

ESTUDO DE CASO: O QUANTO A CONCENTRAÇÃO DE UMA MOAGEM INTERFERE NA REOLOGIA E NO TAMANHO DA PARTÍCULA DO PRODUTO ACABADO

Luara Pires Bernardini¹

Salesio Sebastião de Oliveira Junior²

Carolina Resmini Melo Marques³

Aline Resmini Melo⁴

1 Graduanda em Engenharia Química, Faculdade Satc/SC. E-mail: luarabernardini@gmail.com

2 Graduando em Engenharia Química, Faculdade Satc/SC. E-mail: salesio.oliveira.junior@gmail.com

3 Professora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc/SC. E-mail: carolina.melo@satcd.edu.br

4 Coordenadora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc/SC. E-mail: aline.melo@satc.edu.br

RESUMO: A viscosidade, ou tempo de escoamento de um material está diretamente ligada à sua densidade, sendo assim, quanto mais denso um material, maior será o seu tempo de escoamento, sendo essa relação diretamente proporcional. Quanto maior o tempo de moagem que um composto é submetido, menor é o diâmetro das partículas resultantes. O objetivo do estudo é verificar se materiais moídos em diferentes concentrações apresentam diferença nas suas reologias e verificar se há mudança no tamanho de partícula nas moagens com diferentes concentrações. Através do estudo foi possível observar que não há diferença na reologia, e há uma mudança significativa no tamanho de partícula, quando moído em diferentes concentrações.

Palavras-Chave - Densidade; Viscosidade; Esmalte; Partícula; Concentração.

ABSTRACT:

The viscosity, or flow time, of a material is directly linked to its density, thus, the denser a material, the longer its flow time, and this ratio is directly proportional. The longer the grinding time a compound is subjected to, the smaller the diameter of the resulting particles. The objective of the study is to verify if materials ground at different concentrations present differences in their rheology and to verify if there is a change in the particle size in the mills with different concentrations. Through the study it was possible to observe that there is no difference in rheology, and there is a significant change in particle size when ground in different concentrations.

Keywords - Density; Viscosity; Enamel; Particle; Concentration.

1 INTRODUÇÃO

O tema, proposto pela empresa NovaColor Indústria de Beneficiamento e Moagem LTDA, tem por objetivo, estudar o comportamento de um determinado esmalte, se formulado em diferentes concentrações. Com a finalidade de resolver problemas funcionais do material estudado, e a partir dos resultados, minimizar custos sem interferir na qualidade do produto acabado. A parte experimental do estudo, tem como foco o estudo da viscosidade e reologia do material, e da deformação das partículas do material.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será definido o que é viscosidade e descrita como é feita uma moagem de um material.

2.1 VISCOSIDADE

Segundo Schramm (2006), a deformação de um corpo sob influência de tensões, é explicada através da reologia. Corpos que podem ser sólidos, líquidos ou gases. Sólidos ideais se deformam elasticamente, onde a energia necessária para a deformação é completamente recuperada quando a tensão é removida. Fluidos ideais (líquidos e gases), quando se deformam são irreversíveis, pois eles fluem. Nesse caso, a energia requerida para a tal deformação dissipa-se em forma de calor e não pode ser recuperada.

Neto (1994), aponta que boa parte dos líquidos apresentam um comportamento reológico que os classifica entre líquidos e sólidos. Esses que ficam entre sólido e líquido são elásticos e viscosos e, por isso são comumente denominados viscoelásticos. Sólidos podem sofrer tensão, como a cisalhante enquanto a água pode somente ser cisalhada.

Schramm (2006), afirma que a Bíblia comenta “tudo flui, até as montanhas, se você esperar tempo suficiente”. Um fator tempo pode ser determinado para todos os materiais para que ocorra a deformação. O processo de deformação está por sua vez, relacionado com o fator tempo, ou seja, tudo escoar. O que nos leva ao número de Deborah (λ/t) que é a razão entre um fator de tempo característico “ λ ” (lambda) e os valores característicos de tempo “ t ”. Uma prova de que realmente tudo escoar, são os vidros das janelas da catedral de Chartres, na França. Esses vidros foram produzidos há cerca de 600 anos, e eles “fluíram”. É notável que a espessura no decorrer da peça não é a mesma, com a influência da gravidade as moléculas do vidro fluíram

para baixo, deixando a parte superior com uma espessura fina, que hoje é comparada a uma folha de papel.

