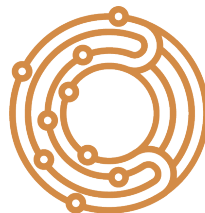


9º CONGRESSO DA INDÚSTRIA CERÂMICA DE REVESTIMENTO

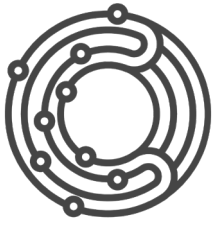
22 a 24 de Outubro 2024

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESFERAS DE ALTA ALUMINA PARA A MOAGEM DE MASSAS E ESMALTES CERÂMICOS

Natã Ferraz dos Santos, Suelen Nastri, Suelen Zenatti, Luciano Silva e Fábio Melchiades



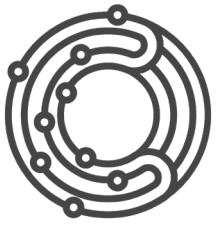
CRC
centro de serviços em materiais cerâmicos



PROCESSO DE MOAGEM

- 🔨 Diminuir o tamanho das partículas sólidas.
 - ↳ Aumentar a área superficial específica das partículas.
- ✓ Ganho de fusibilidade.
- ✓ Ganho de homogeneidade.



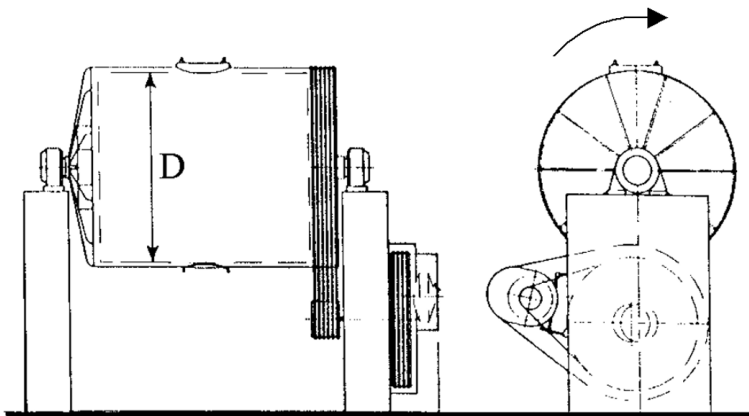


MOAGEM EM MOINHO DE BOLAS



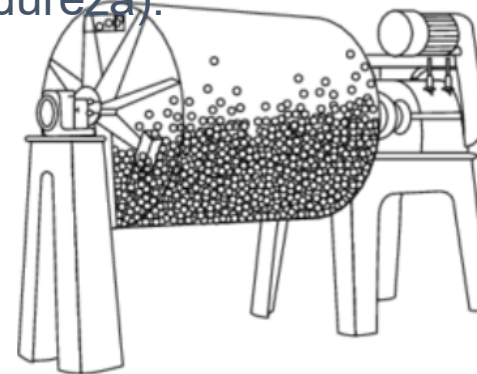
Moinho:

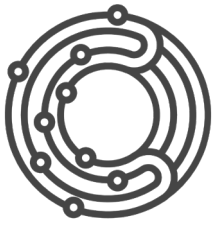
- Cilindro metálico e oco;
- Revestido com material duro;
- Eixo de rotação horizontal.



Corpo moedor:

- Esferas de alta alumina;
- Baixa taxa de contaminação do material;
- Elevada resistência a abrasão (alta dureza).





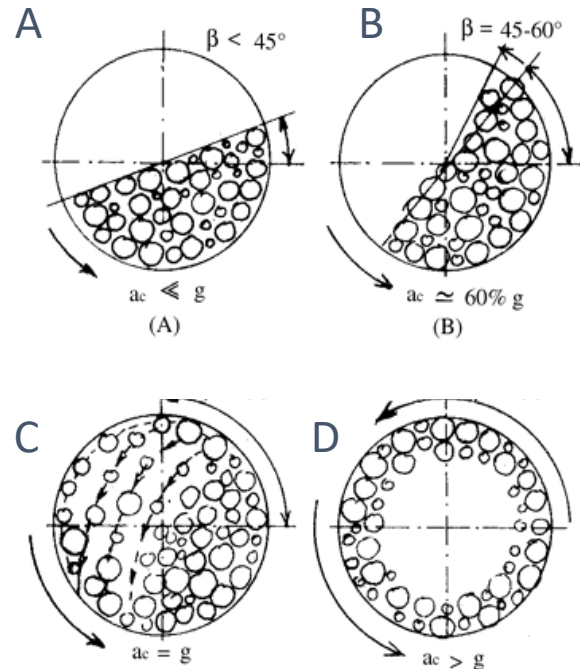
VARIÁVEIS QUE AFETAM O PROCESSO



Tamanho de entrada e saída

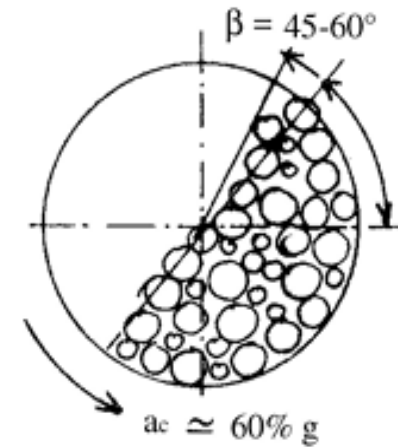


Aceleração centrífuga /
Velocidade de rotação

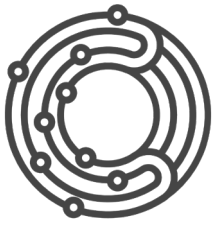


Fonte: RIBEIRO, M. J. P. M.; ABRANTES, J. C. C. Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 7-11, 2001

Massa específica das esferas.



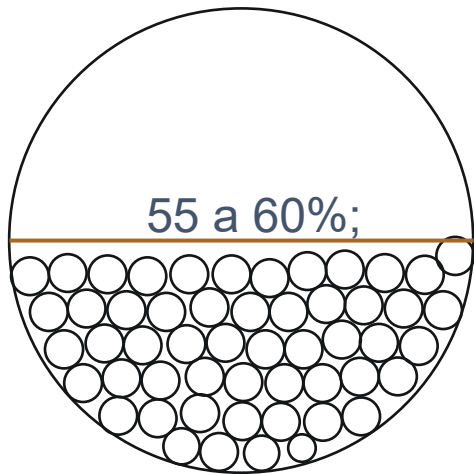
Fonte: RIBEIRO, M. J. P. M.; ABRANTES, J. C. C. Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 7-11, 2001



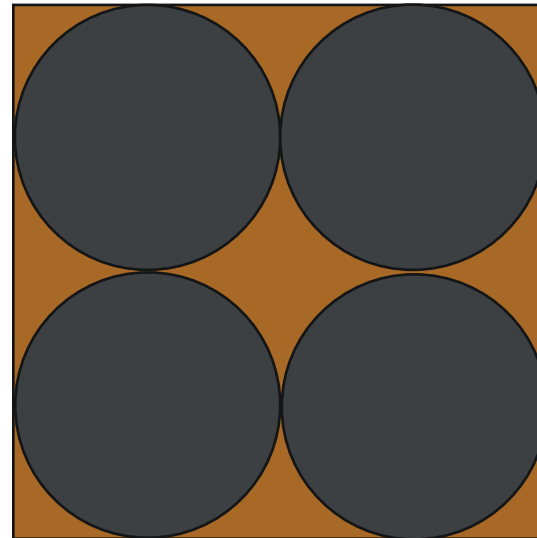
VARIÁVEIS QUE AFETAM O PROCESSO

Volume aparente de esferas

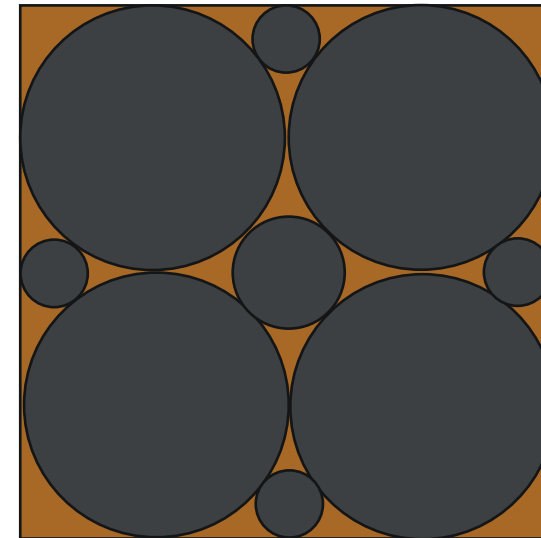
→ Valor teórico*

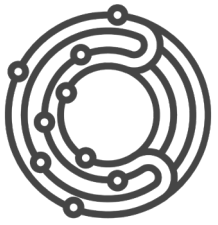


Volume de vazios



Fator de empacotamento;



