

## Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções

Rogério Wieck<sup>a</sup>, Jamil Duailibi Fh<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup>Eng<sup>o</sup>. Mecânico, Gerente Técnico da DNCer Indústria e Comércio Ltda, Rua Prof. Jônathas Pedrosa, 60-A, Manilha, CEP 24855-136, Itaboraí, RJ, Brasil

<sup>b</sup>Eng<sup>o</sup>. de Materiais, D.Sc., Diretor da DNCer Indústria e Comércio Ltda, Rua Prof. Jônathas Pedrosa, 60-A, Manilha, CEP 24855-136, Itaboraí, RJ, Brasil

\*e-mail: duailibi@duracer.com.br

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo contribuir para que os ceramistas que trabalham com extrusão melhorem a qualidade de seus produtos e aumentem a produtividade. Para isso são abordados aspectos que influenciam o processo de extrusão assim como a qualidade dos produtos.

**Palavras-chave:** processamento cerâmico, cerâmica vermelha, extrusão.

O objetivo deste artigo é contribuir para que os ceramistas que utilizam extrusoras melhorem a qualidade de seus produtos e aumentem sua produtividade.

São vários os fatores que influenciam a extrusão e o resultado final do produto. Todos têm a sua importância e devem ser considerados. Assim, antes de abordarmos o tema principal deste artigo, vamos inicialmente falar sobre um dos procedimentos que mais afetam a qualidade e constância da extrusão, ou seja, a preparação da massa que, quando feita de forma correta, garante um produto de qualidade e um processo produtivo uniforme.

### 1. Composição e Preparação da Massa

Genericamente a maioria das massas é composta por dois ou mais tipos de argila, geralmente uma argila plástica (popularmente chamada de argila gorda) e outra pouco plástica (popularmente chamada de argila magra). A proporção dessas argilas na composição determina a plasticidade da massa e deverá ser estabelecida de acordo com o material a ser produzido. Outras características influenciam a plasticidade da massa, tais como: minerais presentes, como o quartzo (areia), granulometria e a forma dos cristais, etc. Argilas com composições mineralógicas diferentes possuem plasticidades diferentes, mesmo com quantidades de água semelhantes. Após a determinação da proporção das argilas na massa é preciso garantir que a mesma, assim como as demais variáveis de preparação e o teor de umidade sofram a menor variação possível.

A extração da argila, que ocorre no início do processo, é determinante para a qualidade do produto final. O ideal é que a mesma seja extraída e deixada descansando por um longo período ao ar livre, fase que é chamada de pré-preparo, sazonalização ou apodrecimento. Esta prática ocasiona a desagregação das partículas argilosas e permite que durante a preparação a água envolva estas partículas, ocorrendo também outros fenômenos como “reações químicas” e “ataques bacteriológicos”. As alterações que ocorrem durante o descanso conferem melhorias significativas na plasticidade da massa e uma maior homogeneização na umidade da mesma. É por isso que, para produzir peças de porcelana com a espessura de casca de ovo, os antigos chineses deixavam as argilas descansando para serem utilizadas pela geração seguinte. Após o pré-preparo ou sazonalização que, dependendo das características da argila deve variar de seis meses a um ano, a argila deve passar pelo “preparo propriamente dito”, etapa que envolve o traço ou mistura, seguida da

trituração, passando por equipamentos tradicionalmente utilizados na conformação plástica como o desagregador/destorroador, laminador e outros equipamentos como misturador, moinho de galga, etc.

Após esta etapa de preparo recomenda-se um descanso de 2 a 3 dias para a homogeneização da umidade. Ao ser a mesma enviada para o processo que geralmente inicia-se em um misturador, adiciona-se água com um sistema que garanta a uniformidade do teor de umidade, pois como veremos adiante, a variação da umidade pode causar sérios problemas durante o processo de extrusão.

A preparação da massa (traço) ou dosagem da mistura das argilas pode ser feita de diversas formas, a saber: a) Preparo de montes formados com camadas das diversas argilas na proporção da composição da massa (Figura 1); b) Montagem de pilhas de sazonalização de cada argila e, após o período de descanso, transporte para caixões alimentadores, cada um com regulagem adequada para fornecer a quantidade de cada uma das argilas; e c) Mistura direta, sendo dosada por máquinas, geralmente a pá carregadeira, que adicionará a quantidade pré-definida de cada argila no caixão alimentador. Este método, porém, pode trazer problemas de falta de uniformidade da massa visto que a dosagem é completamente dependente do operador que pode se equivocar e alterar a quantidade de uma das argilas.

### 2. O Processo de Extrusão

Extrusão é um processo de conformação plástica, limitada à fabricação de objetos de seção constante, muito utilizada na indústria cerâmica vermelha. Na extrusão os principais fatores que afetam o rendimento do processo e a qualidade dos produtos finais são:

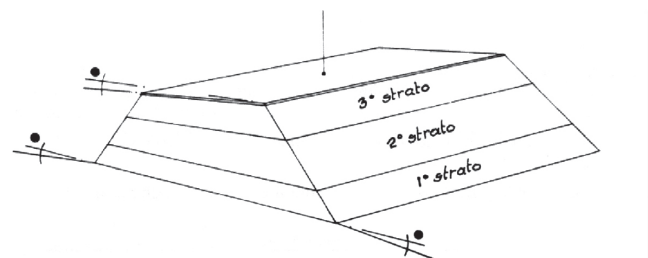


Figura 1. Monte com camadas de diferentes argilas conforme traço da massa.

- Composição e a preparação das massas cerâmicas;
- Plasticidade das massas;
- Moldes de extrusão (boquilhas); e
- Tipo de extrusora e a qualidade do vácuo.

Ainda que os custos de preparação e conformação das matérias-primas em uma indústria cerâmica sejam relativamente baixos em relação aos custos totais de elaboração do produto, estas operações, se não desenvolvidas corretamente, podem causar um incremento significativo dos custos da secagem e da queima, que são as etapas mais onerosas do processo.

