

# ESTUDO SOBRE DEFLEXÃO DE CHAMA PROVENIENTE DA QUEIMA DO GÁS NATURAL

R. DE MEDEIROS<sup>1</sup>, S. F. NUNES<sup>1</sup>, M. R. BIANCHI<sup>1</sup>, D. M. PIO<sup>2</sup>, P. C. S. VILLELA<sup>2</sup>, C. F. RAFAEL<sup>2</sup>, J. R. TEIXEIRA DA SILVA<sup>2</sup>, G. A. LIMA DA SILVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Samarco Mineração - Rod. ES-060 S/N, Anchieta, ES, 29230-000

<sup>2</sup> ATS Aerothermal Solutions - Av. Pompéia, 634 cj 107, São Paulo, SP, 05022-000.

Email para contato: [raphael.medeiros@samarco.com](mailto:raphael.medeiros@samarco.com)

RESUMO – A queima do gás natural é influenciada por fatores como a geometria do queimador, taxas de fluxo de combustível/oxidante e condições termodinâmicas e cinéticas. Em fornos de pelotização, é essencial compreender o perfil da chama para proteger o refratário na câmara de combustão. Um desafio comum é a instabilidade e deflexão da chama, que resulta em altas temperaturas no fundo da câmara, onde o minério de ferro é depositado. A fluidodinâmica computacional ajuda a identificar as causas da deflexão da chama e a encontrar soluções para esse problema.

## 1. INTRODUÇÃO

O problema de deflexão de chama já foi estudado na pelotização pela Samarco (Athayde et al. (2012), Athayde et al. (2014) e Athayde et al. (2019)). A deflexão de chama ocorre quando o jato de gás natural encontra perpendicularmente o fluxo de ar do downcomer, causando altas temperaturas no fundo da câmara, onde partículas de minério de ferro são depositadas. Isso resulta em sinterização e fusão do óxido de ferro, que pode interferir no escoamento da câmara e até bloqueá-la parcialmente.

## 2. OBJETIVO

Propor soluções para a correção do problema de deflexão de chama considerando a influência do ar de camisa no aumento da razão entre os fluxos de quantidade de movimento do jato (ar de camisa e o central) e do "downcomer".

## 3. DESENVOLVIMENTO

As causas principais do problema de deflexão de chama foram identificadas após análise de dados operacionais e de modelos analíticos. O alto desequilíbrio de momento entre os fluxos do downcomer e do jato resultou no desvio da linha de centro da chama, fazendo com que suas bordas tocassem a parede inferior. Isso porque, em determinado momento, houve a conversão de óleo combustível líquido para gás natural que alterou significativamente alguns parâmetros operacionais: 1) A pressão a montante do ar ao usar óleo combustível é maior do que a pressão regulada a montante do gás natural; 2) A densidade de massa dos

sprays de óleo combustível é maior do que a densidade do gás natural. Como o momento depende da pressão a montante, velocidade de descarga, densidade e área, a razão entre o spray de óleo combustível e o ar do downcomer era maior do que a mesma razão ao usar gás natural.

Segundo Lefebvre (1998), o desvio do jato é determinado pela razão  $J$ :

$$J = \frac{Q'_{\text{jato}} + Q'_{\text{camisa}}}{Q'_{\text{cruzado}}} = \frac{\text{jato} \cdot U_{\text{jato}}^2 + \text{camisa} \cdot U_{\text{camisa}}^2}{\text{cruzado} \cdot U_{\text{cruzado}}^2} \quad (1)$$

As partículas de óxido de ferro se acumularam no fundo da câmara devido ao seu peso e inércia. Como a chama estava próxima da parede, as partículas foram aquecidas e expostas aos produtos da combustão, causando sinterização. A solução foi aumentar o momento e a direção do fluxo do jato do queimador para maximizar a distância entre a chama e a parede inferior da câmara.

