

# **Caracterização laboratorial e avaliação em campo do desempenho de concretos refratários projetado em tampas de carro torpedo na dessulfuração de gusa.**

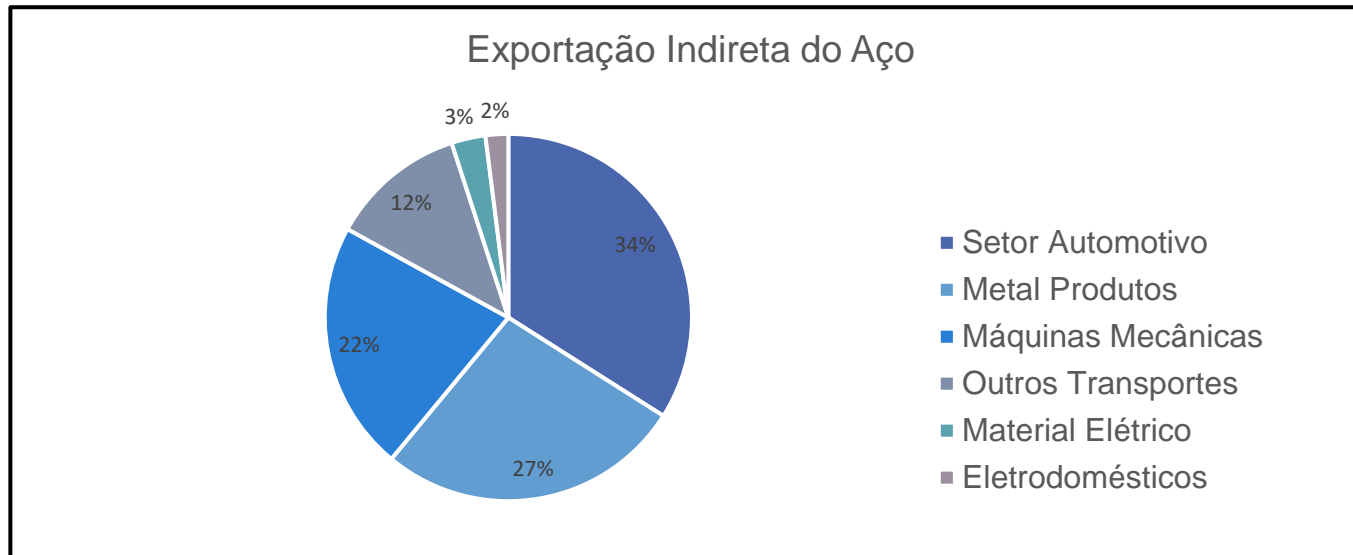
---

Mestrando: Farlei Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa

## INTRODUÇÃO

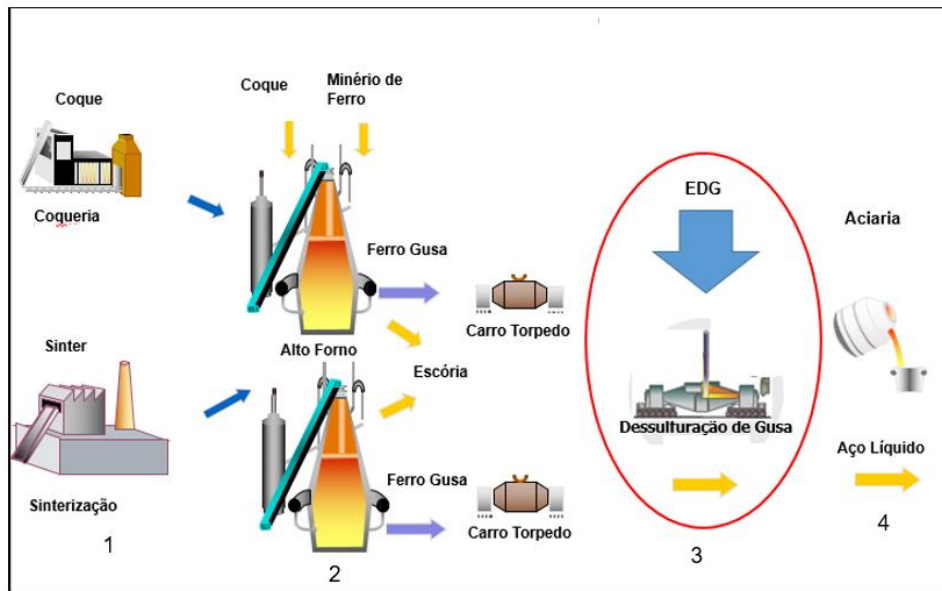
A indústria siderúrgica gera empregabilidade para 6,1 milhões de pessoas, gerando um impacto em benefício da sociedade, economicamente. A indústria do aço mundial vendeu 2,5 trilhões de produtos, e criou US \$500 bilhões de valor agregado neste mesmo período. A maior parcela das exportações indiretas de aço está demonstrada na figura abaixo sobre a-exportação indireta do aço



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## FLUXO DE PRODUÇÃO

As etapas de fabricação do aço podem ser classificadas conforme o fluxo de produção, que são: produção de matéria prima (1), redução do minério (2), estação de dessulfuração (3), refino do aço em aciarias (4).



## OBJETIVO GERAL

- Caracterizar as amostras de concreto refratários utilizadas;
- Determinar o melhor refratário para aplicação;

Desenvolver um procedimento para avaliação do grau dificuldade de remoção de cascão em tampas de carros torpedo.

## OBJETIVO ESPECÍFICO

- Desenvolver uma metodologia para caracterização laboratorial e compará-la aos testes em campo da eficiência em remover o cascão da tampa de dessulfuração após a aplicação do concreto refratário.
- Determinar qual o melhor concreto refratário para aplicação na tampa do carro torpedo.