A seguir apresentaremos alguns conceitos básicos para o melhor entendimento do processo de extrusão:

### 2.1. Plasticidade: Grau de deformação de uma massa até ela entrar em ruptura

Essa propriedade é considerada como a capacidade de uma determinada argila ou massa em deformar-se sob a ação de uma força externa, mantendo a deformação após a remoção da força aplicada. O teor de água adicionado influencia o nível de plasticidade alcançado, sendo específico para cada argila. É evidente que a adição de água tem um limite, para cada argila, o qual é definido como “Índice de Liquidez”.

### 2.2. Coesão: Força de união entre partículas até alcançar a máxima consistência

É importante entendermos como se comporta e qual a influência da coesão das partículas argilosas durante o processo de extrusão. Imaginemos uma porção de argila, desagregada, sem nenhum percentual de umidade, seria impossível conformar esta argila, seria como pó escorrendo entre os dedos, isto porque é necessário um meio para unir as partículas, que no caso das argilas é a água. Inicialmente a água adicionada envolve cada partícula de argila, ficando intimamente ligada a mesma (Figura 2), mas as partículas ainda não estarão ligadas entre si, para que ocorra esta ligação será necessária a adição de água livre (Figura 3).

Nas argilas vermelhas esta umidade fica geralmente entre 16% e 20%, sendo função das características de cada argila e da qualidade

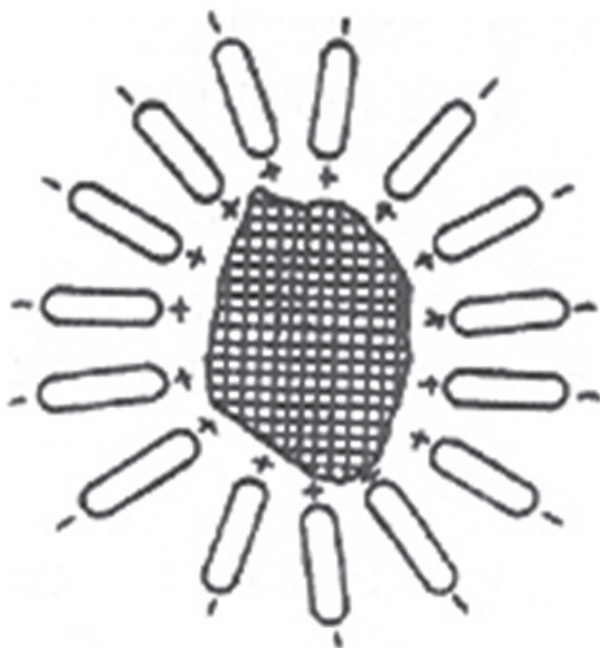


Figura 2. Água envolvendo partícula de argila.

da preparação da massa. Quando temos argilas com tamanhos de partículas grandes ou mesmo se houve uma moagem deficiente durante a preparação da massa, teremos uma determinada superfície de recobrimento de água de ligação. Diminuindo-se o tamanho das partículas (argila mais fina ou com uma melhor preparação), teremos um aumento da superfície específica (Figura 4), ou seja, será necessária uma quantidade maior de água para se obter a máxima coesão.

A plasticidade será conseguida adicionando-se mais água à massa logo após o ponto de máxima coesão, este acréscimo de água terá um efeito lubrificante possibilitando o escorregamento entre as partículas e permitindo a conformação da peça desejada. A quantidade de água a ser adicionada depende do tipo de argila utilizado, das peças a serem produzidas e do equipamento utilizado.

Com base nos conceitos já apresentados poderemos analisar alguns fatores que influenciam o escoamento da massa cerâmica.

- 1) Uma boa preparação influenciará a plasticidade e consequentemente a qualidade de extrusão;
- 2) Argila “Magra” requer uma quantidade menor de água, enquanto que uma argila “Gorda” requer uma quantidade maior; e
- 3) O tipo de argila, umidade e preparação influenciam o fluxo da massa durante o processo de extrusão, como pode ser visto nas Figuras 5 e 6, onde temos as seguintes situações:
  - a) Diminuição de água livre, argila “Gorda” e boa preparação: Resulta em maior coesão, maior resistência ao escoamento interno, melhor deslizamento na parede metálica e maior fluxo pela periferia do molde; e
  - b) Incremento de água livre / argila “Magra” / má preparação: Resulta em menor coesão, maior resistência externa (parede metálica) e fluxo com maior velocidade no centro do molde.

### 3. Extrusora (Maromba)

A extrusora é o equipamento responsável pelo transporte, compactação e extrusão da massa cerâmica, durante este processo o

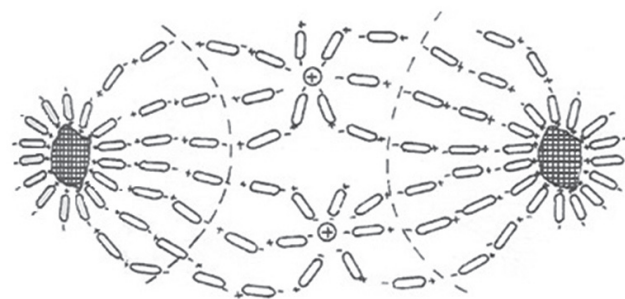
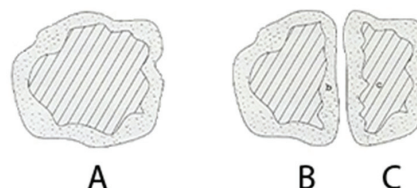


Figura 3. Água livre entre as partículas.



A - Grão inteiro  
B/C - Grão partido (aumento da superfície específica)

Figura 4. Aumento da superfície específica com a diminuição do tamanho do grão.

fluxo deve ser o mais constante possível para garantir a qualidade dos produtos. Para se conseguir um fluxo uniforme de massa é necessário manter a extrusora em boas condições. Variações no fluxo de massa trarão prejuízos tanto na qualidade dos produtos quanto no custo de produção.

Condições da Extrusora e seu Efeito no Rendimento da Extrusão

- 1) Rugosidade da Hélice → Quanto mais lisa, melhor o rendimento;
- 2) Rugosidade da Camisa → Quanto mais rugosa, melhor o rendimento;
- 3) Desgaste da Hélice → Quanto maior o desgaste, maior o retorno de massa, menor o rendimento;
- 4) Vácuo → Quanto maior o vácuo melhor a qualidade do produto; e
- 5) Corta Barros → Quanto maior o desgaste, pior a qualidade do produto.

