



Relação entre as Características da Água e o Comportamento Reológico das Suspensões de Esmalte Durante a Moagem

A. Moreno, E. Sánchez, E. Bou e E. Monfort

Instituto de Tecnologia Cerâmica (ITC)

Associação de Pesquisa das Indústrias Cerâmicas (AICE)

Universidade Jaume I. Castellón. Espanha

e-mail: moreno@itc.uji.es

Resumo: As propriedades reológicas de suspensões desempenha papel fundamental no processo cerâmico. No presente trabalho estudou-se os efeitos da presença de diversos íons que afetam consideravelmente essas propriedades.

Palavras-chaves: *comportamento reológico, esmaltes, íons*

1. Introdução

A operação de moagem do esmalte é de notável importância ao processo de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados, uma vez que é nela que é regulada a distribuição do tamanho de partículas dos sólidos que compõem o esmalte. Esta propriedade está diretamente relacionada com o empacotamento das partículas na camada de esmalte antes da queima, o qual, por sua vez, determina, para um determinado ciclo térmico, seu grau de sinterização e/ou fusão, dos quais dependem as características do vidrado resultante, tais como brilho, rugosidade, desenvolvimento da cor ou a porosidade. Dado que os vidrados devem apresentar propriedades estéticas e técnicas (entre as que se encontram resumidas) constantes ao longo das diferentes fases de fabricação, deve ser assegurada, assim mesmo, a constância nos parâmetros do processo de que dependem. Assim, a distribuição do tamanho de partícula, desde que relacionada com a microestrutura da camada crua de esmalte e, com isso, com as propriedades já mencionadas do vidrado final, deve manter-se dentro de uma tolerância rigorosa.

A obtenção de um determinado tamanho de partícula após a moagem (durante um tempo estabelecido) depende de vários fatores, podendo ser considerados como os mais importantes a distribuição de tamanhos e quantidades de bolas, o volume de sólidos a serem triturados e as propriedades reológicas da suspensão, além das características próprias dos moinhos e seu funcionamento (dimensões,

velocidade de giro, etc.). No que se refere às propriedades reológicas da suspensão, estimadas habitualmente mediante a determinação da viscosidade aparente, é necessário levar em conta que podem ser modificadas, por sua vez, por diferentes fatores, entre os quais cabe destacar os seguintes:

- Variações na composição do esmalte, que provocam uma mudança na natureza das partículas sólidas e, como consequência, na sua interação com as moléculas de água e os íons dissolvidos nela.
- Alterações na proporção de defloculantes utilizados, ou em sua efetividade.
- Variações na proporção de carboximetilcelulose sódica (CMC), ou em sua natureza.
- Modificação do conteúdo de sólidos, ainda que este não altere sozinho o comportamento reológico da suspensão, mas o rendimento total da operação de moagem.
- Variação da natureza e da proporção dos íons presentes na água de moagem, que interagem com as partículas sólidas, com o CMC e com o defloculante.

É neste último ponto que será centrado o presente trabalho, dado que se trata provavelmente do mais complexo e menos controlável de todos os expostos, e, além disso, variável em função de fatores geográficos e temporais.

Com efeito, a composição química das águas utilizadas na indústria cerâmica é muito variável de uma região para outra, o que dá lugar a diferenças notáveis nas condi-

ções de moagem de uma mesma composição de esmalte de uma instalação industrial para outra. Assim mesmo, a incidência das condições atmosféricas (chuvas intensas, secas, etc.) é também muito significativa, provocando o enriquecimento das águas com determinados sais (cloretos, por exemplo) durante épocas mais ou menos longas.

2. Íons Presentes na Água Durante a Moagem. Tipo e Origem

Nas águas utilizadas habitualmente no setor cerâmico espanhol se encontra dissolvida uma grande quantidade de sais que aportam ma série de ânions e cátions, suscetíveis, a priori, de interagir com os diferentes componentes das suspensões de esmalte. Já foi indicado anteriormente que a proporção e a natureza destes sais dissolvidos é muito variável, tanto de uma região para outra como de uma época do ano para outra. No entanto, e para efeitos indicativos, na Tabela I são expostos os intervalos de composição química de algumas águas¹.

Observa-se que os íons que alcançam maior proporção são o Na⁺, os cátions alcalinoterrosos e os ânions SO₄²⁻ e Cl⁻.

É necessário ressaltar, no entanto, que não é freqüente que todos esse íons se encontrem numa mesma água, mas alguns deles aparecem de forma majoritária em uma água de uma região determinada, e outros em uma de outra região. De forma geral, contudo, pode-se considerar que Ca²⁺ e Mg²⁺ são os cátions freqüentes nas águas da região de Castellón, especialmente nas áreas próximas da costa, assim como os cloretos (NaCl), cuja proporção aumenta mais nas épocas de seca.

Foi feita referência até o momento somente aos íons presentes nas águas que chegam as estações industriais procedentes da rede, poços, etc. Além disso, deve-se ter em conta, do ponto de vista da moagem de esmaltes, outros cátions que, ainda que não estando presentes originalmente na água, são adicionados nela durante a moagem como conseqüência da solubilização parcial das fritas presentes na composição do esmalte. Esta solubilização é favorecida pelo aumento da temperatura da suspensão durante a moagem e pela própria agitação violenta que ocorre no interior do moinho.