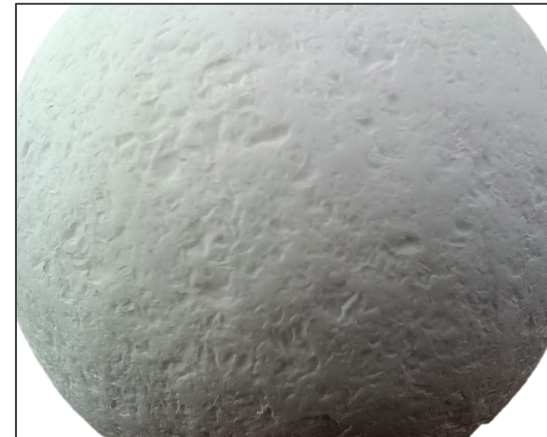
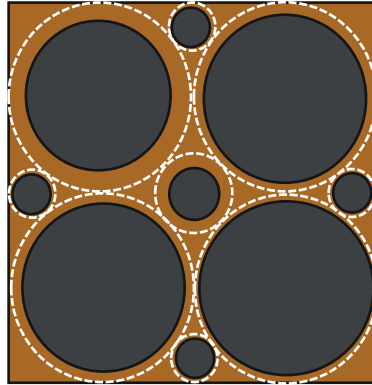
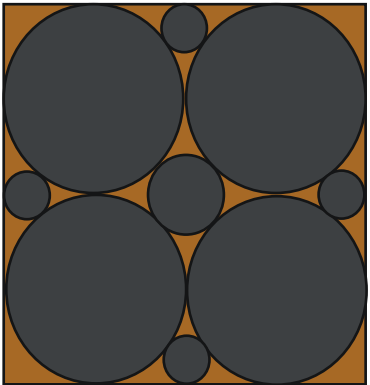


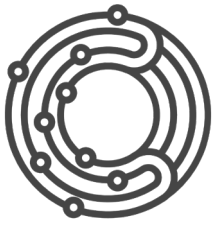
VARIÁVEIS QUE AFETAM O PROCESSO

Taxa de desgaste das esferas

 Variação da taxa de empacotamento;

 Aumento do tempo de moagem.





OBJETIVOS DO TRABALHO



Utilizar o banco de dados para classificar de maneira concreta o desempenho de esferas de alta alumina.



Estabelecer características físico-químicas que afetam o desempenho das esferas de alta alumina;



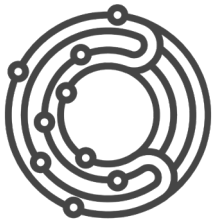
Avaliar como a natureza das matérias-primas influencia no desgaste das esferas de alta alumina.





**TRATAMENTO DE DADOS:
ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO DE
ESFERAS DE ALTA ALUMINA**





ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO



Ensaio realizado no
CRC



Metodologia desenvolvida a partir de trocas
de conhecimento



Avaliar a resistência ao desgaste abrasivo
das esferas



Metodologia

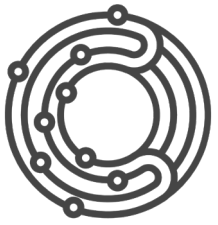
1 - Pré condicionamento:

- ~5 Kg de esferas;
- 1 L de água;
- 120 g de coríndon;
- Gira Jarros 64 r.p.m
- Permanência: 24 horas.

2 - Desgaste abrasivo:

- ~5 Kg esferas;
- 1,25 L de água;
- 625 g de quartzo;
- Gira Jarros 64 r.p.m
- avaliação de perda de massa das esferas a cada 24 horas durante 9 dias.

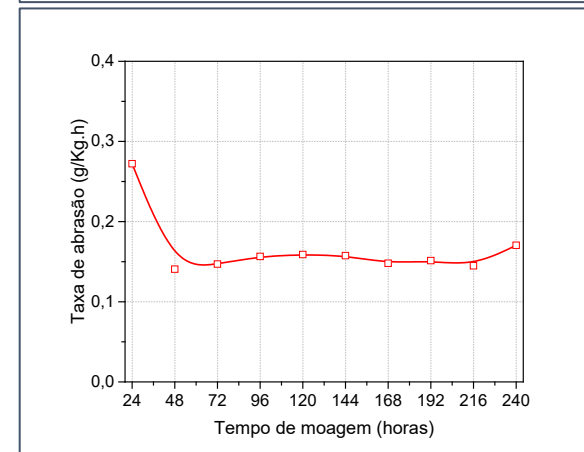
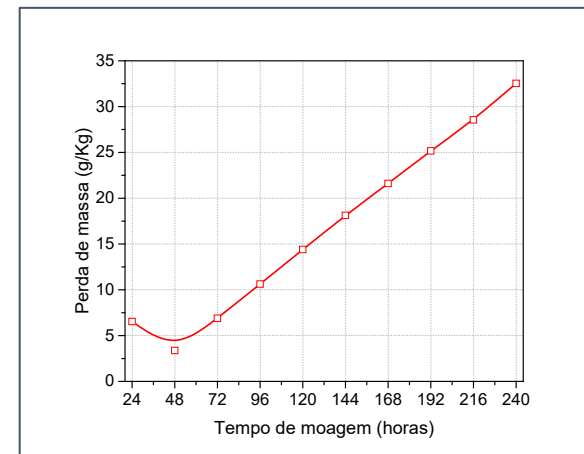
***Carga do moinho (trocada a cada pesagem).**

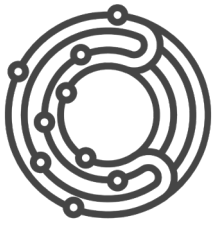


ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO

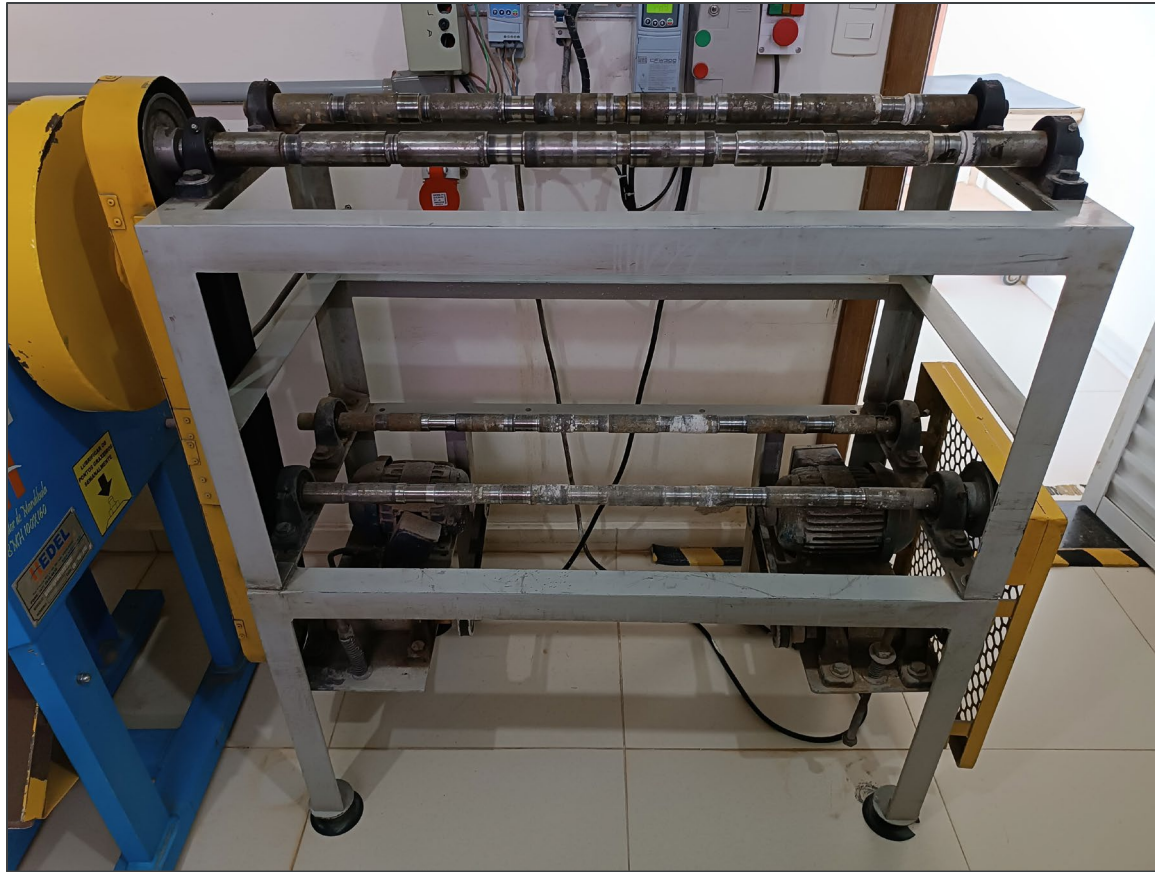
💡 Função do pré condicionamento

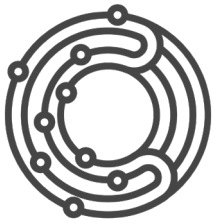
- ▶ Eliminar as irregularidades superficiais e garantir medidas autênticas.





ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO





TRATAMENTO DE DADOS



Base de dados do
CRC



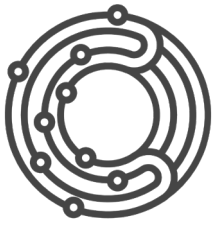
5 anos;
113 resultados;
Esferas de **30mm**; 40mm e **50mm**



Parâmetros avaliados

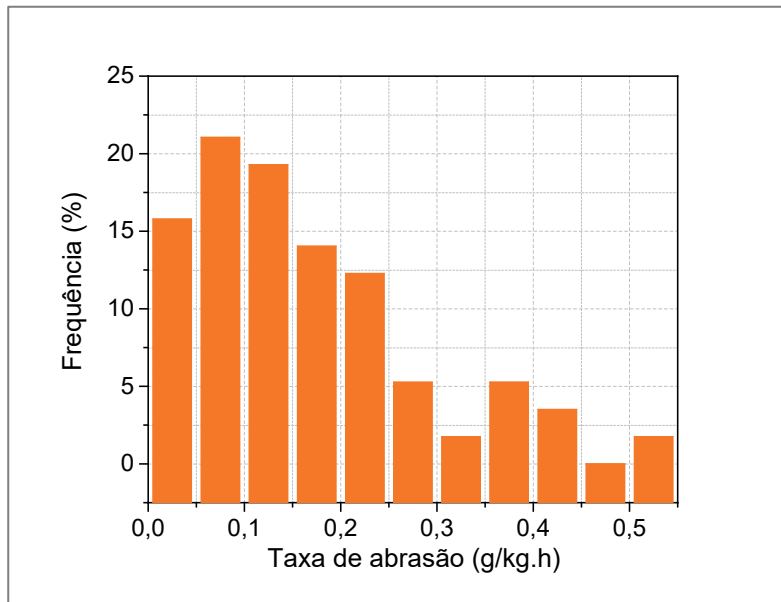


Taxa de abrasão em g/kg.h
perda de massa em g/kg;

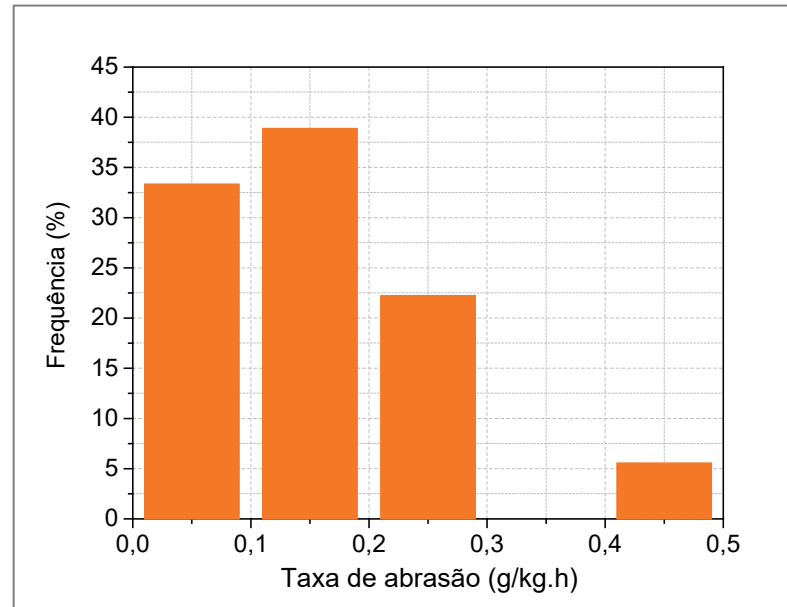


TRATAMENTO DE DADOS – RESUMO

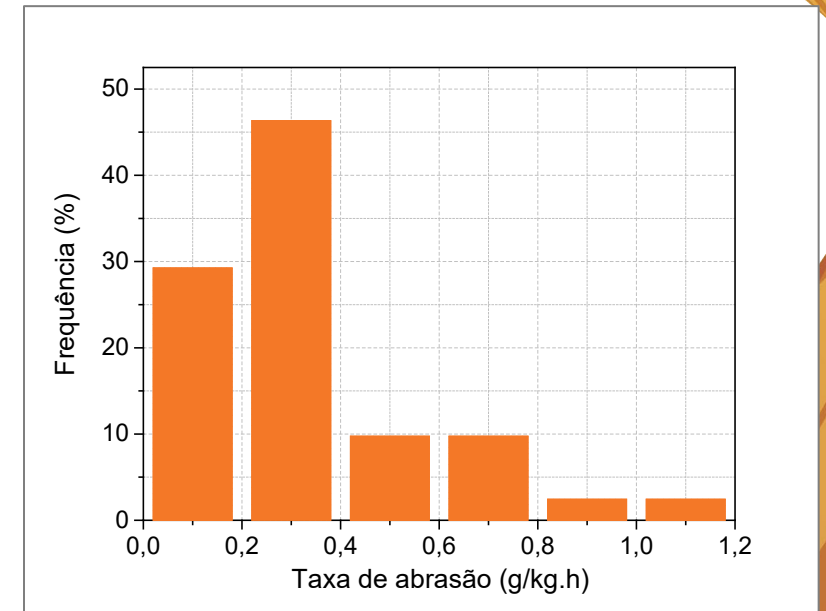
Esferas de 30 mm



Esferas de 40 mm



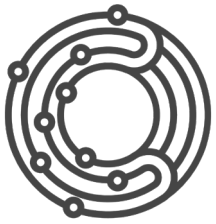
Esferas de 50 mm



| Resultado | Esferas 30mm - Taxa de abrasão | |
|-----------|--------------------------------|-------------|
| | g/kg.h | Kg/ton.h |
| Média | 0,160 | 0,16 |
| Mínima | 0,032 | 0,03 |
| Máxima | 0,527 | 0,53 |

| Resultado | Esferas 40mm - Taxa de abrasão | |
|-----------|--------------------------------|-------------|
| | g/kg.h | Kg/ton.h |
| Média | 0,158 | 0,16 |
| Mínima | 0,062 | 0,03 |
| Máxima | 0,484 | 0,48 |

| Resultado | Esferas 50mm - Taxa de abrasão | |
|-----------|--------------------------------|-------------|
| | g/kg.h | Kg/ton.h |
| Média | 0,320 | 0,32 |
| Mínima | 0,120 | 0,12 |
| Máxima | 1,039 | 1,04 |



TRATAMENTO DE DADOS – RESUMO

| Resultado | Esferas 30mm - Taxa de abrasão | | Resultado | Esferas 40mm - Taxa de abrasão | | Resultado | Esferas 50mm - Taxa de abrasão | |
|-----------|--------------------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|
| | g/kg.h | Kg/ton.h | | g/kg.h | Kg/ton.h | | g/kg.h | Kg/ton.h |
| Média | 0,160 | 0,16 | Média | 0,158 | 0,16 | Média | 0,320 | 0,32 |
| Mínima | 0,032 | 0,03 | Mínima | 0,062 | 0,03 | Mínima | 0,120 | 0,12 |
| Máxima | 0,527 | 0,53 | Máxima | 0,484 | 0,48 | Máxima | 1,039 | 1,04 |

Considerações

Esferas de 30 e 40mm

- Maior área de contato por volume e atrito como principal agente de desgaste;
- Prensagem mais homogênea;
- Menor taxa de desgaste

Esferas de 50 mm

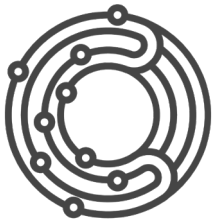
- Maior energia envolvida no processo de cascata;
- Dificuldade de homogeneização no processo de prensagem isostática;
- Maior taxa de desgaste.