## JUSTIFICATIVA

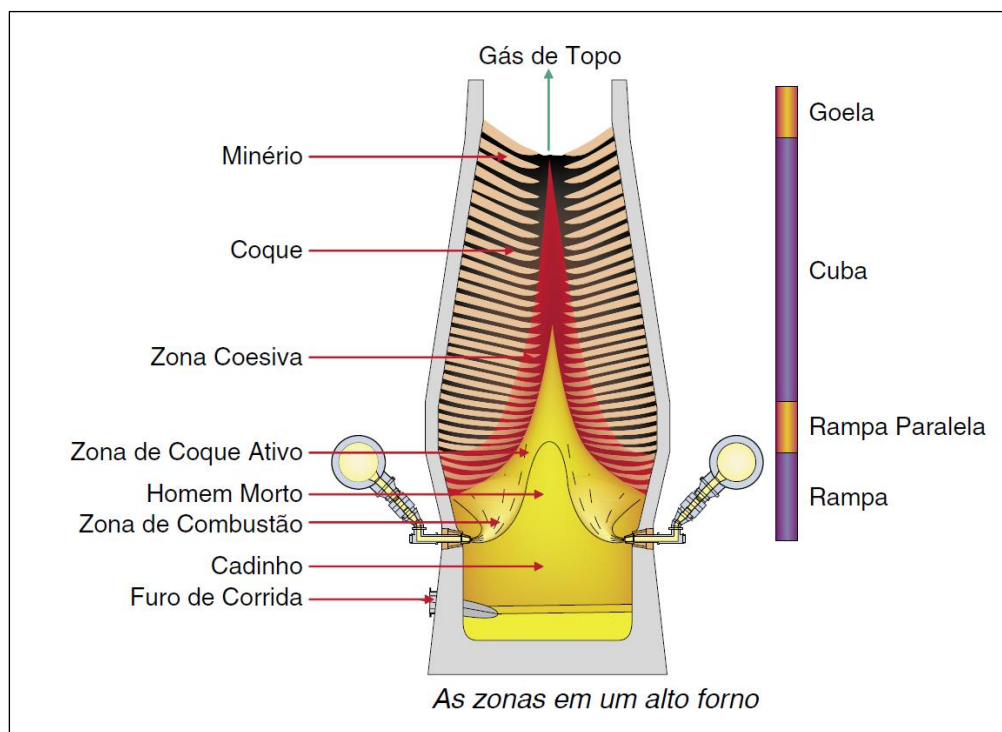
A realização deste trabalho permitirá as seguintes melhorias na operação da dessulfuração:

- Diminuir o esforço físico dos colaboradores na remoção de cascão em tampas de carros torpedo;
- Retirar o uso de pá mecânica para auxílio na remoção de cascão em tampas de carros torpedo e disponibilizar a mesma para outras atividades;
- Retirar o uso do processo de oxicorte para remoção de cascão em tampas de carros torpedo;

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## PROCESSO DE REDUÇÃO

O alto-forno é o mais antigo (mais de 700 anos) dos vários reatores que estão sendo usados nas siderúrgicas sendo utilizado para a produção de ferro gusa.



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### DESSULFURAÇÃO DE GUSA

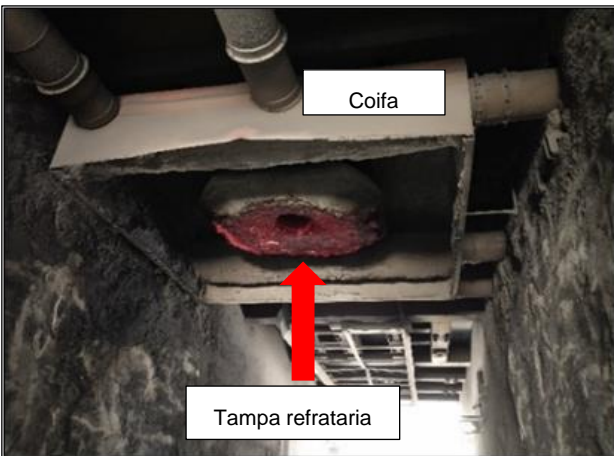
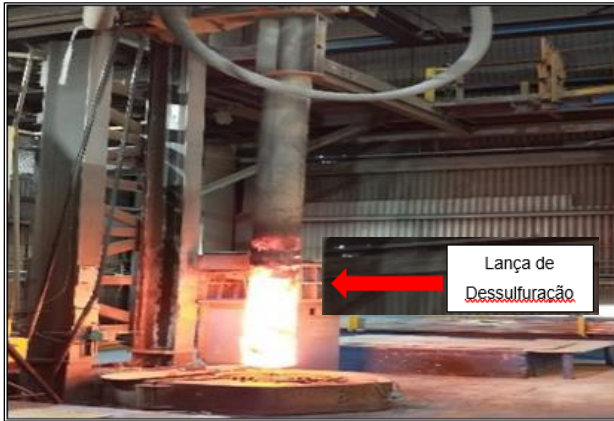


A dessulfuração do gusa é a etapa posterior ao alto forno que consiste na retirada do enxofre do ferro gusa utilizando um agente dessulfurante que pode ser o óxido de cálcio (cal), carbureto de cálcio ( $\text{CaC}_2$ ) magnésio ou uma mistura de várias substâncias com porcentagem definidas.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### DESSULFURAÇÃO DE GUSA

O reagente é injetado no ferro gusa por meio de uma lança refratária, a lança contém um tubo metálico com revestimento refratário.