Tabela I. Intervalos de composição química das águas.

Ca ²⁺ (mg/L)	5-250
Mg ²⁺ (mg/L)	2-150
Na ⁺ (mg/L)	10-1500
K ⁺ (mg/L)	2-50
Cl ⁻ (mg/L)	10-850
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	90-1000
NO ₃ ⁻ (mg/L)	15-400
B(mg/L)	<1
Condutividade a 25 °C (µS/cm)	700-5000

Os elementos mais comuns que se solubilizam a partir das fritas são: K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺ e boro (em forma de boratos solúveis). Ainda sendo muito variáveis as quantidades solubilizadas, em função do tipo de fritas, são apresentados na Tabela II alguns dados correspondentes a ensaios de solubilidade de fritas realizados pelo Instituto de Tecnologia Cerâmica.

Se estes valores são comparados com os da Tabela I, pode-se observar a presença em proporção significativa de um elemento, o boro, que apenas aparece em águas da rede ou poço, fato que deve ser levado em consideração. Além disso, deve-se ter em conta o bário, pois pôde ser comprovado que é um cátion que se solubiliza com relativa facilidade das fritas das quais faz parte.

3. Efeito dos Íons em Solução Sobre o Comportamento Reológico das Suspensões

Nesta seção é descrito como é modificado, durante a moagem, o comportamento reológico das suspensões de esmalte em conseqüência da presença de íons dissolvidos na água utilizada. Pelos motivos expostos na seção anterior, será considerado o efeito não somente dos íons que habitualmente se encontram na água que chega nas instalações industriais (sódio, potássio, magnésio, sulfatos, carbonatos, cloretos e nitratos), mas também de alguns dos íons contidos nas fritas ao solubilizarem-se parcialmente durante a moagem (bário e boro).

Dado que nos esmaltes coexistem diferentes componentes, utilizados para finalidades variadas, a interação dos íons mencionados com tais componentes será tratada separadamente. Como será visto, suas conseqüências são distintas e, em alguns casos, antagônicas, sendo, portanto, o efeito conjunto a soma de todas elas, que dependerá da importância relativa de cada uma, a qual é variável de um caso para outro. Assim, os componentes dos esmaltes foram agrupados em quatro categorias: ligantes, defloculantes, sólidos com comportamento não-plástico e sólidos com comportamento plástico. Os dois primeiros encontram-se dissolvidos na água e são minoritários no conjunto da composição do esmalte. O ligante utilizado atualmente é quase que exclusivamente a carboximetilcelulose sódica (CMC), e os defloculantes empregados de forma majoritária são o tripolifosfato e o hexametáfosfato sódico, que apresentam um mecanismo

Tabela II. Cátions solubilizados de fritas cerâmicas (ppm).

Ca ²⁺	300-700
Mg ²⁺	10-50
Na ²⁺	40-700
K ⁺	140-200
B	180-250

de atuação análogo.

Em relação aos sólidos que compõem o esmalte, e que ficam dispersos na suspensão, considerou-se que podem ser agrupados em plásticos e não-plásticos, sendo incluídos no primeiro grupo as argilas e caulins, e no segundo grupos os materiais restantes que constituem os esmaltes: fritas, silicato de zircônio, alumina, carbonato de cálcio, etc. Como os materiais representativos de ambos os grupos, foram escolhidos o caulim e o quartzo, respectivamente, para conhecer sua interação com os íons dissolvidos, tendo sido desconsiderada a utilização de uma frita para evitar que se solubilizasse e modificasse a proporção do caulim e do quartzo de forma descontrolada.

3.1. Influência do CMC Sobre a Viscosidade

Como indicado mais acima, o CMC é adicionado nas suspensões de esmalte para, entre outros fins, dotar de maior consistência a camada crua de esmalte e incrementar a sua aderência ao suporte. Além disso, isso implica que sua presença modifica as características da suspensão, provendo-a de um comportamento pseudoplástico e incrementando sua viscosidade, em consequência de sua dissolução no meio aquoso.

O CMC é um polímero linear aniônico suscetível de reagir em meio aquoso com os cátions presentes. De acordo com diversos autores²⁻⁴, as interações mais importantes que podem ser produzidas são:

- Os cátions alcalinos e o amônio formam sais solúveis com o CMC;
- O íon cálcio, em pequenas proporções, reage com o CMC provocando uma diminuição da viscosidade da solução, e em altas concentrações, é produzida a precipitação do CMC cálcico. Os íons magnésio e ferro (II) têm um efeito similar ao do cálcio;
- Os íons de metais pesados como prata, bário, cromo, chumbo e zircônio dão lugar a precipitações dos sais correspondentes;
- O CMC também precipita com o cátion alumínio (III).