Os resultados são reprodutíveis desde que executados nas mesmas



FATORES FÍSICO-QUÍMICOS QUE AFETAM O DESEMPENHO DAS ESFERAS





AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS



Estabelecer características físico-químicas que afetam o desempenho das esferas de alta alumina;

As amostras

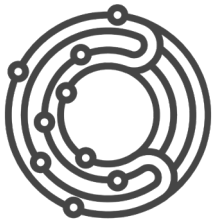
- Esferas de 50 mm;
- Diferentes níveis de desempenho:
Bom, Médio e Ruim.

Taxa de abrasão média (g/kg.h)

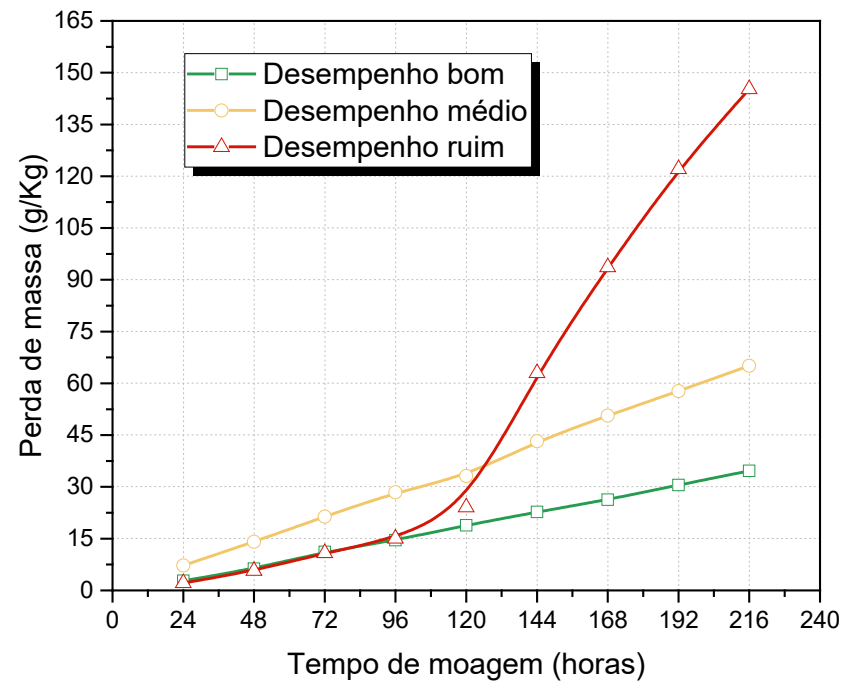
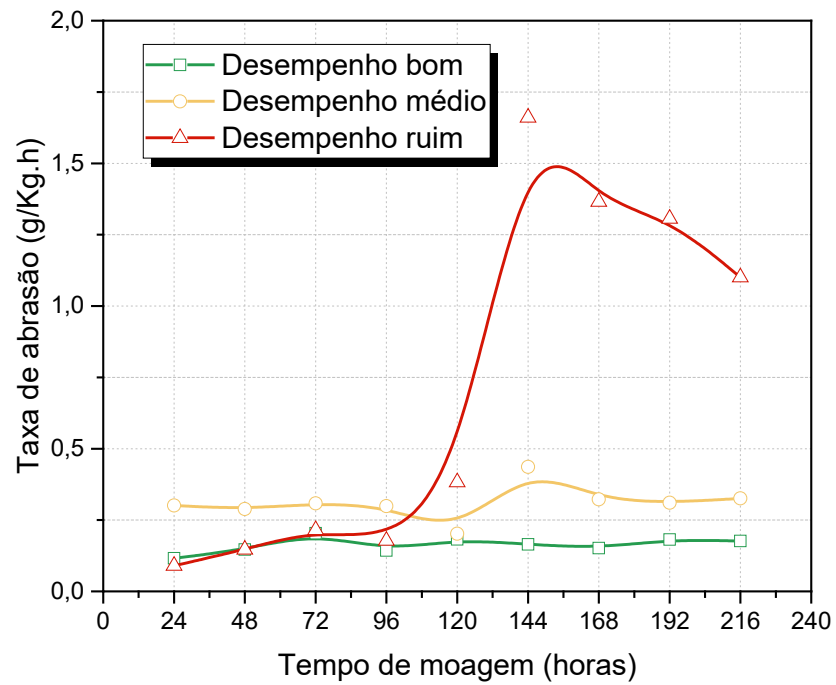
| Desempenho bom | Desempenho médio | Desempenho ruim |
|----------------|------------------|-----------------|
| 0,163 | 0,313 | 0,720 |

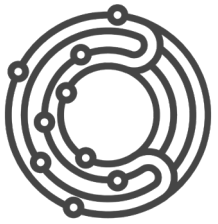
Os ensaios

- **Absorção de água:** água a temperatura ambiente com as amostras sob vácuo;
- **Porosidade aparente e densidade após queima:** calculados a partir do princípio de Arquimedes;
- **Avaliação de estrutura física** via imagens obtidas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV);
- **Composição química** semiquantitativa obtida por meio de espectroscopia de energia dispersiva (EDS).



AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS

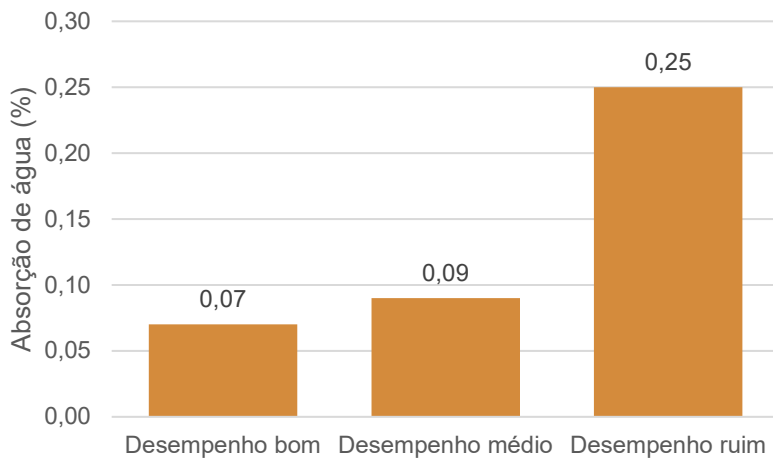




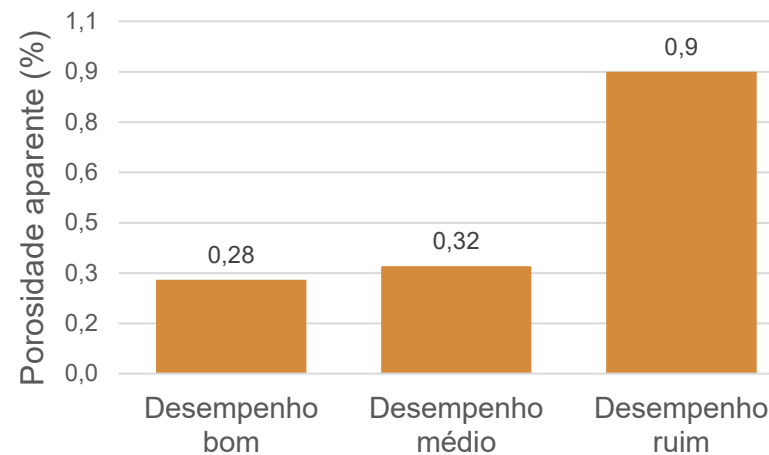
AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS

| Parâmetros | Esferas | | |
|---|----------------|------------------|-----------------|
| | Desempenho bom | Desempenho médio | Desempenho ruim |
| Absorção de água (%) | 0,07 | 0,09 | 0,25 |
| Porosidade aparente (%) | 0,28 | 0,32 | 0,90 |
| Densidade aparente (g/cm ³) | 3,71 | 3,68 | 3,63 |

