

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DA CAL VIRGEM NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS SUSPENSÕES DE CAL UTILIZADAS EM PROCESSOS DE DECAPAGEM QUÍMICA

Gustavo Santos Oliveira (IC) e Renato Meneghetti Peres (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

A cal e seus derivados são materiais cerâmicos de elevada utilização, devido a sua versatilidade industrial e disponibilidade geológica. Por isso, entender o comportamento deste material em condições específicas é uma atividade que pode proporcionar diversos ganhos para a indústria no geral. Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento reológico da cal, em função da granulometria deste mineral utilizado em processos de decapagem química de arames de aço. Foram utilizados 3 grupos de amostras com granulometria distintas, coletados após o processo de calcinação. As amostras foram denominadas em pó, farelo e grânulo. Para entender a influência, foram realizadas as caracterizações granulométricas em um agitador de peneiras e caracterizações referentes ao comportamento térmico do material. Por fim, foi realizada a avaliação da viscosidade das soluções obtidas pela mistura de água com cada uma das amostras. O diâmetro médio da amostra em pó é cerca de 5 vezes inferior ao diâmetro do farelo e 15 vezes inferior ao diâmetro do grânulo. As análises térmicas apresentaram um comportamento similar para todas as amostras, com uma variação da temperatura de oxidação possivelmente associada a umidade presente em cada amostra e ao fenômeno de crepitação existente em fornos verticais. Para a viscosidade, os resultados obtidos mostram que o material de maior granulometria apresenta uma viscosidade da ordem de 10 vezes superior ao pó e ao farelo, fazendo com que a granulometria seja um fator a ser avaliado para os processos industriais que demandam desta matéria prima.

Palavras-chave: cal, comportamento reológico, granulometria, suspensões cerâmicas

ABSTRACT

Lime and its derivatives are highly used ceramic materials due to their industrial versatility and geological availability. Therefore, understanding the behavior of this material under specific conditions is an activity that can provide several gains for the industry in general. This work aims to evaluate the rheological behavior of lime, as a function of the granulometry of this mineral used in chemical pickling processes of steel wires. Three groups of samples with different grain size, collected after the calcination process were used. The samples were

denominated in powder, bran and granule. To understand the influence, the particle size characterization was performed in a sieve shaker and characterization related to the thermal behavior of the material. Finally, the viscosity of the solutions obtained by mixing water with each of the samples was evaluated. The average diameter of the powder sample is about 5 times smaller than the bran diameter and 15 times smaller than the granule. Thermal analysis showed a similar behavior for all samples, with a variation of oxidation temperature possibly associated with humidity present in each sample and the crackling phenomenon existing in vertical ovens. For the viscosity, the results show that the material with the highest particle size has a viscosity of the order of 10 times higher than dust and bran, making the particle size a factor to be evaluated for industrial processes that require this raw material

Keywords: lime, rheological behavior , granulometry, ceramics suspensions

1. INTRODUÇÃO

O Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e seus derivados, como a cal virgem e a cal hidratada são muito comuns, devido a sua presença em todos os continentes, que constitui grandes áreas da superfície da terra (WICANDER, MONROE; 2017). A calcita (CaCO_3) é o principal constituinte mineralógico dos calcários sendo este mineral extraído de pedreiras ou depósitos cuja idade varia desde o Pré-Cambriano até o Holoceno, ou seja, da formação da Terra até os dias atuais (LINS, LUZ; 2008). As reservas de rochas carbonatadas são grandes e intermináveis, no entanto, a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo.

Os minerais carbonatados mais comercializados no mundo, segundo Salvador e Almeida (2008) são calcários e dolomitos, que são rochas sedimentares compostas por calcita e dolomita respectivamente. Devido à sua grande utilização e as diferentes condições de processamento, podemos obter materiais de mesma composição química e diversas faixas granulométricas. Assim, é necessário um estudo para a compreensão da influência que as questões granulométricas e a forma de produção podem apresentar, por exemplo, no comportamento reológico do material, que pode determinar a aplicação do material para uma finalidade específica.

O Calcário, em sua forma original (CaCO_3), pode ser utilizado em vários setores industriais, destacando-se as indústrias de produtos cimentícios, química, metalurgia, saneamento, papel e celulose, cerâmica, entre muitas outras. Segundo relatório disponível do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), em 2016, foram consumidos cerca de 58 milhões de toneladas de cimento no Brasil, gerando uma estimativa de que apenas as cimenteiras utilizaram 81 milhões de toneladas de calcário, na obtenção da principal matéria-prima da produção do cimento, o clínquer. Outro material derivado do calcário, a cal, é proveniente da calcinação destas rochas calcárias, apresentando-se sobre diversas variedades, dependentes da natureza da matéria-prima empregada e seu processamento do material (BAUER, 2011)

No processo siderúrgico, a utilização de cales ocorre no processo de trefilação, para produção de arames de aço, onde apresenta a função de proteção dos arames de aço da oxidação à qual está sujeito após o processo de decapagem (remoção da camada de oxidação formada na superfície do arame) e auxiliando a função de lubrificação do mesmo no início do processo de redução de sua seção transversal nas feiras de trefilação. Para esta aplicação, as características reológicas são estudadas com o objetivo de maximizar a eficiência da suspensão água/cal e sua impregnação nos aços decapados.