Viscosidade é a resistência que um fluido tem sob qualquer mudança irreversível de seus elementos de volume. Com a finalidade de conservar o fluxo de um fluido, energia deve ser adicionada continuamente. (NETO, 1994)

De acordo com Schramm (2006), enquanto sólidos e líquidos reagem de maneiras diferentes quando deformados por tensões, em líquidos e gases não há diferenças representativas quanto à reologia. Gases são fluidos com viscosidades muito baixas, um exemplo é a viscosidade do gás hidrogênio a 20°C, que é um centésimo da viscosidade da água. As viscosidades de líquidos e gases são inversamente dependentes da temperatura, e essa é uma diferença marcante entre líquidos e gases.

2.2 MOAGEM DO MATERIAL

Aponta Neto (1994), que na indústria cerâmica tem-se como início do processo produtivo a moagem das matérias-primas, que tem por finalidade homogeneizar o material, criando um estado uniforme de distribuição de tamanhos de partículas, para que o produto final possua as propriedades características desejadas. Para tal procedimento, usa-se comumente o moinho de bolas.

Um moinho de bolas comum consta de um tambor cilíndrico rotativo ou um jarro cilíndrico de porcelana, onde é parcialmente preenchido por bolas. O material a ser moído é alimentado no tambor ou jarro, e conforme o tambor ou jarro vai girando, as esferas são levantadas até certo ponto, e depois caem sobre ele. As esferas podem ser de diferentes materiais (aço, pedra, porcelana ou qualquer material que possa ser conveniente a uso). Podendo o moinho ser fixo, ou móvel, como o caso dos jarros que são levados para um “gira moinho” onde são agitados a uma quantidade estabelecida de rpm. (GAUTO, 2011; SANCHEZ, 1997)

Descreve Neto (1994), que no processo de moagem estão agindo sobre o moinho dois tipos de velocidade, sendo elas a de rotação e a tangencial. A velocidade de rotação é expressa em RPM e a tangencial expressa por m/min. Além da velocidade, as forças que atuam no momento da moagem também são dois tipos, a força gravitacional e a força centrífuga. A força gravitacional é a força peso, e a centrífuga é uma força que faz com que um corpo se afaste do centro da órbita circular. O rendimento da moagem é influenciado pelas características da própria matéria prima como: dimensão e forma das partículas, dureza do material (resistência a compressão), estrutura homogênea ou heterogênea, umidade ou higroscopicidade, sensibilidade a variação de temperatura e tendência a aglomeração.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Sanches (1997), aponta os materiais mais usados na formulação de esmaltes. Para o procedimento experimental foi escolhido um esmalte contendo dois tipos de fritas transparentes, caulim e aditivos, conforme apresentado na Tabela 1. O tipo de fritas, caulim e aditivos usados são irrelevantes para o presente estudo, sendo que o material foi fornecido por uma empresa que solicitou sigilo na sua formulação.

Tabela 1 – Composição das amostras.

COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS									
AMOSTRA	FRITA TRANSPARENTE 1	FRITA TRANSPARENTE	CAULIM	ADITIVOS	TOTAL MATERIAL	ÁGUA	TOTAL COMPOSTO		
	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Material %	Água %
PADRÃO	120,00	149,25	30,00	0,75	300,00	105,00	405,00	74,00	26,00
AMOSTRA 1	89,10	110,80	22,27	0,55	222,72	182,28	405,00	55,00	45,00
AMOSTRA 2	97,20	120,90	24,30	0,60	243,00	162,00	405,00	60,00	40,00
AMOSTRA 3	105,30	130,98	26,32	0,65	263,25	141,75	405,00	65,00	35,00
AMOSTRA 4	113,40	141,05	28,35	0,70	283,50	121,50	405,00	70,00	30,00

O esmalte foi preparado com diferentes concentrações, o padrão utilizado para a base das análises, foi formulado de acordo com as diretrizes que a empresa preestabeleceu, portanto, o padrão foi moído com 74% de material seco e 26% de água. As demais amostras, enumeradas de 1 a 4, ficaram com as respectivas concentrações de material seco e água: 55% e 45%, 60% e 40%, 65% e 35%, 70% e 30%. A moagem do material foi realizada por via úmida e por moinho de bolas, à uma rotação de 365 RPM, com um jarro de volume 500ml. Para minimizar os erros entre moagens, as amostras foram submetidas à moagem em um único moinho e um gira-moinhos. O tempo de moagem determinado foi de 30 minutos. Após a moagem, o material ficou com densidade variando de uma amostra à outra. Após todas as moagens realizadas, as densidades dos esmaltes, inclusive a amostra padrão, foram igualadas. A densidade escolhida foi de ρ : 1,51 g/cm³, que foi a densidade da amostra com a menor concentração de material seco, amostra 1. Com as densidades igualadas, as análises da reologia foram iniciadas e repetidas nos dias subsequentes, conforme Tabela 2. Para o presente estudo de caso, somente a reologia e a densidade do material nesse primeiro momento foram estudadas.