Logo após a zona de extrusão temos a câmara de compressão, mais conhecido como “Acumulador” ou “Embudo”, este item possui características que variam conforme a massa argilosa utilizada, bem como o material a ser produzido. Conforme mostrado na Figura 7, argilas mais plásticas demandam embudos mais cônicos e mais curtos, melhorando assim o rendimento de extrusão (A), enquanto que argilas de baixa plasticidade exigem embudos menos cônicos que, apesar de diminuir o fluxo argiloso, melhoram a sua compactação (B). Uma alternativa para quem dispõem de embudo curto e utiliza argila magra é o uso de saída paralela (C).

Teoricamente o comprimento de um embudo varia de acordo com a massa argilosa e o formato da peça a ser produzida, portanto deveriam ser dimensionados para cada aplicação, porém isto não

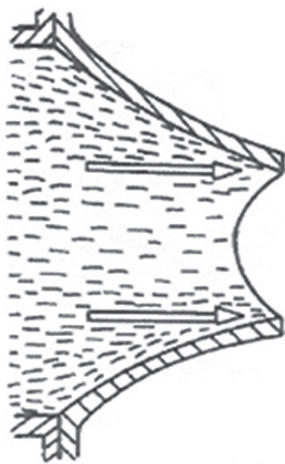


Figura 5. Perfis do fluxo de massa tipo (a).

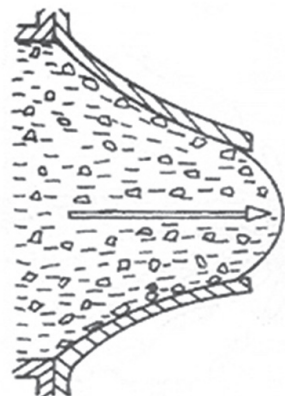


Figura 6. Perfis do fluxo de massa tipo (b).

ocorre na prática. Por motivos econômicos os fabricantes de extrusora procuram fornecer um embudo que atenda ao maior numero de casos. Quando o produto a ser fabricado foge dos padrões, torna-se necessário o dimensionamento adequado do embudo de forma a se obter uma extrusão equilibrada.

Algumas das funções básicas do embudo são:

- Eliminar as diferenças de fluxo de massa;
- Diminuir as laminações formadas pelo ordenamento de partículas;
- Transformar o fluxo helicoidal da argila num fluxo retilíneo;
- Compensar as diferenças de velocidade entre a periferia e o eixo da hélice como esquematizado na Figura 8; e
- Igualar as velocidades ao longo da seção tornando o fluxo o mais uniforme possível.

Algumas vezes, no ímpeto de se conseguir maiores produções, ceramistas, assessores técnicos e ou fabricantes de equipamentos utilizam-se de artifícios como eliminar os corta barras, alisar a camisa, encurtar o embudo, etc., aumentando assim o rendimento da maquina e ainda baixando o consumo energético, atitude esta que muitos costumam chamar de “Turbinando a Maromba”. Este procedimento pode trazer graves conseqüências, causando um fluxo instável que dificulta muito a regulagem das boquilhas e, em alguns casos, inviabilizando a regulagem das mesmas, comprometendo totalmente a qualidade dos produtos. A Figura 8 ilustra a influencia da hélice (1), do embudo (2) e o somatório dos dois nas diferenças de velocidade totais (3).

#### 4. Boquilhas

As boquilhas ou moldes de extrusão são os componentes responsáveis pela conformação final dos produtos. Assim como os embudos, devem ser dimensionados para cada tipo de produto, levando-se em consideração a massa, a umidade de extrusão e o equipamento utilizado, dentre outros fatores.

As principais características desejadas em uma boquilha são:

- Equilíbrio da velocidade do fluxo em toda a secção transversal;
- Mínimo de resistência ao fluxo de argila; e
- Durabilidade.

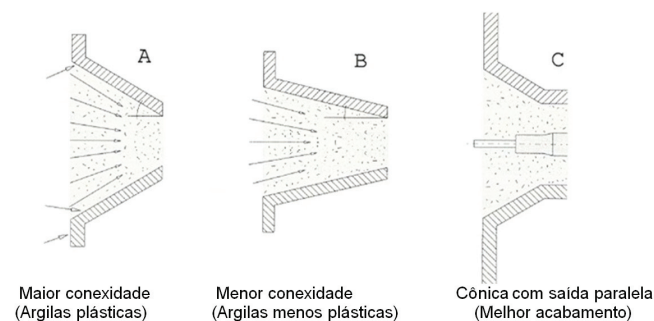


Figura 7. Tipos clássicos de embudo.

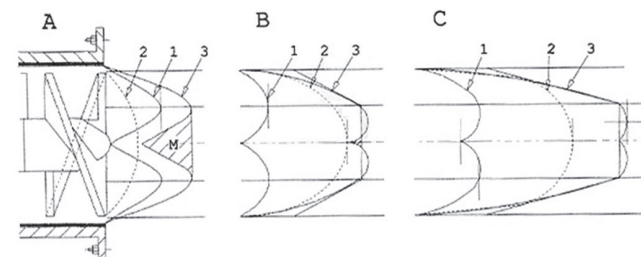


Figura 8. Velocidade no fluxo argiloso em diferentes distâncias da hélice.

Os principais componentes de uma boquilha são:

Placa – Podendo ser direta ou simples;

Cavelete – Tem como finalidade principal sustentar os machos, devendo ser projetado de modo a facilitar o fluxo de argila. É constituído por facas e garfos;

Freios – Montados na parte interna posterior da placa, sendo utilizados para regular o fluxo de argila;

Machos – Também conhecidos como castanhas, dados, pirulitos etc, são montados na extremidade dos garfos e correspondem ao negativo dos furos dos blocos; e

Moldura – Também conhecida como telar ou pente, é montada na parte frontal do molde na mesma linha dos machos;

As boquilhas podem também conter outros elementos como dispositivos externos para regulagem fina, contra-molduras (caixas) e pinos externos de proteção.