No mercado atual de fornecedores de materiais para indústria siderúrgica, existem uma variedade de produtos e produtores, os quais, ainda que forneçam seus materiais dentro de especificações técnicas básicas, em especial composição química e quantidade máxima de contaminantes, fazem com que a indústria se depare com alguns problemas de processo quando é necessária a troca esporádica ou definitiva de um fornecedor, ou a substituição de um produto.

Descartando-se a abordagem química, que direcionaria este trabalho, por exemplo, ao entendimento do processo de calcinação e as matérias-primas utilizadas e restringindo-se a uma abordagem física, é necessário um estudo sobre a granulometria do material e suas consequências nas propriedades reológicas da suspensão água/cal, que acabam afetando as condições do processo produtivo devido a uma soma de fatores, como por exemplo, as condições de operação e equipamentos utilizados.

A alteração na granulometria de determinado produto, modifica suas características de processo devido a mecanismos de hidratação, deposição e decantação (GOMIDE, 1980), razão pela qual motivam um estudo detalhado do seu efeito no emprego do material no cenário acima descrito.

Há anos, a indústria siderúrgica é aquela que demanda a maior quantidade de cales calcíticas e dolomíticas (GUIMARÃES, 1997). Ainda que não seja a principal aplicação de cales neste segmento industrial, a aplicação como agente de proteção e lubrificação no processo de trefilação apresenta influência na qualidade final do arame obtido.

No mercado atual, em razão dos contínuos esforços em busca da eficiência e redução de custos para tornar a indústria brasileira mais competitiva frente aos produtos importados, em especial, os produtos chineses, esforços são continuamente aplicados na busca de soluções por materiais que apresentem menor custo e mantenham a qualidade do processo. No caso específico, desta aplicação, a utilização de produtos convencionais, consequentemente mais baratos, que soluções prontas, apresentam um potencial significativo de redução de custos para a indústria.

Neste caso, é necessário promover um estudo das características do material, em especial com relação ao efeito de sua granulometria no comportamento da suspensão e eventualmente, a utilização de algum agente que mantenha o material em suspensão, que é a condição ideal de uso do material. Os problemas encontrados com a alta velocidade de decantação são prejudiciais ao processo afetando tanto a produtividade quanto a qualidade do produto final.

Por estes motivos, o estudo das características reológicas do material, pode apresentar um impacto positivo nos custos de insumos da produção de arames trefilados, favorecendo a indústria nacional e permitindo maior domínio técnico sobre a aplicação do material em um processo industrial.

O objetivo deste trabalho é investigar o efeito que a granulometria apresenta nas propriedades reológicas do material, em especial, nas características das suspensões formadas em sistemas com a adição de particulado em solução aquosa para aplicação como banho de arame decapado em processo de trefilação de aço. Para tal é necessário caracterizar o material particulado e o comportamento reológico de banhos com diferentes faixas granulométricas de forma a identificar e avaliar a melhor composição para a aplicação ora definida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Materiais Cerâmicos

Os materiais cerâmicos têm papel fundamental no desenvolvimento humano uma vez que foi o primeiro tipo de material dominado pelo homem, cujo nome deriva do grego *kéramicos* (matéria queimada) (CALLISTER, 2013).

Callister (2014) define os materiais cerâmicos como sendo aqueles formados entre elementos metálicos e não metálicos para os quais as ligações interatômicas são totalmente iônicas ou predominantemente iônicas, mas com alguma natureza covalente. Podem apresentar estrutura cristalina ou com alguma desordem em seu arranjo molecular.

De acordo com suas características e composição, podemos separá-los ainda em dois grupos. As cerâmicas tradicionais, cuja composição contém materiais argilosos e as cerâmicas avançadas, cuja obtenção ocorre a partir de uma reação de síntese entre os seus precursores. (CALLISTER; 2013)

2.2 A Cal

A cal é um material cerâmico proveniente do processamento de minerais calcários ou dolomíticos. Na geologia, os termos calcários e dolomitos aplicam-se às variedades de rochas carbonatadas, com teor de carbonatos de cálcio e/ou magnésio superiores a 50% (GUIMARÃES, 1997). Considerando que estes materiais apresentam farta ocorrência geológica, espalhada ao longo de todos os continentes da Terra (WICANDER, MONROE; 2017), seus registros históricos de utilização pelo homem datam de 5.600 a.C. sendo que, no

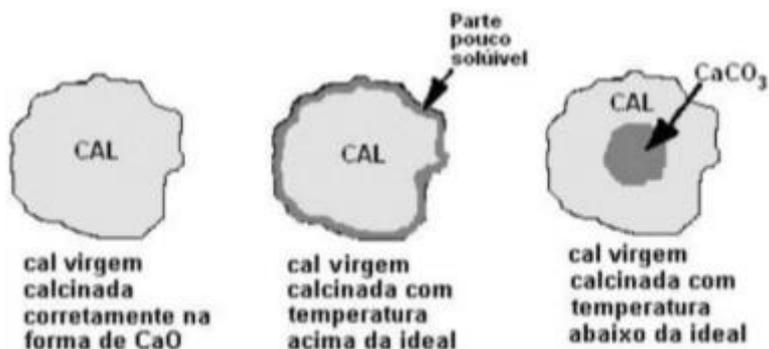
entanto, há evidências de utilização destes materiais ao longo de grande parte da existência humana (GUIMARÃES, 1997).