A viscosidade das dissoluções de CMC também varia com o pH do meio. Segundo a bibliografia consultada (1), no intervalo de pH 7-9, é obtida a maior estabilidade deste polímero. Em $\text{pH} \leq 4$, devido à formação do ácido livre (menos solúvel), observa-se um aumento significativo da viscosidade, e algumas vezes pode-se produzir insolubilidade em $\text{pH} \leq 2$, enquanto que em pH superiores a 10 produz-se uma ligeira diminuição na viscosidade.

Em um estudo realizado pelo Instituto de Tecnologia Cerâmica⁵, determinou-se quantitativamente a variação do comportamento reológico de uma solução aquosa de CMC em proporção equivalente a 0,6% em peso em relação ao sólido em uma suspensão de esmalte a 65% em sólidos, quando adicionados, na concentração de 0,1M, os elementos sódio, potássio, cálcio, magnésio, bário e boro.

Na Fig. 1 é apresentada a variação da viscosidade das

dissoluções ensaiadas com o gradiente de velocidade, nas quais observa-se o comportamento pseudoplástico que apresentam as soluções de CMC e o efeito produzido sobre este comportamento ao serem adicionados os diferentes cátions.

Observa-se uma variação da viscosidade em todo o intervalo de gradientes de velocidade estudado, podendo ser observadas algumas tendências: o boro e o potássio apenas modificam a viscosidade, enquanto que o resto dos cátions a diminui (o sódio ligeiramente, e o cálcio e o magnésio em maior proporção). Menção a parte merece o caso do bário, que produz uma grande diminuição da viscosidade, modificando também o caráter pseudoplástico da solução original de CMC.

Em relação a uma possível interação do CMC com os ânions dissolvidos na água, devido ao caráter aniônico do próprio CMC, uma reação entre eles não deve ser produzida. Por isso, em princípio, não cabe esperar nenhuma alteração significativa no comportamento reológico da solução aquosa de CMC. Na Fig. 2 é apresentada a variação de viscosidade que sofre a solução de CMC ao serem adicionados nela diferentes ânions (cloreto, nitrato, sulfato e carbonato) em forma de sal sódico na concentração de 0,1 M. Observa-se, em todos os casos, uma diminuição da viscosidade, mais visível no caso do sulfato e do carbonato sódicos. Estes efeitos podem ser atribuídos ao acréscimo

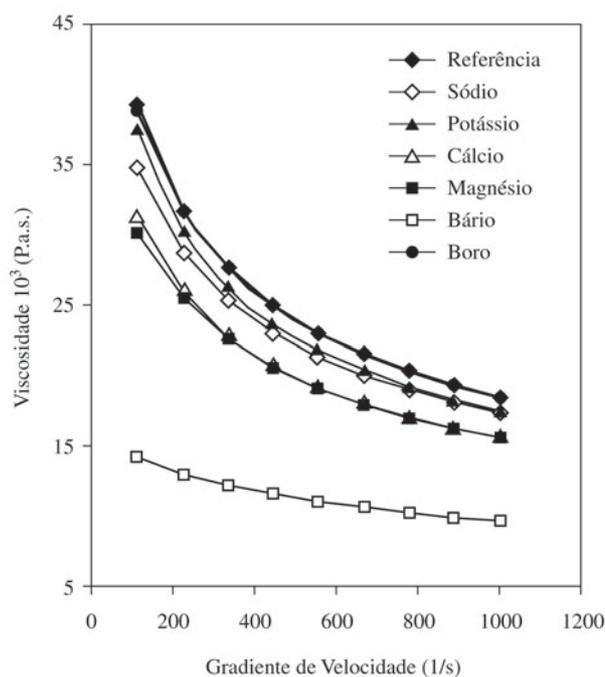


Figura 1. Efeito da presença de diferentes cátions, na concentração de 0,1 M, na viscosidade de uma solução aquosa de CMC.

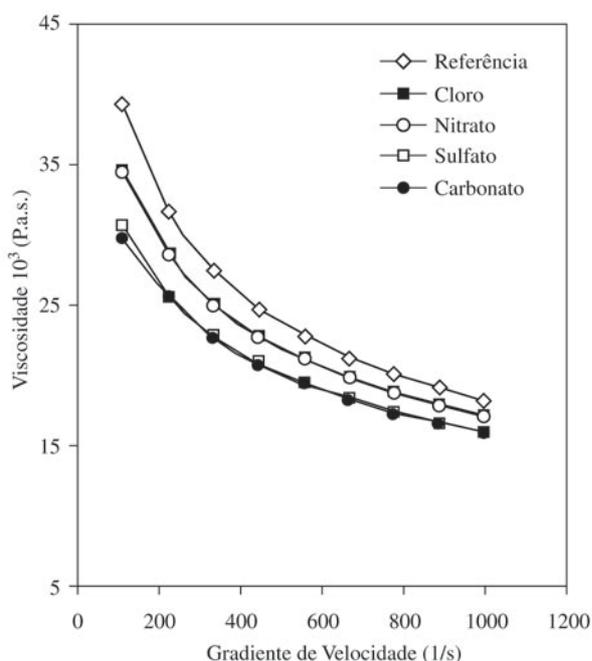


Figura 2. Efeito da presença de diferentes ânions, na concentração de 0,1 M, sobre a viscosidade de uma solução aquosa de CMC.

do íon sódio na solução, o qual possui uma ação redutora de viscosidade, como visto anteriormente. Esta hipótese justifica também o efeito do sulfato de sódio e do carbonato de sódio, já que ambos aportam o dobro da quantidade de sódio que o cloreto e o nitrato sódicos.