A geometria da peça também é um parâmetro de grande importância no processo de extrusão. Sempre que possível devemos evitar paredes contínuas como as apresentadas na Figura 9, assinaladas com (a). Paredes descontínuas, como as assinaladas com (b) da mesma Figura 9 distribuem melhor as tensões.

Durante a conformação da peça nos moldes de extrusão são geradas tensões as quais tendem a se acumular em arestas vivas que podem induzir ao aparecimento de trincas, como mostrada na Figura 10-A. Assim, sempre que possível, devemos projetar uma peça de forma a evitar cantos vivos, como mostrado na Figura 10-B.

## 5. Correção e Regulagem de Boquilhas

O procedimento padrão para a regulagem de uma boquilha é fazer uma extrusão inicial por alguns minutos até que se estabeleça um fluxo constante. A seguir interrompe-se a extrusão e retira-se o excesso de massa na frente da boquilha. Em seguida aciona-se a maromba utilizando a embreagem por alguns segundos até que se possa verificar alguma diferença de velocidade entre as fitas no caso de boquilhas de múltiplas saídas (Figura 11). O mesmo procedimento é efetuado para a verificação do fluxo em boquilhas simples.

No caso de boquilhas de várias saídas, a diferença de velocidade entre as fitas causa diferenças dimensionais nos produtos durante o corte, podendo a fita com o fluxo mais lento (mais curta) não ser cortada pelo arame. Caso o corte seja regulado pela fita mais lenta para garantir uniformidade dimensional dos produtos, poderá ocorrer excesso de aparas causado pelas fitas com maior velocidade (mais longa).

As diferenças de velocidade em saídas distintas de uma mesma boquilha resultam em diferentes pressões de extrusão em cada saída e, conseqüentemente, em diferenças de compactação. Quanto maior a velocidade maior a pressão e, portanto, maior a compactação, resultando em contrações diferenciadas, conforme mostrado na Figura 12. Durante a secagem as zonas extrudadas com menor pressão contraem-se mais do que as extrudadas com maior pressão. Estas diferenças de contração aumentam as forças de tração criadas nas regiões extrudadas a uma menor pressão, originando deformações e trincas de secagem.

As diferenças de velocidade deverão ser ajustadas mediante o uso dos freios periféricos. Porém, na medida do possível, devemos buscar soluções que facilitem o fluxo argiloso por meio de mudanças na geometria das facas e garfos, direcionando a massa para as regiões onde há falta de argila, evitando sempre que possível a utilização dos freios.

Estas diferenças de velocidade ocorrem também ao longo da seção de uma boquilha de uma saída, como pode ser visto de forma esquemática na Figura 13, onde cada uma das paredes possui uma velocidade específica. Assim, temos que corrigir estas diferenças, utilizando os meios disponíveis que passam desde a utilização do embudo correto, geometria das facas e garfos do cavelete e o uso de freios quando estritamente necessários.

## 6. Solucionando Problemas de Regulagem em uma Boquilha de 3 Saídas

A seguir apresentaremos alguns casos típicos de problemas ocasionados pela má regulagem de uma boquilha e as suas mais prováveis soluções.

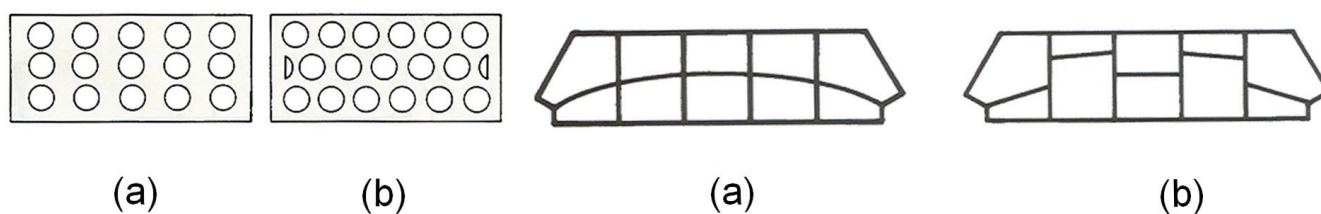


Figura 9. Geometria das paredes internas.

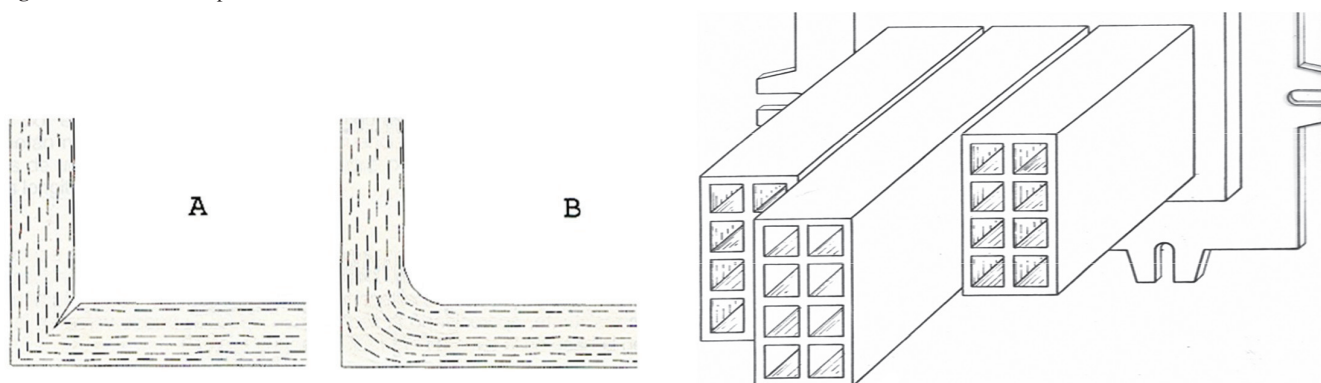


Figura 10. Trinca provocada por canto vivo.

Figura 11. Boquilha de múltiplas saídas.