No mesmo processo é utilizado uma tampa refratária, que fica suspensa na coifa de cada estação de dessulfuração, com a finalidade de vedar a boca do carro torpedo e evitar que o ferro gusa seja projetado para fora do mesmo durante o processo de dessulfuração.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## REFRATÁRIO

De acordo com a ABNT – NBR 8826 (2014), refratário é um material cerâmico natural ou artificial, conformado ou não, que retem a forma física e a identidade química, quando submetido a altas temperaturas. Os refratários estão divididos quimicamente em 5 categorias distintas: silicosos, sílico-aluminosos, aluminosos, básicos e especiais.



# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## CONCRETOS REFRAATÁRIO

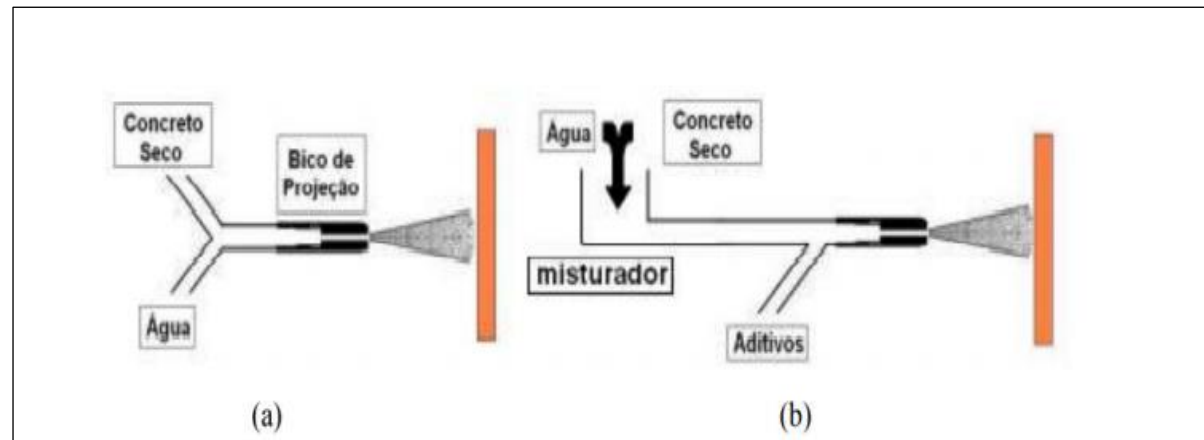
Os concretos refratários são combinações pré-misturadas de grãos refratários, componentes da matriz, agentes de ligação e misturas. American Society for Testing classifica os concretos refratários de acordo com seu teor de CaO em:

- convencional ( $\text{CaO} > 2,5\%$ );
- baixo teor de cimento ( $2,5\% > \text{CaO} > 1,0\%$ );
- ultrabaixo teor de cimento ( $1,0\% > \text{CaO} > 0,2\%$ );
- sem cimento ( $\text{CaO} < 0,2\%$ ).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DE CONCRETOS REFROTÁRIOS

Os concretos refratários podem ser aplicados por diversas técnicas, escoamento livre, vibração, socagem e pelas duas técnicas vastamente conhecidas (a) projeção via seco (dry gunning) conforme utilizado neste trabalho, e (b) projeção via úmido (shotcrete).



## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho será executado em tampas refratárias que são utilizadas no processo de dessulfuração de gusa, onde são apresentados:

- Materiais de aplicação;
- Testes industriais;
- Técnicas de caracterização;
- Técnica de aplicação do material.



Tampa refratária



Processo de Dessulfuração de gusa

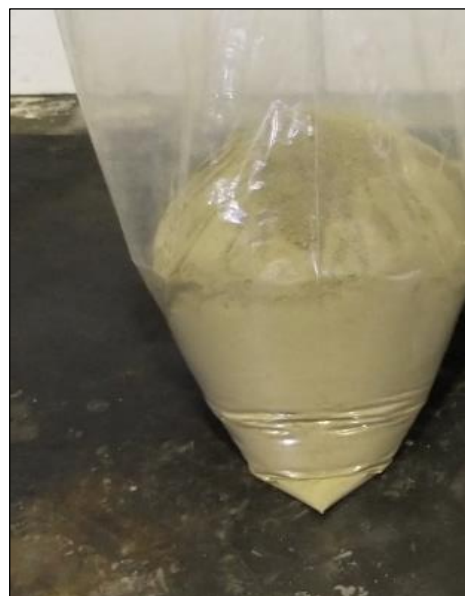
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais como recebidos

Os materiais foram recebidos na forma de pó, em sacos de 25 kg.



Material A

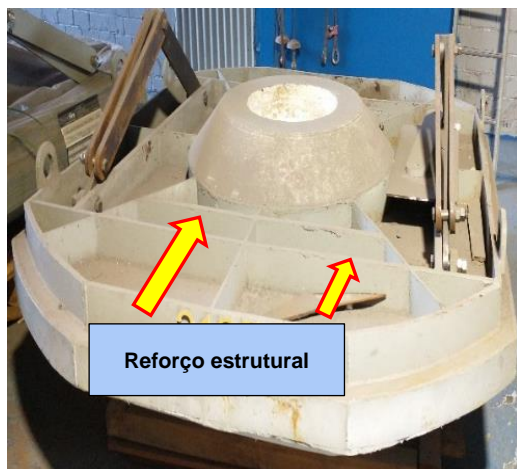


Material B

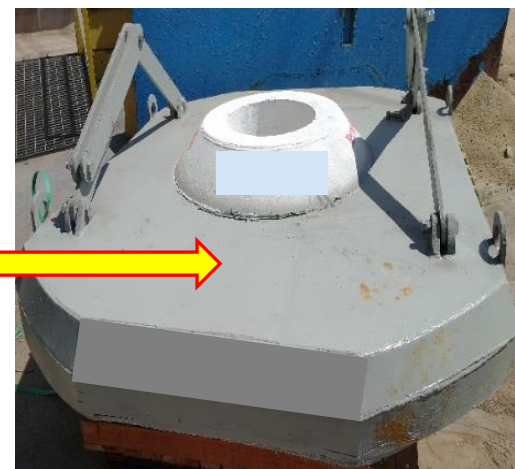
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Testes industriais

Etapa onde foi realizado a preparação da tampa para recebimento dos concretos refratários. Foi confeccionada uma chapa metálica com dimensões específicas e soldada na parte superior com intuito de tampar os reforços estruturais e ajudar na ancoragem do concreto refratário.