3.2 Efeito Devido à Interação com Partículas Sólidas

Nesta seção são mostrados os resultados correspondentes à variação do comportamento reológico de suspensões aquosas de CMC e caulim, de caulim e quartzo, e de caulim, quartzo e CMC, ao ser adicionados os elementos considerados, obtidos no estudo referido na seção anterior⁵. Assim, pode ser comparado o efeito sobre os materiais com comportamento plástico (caulim) e sobre os materiais com comportamento não plástico (quartzo), separadamente e combinados com o CMC. Os ensaios correspondentes a estes resultados foram realizados com suspensões a 65% em peso de sólidos, no caso das amostras com quartzo e caulim, e a 7% no caso das amostras preparadas sem quartzo. A concentração dos íons dissolvidos foi em todos os casos 0,1 M.

i. Suspensão aquosa de CMC e caulim

Na Fig. 3 é representada a variação da viscosidade com o gradiente de velocidade obtido para as suspensões ensaiadas. Como pode ser observado, a variação que é produzida na

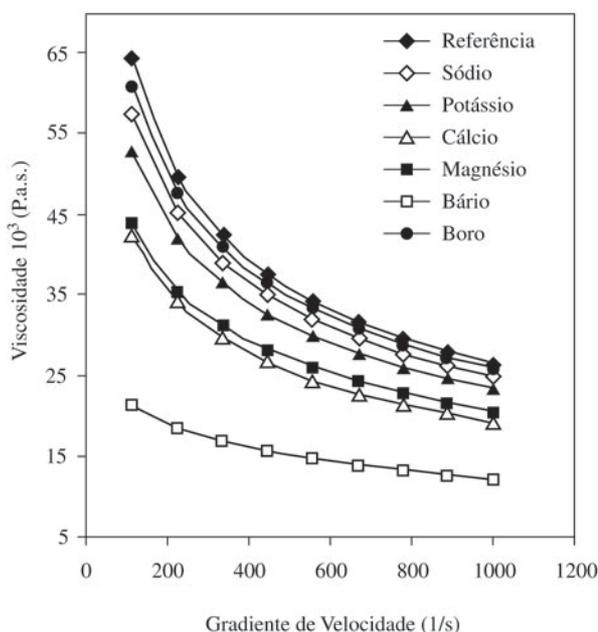


Figura 3. Efeito da presença de diferentes cátions, na concentração de 0,1M, sobre a viscosidade de uma suspensão de CMC e caulim.

viscosidade é similar à que provocava a adição destes cátions à solução preparada unicamente com CMC, o que parece indicar que a interação do CMC com os cátions é mais importante que as possíveis interações entre eles e o caulim.

ii. Suspensão aquosa de CMC, caulim e quartzo

Neste caso, devido a que as suspensões apresentavam uma variação visível de viscosidade com o gradiente de velocidade, foram apresentados suas curvas de fluxo correspondentes (Fig. 4).

Nelas pode ser observado que, em todo o intervalo de gradientes de velocidade estudado, a adição de sódio não modifica consideravelmente o comportamento reológico nem a viscosidade da suspensão. O potássio e o boro produzem um ligeiro aumento da viscosidade em todo o intervalo de gradiente de velocidade ensaiado. Possivelmente devido a isso provocam a floculação da suspensão original. O cálcio, o magnésio e o bário produzem uma mudança similar no comportamento reológico do sistema, mas é observado o efeito contrario, diminuição da viscosidade, a altos gradientes de velocidade. O primeiro efeito pode ser decorrente da floculação que provocam na suspensão, e o segundo pode estar associado, como já foi colocado anteriormente, à interação existente entre os cátions e o CMC.

Na Fig. 5 é mostrado o efeito produzido sobre o comportamento reológico destas suspensões ao serem adicionados os diferentes ânions estudados, podendo ser obser-

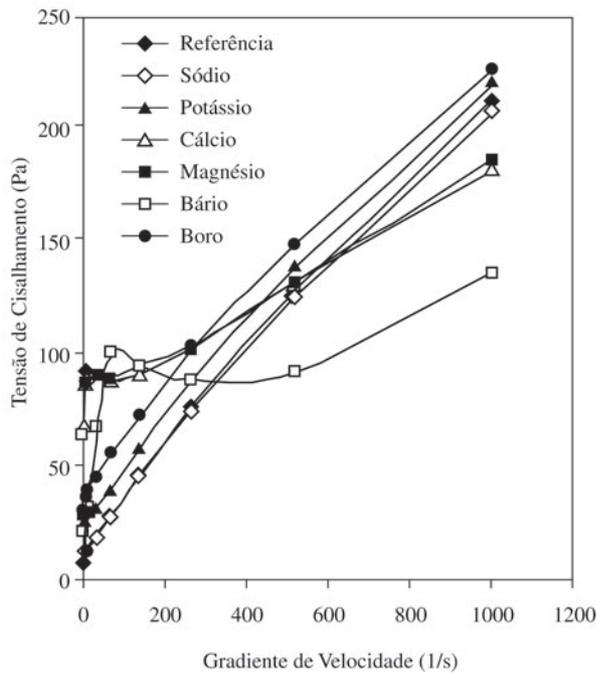


Figura 4. Efeito da presença de diferentes cátions, na concentração 0,1M, sobre a viscosidade de uma suspensão de CMC, caulim e quartzo.