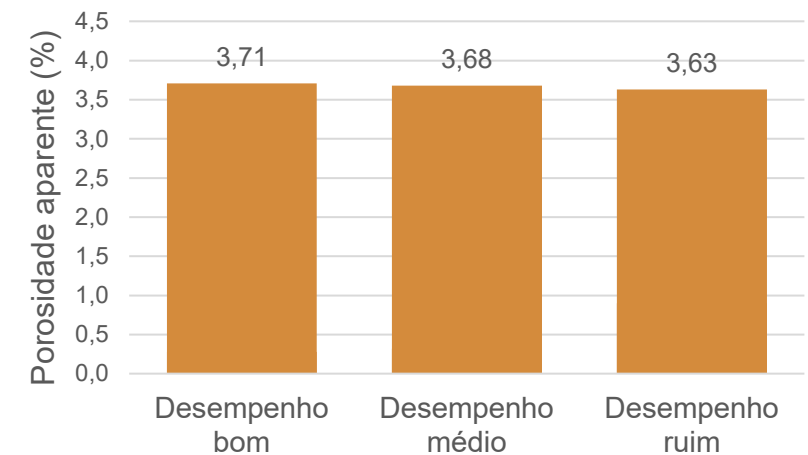
Absorção de água das esferas

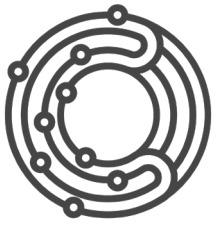


Porosidade aparente das esferas



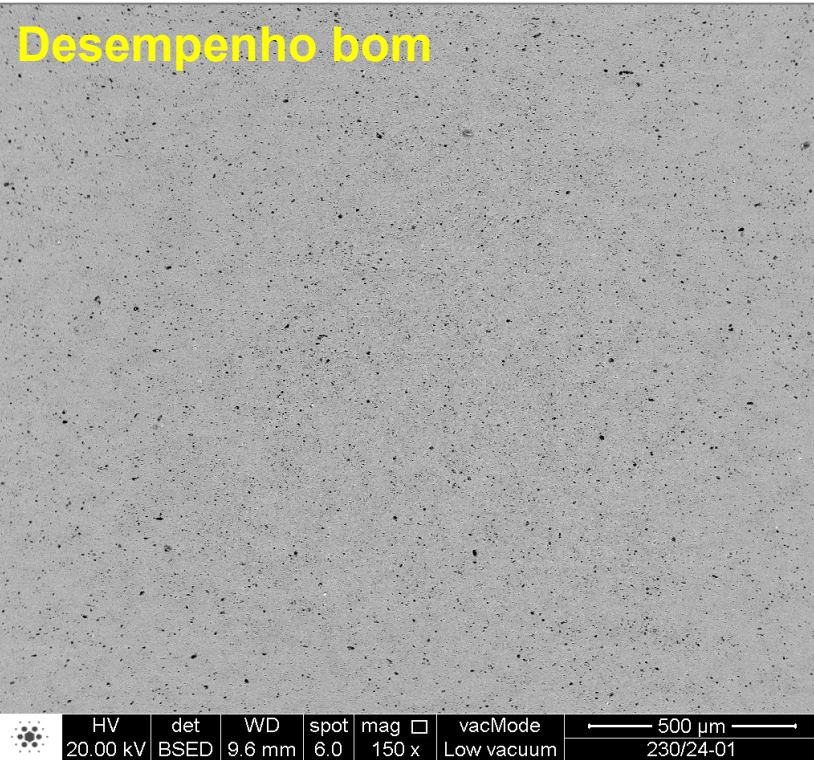
Densidade aparente



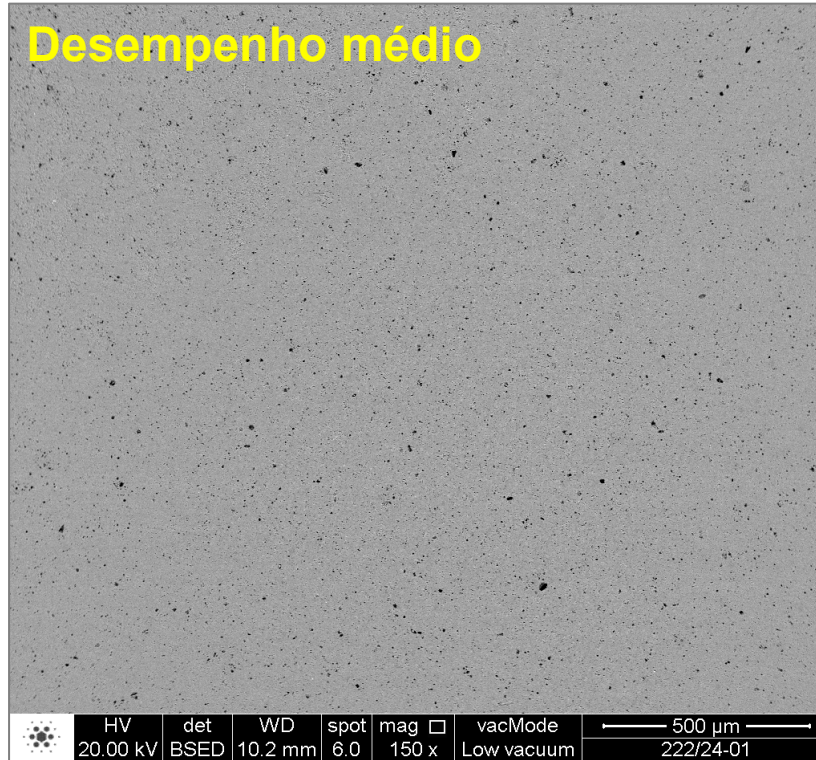


AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS

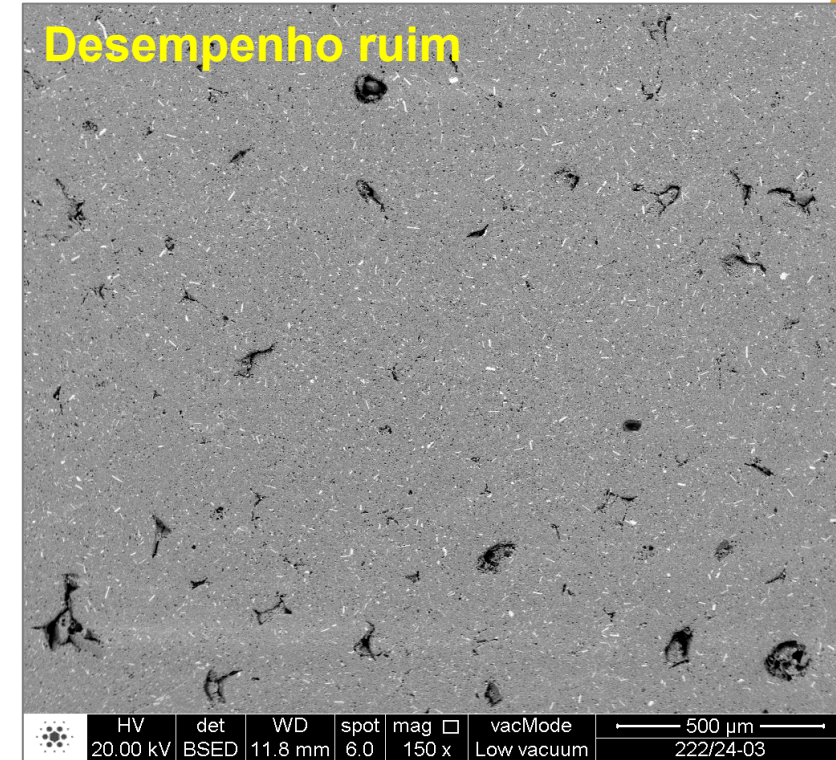
Desempenho bom



Desempenho médio

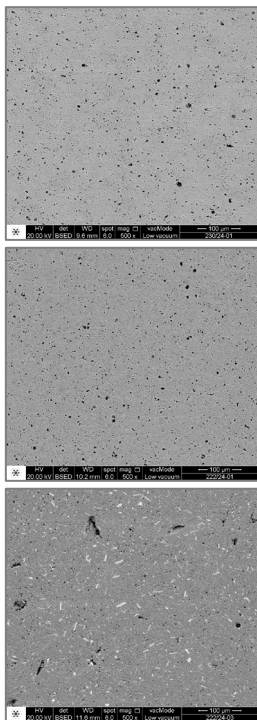


Desempenho ruim

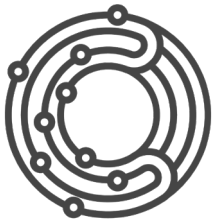




AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS



| Elementos | Resultados (%) | | |
|-----------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Esferas com desempenho bom | Esferas com desempenho médio | Esferas com desempenho ruim |
| Mg | 1,05 | 0,47 | 0,14 |
| Al | 88,61 | 89,64 | 90,55 |
| Si | 5,27 | 6,83 | 3,40 |
| P | 0,20 | 0,85 | 0,09 |
| K | 0,11 | 0,11 | 0,07 |
| Ca | 4,46 | 1,44 | 2,76 |
| Ti | 0,04 | 0,15 | -- |
| Mn | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Fe | 0,12 | 0,28 | 0,04 |
| Zn | 0,03 | 0,05 | 0,06 |
| Ba | 0,08 | 0,06 | 2,81 |