Foi usado um copo *Ford* de 4mm de abertura para medir o escoamento do material. Este teste consiste em inferir a viscosidade do esmalte a partir do tempo que o esmalte demora para esvaziar o copo. Neto (1994), aponta que o tempo de escoamento está relacionado com a viscosidade do material, quanto mais viscoso o material estiver, mais demorado vai ser o seu escoamento.

Após decorridos os dias de análises, o tamanho de partícula foi verificado pois segundo Pileggi et al. (1996), o estudo da distribuição granulométrica é a condição básica para desenvolvimento de materiais cerâmicos sendo determinante para uma série de propriedades deste material, como a reologia. Como primeira etapa, 50g de cada amostra foram pesadas e levadas à estufa, para identificar a massa seca do material. Para o procedimento nesse segundo momento, foram realizadas mais duas moagens (realizadas conforme apresentado previamente) onde essas moagens foram homogeneizadas e 100 ml do esmalte foi utilizado para a análise. Seis malhas do tipo *mesh* com diferentes aberturas sobrepostas entre si, foram utilizadas no procedimento na ordem: #100, #150, #200, #325, #400 e #500. De acordo com Rosifini (2016), o peneiramento é o método mais antigo para determinação de análise granulométrica, onde o material pode ser separado em duas classes ou mais devido a superfície da malha ser constituída por fios metálicos trançados em duas direções ortogonais de forma a deixarem diferentes aberturas. As malhas foram sobrepostas na ordem citada anteriormente, onde o esmalte foi despejado na primeira malha e com o auxílio de uma torneira tipo chuveiro, foi lavado até sobrar apenas o resíduo na malha. O procedimento é repetido nas malhas seguintes, o seu resíduo é avolumado e colocado na estufa a 120°C para secagem do material, conforme Tabela 3.

A seguir as fórmulas usadas para o cálculo de porcentagem de peso seco retido é mostrada na Equação (1), massa de material seco da moagem em gramas, representada pela Equação (2) e a porcentagem do resíduo retido nas malhas, conforme a Equação (3).

- Porcentagem de peso seco da amostra:

$$\% \text{ peso seco} = \frac{\text{peso seco}}{\text{massa úmida}} \times 100 \quad (1)$$

- Quantidade de material seco em gramas:

$$\text{peso seco (g)} = \text{massa úmida total} \cdot \frac{\% \text{ peso seco}}{100} \quad (2)$$

- Porcentagem do resíduo nas malhas:

$$\% \text{ resíduo} = \frac{\text{massa retida na malha}}{\text{peso seco}} \times 100 \quad (3)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neto (199), aponta que a reologia do material está diretamente relacionada com a sua concentração, sendo assim é possível afirmar que um material mais viscoso demorará a escoar, diferente de um material mais fluido que escoará com velocidade mais alta e tempo mais baixo.

Após uma série de testes e análises, foi possível concluir que, a diferença entre o tempo de escoamento entre as amostras foi irrelevante. Segundo Bortoloti (2007), sendo ínfima a diferença entre os tempos de escoamento, pode ser atribuída à fatores climáticos, erro humano e até mesmo pela escolha do equipamento para a análise, sendo que o Copo *Ford* é um dos mais evasivos de todos os instrumentos analíticos e erros sistemáticos podem ser considerados durante os ensaios. A média dentre todas as análises foi de 13,6 segundos, conforme Tabela 2. Ainda que a diferença entre a amostra padrão seja diferente das demais, esse fator se torna irrelevante pela margem de erro pelos motivos apresentados anteriormente. Sendo assim pode-se dizer que a concentração do material não influencia na reologia.

Tabela 2 – Análises das amostras – densidade e viscosidade no período de cinco dias.