A cal é obtida através da calcinação dos calcários, dolomitos e conchas calcárias, que resultam na formação de dois produtos: cal e dióxido de carbono, conforme apresentado nas equações 1 e 2.



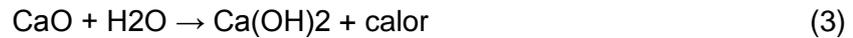
O processo de calcinação pode ser realizado em diferentes tipos de fornos e em diferentes condições de processo, sendo que estas podem apresentar influência no produto final (GUIMARÃES, 1997). Além do tipo de forno, a temperatura de calcinação se apresenta como fator de extrema importância para a qualidade do produto final, podendo produzir produtos com cristais insolúveis ou mesmo com núcleo carbonatado por falta de calor (PAIVA et.al, 2007). A figura 1, apresenta a influência da temperatura de calcinação.

Figura 1 - Influência da temperatura da calcinação em uma partícula de cal



FONTE: PAIVA et al.,2007.

Esta cal, resultado direto do processo de calcinação, é chamada de cal virgem. O seguimento deste processo industrial, em presença de água, produz a cal hidratada, em processo chamado de extinção da cal (BAUER, 2011). Guimarães (1997, p.73) destaca que a proporção estequiométrica para hidratação completa da cal virgem é de 32,1% de água. As equações 3 e 4 apresentam as reações de hidratação da cal virgem calcítica (3) e dolomítica (4).

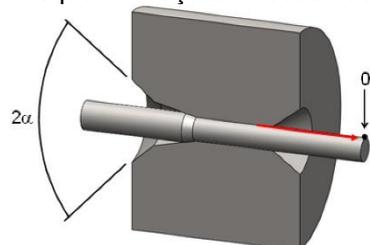


Dentre as propriedades do material hidratado formado, a de principal interesse para a formação de banhos em suspensão aquosa é a propriedade de sedimentação. Guimarães (1997) define que cales cálcicas (ou calcíticas) sedimentam-se mais lentamente quando comparadas às cales dolimíticas e magnesianas. A utilização de sais de cálcio, como o cloreto de cálcio (CaCl_2) podem apresentar melhora da solubilidade em sistema aquosos, melhorando os efeitos de suspensão.

2.3 Trefilação de Arames

A trefilação é um processo de conformação plástica de metais que se realiza a partir da passagem de um fio (ou barra ou tubo) através de uma ferramenta (fieira). A passagem do fio pela fieira provoca a redução de sua secção ocorrendo encruamento, com alteração das propriedades mecânicas do material do material, devido ao fato do processo ser realizado a frio (BRESCIANI, 2011). A Figura 2, apresenta a esquematização do processo de trefilação.

Figura 2 - Esquematização Processo de Trefilação



FONTE: CARDOSO et al, 2017.

Bresciani (2011), destaca que entre as diversas etapas da trefilação (isto é, entre as diversas passagens por sucessivas fieiras de diâmetros finais decrescentes), pode-se tornar conveniente a realização de um tratamento térmico de recozimento para conferir alguma ductilidade para o seguimento do processo, uma vez que esta propriedade pode ser perdida pelo encruamento excessivo.

A matéria-prima do processo de trefilação é o fio-máquina, que trata-se de um material produzido ao término do processo de laminação a quente de tarugos de aço, com diâmetro compreendido entre 4,3 a 23,0 mm bobinado (em torno de 2 toneladas). O material produzido não possui nenhuma proteção contra a oxidação, considerando que sua remoção em etapas posteriores do processo originaria custos adicionais em remoção e tratamento.

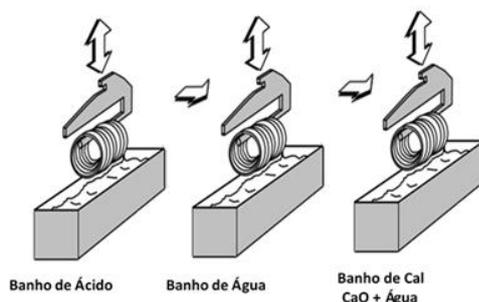
Como consequência da presença do material desprotegido em contato com a atmosfera e a umidade do ambiente, observamos a ocorrência de um fenômeno de corrosão (GENTIL, 1994), que é percebido na superfície do material através da formação de uma camada de óxido de ferro (FeO) como produto de oxidação do material à qual a indústria do aço dá o nome de carepa. A carepa, por tratar-se de um material duro e quebradiço, precisa ser removida da superfície do material, em um processo chamado de decapagem. Rudy (2002), classifica os processos de decapagem em processos químicos e mecânicos.

