamente, uma variação da DTP que provoque uma variação no valor da porosidade calculada de 10% para 20% deverá ocasionar o correspondente aumento de ~ 10% na porosidade real da massa.

### 4. Conclusões

As variações na retração de queima podem ser o resultado de alterações na distribuição de tamanhos de partículas, heterogeneidades de mistura, aditivos e ligantes, e/ou variações de queima. Depois de eliminados os problemas de processamento, queima, mistura e química dos aditivos, as distribuições de tamanhos de partículas podem ser ajustadas para modificar a retração de queima.

Usando a função *DRD\_Porosity*, a distribuição de tamanhos de partículas pode ser alterada para melhorar (diminuir) o valor da porosidade calculada, para diminuir

a retração de queima. Quanto melhor for o empacotamento do sistema nos estágios verde e seco, menor será a porosidade presente antes da queima, e menor será a retração de queima. Também se pode alterar a distribuição de tamanhos de partículas para piorar (aumentar) o valor da porosidade calculada, para aumentar a retração de queima. Quanto pior for o empacotamento do sistema nos estágios verde e seco, maior será a porosidade presente antes da queima, e maior será a retração de queima.

A variação relativa de porosidade de uma DTP para outra é o valor importante que deve ser monitorado e controlado quando se usa a função *DRD\_Porosity*.

Convém recordar que os benefícios do ajuste da distribuição de tamanhos de partículas com o objetivo de alterar a retração de queima podem não ser conseguidos quando as suspensões e as massas estão defloculadas. O empacotamento varia de acordo com as porosidades calculadas quando as suspensões e as massas estão defloculadas, mas a defloculação favorece a propriedade reológica conhecida por dilatância. Porém, teores mais elevados de sólidos, condições mais defloculadas, e velocidades de extrusão mais baixas, podem mostrar o resultado dos ajustes da distribuição de tamanhos de partículas nos valores da retração de queima das peças.