Chapa metálica



# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes industriais

### Confecção de chapas metálicas para recebimento dos concretos refratários

No intuito de termos assertividade nos testes industriais, foram confeccionadas quatro chapas metálicas com as seguintes dimensões, 150 x 150 mm, onde projetamos os concretos refratários A e B, com intuito de simular uma tampa refrataria na condição real de operação.



## MATERIAIS E MÉTODOS

### Testes industriais

A aplicação do concreto refratário através da técnica de gunning (projeção via a seco), foi a segunda etapa. Foi utilizado uma máquina de projeção de concreto refratário com a capacidade até 1000 kg.



Máquina de projeção



Aplicação do concreto



Tampa após aplicação

# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes industriais

Dados da 1° e 2° aplicação são mostrados nas tabelas 3 e 4. Verificado quantidade de cascão acumulado sobre a tampa, aderência de cascão no material projetado, remanescente do material aplicado e. dificuldade de limpeza na tampa refratária.

**Tabela 3. Dados da primeira aplicação dos materiais A e B.**

Materiais	A	B
Quantidade de material aplicado.	250 kg	250 kg
Espessura do material.	30 mm	30 mm
Pressão trabalho (ar comprimido).	3,5 kgf/cm <sup>2</sup>	3,5 kgf/cm <sup>2</sup>
Tempo de operação da tampa, até a inspeção/ limpeza.	24h	24h

**Tabela 4. Dados da segunda aplicação dos materiais A e B.**

Materiais	A	B
Quantidade de material, aplicado.	250 kg	250 kg
Espessura do material.	30 mm	30 mm
Pressão trabalho (ar comprimido).	3,5 kg/cm <sup>2</sup>	3,5 kg/cm <sup>2</sup>
Tempo de operação da tampa, até a inspeção/ limpeza.	08h	08h

# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes Laboratoriais

Esta etapa do trabalho foi a caracterização dos materiais de aplicação, verificando suas composições químicas e físicas, através das técnicas de:

### ➤ Fluorescência de raios x (FRX)



Moinho de panela Rocklabs



Balança de precisão Ohaus



Prensa Herzog



Equipamento de fluorescência  
Minipal4 Panalytical

# MATERIAIS E MÉTODOS

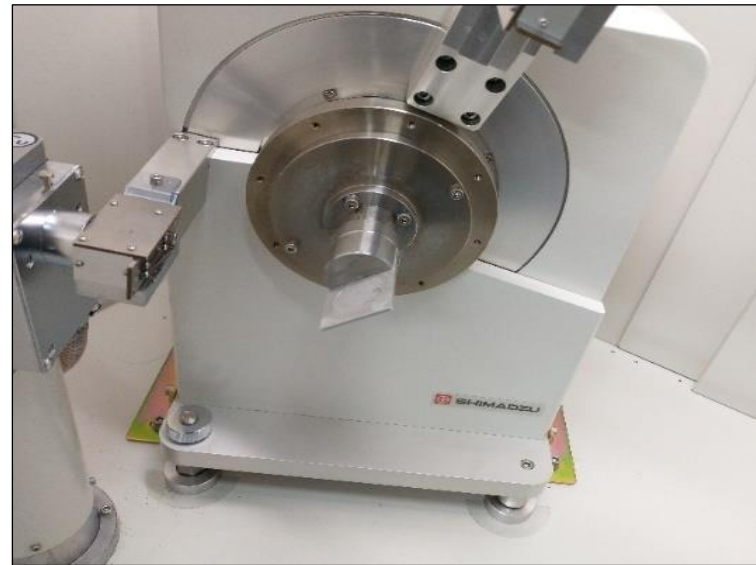
## Testes Laboratoriais

### ➤ Difração de raios x (DRX)

Este ensaio foi feito para determinar as fases mineralógicas dos concretos refratários aplicado neste trabalho.



Equipamento XRD-6100 Shimadzu



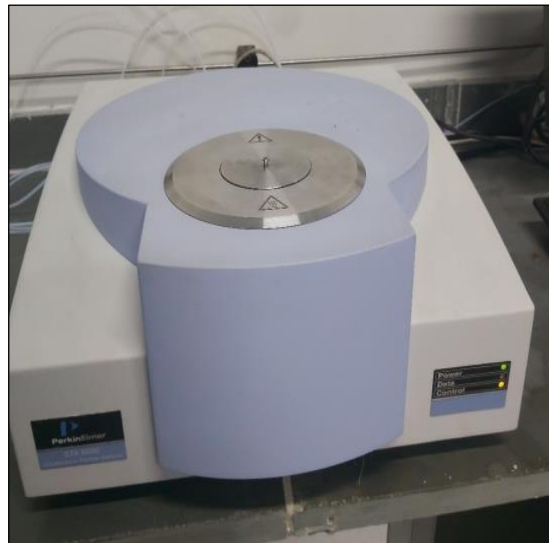
Porta amostras

# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes Laboratoriais

### ➤ Análise térmica gravimétrica (TGA)

Este ensaio, foi feito para verificar a variação da massa em função da temperatura e do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas.