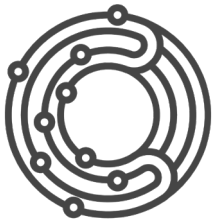
AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS



O nível de porosidade está diretamente relacionado com a resistência ao desgaste abrasivo das esferas, especialmente quando se trabalha com esferas de diâmetros maiores;

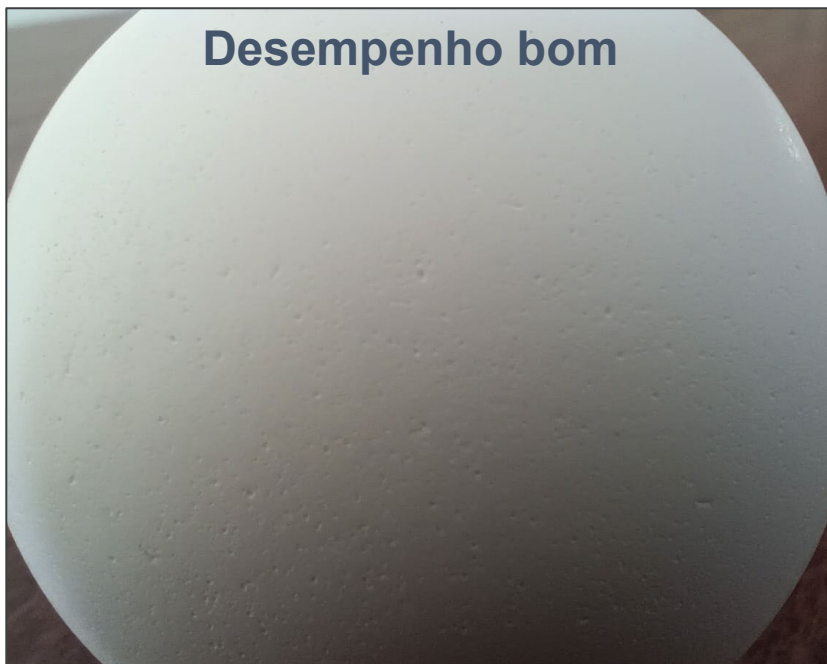


Não é possível avaliar o desempenho do material a partir de sua composição química.



AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ESFERAS

Desempenho bom

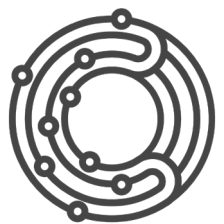


Desempenho médio



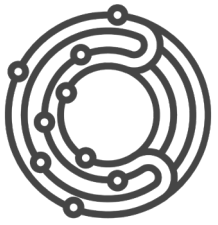
Desempenho ruim





CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAS QUE AFETAM O DESEMPENHO DAS ESFERAS.





AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO



Avaliar como a natureza das matérias-primas influencia o desgaste das esferas de alta alumina.

Variáveis analisadas

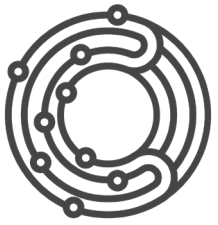
- 1. Granulometria de entrada** (quartzo grosso e quartzo #200);
- 2. Composição da massa** (matérias-primas de mesma função mas dureza diferente);
- 3. Composição do esmalte** (variação no percentual de frita na composição do esmalte);

Esferas utilizadas

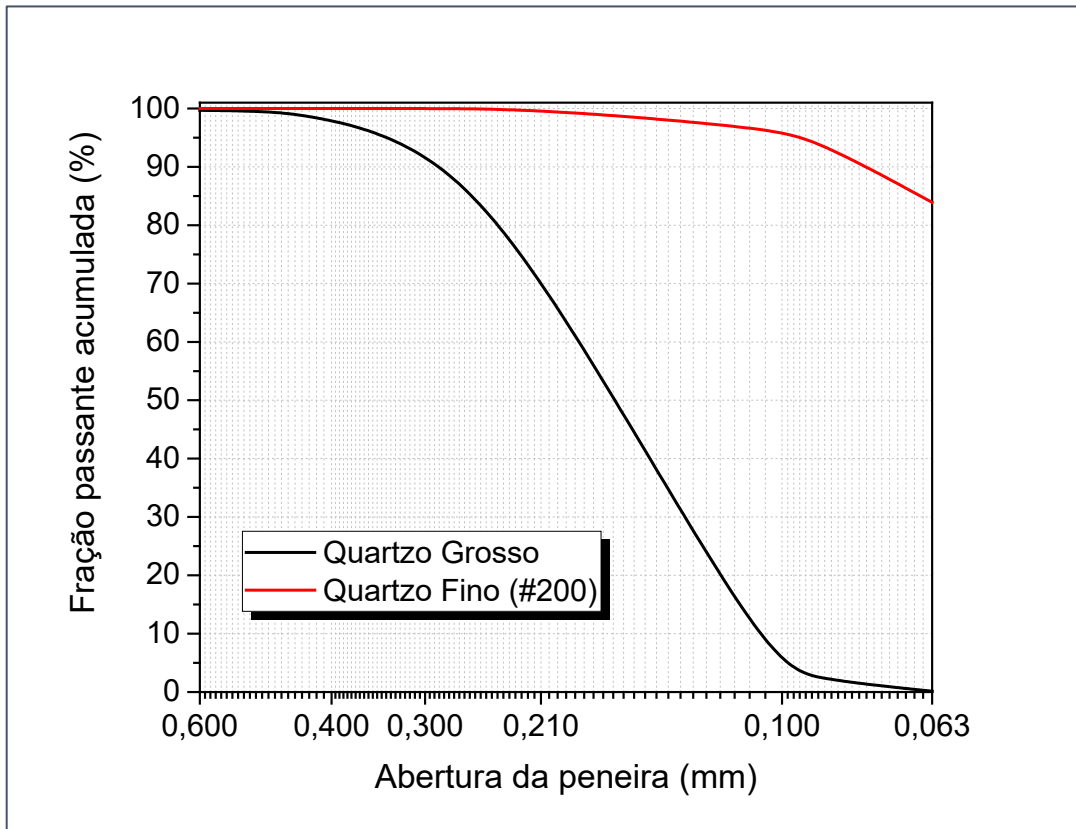
Diâmetro: 50mm; **Desempenho:** mediano (0,32 g/kg.h);

Metodologia:

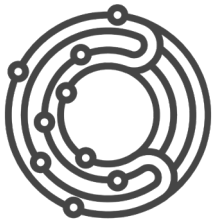
- Pré condicionamento;
- ~5 Kg esferas;
- 1,25 L g de água;
- 625 g de material;
- Gira Jarros 64 r.p.m
- avaliação de perda de massa a cada 24 horas durante 9 dias.