Para definir as configurações de projeto, os autores desenvolveram modelos analíticos simplificados com base na razão  $J$  de Lefebvre (1998). Esses modelos foram usados para verificar as causas raiz e estudar a sensibilidade dos parâmetros de design. Sem eles, a simulação CFD levaria muito mais tempo ou não seria concluída.

Para avaliar as condições, foi essencial reunir dados do forno da SAMARCO, incluindo geometria, dados de operação e composição do gás natural. Após a preparação do modelo CAD 3D, foram definidas as condições de contorno para avaliar a resposta do sistema para variações dos parâmetros.

O modelo 3D da câmara de combustão e dos queimadores foi criado com base nos desenhos oficiais de um dos fornos da SAMARCO.

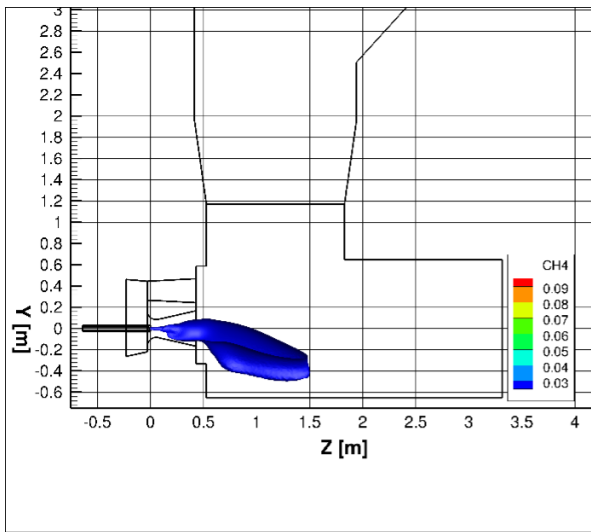
Foi utilizado o software CFD++ da Metacomp que resolve as equações de Média de Reynolds de Navier-Stokes no regime permanente para escoamentos compreensíveis. O modelo de turbulência  $k$ -epsilon foi utilizado devido à necessidade de entender o comportamento do fluido na região central da câmara de combustão. O tratamento e a geração dos resultados foram realizados com a utilização do software Tecplot 360 EX.

Para garantir precisão e eficiência computacional, utilizou-se a malha tetraédrica devido à sua flexibilidade geométrica, integrando camadas prismáticas para aprimorar a representação dos efeitos da camada limite.

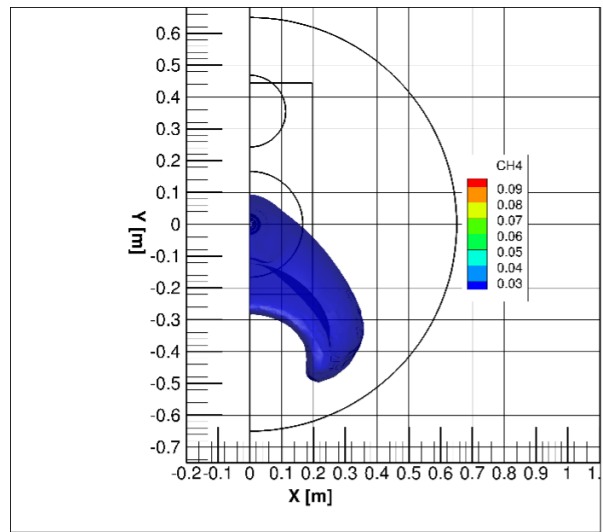
As condições de contorno da simulação CFD foram definidas como: 1 → **Inflow**: (a) *Gás Natural*: Vazão: 0,0557 kg/s; Temperatura: 25 °C; (b) *Ar de Camisa*: Vazão: 0,1073 kg/s; Temperatura: 25 °C; (c) *Downcomer*: Vazão: 11,26 kg/s; Temperatura: 1000 °C. 2 → **Outflow**: (a) *Geometria sem leito de pelotas e caixa de vento*: Pressão de Saída: -100 Pa; (b) *Geometria completa, com leito de pelotas e caixa de vento*: Pressão de Saída: -4000 Pa; Temperatura: 360 °C. 3 → **Paredes e Componentes**: Adiabáticas e viscosas. 4 → **Leito de Pelotas e Carro de Grelha**: Meio poroso com perda de carga estimada de 5994 Pa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos casos foram simulados via CFD, variando a vazão do ar central, do ar de camisa e do Downcomer, com o objetivo de estudar a influência do ar de camisa na deflexão da chama e no parâmetro  $J$  de Lefebvre (1998). O presente trabalho apresenta