PerkinElmer modelo 6000

# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes Laboratoriais

Preparação das amostras para confecção dos corpos de prova conformado.



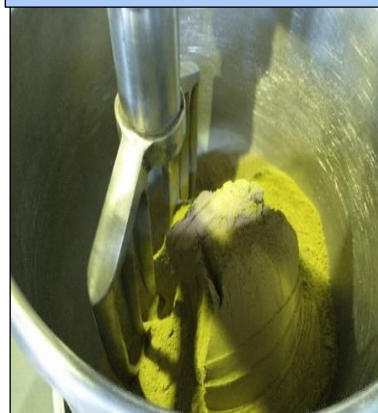
Quarteamento dos concretos refratários



Pesagem dos concretos refratários



Batedeira modelo Amadio



Corpos de prova prismático

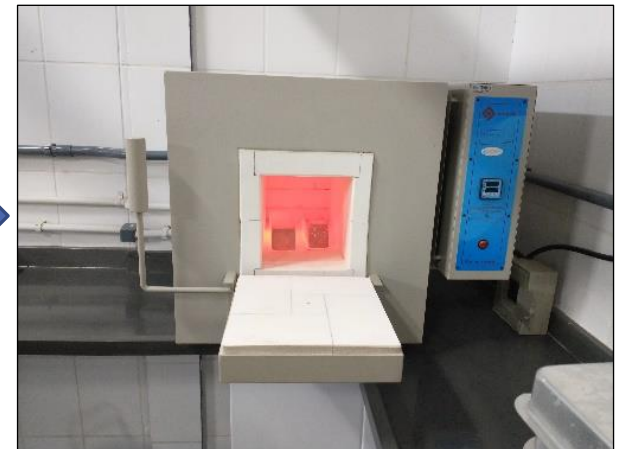
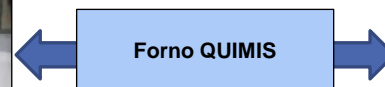


# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes Laboratoriais

### Tratamento térmico dos corpos de prova

Para conhecer as propriedades mecânicas dos materiais após ser submetido a alta temperatura, os corpos de prova foram tratados termicamente em forno tipo mufla fabricante QUIMIS, até a temperatura de 950 °C, com taxa de aquecimento 10 °C/min e resfriamento no próprio forno



# MATERIAIS E MÉTODOS

## Testes Laboratoriais

### ➤ Ensaio de resistência a flexão

Flexão seguindo a Equação:

$$MRF = \frac{3.F.L}{2.b.e^2}$$

F – Força de ruptura em Newtons

L – Distância da barra de apoio em milímetros

b – Largura do corpo de prova ao longo da ruptura em milímetros

e – Espessura do corpo de prova em milímetros



Máquina de ensaios EMIC linha DL

# MATERIAIS E MÉTODOS

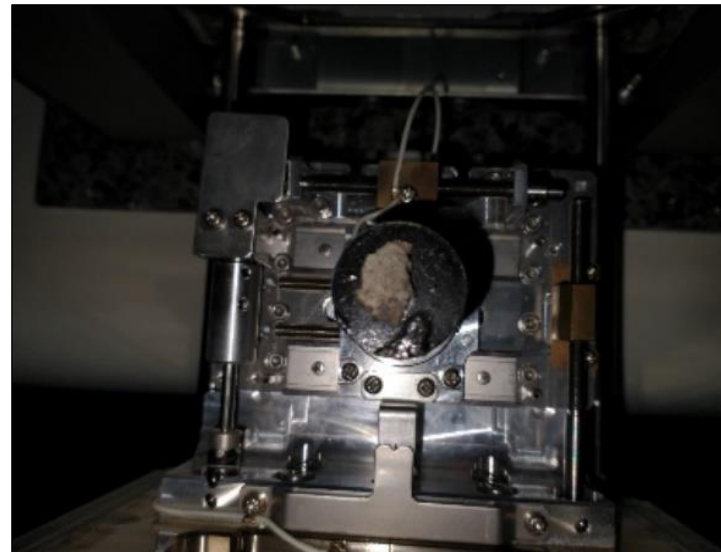
## Testes Laboratoriais

### ➤ Microscópio eletrônico de varredura

Este ensaio foi realizado para determinar a morfologia dos concretos refratários na forma sólida.



Microscópio eletrônico de varredura  
TM 3000 Hitachi



Porta amostras

# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

Foi observado que o cascão gerado no processo de dessulfuração, se acumulou na superfície do concreto refratário, porém ele não penetrou no concreto não vindo a danificar a chapa de teste. Isso pode ser observado devido a diferença de cor dos materiais, os fatos narrados ocorreram para os materiais A e B após uma única aplicação para cada material.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

Em relação a dificuldade de limpeza da “chapa” o material refratário ficou quebradiço e desfarelado, facilitando a limpeza do cascão e do concreto remanescente, desprendendo somente pela gravidade do próprio peso do material.