A decapagem mecânica consiste em dobrar o fio máquina, ou realizar o jateamento com granalha de aço sobre a superfície do material. A decapagem química, por sua vez, envolve a imersão do material em banhos ácidos, seguidos de lavagem da superfície e imersão em banhos de cal, objeto de nosso interesse, ou boráx (EDER, 2005).

2.4 Decapagem Química

O processo de decapagem química, pode ser exemplificado a partir da figura 3:

Figura 3 - Esquematização Processo de Decapagem Química de Fio Máquina através do banho de cal



(MOURA, 2014 – Adaptado)

O banho de cal constitui-se de uma mistura de cal com água e temperatura de trabalho entre 90 e 95° C. Sua principal função é a neutralização de ácido residual, além de auxiliar o arraste de sabão utilizado no processo de trefilação.

2.5 Reologia de Suspensões

A reologia de dispersões de sólidos em meios líquidos (suspensões) é aplicável a muitas situações industriais, incluindo tintas, tintas de impressão, revestimentos de papel, cerâmica, cosméticos, alimentos, farmacêuticas, agroquímicas e detergentes líquidos (TADROS, 2010).

Em todos estes complexos sistemas multifásicos é necessário controlar a reologia de uma formulação durante a sua preparação, para manter a sua estabilidade física durante a sua aplicação. O conhecimento e a adequação do comportamento reológico de suspensões são importantes para o aumento da qualidade do recobrimento cerâmico (HOTZA, FREDEL, RODRIGUES NETO, ALARCON; 1997).

O controle das forças existentes nas interfaces de partículas, são fundamentais para a manutenção do material em um estado suspenso, evitando assim sua sedimentação. A sedimentação, por sua vez, desconfigura um sistema disperso à medida em que ocorre contínua deposição do material no fundo do recipiente que os contém, mesmo em condição de agitação.

Atualmente, o processo de precipitação química a partir do hidróxido de cálcio (CaOH) vem sendo empregado no tratamento de lixiviados em processos de operações unitárias (Mello et al., 2012).

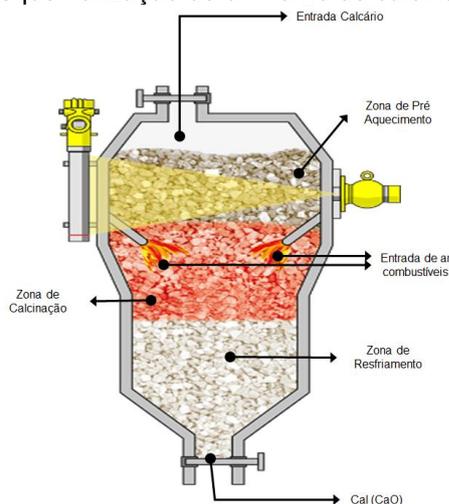
As partículas coloidais são desestabilizadas nos processos de coagulação-floculação, após a adição do coagulante. O tamanho da partícula aumenta ao passo que as partículas instáveis floculam, e se agrupam mais facilmente devido ao aumento de volume. Os processos de coagulação-floculação auxiliam a remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais da solução (Kurniawan et al., 2006).

Desta forma, no estudo de caso em que o hidróxido de cálcio será formado, e se apresentará em uma solução, a floculação apresenta influência na deposição do hidróxido de cálcio sobre o metal, e, portanto, é um fator de extrema importância para a qualidade do produto obtido em processos de decapagem química.

3. METODOLOGIA

As amostras foram coletadas em uma indústria produtora de cal, localizada em Itapeva-SP. Para efeitos de avaliação, as amostras foram submetidas ao mesmo processo de calcinação por um forno do tipo vertical, similar ao representado na figura 4.

Figura 4 - Esquemática de um forno de calcinação vertical



FONTE: Adaptado de LINCE, 2019

Posteriormente, a cal foi submetida ao processo de separação, resultando em 3 amostras, denominadas pó, farelo e grânulo, sendo que as duas primeiras sofreram processo de moagem posterior. A figura 5, mostra a variação da granulometria das amostras.

Figura 5 - Amostras obtidas para o trabalho



FONTE: AUTOR, 2019

3.1 Granulometria

Após o processo de obtenção das amostras, as mesmas foram submetidas ao processo de peneiramento, de modo a caracterizar a granulometria das amostras. Para o processo de peneiramento, foram utilizadas as seguintes malhas de peneiras conforme o Quadro 1.

Quadro 1- Sequência de Peneiras utilizadas para granulometria

Nº de Peneira	Série Tyler	Abertura (mm)
1	8	2,38
2	9	2,00
3	28	0,59
4	48	0,30
5	80	0,18
6	100	0,15

Cada amostra passou pelo processo de peneiramento por 10 minutos, em nível de vibração 5. Foi utilizado o agitador de peneiras, do Laboratório da Escola de Engenharia de Materiais, conforme a figura 6.

Figura 6 - Agitador de Peneiras



FONTE: AUTOR, 2019

3.2 Análises Térmicas

Foram realizadas as análises térmicas, que tinham como objetivo avaliar as propriedades químicas e físicas do material mediante a variações de temperatura. Através da

variação da massa, ou identificação de picos de energia, é possível compreender e identificar fenômenos descritos pelo termograma.