ANÁLISES DAS AMOSTRAS - DENSIDADE E VISCOSIDADE NO PERÍODO DE CINCO DIAS			
AMOSTRA	DIA	DENSIDADE (g/cm³)	VISCOSIDADE (s)
AMOSTRA PADRÃO	1º	1,510	13,50
	2º	1,583	14,60
	3º	1,580	14,43
	4º	1,591	15,80
	5º	1,597	14,64
AMOSTRA 1	1º	1,514	12,50
	2º	1,510	12,48
	3º	1,512	12,31
	4º	1,519	13,04
	5º	1,523	13,10
AMOSTRA 2	1º	1,510	12,90
	2º	1,506	12,34
	3º	1,507	12,41
	4º	1,517	12,76
	5º	1,523	13,09
AMOSTRA 3	1º	1,516	12,00
	2º	1,513	12,45
	3º	1,516	12,76
	4º	1,512	12,79
	5º	1,526	12,92
AMOSTRA 4	1º	1,519	12,30
	2º	1,516	12,46
	3º	1,517	12,65
	4º	1,525	13,24
	5º	1,532	13,11

Referente ao tamanho de partícula, foi possível observar que quanto maior a concentração do material, menor será o tamanho da partícula. Para análise do tamanho da partícula, foi observado o retido acumulado nas malhas e os cálculos usando as equações previamente apresentadas, foram realizados, resultados na Tabela 3. Zauberas (2001), afirma que na malha #325, o tamanho da partícula corresponde a 45 µm, e na malha #500, correspondente a 25 µm. Na malha #325e #500 as retenções acumuladas diminuem conforme as concentrações

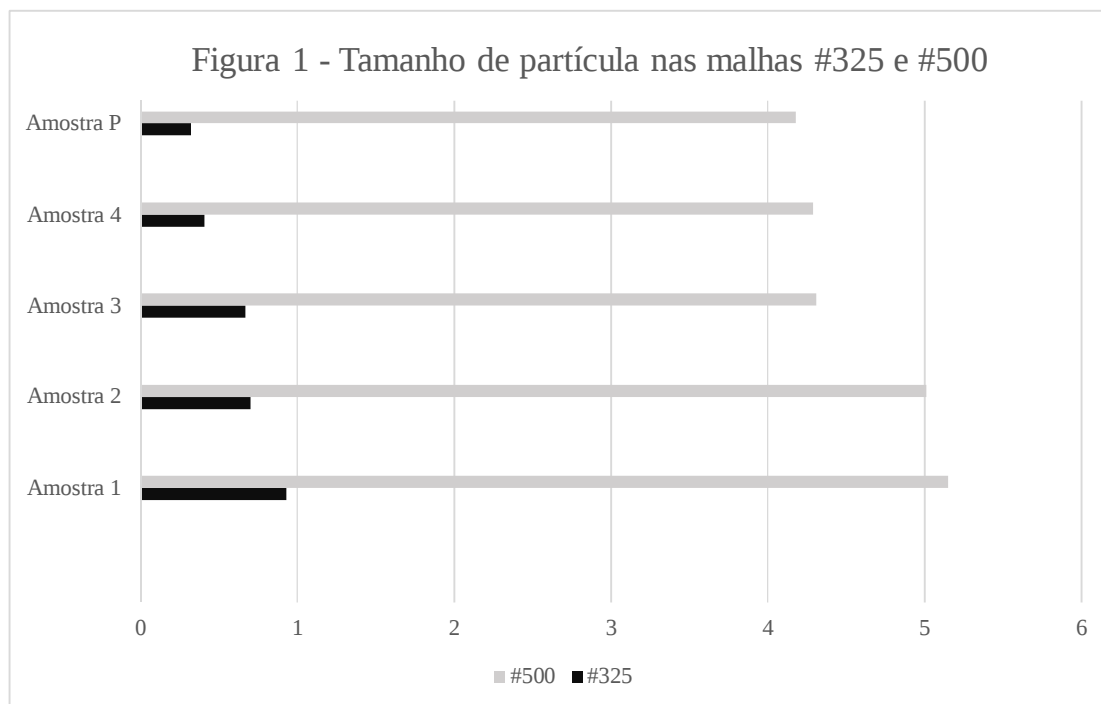
aumentam, como mostra a Figura 1. Isso se dá pois quanto maior a concentração de material seco, a moagem será mais acentuada. Quando a concentração de água é maior, as partículas ficam mais dispersas e sua moagem fica condicionada somente às esferas e à parede do moinho, diferente de quando a concentração do material é maior, pois as partículas ficam mais agrupadas e se ajudam no processo de moagem.

Tabela 3 – Granulometria retida.