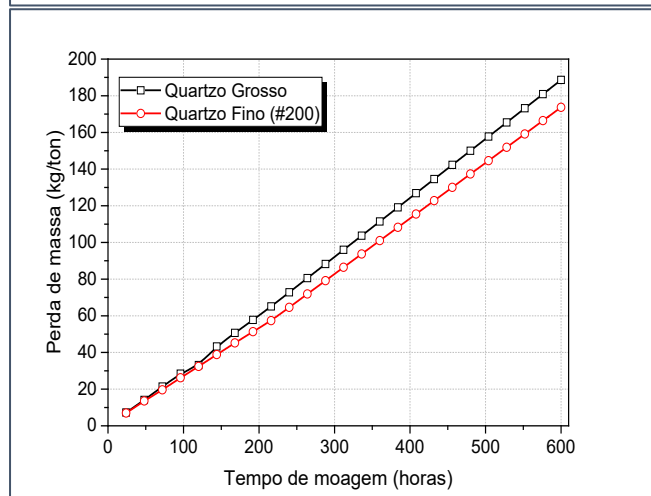
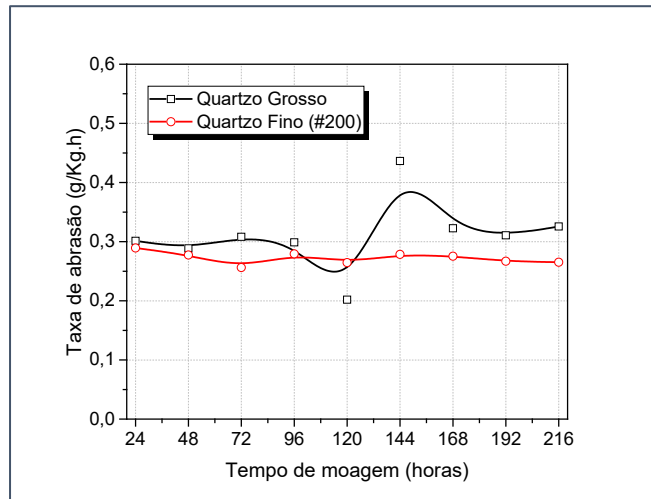
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – GRANULOMETRIA DE ENTRADA



| Malha Padrão ABNT | Abertura nominal (mm) | Fração retida em cada malha (%) | |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|
| | | Quartzo Grosso | Quartzo Fino (#200) |
| #30 | 0,600 | 0,3 | 0,0 |
| #35 | 0,500 | 0,1 | 0,0 |
| #40 | 0,425 | 0,7 | 0,0 |
| #50 | 0,300 | 5,0 | 0,0 |
| #70 | 0,212 | 20,9 | 0,1 |
| #140 | 0,106 | 68,2 | 3,3 |
| #170 | 0,090 | 2,6 | 2,0 |
| #230 | 0,063 | 2,1 | 10,8 |
| Prato coletor | < 0,063 | 0,1 | 83,9 |

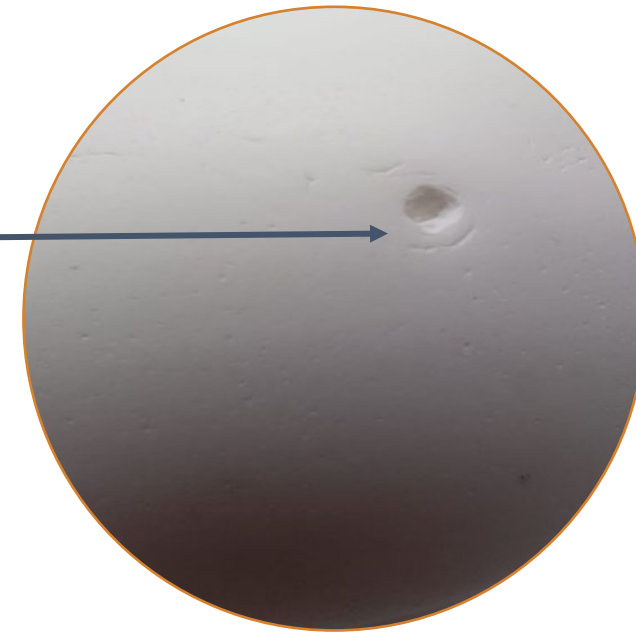
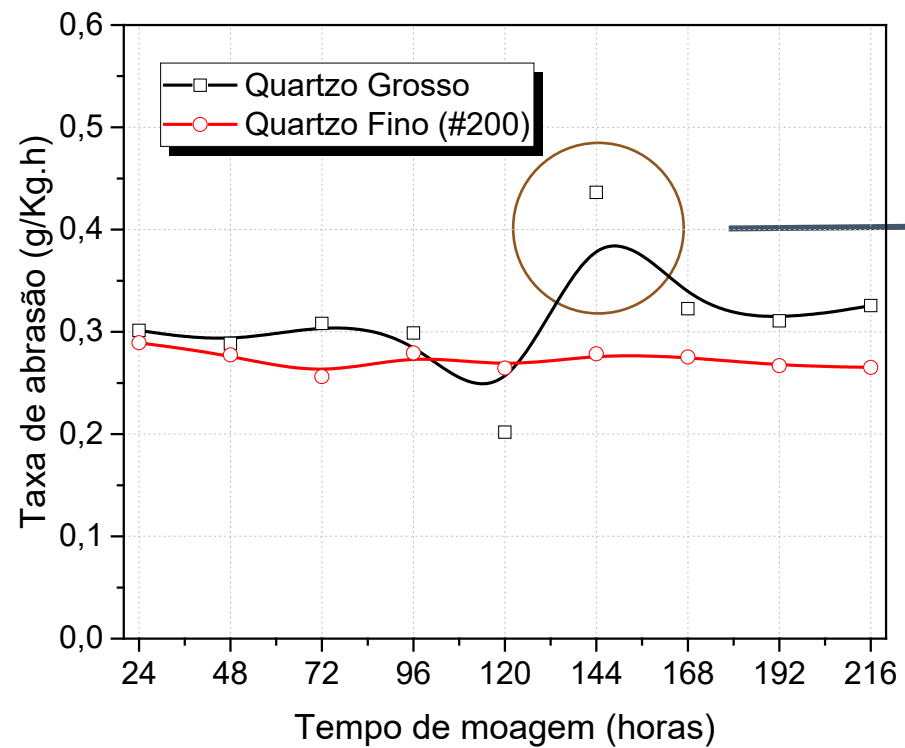


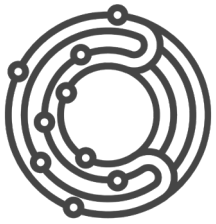
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – GRANULOMETRIA DE ENTRADA



- Grãos grosseiros aumentam a taxa de desgaste das esferas;
- As esferas utilizadas para moer o quartzo grosseiro tendem a perder até 15 kg/ton a mais após um mês de moagem. Esse valor foi estimado com base em um período de 600 horas de operação.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – GRANULOMETRIA DE ENTRADA

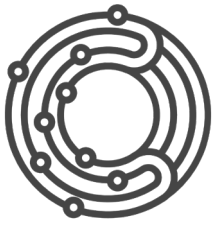




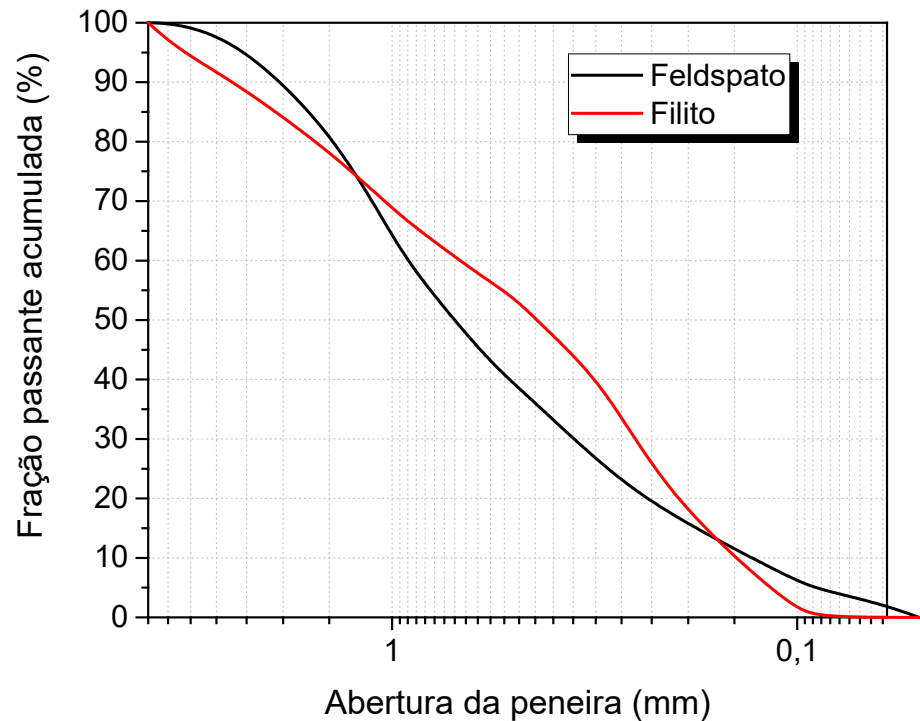
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – COMPOSIÇÃO DA MASSA