Para esta caracterização foi utilizado o equipamento NETZSCH Proteus STA 440 Jupiter, com gradiente de aquecimento de 10 °C/minuto, partindo de uma temperatura ambiente de 23 °C até a temperatura de 1.200 °C. O equipamento utilizado é demonstrado na figura 7.

Figura 7 - Equipamento de Análise Térmica



FONTE: AUTOR, 2019

Para o melhor desempenho das análises térmicas, as amostras de cada grupo foram selecionadas após o ensaio de peneiramento, utilizando a fração passante da malha de abertura de 0,15 mm.

3.3 Comportamento Reológico

A caracterização reológica foi realizada em um reômetro do tipo Brookfield, através de um viscosímetro Quimis Q86OM21, a uma rotação de 60 rpm, e com um torque variando de 14,2% a 43,3%. O objetivo deste tipo de caracterização é a avaliação da viscosidade da solução, e o resultado é expresso em Pa.s, que corresponde a unidade de Poise. O equipamento utilizado é representado na figura 8.

Figura 8 - Representação Viscosímetro



FONTE: AUTOR, 2019

A solução foi preparada através da adição de água, e misturada em um agitador magnético por 10 minutos. Durante a mistura, houve aquecimento da solução em uma temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Após a mistura, o material foi acondicionado em laboratório e, temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

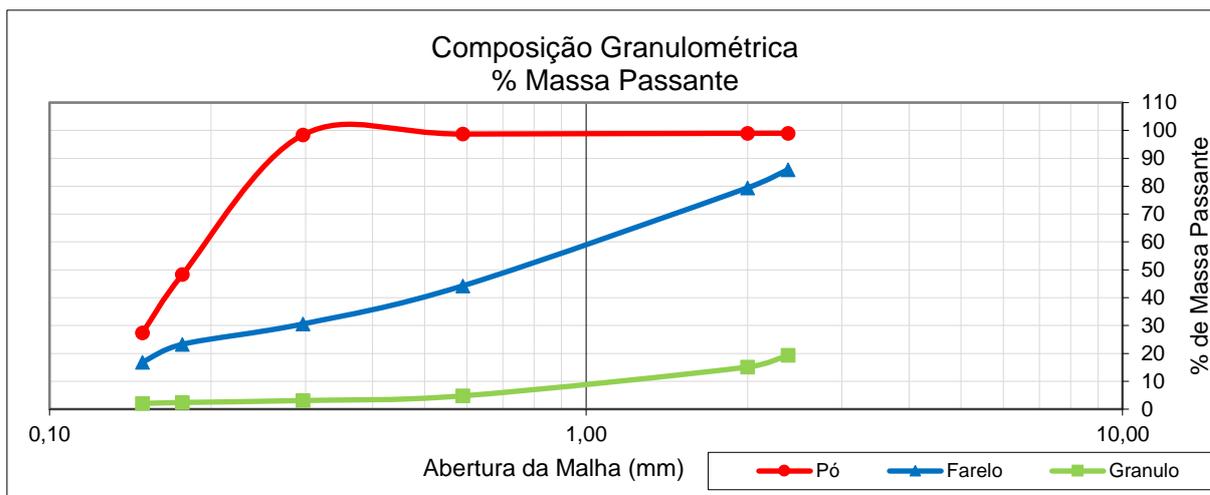
Para a caracterização reológica, assim como nos processos industriais, as amostras foram aquecidas a uma temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, e uma concentração de 250 g/L de água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria

A caracterização granulométrica permitiu quantificar as variações dimensionais de cada amostra, bem como possibilitou traçar o perfil granulométrico de cada amostra. O gráfico 1 apresenta as curvas granulométricas do pó, farelo e grânulo.

Gráfico 1- Composição Granulométrica das Amostras



Os resultados indicam uma incidência de partículas com uma distribuição mais centralizada para o pó e para o granulo. A amostra denominada farelo, apresentou uma maior variação de granulometrias ao longo das peneiras observadas.

Através da equação 5, prevista por GOMIDE (1980), pode se calcular o diâmetro médio de cada amostra, conforme a tabela 1.

$$\bar{D}_a = \frac{\sum_1^n N_i \bar{D}_i}{\sum_1^n N_i} \quad (5)$$

Onde:

N = fração da amostragem da difração

D = diâmetro médio da malha;

Tabela 1 - Resultados do diâmetro médio das amostras

Amostra	Diâmetro Médio (mm)
Farelo	0,12
Pó	0,60
Granulo	1,87

4.2 Análises Térmicas

Os resultados das análises térmicas demonstraram pequenas variações entre as amostras, sendo caracterizadas por picos na faixa de 340 e 440 °C, correspondente a oxidação da Cal, e picos próximos a temperatura de 770 °C, correspondente a degradação do material.

As variações mais significativas relativas ao pico de oxidação, podem estar associadas a umidade presente em cada amostra, bem como a variação ocorrida pela calcinação durante o processo de forno vertical.