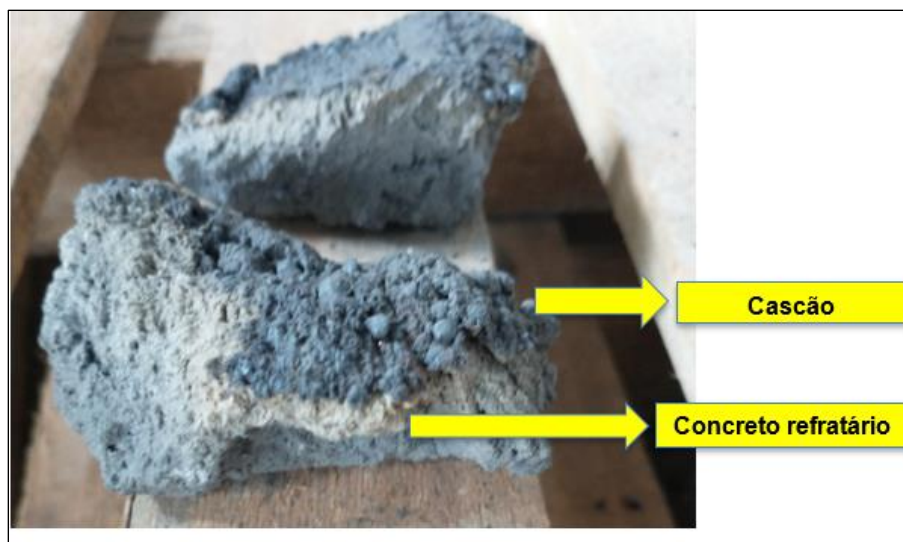


# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

### Pontos observados:

- A ancoragem dos concretos refratários (A) e (B) após a aplicação na parte superior da tampa refratária.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

### Pontos observados:

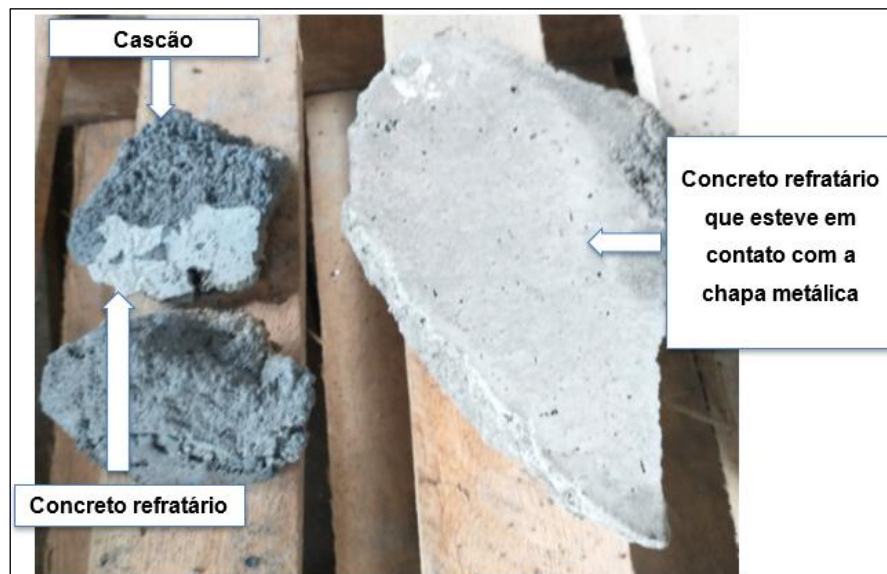
- A quantidade de material (cascão) acumulado sobre a tampa refrataria após 24 horas de operação foi a de uma espessura de 200 mm aproximadamente de cascão com um ciclo de trinta e seis (36) dessulfurações.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

- Já em relação a aderência do cascão sobre o material projetado, observou se que ele não penetrou no concreto refratário ficando somente na superfície como esperado.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Testes industriais

- Foi necessário somente uma alavanca e um operador para desprendimento do cascão e do remanescente do concreto aplicado por projeção.
- Notou se que, os concretos refratários no momento da inspeção para limpeza, ficaram todos quebradiços juntamente com o cascão, sobre a chapa metálica.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X (FRX)

Na tabela 5, contém os resultados da análise química obtidos pela técnica de fluorescência de raios x. Observa-se que os materiais refratários (A) e (B) possuem os seguintes elementos,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre outros, porém são ricos em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ .

**Tabela 5.** Dados obtidos pela fluorescência de raios x.

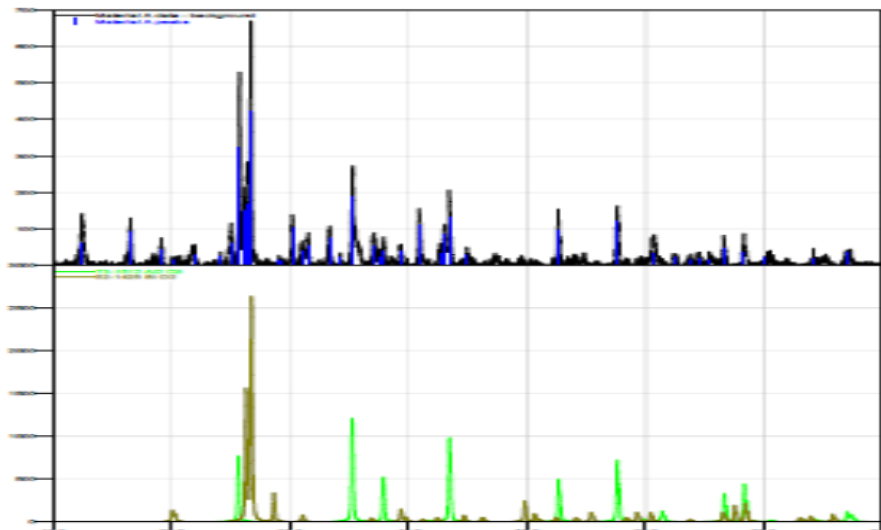
Amostras	Compostos % em peso				
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$
A	45	25	<2,0	9,9	<3,0
B	40	35	<2,0	6,5	<2,0

# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

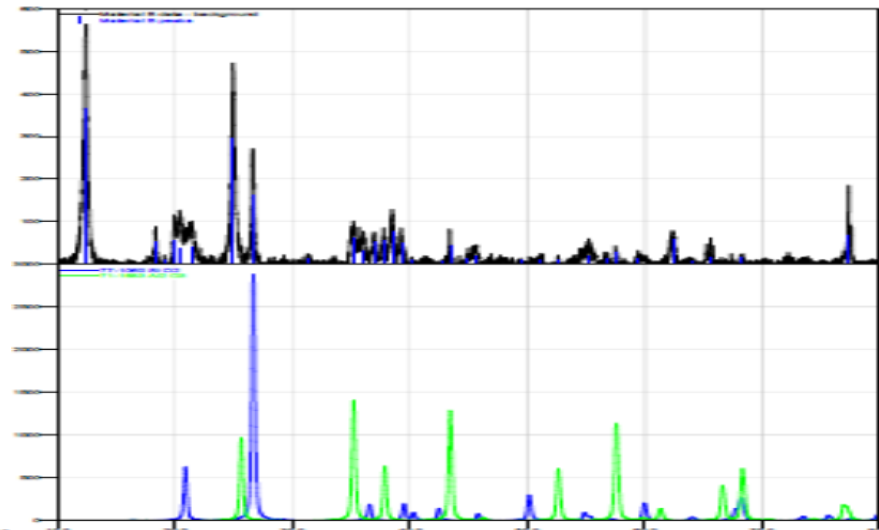
## Difração de raio x (DRX)

Os resultados mostraram picos que correspondem aos óxidos de alumina e óxido de sílica característicos dos cimentos refratários. Entretanto na análise por DRX não foi identificado a presença de CaO.

Material A - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>.

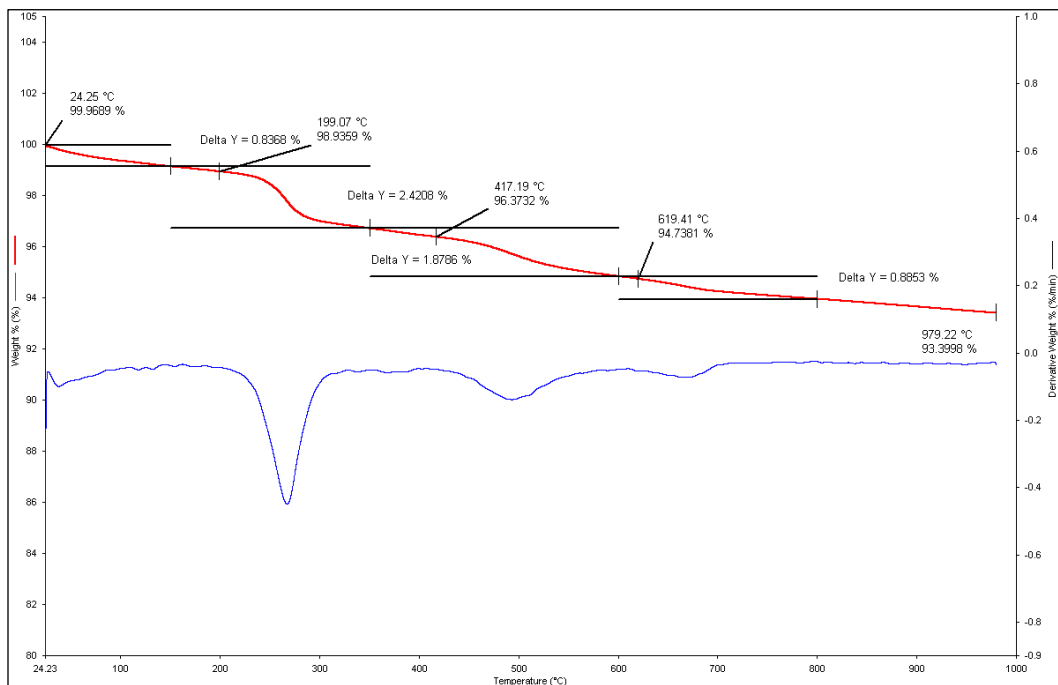


Material B – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

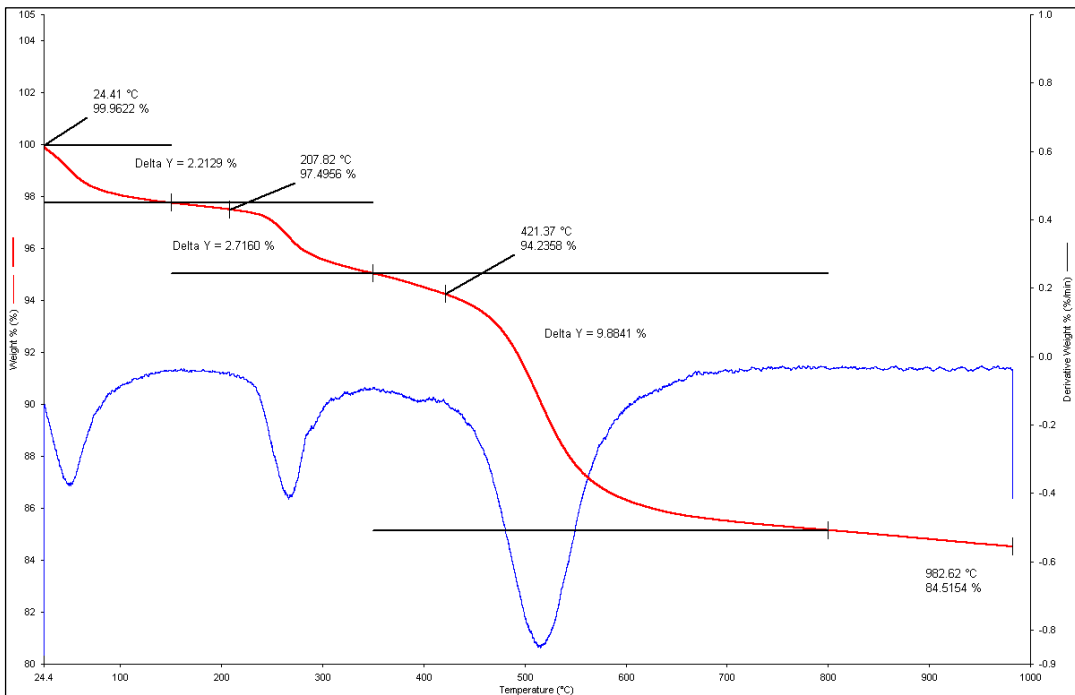
Análise térmica da amostra A (TGA).