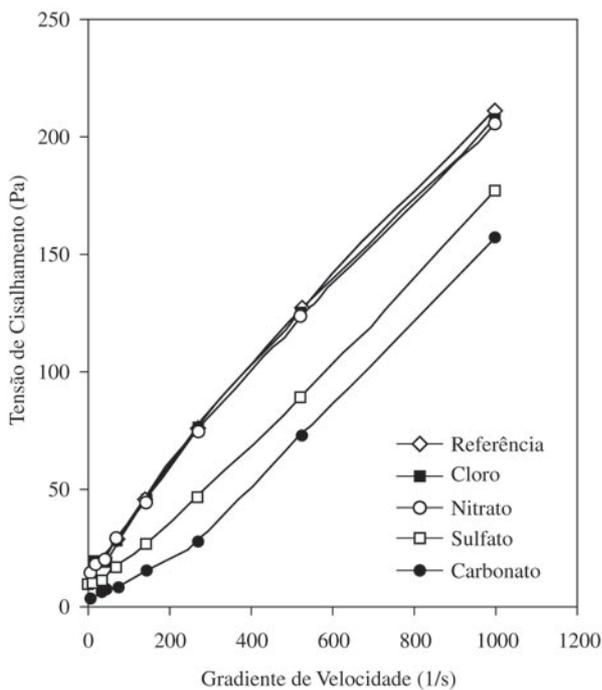


Figura 5. Efeito da presença de diferentes ânions, na concentração 0,1M, sobre a viscosidade de uma suspensão de CMC, caulim e quartzo.

vado que o sulfato e o carbonato provocam uma diminuição de viscosidade em todo o intervalo de gradientes de velocidade ensaiado. Em vista destes resultados, pode-se concluir que a adição destes ânions provoca uma mudança no estado de floculação da suspensão, comportando-se como defloculante, previsivelmente como consequência de sua interação com as partículas sólidas presentes.

iii. Suspensão aquosa de caulim e quartzo

Com o objetivo de determinar o efeito dos cátions em suspensões sem ligante, foram utilizadas suspensões separadas unicamente com caulim e quartzo. Na Fig. 6 foram representadas as curvas de fluxo obtidas para as suspensões preparadas com caulim e quartzo, nas quais foram adicionados os diferentes cátions.

Como pode ser observado, a adição de sódio na suspensão não altera significativamente a sua viscosidade. A adição de potássio, boro, magnésio, cálcio e bário produz um aumento da viscosidade, sendo este efeito mais visível na ordem indicada.

Estes dados são concordantes com os que aparecem na bibliografia, segundo os quais o incremento de viscosidade deve-se a um aumento das forças atrativas entre as partículas, como resultado da adsorção dos cátions sobre a superfície das mesmas⁶.

Pode-se concluir, assim, que os incrementos de viscosidade (floculação) detectados são produzidos em conse-

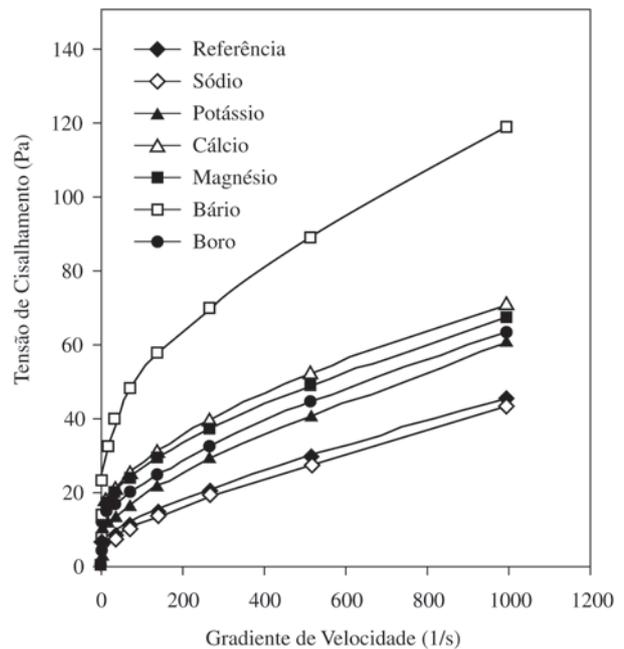


Figura 6. Efeito da presença de diferentes cátions, na concentração 0,1M, sobre a viscosidade de uma suspensão de caulim e quartzo.

qüência da interação dos cátions que a produzem com o sólido presente (caulim e quartzo), ainda que os resultados expostos no ponto *i*. pareçam indicar que o efeito do caulim não é significativo, possivelmente devido à pequena proporção em que é encontrado.