Os gráficos de 2, 3 e 4 apresentam as análises térmicas para o pó, farelo e grânulo respectivamente.

Gráfico 2- Análise Térmica Pó

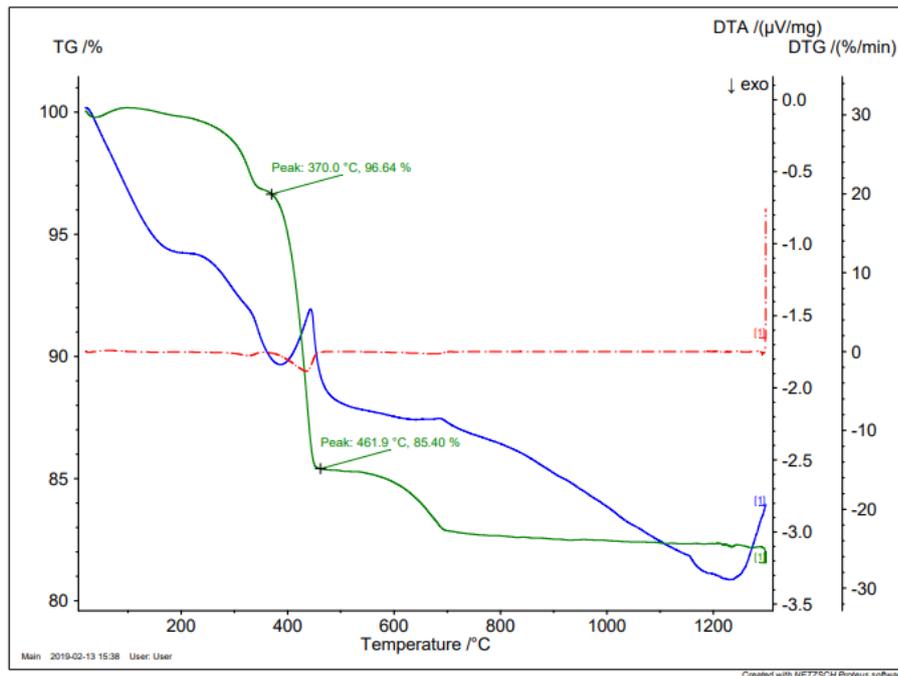


Gráfico 3 - Análise Térmica Farelo

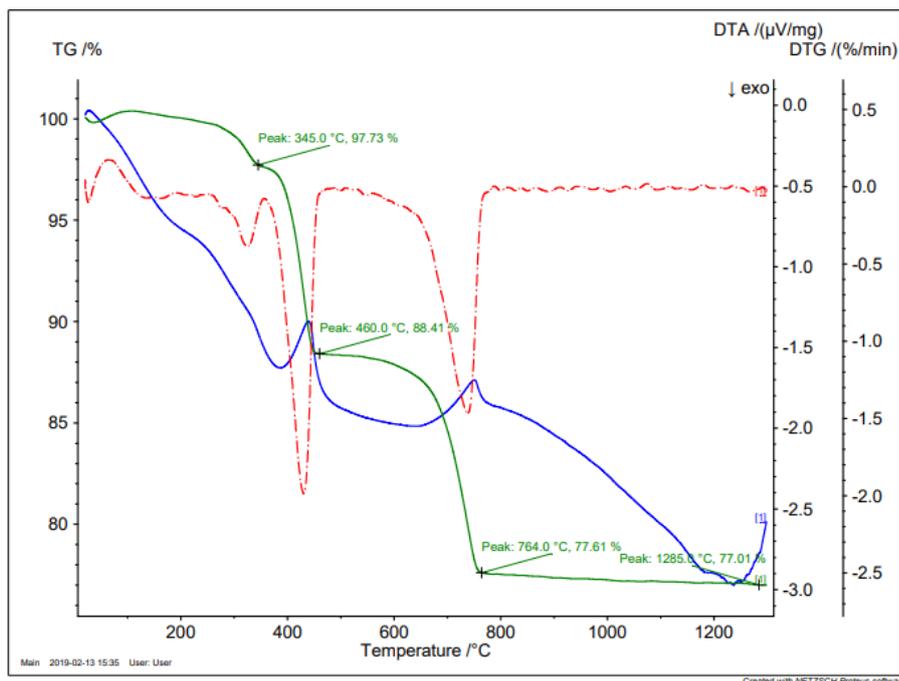
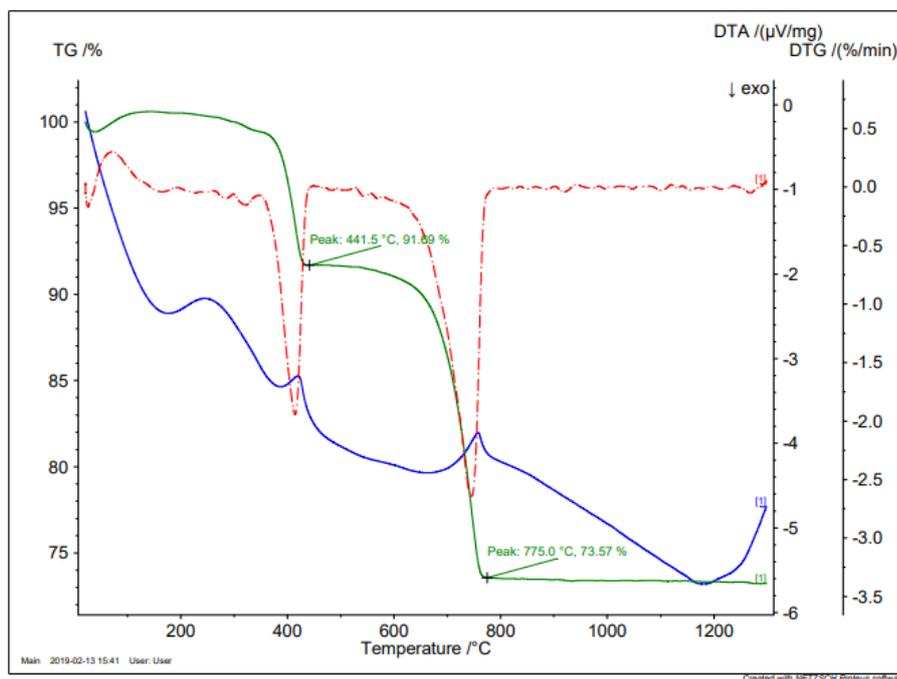