### 6.1. Maior Fluxo no Centro - Caso A da Figura 12

Inicialmente devemos abrir os freios para facilitar a passagem da massa pelas laterais da boquilha. Caso não seja o suficiente devemos aumentar o ângulo da placa sempre visando uma menor resistência no escoamento da massa. Somente depois destes procedimentos, caso não seja o suficiente, devemos tentar frear o fluxo na parte central da boquilha revestindo as pernas na parte central com casquilhos\* para dificultar a passagem da massa, conforme pode ser visto na Figura 14.

### 6.2. Maior Fluxo nas Laterais - Caso B da Figura 12

Como no caso anterior devemos inicialmente tentar facilitar o fluxo no centro da boquilha. O aumento do ângulo na parte interna das facas separadoras induz a um maior fluxo pela parte central da boquilha, na posição indicada na Figura 15a. Caso esta medida não seja suficiente, os freios deverão ser fechados para diminuir o fluxo na parte lateral da boquilha, conforme mostrado na Figura 15b.

## 7. Solucionando Problemas de Regulagem em uma Boquilha Simples

Basicamente temos dois tipos de problemas mais frequentes em boquilhas de uma saída causados por diferenças de velocidade entre a parte periférica da boquilha e o seu centro.

### 7.1. Maior fluxo na periferia

Vamos inicialmente analisar os problemas causados por uma boquilha com velocidades maiores em sua periferia, como mostrados na Figura 16, onde os defeitos causados pela diferença de compactação às vezes só aparecem depois da secagem das peças.

Muitos ceramistas têm o hábito de efetuar ajustes que induzam a uma velocidade ligeiramente maior na periferia do que no centro, efeito conhecido pelo termo “levemente chupado”. Este procedimento é utilizado para absorver variações de massa e de processo que poderiam levar a inversão destas velocidades, tendo uma velocidade maior no centro do que na periferia.

Quando a velocidade de secagem é alta, as consequências da adoção deste recurso são muito mais danosas que os benefícios a primeira vista, pois além da deformação na face da peça, a possibilidade do aparecimento de trincas de secagem por diferenças de retração é muito grande, como as mostradas esquematicamente na Figura 17, caso não haja um bom controle de secagem.

Para a solução do problema primeiro devemos facilitar a saída de massa na zona faltante, neste caso na parte central, por meio da utilização de chanfro nos machos na parte central ou utilizando machos de menor espessura nesta mesma região. Outras intervenções que podem ser feitas para melhorar o fluxo de massa na parte central consiste na diminuição do ângulo de entrada na placa, como mostrado na Figura 18a e/ou o fechamento dos freios e a adição de casquilhos nas hastes (pernas) externas do cavalete, dificultando assim a passagem da massa nesta região (Figura 18b).

### 7.2. Maior fluxo no centro

A Figura 19 mostra o caso conhecido como “estufado”, quando a velocidade de extrusão é maior na zona central do molde do que na periferia.

Este caso, conhecido entre os ceramistas como “estufado”, além da deformação dos blocos, causa trincas nas faces das peças e ao longo das mesmas (Figura 20). Nesta situação torna-se imprescindível o ajuste do molde de extrusão, pois são severos os danos causados aos produtos, levando à perda dos mesmos.

Para a correção da situação de “estufado” devemos, em um primeiro momento, abrir os freios para facilitar o fluxo na periferia dos moldes e, eventualmente, adicionar casquilhos na parte central do molde (Figura 21a). Caso não seja o suficiente devemos retirar os freios,

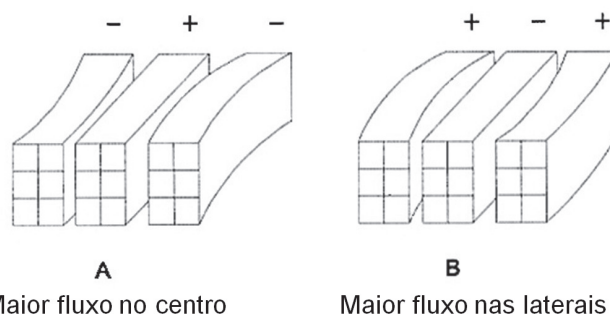


Figura 12. Diferentes velocidades de extrusão.

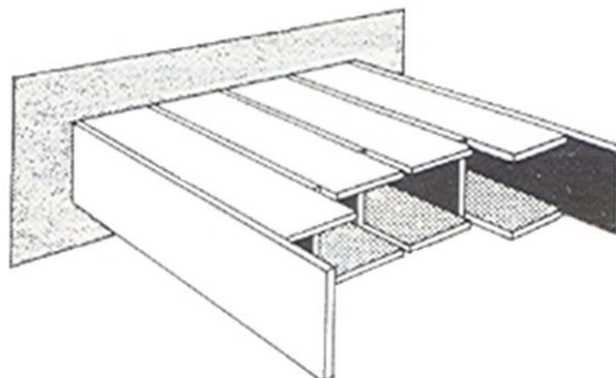


Figura 13. Diagrama de velocidades (superfícies cortadas).

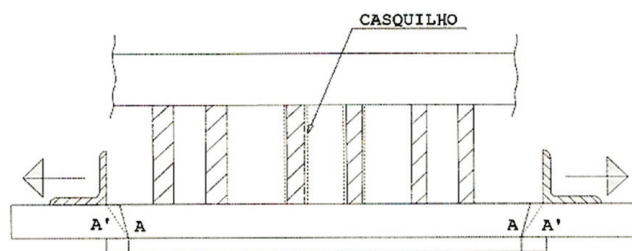


Figura 14. Maior fluxo no centro.

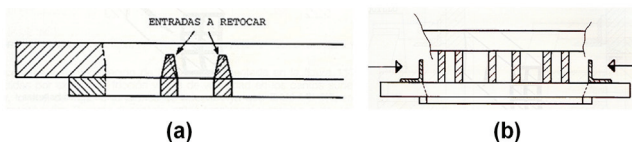


Figura 15. Maior fluxo nas laterais.