Mediante a realização deste mesmo ensaio com os diferentes ânions (Fig. 7), foi possível confirmar que o sulfato e o carbonato atuam como defloculantes, o que confirma que as mudanças observadas na seção *ii*. são devidas, principalmente, à mudança que se produz no estado de defloculação da suspensão.

3.3. Efeito Sobre o Defloculante

Os defloculantes habitualmente usados nas suspensões de esmalte são, como já dito mais acima, o tripolifosfato e o hexametáfosfato sódico. A natureza de ambos é análoga, e também o é a interação que apresentam com os cátions em solução.

Ao se dissolver os defloculantes em meio aquoso, produz-se a dissociação entre os ânions correspondentes (tripolifosfato ou hexametáfosfato) e o cátion Na^+ . O efeito defloculante é produzido, então, como consequência de duas causas: por um lado, um efeito eletroestérico ao adsorver o ânion sobre a superfície das partículas sólidas em suspensão, separando-as; por outro lado, a formação

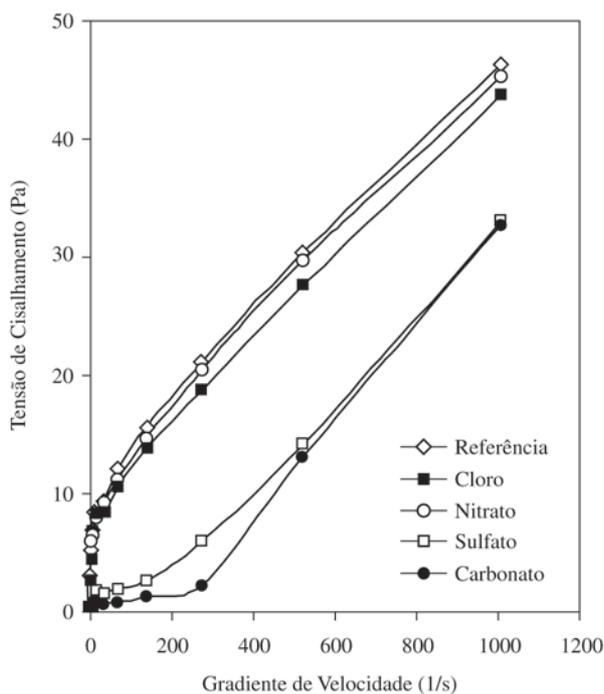


Figura 7. Efeito da presença de diferentes ânions, na concentração 0,1M, sobre a viscosidade de uma suspensão de caulim e quartzo.

de um complexo com o Ca^{2+} (e possivelmente o resto de alcalinoterrosos) que o elimina como cátion livre da solução. Este segundo efeito é, obviamente, o que está mais diretamente relacionado com o tema deste trabalho, e dele tratará a continuação.

Como se tem visto nas seções anteriores, o Ca^{2+} e o resto dos cátions alcalinoterrosos em solução apresentam um determinado efeito floculante sobre as partículas sólidas dispersas. O fato, portanto, de eliminar tal cátion do meio tem como consequência o desaparecimento de seu efeito. No entanto, tem-se que ter em conta que se substitui o cátion alcalinoterroso por Na^+ , que o defloculante aporta ao dissociar-se. No entanto, a ação deste cátion sobre as partículas sólidas ou sobre o CMC é muito pequena, como já visto, e ao compará-la com a dos cátions alcalinoterrosos, desprezível. Por isso, o efeito da substituição de um pelo outro se manifesta como uma defloculação da suspensão e um melhor desenvolvimento da viscosidade contida pelo CMC.

Além do efeito complexante sobre o Ca^{2+} e outros cátions alcalinoterrosos, os defloculantes fosfáticos não interagem com os cátions alcalinos, nem consta que o façam com o boro em solução. Este último caso, no entanto, é mais difícil de ser determinado, dada a complexidade da química do boro dissolvido em meio aquoso. De qualquer forma, não parece haver uma interação entre as espécies borácicas que existem nas águas das suspensões de esmalte e o tripolifosfato ou o hexametáfosfato sódico.

No que se refere aos ânions SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- e CO_3^{2-} , por sua própria natureza e carga, não sofrem nenhuma interação com os defloculantes, coexistindo ambas espécies em solução.

4. Técnicas de Tratamento de Águas

Ao se utilizar água para a preparação dos esmaltes com elevados conteúdos de sais e, em particular, daqueles que apresentam maior influência sobre o comportamento reológico dos esmaltes, pode ser conveniente, e inclusive necessário, levar a cabo um tratamento prévio da água a fim de eliminar ou reduzir a quantidade destes elementos da água de moagem. Além disso, a existência de um tratamento prévio, se realizado corretamente, deve garantir a constância nas propriedades da água de moagem^{7,8}.

Neste sentido, um estudo preliminar de laboratório é fundamental para decidir a necessidade de um tratamento prévio, estimar sua viabilidade econômica e decidir o tipo de tratamento.