Formulação das massas

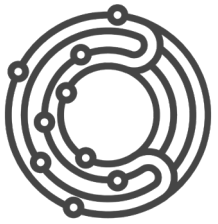
| Matérias-primas | Massa Filito | Massa Feldspato |
|------------------|--------------|-----------------|
| Argila A | 15,0% | 15,0% |
| Argila B | 15,0% | 15,0% |
| Argilito | 15,0% | 15,0% |
| Talco | 5,0% | 5,0% |
| Filito | 50,0% | -- |
| Feldspato | -- | 50,0% |



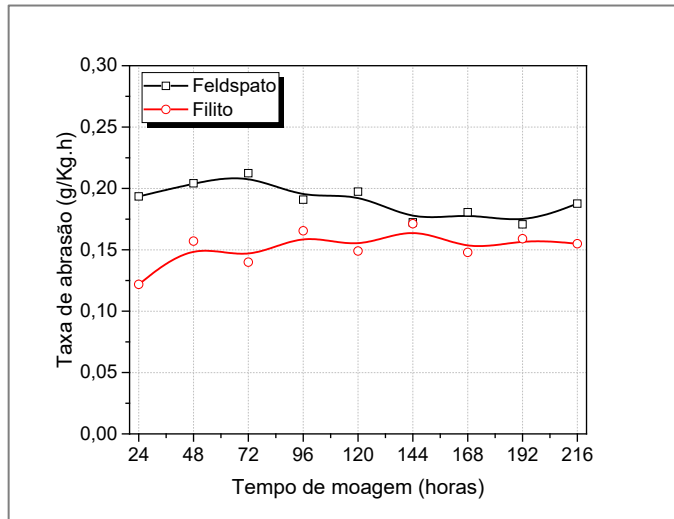
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – COMPOSIÇÃO DA MASSA



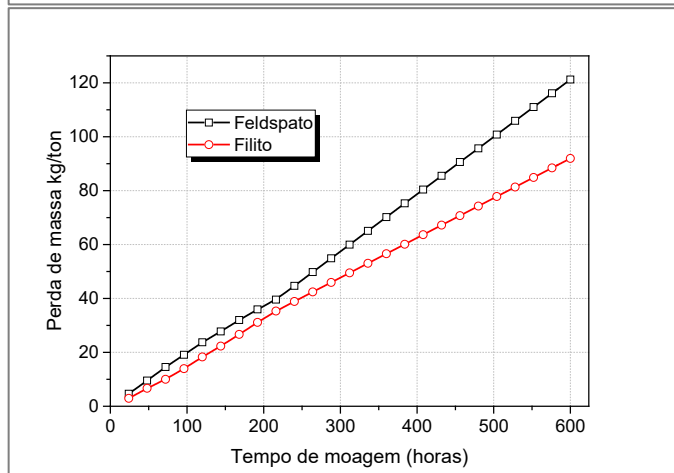
| Malha Padrão ABNT | Abertura nominal (mm) | Fração retida em cada malha (%) | |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------|
| | | Feldspato | Filito |
| #5 | 4,000 | 0,0 | 0,0 |
| #6 | 3,350 | 0,1 | 4,7 |
| #8 | 2,360 | 3,2 | 6,0 |
| #14 | 1,400 | 15,0 | 11,4 |
| #18 | 1,000 | 17,6 | 9,2 |
| #20 | 0,850 | 7,2 | 3,9 |
| #30 | 0,600 | 12,4 | 7,6 |
| #35 | 0,500 | 5,1 | 3,5 |
| #40 | 0,425 | 4,4 | 4,8 |
| #50 | 0,300 | 9,9 | 10,1 |
| #70 | 0,212 | 7,6 | 18,5 |
| #140 | 0,106 | 10,7 | 18,5 |
| #170 | 0,090 | 2,0 | 1,8 |
| #230 | 0,063 | 2,4 | 0,2 |
| Prato coletor | < 0,063 | 2,4 | 0,0 |



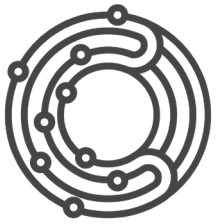
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – COMPOSIÇÃO DA MASSA



- Presença de minerais de alta dureza aumentam a taxa de desgaste das esferas.



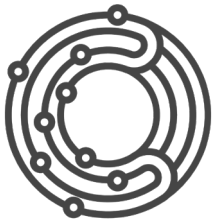
- As esferas utilizadas para moer a massa com feldspato tendem a perder até 29 kg/ton a mais após um mês de moagem. Esse valor foi estimado com base em um período de 600 horas de operação.



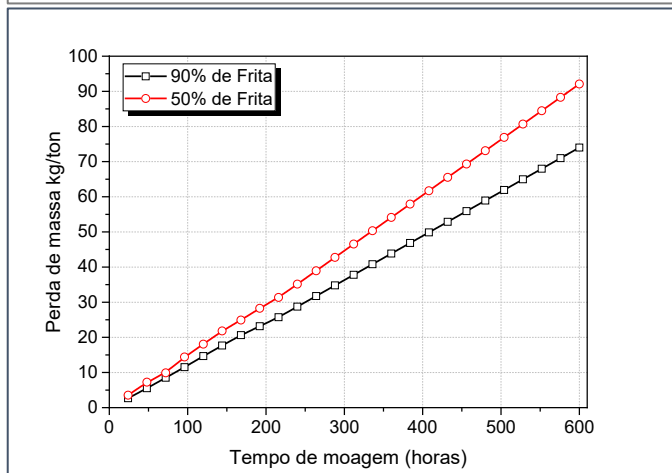
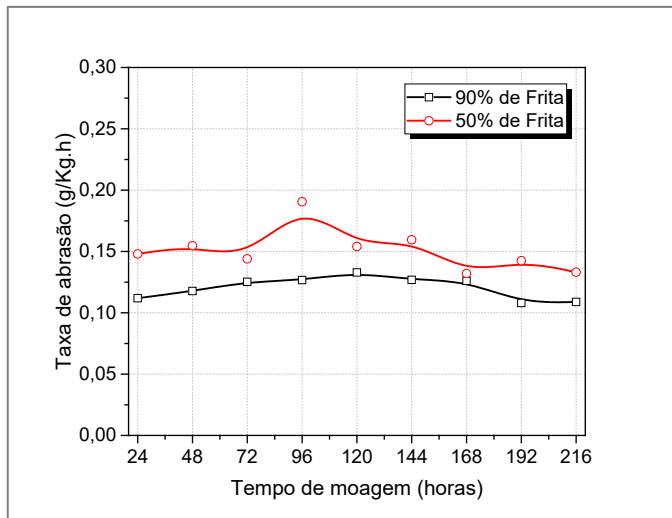
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – COMPOSIÇÃO DO ESMALTE

Formulação dos

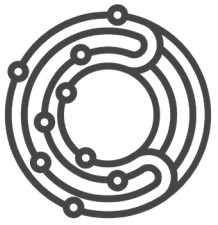
| Matérias-primas | Esmalte 90% de frita | Esmalte 50% de Frita |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| Caulim | 10,0% | 10,0% |
| Quartzo | -- | 10,0% |
| Feldspato | -- | 20,0% |
| Argila | -- | 10,0% |
| Frita | 30,0% | 16,6% |
| Frita | 30,0% | 16,7% |
| Frita | 30,0% | 16,7% |



AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO – COMPOSIÇÃO DO ESMALTE



- Presença de minerais de alta dureza aumentam a taxa de desgaste das esferas;
- As esferas utilizadas para moer o esmalte rico em feldspato e quartzo tendem a perder até 18 kg/ton a mais após um mês de moagem. Esse valor foi estimado com base em um período de 600 horas de operação.



CONCLUSÕES

Tratamento de dados

- Uma metodologia robusta atrelada a uma base de dados permite uma classificação sólida do desempenho de uma amostra de esferas de alta alumina;
- A taxa de desgaste tem relação direta com o diâmetro das esferas, neste sentido, esferas de um mesmo fornecedor, mas com diferentes diâmetros devem apresentar resultados diferentes.

Características das esferas

- O desempenho das esferas está diretamente relacionado com sua porosidade, uma vez que poros atuam como defeitos estruturais.

Natureza do material

- A taxa de desgaste abrasivo é diretamente afetada pelo tamanho inicial das partículas, para além disso, é especialmente afetada pela dureza do material.



HOME

SERVIÇOS

LAF

ANÁLISES

utilizando das mais modernas técnicas
de caracterização de materiais

Endereço: Parque Ecotecnológico Damha I. Unidade 34

CEP: 13.565-254. São Carlos, SP

Obrigado!

Website: crceram.com.br

Fone: +55 (16) 3201 8625

E-mail: crc@crceram.com.br