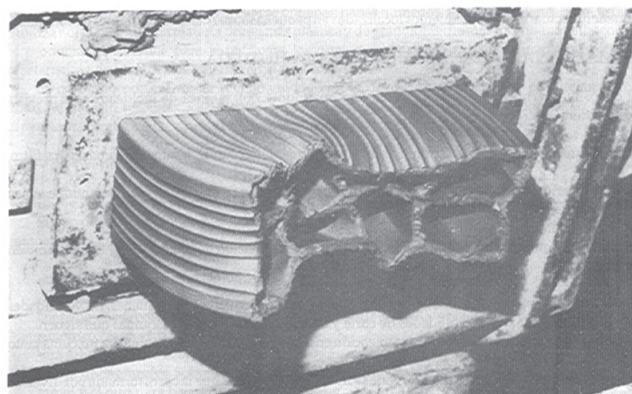
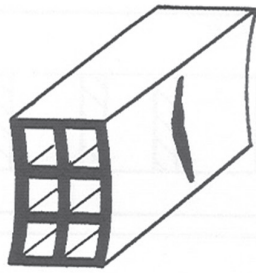
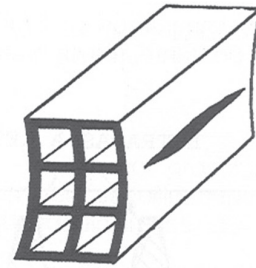


Figura 16. Velocidade periférica maior que a central.

\*Tubo metálico usado para revestir as hastes do garfo.



(a) Excesso de velocidade nas paredes superior e inferior e mais secagem na face



(b) Excesso de velocidade nas paredes superior e inferior e mais secagem nos cantos

Figura 17. Trincas de secagem.

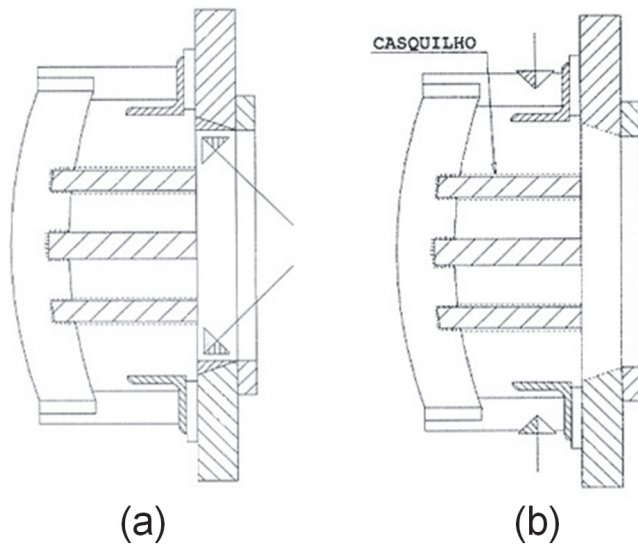


Figura 18. Medidas para equilibrar o fluxo de massa entre o centro e a periferia.

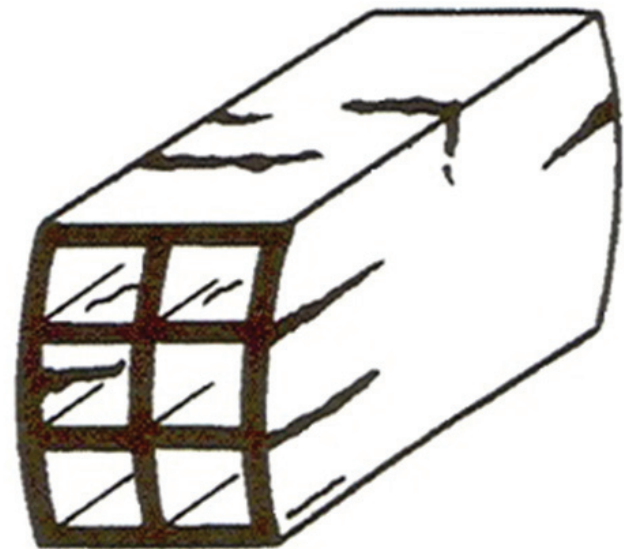


Figura 20. Maior fluxo na parte central - Trincas e deformação após secagem.



Figura 19. Velocidade central maior que a periferia.

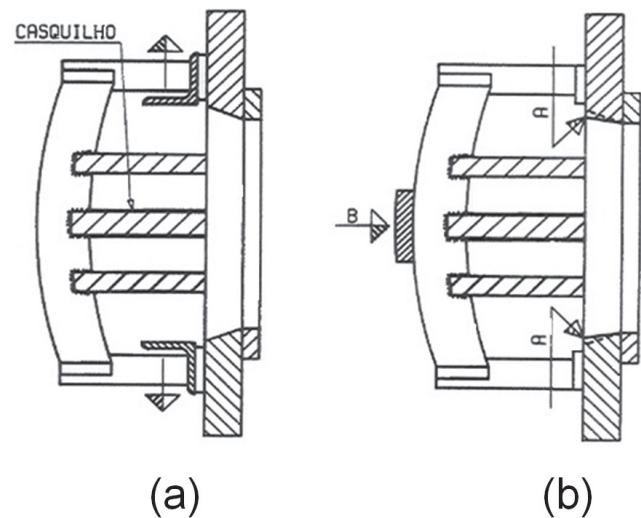


Figura 21. Corrigindo o problema do "estufa".

umentar o ângulo de saída na placa e por ultimo frear o centro do molde adicionando um perfil na parte central do cavalete, como mostra a Figura 21b.

Assim, uma boquilha bem construída e regulada é fundamental para a obtenção de produtos de qualidade. Porém, chamamos a atenção do Ceramista enfatizando que muitas vezes os problemas de extrusão são causados pelas variações dos parâmetros de processo. Variações na mistura da massa podem tornar impossível a regulação da boquilha e estabilização da produção, assim como uma maromba em más condições de trabalho não permitindo um fluxo regular de massa ou ainda a falta de controle ou até mesmo o controle deficitário da umidade de extrusão.

Variações na umidade de extrusão trazem como consequência variações na coesão da massa. Quando a umidade é muito baixa a massa apresenta velocidade maior na periferia e, em um momento seguinte de umidade alta, a velocidade passa a ser maior no centro da fita. Quando a umidade é excessivamente alta, as forças de coesão entre as partículas de argila ficam tão baixas que não são suficientes para dar forma a peça, como mostrado na Figura 22. Este efeito também ocorrerá no caso de variações na mistura da massa, com mudanças nas porcentagens de barro “gordo” e “magro”, causando variações na plasticidade da massa como um todo.