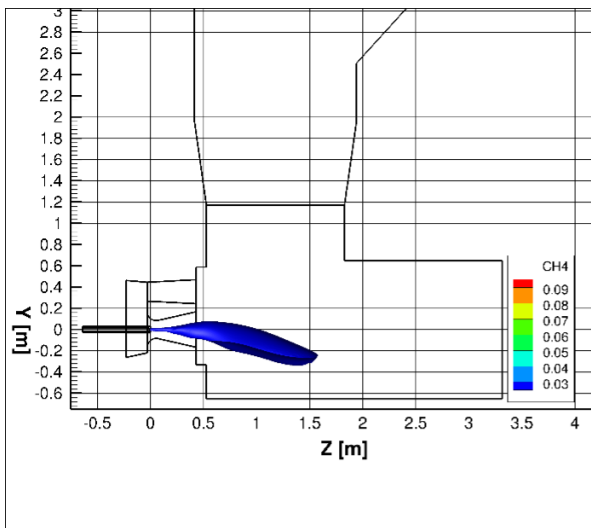
(a) Plano Z-Y



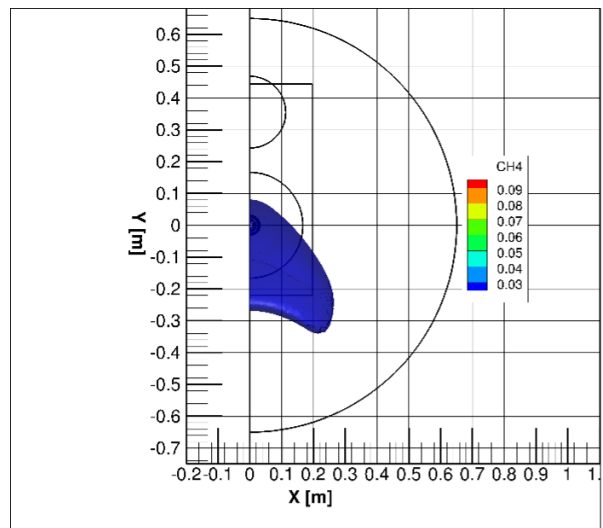
(b) Plano X-Y

Figura 1 – Iso-Surfaces com frações mássicas de CH<sub>4</sub> igual a 3%, para 175 Nm<sup>3</sup>/h de ar de camisa.

apenas os resultados para o caso base (Figura 1), onde há uma grande deflexão da chama, e o ‘caso com o aumento da vazão do ar de camisa’ (Figura 2). O caso base é definido pelas vazões 242 Nm<sup>3</sup>/h, camisa 175 Nm<sup>3</sup>/h e downcomer 315000 Nm<sup>3</sup>/h. Aumentando a vazão do ar de camisa para 355 Nm<sup>3</sup>/h, a deflexão vertical cai de 0.52 m para 0.34 m. A razão J sobe de 41.5 para 43.2. Esse caso mostra diretamente a influencia do ar de camisa na deflexao da chama.



(a) Plano Z-Y



(b) Plano X-Y

Figura 2 – Iso-Surfaces com frações mássicas de CH<sub>4</sub> igual a 3%, para 355 Nm<sup>3</sup>/h de ar de camisa.

Para o caso ‘vazão aumentada de ar de camisa’, a deflexão do jato é mostrada na