Gráfico 4 - Análise Térmica Grânulo



4.3 Comportamento Reológico

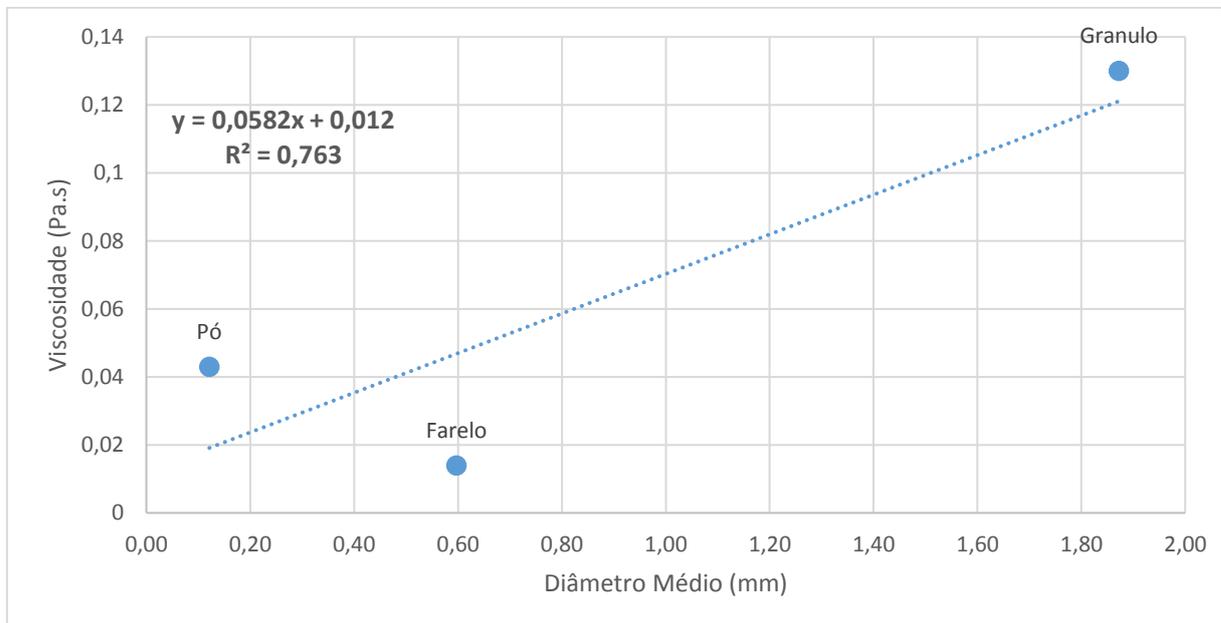
O comportamento reológico das suspensões foi observado através da medição da viscosidade, que não apresentou relação direta com a granulometria da cal virgem. Os resultados de viscosidade podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado Viscosimetria das Amostras

Amostra	Viscosidade (Pa.s)
Pó	0,043
Farelo	0,014
Granulo	0,130

Realizando uma relação entre a viscosidade e a granulometria da cal virgem, a partir do diâmetro médio de partícula, foi construído o Gráfico 5, com o coeficiente de correlação de 0,76.

Gráfico 5- Relação da viscosidade com diâmetro da partícula



Dado o baixo número de amostras, não foi possível determinar com precisão uma relação direta, entre a viscosidade e o tamanho médio das partículas.

Ainda assim, para suspensões floculadas, assim como as produzidas em laboratório, o movimento Browniano das partículas, bem como as forças eletrostáticas influenciam a

viscosidade da suspensão. Segundo Tradós (2010), há uma tendência de aumento da viscosidade com o aumento do tamanho das partículas, assim como este objeto de estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre a granulometria e a viscosidade da solução não apresenta alto grau de correlação, ainda que seja notável a maior viscosidade da solução produzida por grânulos em relação ao pó e mesmo ao farelo, sendo esta da ordem de dez (10) vezes superior. A maior viscosidade da solução, tende a ocasionar maior deposição da suspensão no fio máquina.