O Ceramista deve estar atento a outros fatores como o uso de argila excessivamente plástica, a secagem muito rápida, a utilização de embudo não adequado à plasticidade da mistura e a falta de espaçamento entre os blocos quando empilhados para queima, que podem gerar trincas nos blocos, como a mostrada na Figura 23, mesmo tendo uma boquilha equilibrada.

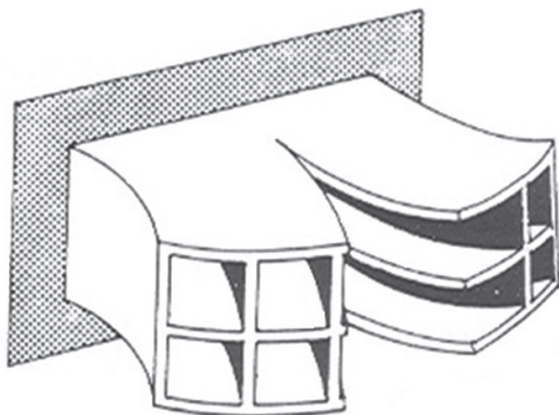


Figura 22. Saída de material muito úmido.

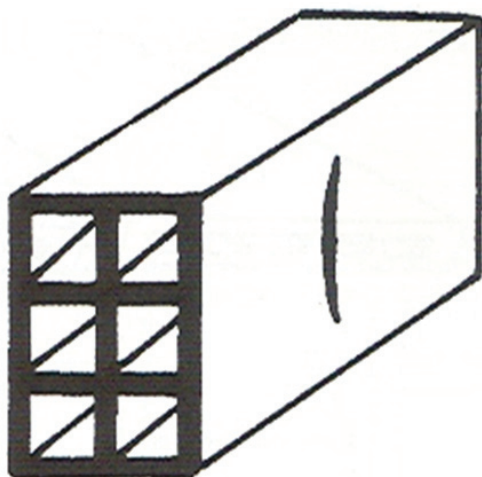


Figura 23. Bloco com trinca mesmo com boquilha equilibrada.

## 8. Uso de Materiais de Alta Resistência ao Desgaste nos Machos e Moldura: Maior Estabilidade Dimensional e Grandes Economias de Argila e Energia

Não devemos nos esquecer que em função da abrasividade de matérias como a areia (quartzo) presentes nas argilas, a boquilha vai se desgastando com o tempo. Suas superfícies vão ficando mais lisas e em alguns locais sofrem desgaste acentuado criando turbulências que afetam fortemente o fluxo em regiões específicas. O desgaste prematuro dos machos e moldura, componentes diretamente responsáveis pela geometria final do produto, além de alterarem o fluxo de barro em diferentes regiões da secção transversal, causam um aumento das paredes e, conseqüentemente, maiores variações dimensionais e maiores consumos de argila e energia. Por estes motivos consideramos ser de suma importância a utilização de boquilhas com materiais de elevada resistência ao desgaste, pois além dos fatores econômicos, asseguram uma menor variação dimensional durante a vida útil do molde, possibilitando ainda períodos prolongados de produção sem necessidade de parada para ajustes de boquilha.

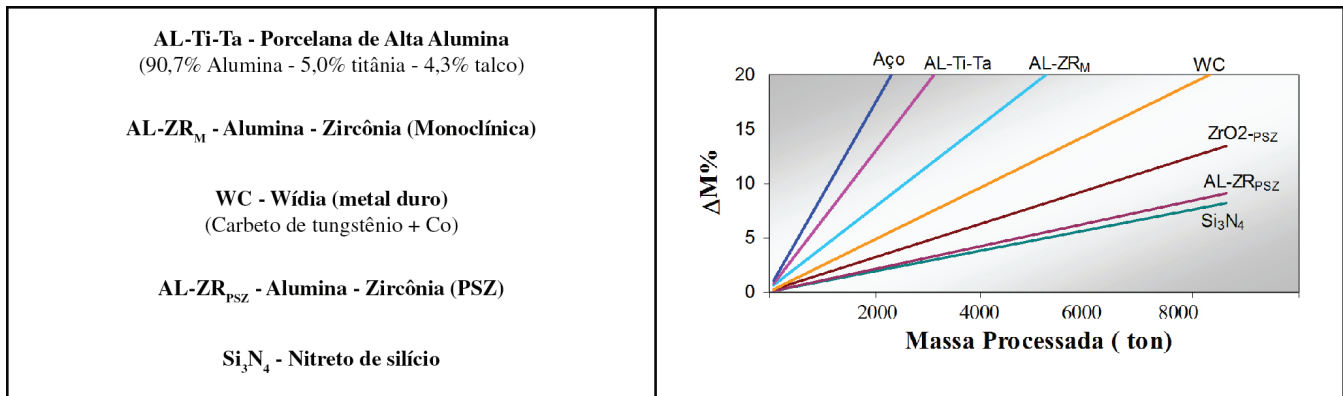
### Algumas informações sobre materiais resistentes ao desgaste aplicados em componentes de boquilhas

As paredes do bloco vão engrossar mais rápido se utilizarmos nos machos e moldura um aço de baixo carbono como o aço SAE1020 (o mesmo utilizado nas placas das boquilhas). Se utilizarmos o aço SAE1045 (geralmente utilizado nas pernas dos pirulitos) o desgaste será menor. Se usarmos um aço de maior dureza, como os aços ferramentas (tipo VC-131 da Villares), as paredes do bloco vão engrossar a uma velocidade ainda menor que a de aços menos duros como o aço SAE1045. Com a aplicação de uma camada de um revestimento mais duro, como o cromo, a velocidade de desgaste será menor que a dos aços ferramentas. Porém, a camada de cromo deve ser muito bem aplicada, para evitar ruptura da mesma. Quando acontece a ruptura, ocorre desgaste acelerado no ponto onde se rompeu, o qual se propaga rapidamente para o resto da peça. Isto é muito comum de ocorrer.