Para o tratamento das águas de moagem para esmaltes são utilizados basicamente dois tipos de sistemas: resinas de intercâmbio iônico e membranas de osmose inversa. Os dois processos requerem, por sua vez, tratamento prévio para dispor de uma água isenta de sólidos em sua suspensão e de matéria orgânica.

As características do processo de intercâmbio iônico são:

- Mais utilizado tradicionalmente e, portanto, mais

conhecido;

- Maior seletividade na separação;
 - Necessita de reagente para regenerar as resinas;
 - O custo do tratamento é proporcional à salinidade da água;
 - Requer inversões menores.
- e as do processo de osmose inversa:
- Mais inovador, menos conhecido;
 - É um processo de eliminação total de sais, não seletivo;
 - O custo do tratamento é relativamente independente da salinidade da água;
 - Requer maior inversão inicial.

Devido a estas características, a situação atual na indústria cerâmica situada na província de Castellón é a seguinte: utiliza-se tratamento da água utilizada para a moagem de esmaltes mediante resinas de intercâmbio iônico quando a água apresenta como problema fundamental sua dureza (sem presença de quantidades importantes de outras espécies problemáticas em solução); e nos casos em que a concentração salina na água é fundamental, opta-se pelo tratamento mediante membranas de osmose inversa, uma vez que este método não é seletivo e permite a eliminação de quase todas as espécies químicas em solução.

Em ambos os casos, mas sobretudo no segundo, é frequente que não se leve a cabo o tratamento de toda a corrente de águas a ser utilizada, mas que seja realizado um tratamento parcial; posteriormente, dosando de maneira adequada a água tratada com a água sem tratar, obtém-se uma água com qualidade apta para ser utilizada nos processos de moagem de esmalte, e inclusive da massa, a um custo mais reduzido.

Por outro lado, em ambos os casos um dos problemas fundamentais que se origina é o vertido das dissoluções obtidas na regeneração das resinas ou da água concentrada (resíduos) nas membranas de osmose inversa.

Na continuação será descrito com mais detalhes o tratamento de águas por osmose inversa dado que este processo, como comentado anteriormente, ao ser menos utilizado no tratamento de águas para a indústria cerâmica, é menos conhecido, ainda que seu uso seja cada vez mais frequente, inclusive no tratamento de águas para as quais muito recentemente eram utilizados processos de intercâmbio iônico.

4.1 Descrição da Osmose Inversa

A osmose é definida como o transporte espontâneo de um solvente de uma solução diluída a outra concentrada através de uma membrana semipermeável ideal, que impede a passagem do soluto mas deixa passar o solvente. O fenômeno finaliza quando a diferença de pressão compensa a diferença de potencial químico, isto é, alcança-se o equilíbrio entre as duas soluções. A diferença de pressão obtida em equilíbrio é denominada pressão osmótica⁹.

No entanto, se uma pressão superior à osmótica é aplicada na solução concentrada, será produzida a passagem de solvente da solução mais concentrada para a mais diluída até ser alcançado um novo equilíbrio. Este fenômeno é conhecido como osmose inversa. O processo de osmose inversa é um tratamento físico que é aplicado para a eliminação de sólidos dissolvidos em geral em águas brancas e residuais mediante a utilização de membranas semipermeáveis.

A utilização deste processo exige que a água fornecida à unidade de tratamento esteja isenta, na medida do possível, de sólidos em suspensão e de matéria orgânica para não obstruir os poros da membrana.

4.2 Projetos de Osmose Inversa.

Um projeto de osmose inversa consta essencialmente das áreas de processo que a seguir são detalhados:

i. Captação de água

A origem pode ser de águas superficiais ou profundas (poço), sendo o segundo caso mais habitual; além disso, essas águas apresentam uma reduzida atividade biológica, o que aumenta a vida das membranas, podendo ser considerado que, em termos gerais, a captação de águas profundas apresenta menos problemas.

ii. Pré-tratamento

O pré-tratamento da água é realizado para garantir as condições ideais da alimentação aos módulos de osmose inversa. Este pré-tratamento será mais ou menos completo e constará de várias sub-etapas. Entre as mais habituais, cabe destacar as seguintes:

Desinfecção: se há uma alta atividade biológica, o método de desinfecção mais usual é a adição de NaClO (hipoclorito sódico). Se a atividade biológica é escassa, utiliza-se o bisulfito sódico, que ao atuar como redutor do oxigênio da água evita o crescimento de bactérias aeróbicas.

Coagulação: se as águas são superficiais, podem existir sólidos em suspensão que devem ser eliminados. Para isso, é necessária a adição de cloreto de ferro, alumina ou coagulantes polieletrólitos.

Filtração: normalmente são realizadas duas filtrações. A primeira utiliza filtros de areia, ou de camada mista de areia e antracito, no caso de ser necessária uma maior finura. Além disso, costuma-se fazer uma segunda filtração denominada de segurança, para proteger a membrana de osmose inversa.