GRANULOMETRIA RETIDA										
Amostra P	#100	#150	#200	#325	#325*	#325 %**	#400	#500	#500 *	#500 %**
Volume (ml)	-	0,11	0,18	0,35	0,64	0,32	0,60	2,00	3,24	4,18
Peso (g)	0,02	0,03	0,04	0,18	0,27		0,66	2,62	3,55	
Peso seco (g)	28,01									
Amostra 1	#100	#150	#200	#325	#325*	#325 %**	#400	#500	#500 *	#500 %**
Volume (ml)	-	0,08	0,15	0,85	1,08	0,94	1,90	2,20	5,18	5,15
Peso (g)	0,05	0,05	0,10	0,58	0,78		1,20	2,30	4,28	
Peso seco (g)	27,43									
Amostra 2	#100	#150	#200	#325	#325*	#325 %**	#400	#500	#500 *	#500 %**
Volume (ml)	-	0,05	0,16	0,60	0,81	0,70	0,80	2,70	4,31	5,01
Peso (g)	0,01	0,04	0,10	0,44	0,59		0,89	2,72	4,20	
Peso seco (g)	27,74									
Amostra 3	#100	#150	#200	#325	#325*	#325 %**	#400	#500	#500 *	#500 %**
Volume (ml)	-	0,10	0,16	0,42	0,68	0,67	0,60	2,45	3,73	4,31
Peso (g)	0,15	0,04	0,05	0,32	0,56		0,53	2,49	3,61	
Peso seco (g)	27,63									
Amostra 4	#100	#150	#200	#325	#325*	#325 %**	#400	#500	#500 *	#500 %**
Volume (ml)	-	0,10	0,32	0,32	0,74	0,41	0,40	2,20	3,34	4,29
Peso (g)	0,02	0,04	0,05	0,23	0,34		0,56	2,42	3,58	
Peso seco (g)	27,46									

* : Valor acumulado

** : Porcentagem do peso aumulado



5 CONCLUSÕES

Com o presente estudo de caso, foi possível estabelecer uma relação entre a concentração do material e sua reologia e da concentração com o tamanho de partícula. A concentração do material seco a ser moído não interfere diretamente na reologia do produto acabado, porém altera o tamanho de partícula e sua viscosidade, isso se dá pois quanto mais concentrado o material estiver no moinho de bolas, menor será o diâmetro médio das partículas resultantes.

Agradecimentos

À NovaColor Indústria de Beneficiamento e Moagem LTDA, pela disponibilização dos materiais, equipamentos e laboratório. Ao nosso colega Alex Junior Cechinel e aos professores da Faculdade Satc que nos ajudaram com sugestões e dicas.

Referências Bibliográficas

SCHRAMM, Gebhard. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006. 232.

NETO, J.B.R. **Caracterização e otimização do processo de Moagem de uma massa cerâmica grês**. 1994. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/76165/142051.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/76165/142051.pdf?sequence=1&isAllowed=y) &isAllowed=y. Acesso em: 01 et. 2016.

GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2011.

SANCHEZ, M.J. et al. **Efeito da composição das matérias-primas empregadas na fabricação de grês porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final**. Cerâmica Industrial. v. 6, p. 15-22, set/out. 2011. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n05/v6n5_2.pdf. Acesso em: 09 set. 2016.

SANCHÉS, E. **Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos**. Cerâmica Industrial. V. 2, p. 37-38, mai/agos. 1997. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n34/v2n34_5.pdf. Acesso em: 02 out 2016.

PILEGGI, Rafael Giuliano; PANDOLFELLI, Victor Carlos; RODRIGUES, José de Anchieta. **Concreto Refratário Auto-Escoante: Metodologia de Formulação e Correlações entre Distribuição Granulométrica e Reologia**. Cerâmica Industrial. V.1, p.7,jul/out.1996. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v01n03/v1n3_1.pdf. Acesso em: 02 out 2016.

ROSIFINI, Ana Carolina. **Processamento de materiais cerâmicos – Análise granulométrica e teor de resíduos de argila**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfurMAH/processamento-materiais-ceramicos-analise-granulometrica-teor-residuos-argila#>. Acesso em: 02 out 2016

BORTOLOTI, J.A.; BRUNS, R.E. **Consequências da análise incorreta de experimentos blocados**. Química Nova. v. 30, p. 436-440, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000200035>. Acesso em: 09 out. 2016.

ZAUBERAS, Rodrigo Tognotti; RIELLA, Humberto Gracher. **Defeitos de queima causados pelo quartzo em monoporosas**. Cerâmica Industrial. V. 6, p. 12-15, mar/abr. 2001. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2_5.pdf. Acesso em: 19 ago. 2016.