### Concretizando o processo de “Inovação”

Na década de 90 foram introduzidos no mercado brasileiro machos em porcelana maciça os quais eram protegidos por uma placa de metal nas duas faces. Por ser muito dura e conter em sua composição cerca de 90% de Alumina ( $Al_2O_3$ ) e cerca de 10% de vidro de Sílica ( $SiO_2$ ), também conhecida como quartzo ou areia, a porcelana quebrava com facilidade, principalmente quando eram retiradas pedras e galhos dos moldes. Além disso, não era possível confeccionar molduras (telares/pentes/frisos) em porcelana. Usava-se uma combinação de machos em porcelana com moldura de virar em aço cromado com molduras centrais extras.

No final dos anos 90 o Instituto Nacional de Tecnologia – INT realizou uma série de testes em produção utilizando sistema que combina uma base metálica, na qual são abertos sulcos nas faces sujeitas ao desgaste, onde são fixados insertos de materiais mais resistentes que o aço. Foram testados machos de 1/2 polegada com insertos de 5,0 mm de espessura, feitos com os materiais relacionados na Figura 24, sendo a relação “Área de material testado”/“Área total” igual a 0,4 (40% da área de desgaste em inserto). Os desempenhos dos machos com insertos de diferentes materiais quando comparados com machos em aço testados em boquilha de 4 saídas produzindo blocos  $9 \times 19 \times 29$ , são mostrados por meio de curvas que relacionam o aumento de peso do bloco ( $\Delta M\%$ ) em função da quantidade produzida, expressa em toneladas de massa processada. Para maiores detalhes sobre o referido estudo ver o artigo: “Aplicação



**Figura 24.** Insertos testados pelo INT em boquilha de 9 × 19 × 29.

de cerâmicas de alta resistência ao desgaste em moldes de extrusão utilizados na Indústria de Cerâmica Vermelha”, publicado nos Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica. ABC, 2001 (também disponibilizado no site [www.duracer.com.br](http://www.duracer.com.br)).

Os Machos com insertos cerâmicos de Alumina - Zircônia Parcialmente Estabilizada com Ítria (AL-ZR<sub>PSZ</sub>) apresentaram um desempenho cerca de 9 vezes superior a dos machos em aço ferramenta, 6 vezes superior a dos machos com insertos de porcelana e 2,5 vezes maiores que os de wídia (metal duro), como mostrado na Figura 24. A explicação do “porque” de um macho com inserto de apenas 5mm de espessura de Alumina-Zircônia durar mais que um macho maciço em porcelana com 12mm ou mais é muito simples: A resistência ao desgaste não depende só da dureza do material, depende também da tenacidade. Materiais muito duros como a porcelana são também mais quebradiços, desgastando-se mais rapidamente por lascamento do que materiais relativamente mais tenazes como a Alumina-Zircônia.

O sistema de aplicação de insertos cerâmicos do INT permite aplicar a cerâmica também nos telares (frisos, pentes), fato que não era possível com a porcelana quebradiça que era utilizada apenas em machos protegidos com uma placa fina de aço carbono de baixa resistência ao desgaste. O sistema ainda mostrou-se muito mais econômico e confiável para a combinação *telares de virar cromados e machos de porcelana* utilizados na época. Assim, em julho de 1999 o INT protegeu o sistema de aplicação de insertos via depósito de Pedido de Invenção junto ao INPI (PI 9903233-3 – Machos e Telares Metálicos com Insertos Cerâmicos para Boquilhas de Extrusão de Massas Cerâmicas), cuja Carta Patente foi emitida em julho de 2011.

Face ao grande potencial de aplicação do Sistema concebido no INT, foi criada em 2000 a empresa DNCer Indústria e Comércio Ltda, inicialmente incubada no próprio INT, com o objetivo de “engenhar” o produto e colocá-lo no mercado, concretizando o “Processo de Inovação. Após atender a todas as exigências do INT para fabricar e comercializar machos e molduras com insertos cerâmicos utilizando o sistema protegido pela PI 9903233-3, a DNCer firmou contrato

com o INT e o INVENTOR para explorar a referida PI em todo o território nacional, para os quais paga royalties para cada produto comercializado. O contrato permite à DNCer sublicenciar outros fabricantes de moldes, de forma a que o maior número possível de produtores de cerâmica vermelha venham a se beneficiar deste sistema que gera grandes economias de argila e energia, como mostrado no Caderno Técnico DuraCer No 1, publicado no ano de 2010 e disponibilizado no site [www.duracer.com.br](http://www.duracer.com.br).

A DNCer fornece anualmente boquilhas com machos e molduras com insertos em Alumina-Zircônia para cerca de 250 Indústrias de Cerâmica Vermelha espalhadas pelo país. Como vários fabricantes de boquilhas vêm utilizando o sistema de aplicação de insertos concebido no INT e introduzido no mercado pela DNCer sob a marca DuraCer, estimamos que, pelo menos, cerca de 3000 Empresas de Cerâmica Vermelha utilizam o sistema de machos e molduras com insertos cerâmicos ou de materiais mais resistentes que o aço como o metal duro, cerca de 2/3 do total de empresas existentes no país. Até o presente momento a DNCer é a única empresa fabricante de boquilhas que produz a própria Alumina-Zircônia que utiliza em seus moldes, a qual sofre rígidos controles para garantir sua qualidade.

A efetiva utilização do sistema de insertos cerâmicos por cerca de 3000 Indústrias de Cerâmica Vermelha, cujos benefícios incluem a extensão da vida útil de componentes de moldes de extrusão, maior constância dimensional dos produtos e economia de argila e energia, ainda constitui-se em caso raro de “spin off” de tecnologia concebida em uma instituição de pesquisa do país, já com patente concedida. Isto foi só possível via a criação de empresa de base tecnológica cujos empreendedores pertencentes ao quadro da Instituição, se dispuseram a interagir diretamente com o mercado, superando todos os obstáculos para a introdução de um novo produto em segmento tradicional e com alto grau de informalidade, bem como às questões relacionadas ao conflito “público-privado”, ainda longe de serem superadas nas universidades públicas e instituições de P&D do país envolvendo a Inovação.