Acidificação: a acidificação é realizada para evitar precipitações sobre as membranas, fundamentalmente de CaCO₃. Normalmente é empregado H₂SO₄ ou HCl.

Decloração: as membranas utilizadas para osmose inversa são muito sensíveis à presença de

cloro residual ou outros agentes oxidantes da membrana.

Esta declaração pode ser levada a cabo mediante a utilização de bisulfito sódico como redutor ou empregando-se filtros de carvão ativo. A adição de bisulfito sódico é o método mais usual e efetivo, uma vez que o carvão ativo, por sua capacidade de reter matéria orgânica, é um suporte excelente para a proliferação de microorganismos.

Anti-incrustantes: para obter-se um bom rendimento na dessalgação, é fundamental prevenir a precipitação sobre a membrana de osmose inversa de sais pouco solúveis, tais como CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 ou CAF_2 . Para isso, são utilizados dispersantes ou antiincrustantes, sendo os mais utilizados o hexametáfosfato sódico e os fosfonatos.

iii. Bombeamento de alta pressão.

Uma vez que a água tenha sido tratada com os produtos químicos adequados e devidamente filtrada para reduzir a um nível aceitável as partículas em suspensão, ela é passada pela bomba de alta pressão.

As características essenciais que são exigidas de uma bomba de alta pressão para osmose inversa são:

- Confiabilidade;
- Resistência a águas agressivas;
- Bom rendimento hidráulico;
- Baixa manutenção;
- Facilidade para o reparo em caso de dano.

A água com pressão é introduzida em módulos de osmose inversa no interior dos quais encontram-se as membranas. Estas podem ser classificadas em função do material que dá forma a sua capa ativa:

Membranas de acetato de celulose: têm pouca tendência a sujar-se, bastante resistentes a oxidação (admite altos conteúdos de cloro) e são as mais baratas do mercado. Seus inconvenientes principais são a sensibilidade à acidez e o fato de serem membranas de média pressão.

Membrana de poliamida: admitem valores altos de pH. Sua tendência a sujar-se é um pouco maior que a da de acetato e são membranas de média pressão (25-40 Kg/cm^2). Seu inconveniente principal é que são muito sensíveis à oxidação e se degradam com o tempo.

Membranas de poliamida aromática: têm uma boa recusa de sais; são muito estáveis e admitem valores de pH extremos, especialmente ácidos.

Os parâmetros principais da unidade de tratamento por osmose propriamente dita são:

- Vazão de água alimentada;
- Vazão de água osmotizada ou permeato;
- Vazão de água de recusa;

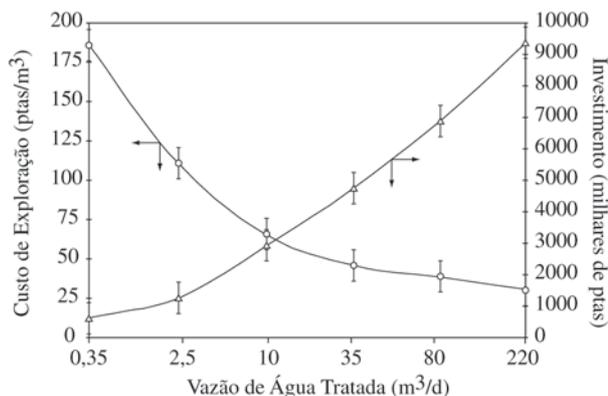


Figura 8. Dados econômicos sobre tratamento de águas por osmose inversa (fornecidos por fabricantes)

- pH da água de alimentação (5-9);
- Temperatura (10 - 40 $^{\circ}\text{C}$);
- Pressão da água alimentada (10-20 Kg/cm^2);
- Rendimento de eliminação de sais (>95%);
- Parâmetros econômicos (Fig. 8).

Bibliografia

1. GIMENEZ, E. Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España). Tesis doctoral, Granada, 1994.
2. GLENN, I; STELZER, e KLUG, E. D. Carboxymethylcellulose. En: Handbook of water-soluble gums and resins. New York: McGraw Hill, 1980: p. 4-2 a 4-28.
3. GREMINGER, G.K. Cellulose derivatives, ethers. En: Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology. New York: Wiley, 1979, vol.5, p. 143-163
4. ONODA, G.Y. The rheology of organic binder solutions. En: Ceramic processing before firing (edited by G. Y. Onoda and L. L..Hench). New York: Wiley, 1978, p. 235-351
5. NEGRE, FELIU, C.; MORENO, A; SANCHEZ, E. and BOU, E. Effect of frit cation release on the rheological behaviour of glaze suspensions. Br. Ceram. Trans., 95, 53-57,1996
6. FARROW, J.; et al. The effect of alkali and alkaline earth cations on the rheology of concentrates quartz suspensions. J. Rheology, 33 (8), 1213-1230, 1989.
7. RODIER, J.; Análisis de aguas. Barcelona: Omega, 1989
8. CATALAN, j. G. Química del agua, 1981. ISBN 84-300-5132-5
9. LAZARO, I; ALMELA, L et al. La ósmosis inversa y su aplicación en la desalación de aguas. Tecnología del agua 157, 28-32, 1996.