A maior deposição da suspensão no fio máquina é no geral benéfica ao processo de trefilação, considerando que ocorre redução no consumo de sabão de trefila, maior proteção contra oxidação e melhora de acabamento superficial do arame trefilado.

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se a avaliação da viscosidade em relação a outros parâmetros como por exemplo o grau de carbonatação da cal virgem, de modo a obter um maior coeficiente de correlação.

Além disso, sugere-se a avaliação da camada de deposição em fio máquina em relação as 3 granulometrias observadas neste trabalho, e também a maior quantidade e separação das amostras, de modo a se obter faixas mais restritas de diâmetro e, portanto, um maior número de pontos de observação.

6 REFERÊNCIAS

BAUER, L. A. F.; **Materiais de Construção – Vol. 1.** 5 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2011

BRESCIANI FILHO, E.; **Conformação Plástica dos Metais.** 6 ed. EPUSP: São Paulo, 2011

CALLISTER JR, W. D.; **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 8 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2013

CALLISTER JR, W. D.; **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma abordagem integrada.** 4 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2014

CARDOSO, G. S.; DIAS, V. W.; ROCHA, A. S.; **Os efeitos do processo de corte cisalhante em barras oriundas do processo de trefilação combinada.** Matéria (Rio J.),

Rio de Janeiro , v. 22, n. 3, e11853, 2017 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000300403&lng=en&nrm=iso>. access on 29 Aug. 2019. Epub Aug 10, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170003.0187>.

EDER, C. F.; **Método para a Escolha de Processos Considerando os Impactos Ambientais: Uma Aplicação para Processos de Decapagem**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

GENTIL, V. **Corrosão**, 3 ed. LTC: Rio de Janeiro, 1994

GOMIDE, R.; **Operações Unitárias – 3º volume: Separações Mecânicas**. Ed. do Autor: São Paulo, 1980

GUIMARÃES, J. E. P.; **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 1 ed. Pini: São Paulo, 1997

HOTZA, D.; FREDEL, M. C.; RODRIGUES NETO, J. B.; ALARCON, O. E.; **Influência da Adição de Defloculante , Ligante e Partículas de Alumina no Comportamento Reológico de Suspensões a Base de Frita e Caulim**. Química Nova, v. 21, p. 526 – 528, 1998

KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHAN, G. Y. **Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate**. Journal of Hazardous Materials, v. 129, n. 1/3, p. 80-100. 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>

LINCE. **Medição em Forno de Cal**. 2019. Disponível em: <<https://instrumentos-lince.com.br/aplicacao/forno-de-cal/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

LUZ, A. B.; LINS, F.A.F.; **Rochas & Minerais Industriais – Usos e Especificações**. 2 ed. CETEM/MCT: Rio de Janeiro, 2008

MACOSKO, C.; **Rheology: Principles, Measurements, and Applications**. 1ed. Wiley: New York, 1994

MELLO, Victor Fernandes Bezerra et al. **Variables in the process of coagulation / flocculation / settling of leachate of municipal landfills**. Ambiente e Água - An

Interdisciplinary Journal of Applied Science, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 88-100, aug. 2012. ISSN 1980-993X. Disponível em: <<http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/861>>. Data de acesso: 30 de julho 2019.

MOTHE, C. G.; AZEVEDO, A. D.; *Análise Térmica dos Materiais*, 1ed. Ieditora: Rio de Janeiro, 2002

MOURA, M. L.; **Análise dos Efeitos do Semiângulo de Fieira de Trefilação Utilizados na Fabricação de Arames Sólidos na Estabilidade do Processo de Soldagem GMAW**. Dissertação de Mestrado, CEFET-MG, 2014

PAIVA, S.C.; GOMES, E.A.; OLIVEIRA, R.A Controle de Qualidade da cal para argamassas – metodologias alternativas. In: **Revista Ciências & Tecnologia**. Ano 1 n.1, julho-dezembro, 2007. Disponível em: http://www.unicap.br/revistas/revista_e/artigo8.pdf Acesso em: 21 de dezembro de 2018.

RUDY, S. F.; Pickling and Acid Dipping. **Metal Finishing**. Vol. 100, nº1, p. 173-179, 2002

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. Calcário e Dolomito. In: *Mineralis*, 2008. Cap. 16. p. 363-387. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1105/1/16.CALCARIO%20e%20DOLOMITA1%28salvador%29.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO – Site: <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1513362602.pdf>. Acessado em 20.03.2018

TADROS, T. F.; **Rheology of Dispersions – Principles and Applications**. 1 ed. Wiley: Weinheim - Alemanha, 2010.

WICANDER, R.; MONROE, J. S.; **Geologia**. 1 ed. Cengage Learning: São Paulo, 2017

Contatos: gus.oliveira.santos@gmail.com

renato.peres@mackenzie.br