Temperaturas (°C)	Perda (%)	Temperatura de início de degradação (°C)	N° de eventos
24 - 150	0,8368	24,25	4
150 - 350	2,4208	199,07	
350 - 600	1,8786	417,19	
600 - 800	0,8853	619,41	

# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

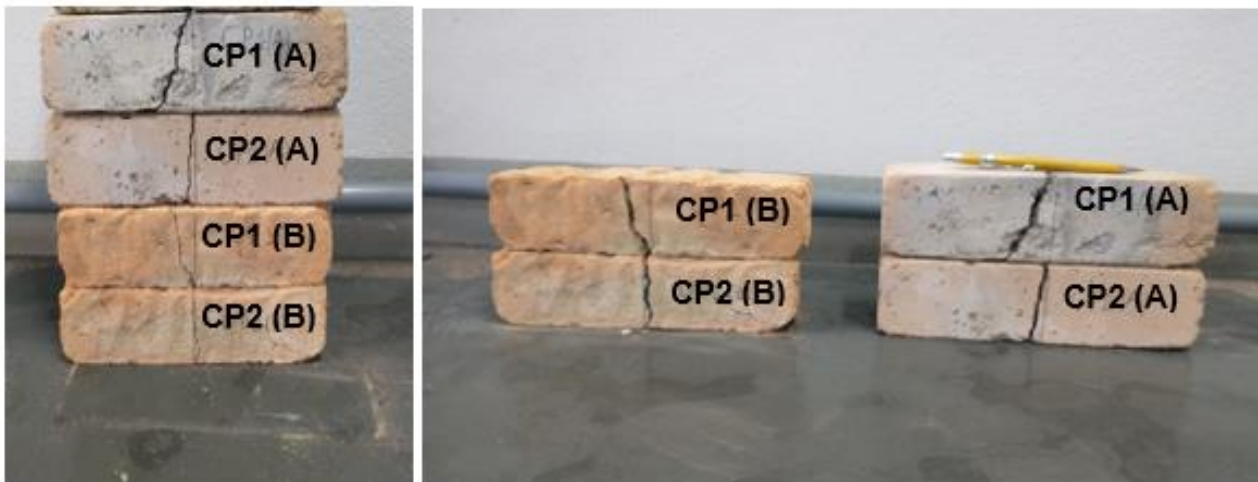
## Análise térmica da amostra B (TGA)



Temperaturas (°C)	Perda (%)	Temperatura de início de degradação (°C)	N° de eventos
24 – 150	2,2129	24,41	3
150 – 350	2,716	207,82	
350 – 800	9,8841	421,37	

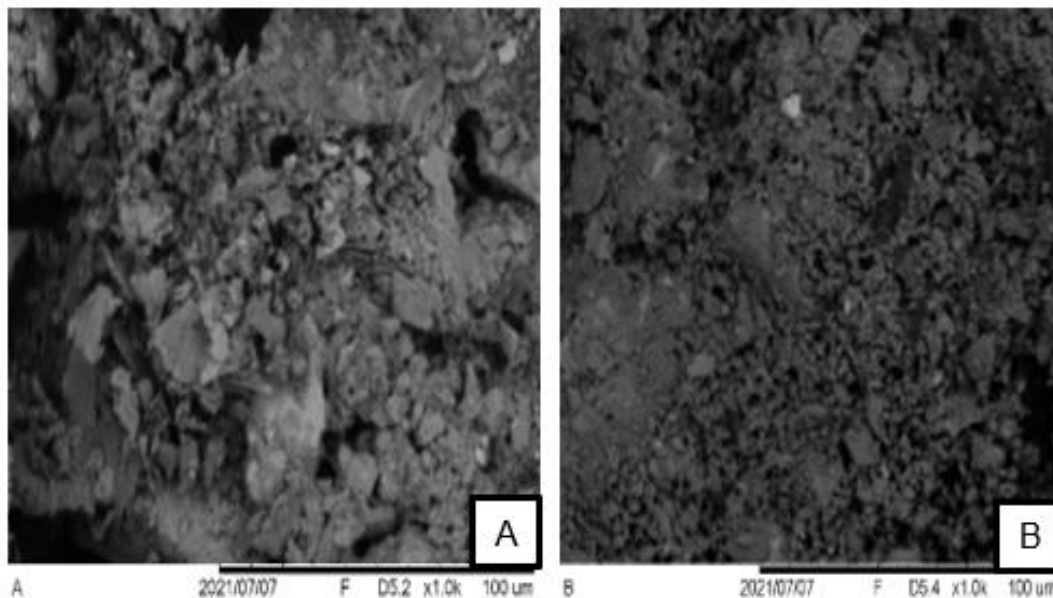
## RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

Ensaio de resistência mecânica flexão a três pontos.



# RESULTADOS E DISCUSSÃO PRELIMINARES

## Microscopia eletrônica de varredura (MEV)



## CONCLUSÃO PRELIMINARES

Os resultados analisados pelas técnicas de FRX e DRX podemos concluir que os materiais A e B indicados para esta aplicação são concretos refratários não conformados e silicoaluminosos, devido ao teor de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

OBRIGADO!