

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE COMBUSTÃO DE CALDEIRAS A GÁS

Aluno: William Schindhelm Georg
Orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes

Introdução

O modelo de caldeira a gás inicialmente utilizado foi o mesmo criado e adotado por TEIXEIRA [2] em seus estudos, visando uma modelagem para usinas de reaproveitamento de gases de aterro sanitário na geração de energia.

Os gases gerados nos aterros sanitários provém de reações bioquímicas que ocorrem devido à escassez de oxigênio nos amontoados de lixo. Bactérias anaeróbicas decompõem a matéria orgânica em compostos menores (biodegradação anaeróbica) gerando o gás metano, entre outros, que pode ser queimado em caldeiras para gerar grande quantidade de calor (energia em última análise).

Objetivos

Este estudo consiste na avaliação e otimização dos processos de combustão e dos queimadores de caldeiras a gás, visando melhorar a mistura dos reagentes na entrada da câmara e diminuir as emissões de poluentes para a atmosfera através dos modelos numéricos fornecidos com o pacote comercial FLUENT 6.1.

Teoria e Modelagem

Nas simulações numéricas realizadas, o modelo do pacote comercial empregado pode ser dividido em submodelos que acoplados, regem os perfis de velocidade, temperatura, processos químicos e trocas térmicas.

As principais equações adotadas nas simulações são explicitadas na seqüência.

Conservação de Massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = S_m$$

Conservação de Quantidade de Movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \text{div}(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\text{grad}(p) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Conservação de Energia

$$\text{div}(\rho \vec{v} h) = \text{div} \left[\left(\frac{\mathbf{m}}{\text{Pr}} + \frac{\mathbf{m}_t}{\text{Pr}_t} \right) \text{grad}(h) \right] + \vec{v} \cdot \text{grad}(p) + S_h$$

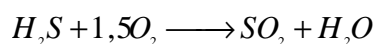
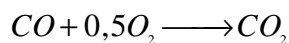
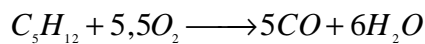
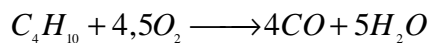
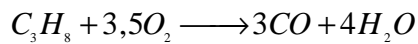
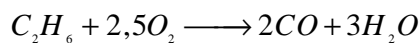
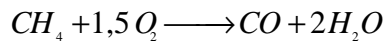
sendo S_m um termo fonte de massa, p a pressão, \vec{g} o campo gravitacional, h a entalpia total e S_h um termo fonte de calor.

Outras equações, como as de radiação e as de conservação de espécies químicas também foram empregadas para a obtenção de dados de emissões que serão expostos mais adiante nos resultados.

Reações Químicas

O processo de combustão foi modelado com oxidação dos hidrocarbonetos em 2 etapas. Essa modelagem se aproxima mais do processo real e possibilita também o estudo de emissões de CO.

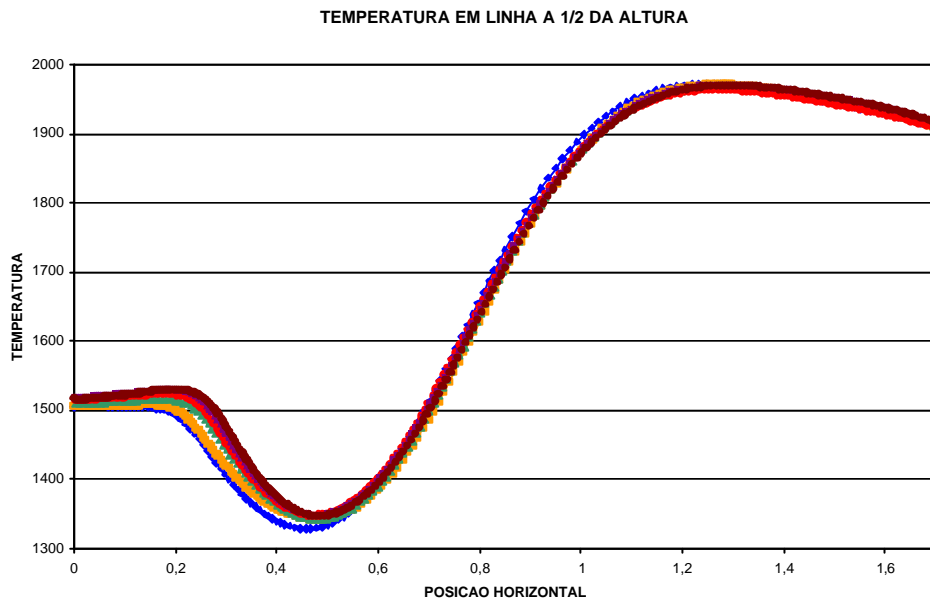
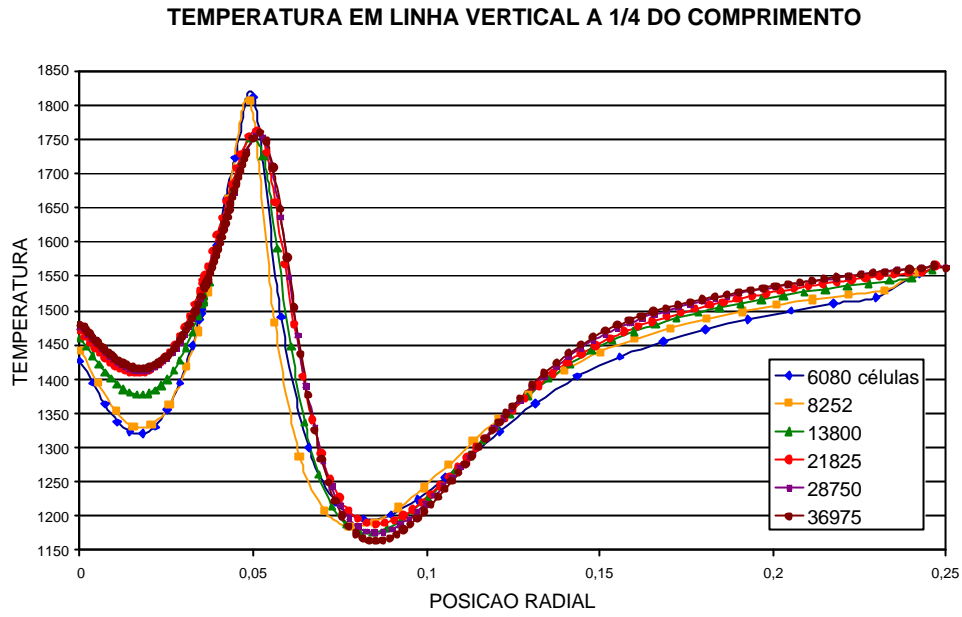
Os 7 mecanismos de reação considerados no problema foram os seguintes:



O modelo de turbulência utilizado foi o *k-e* e os três mecanismos de formação de NO_x (thermal, fuel e prompt) foram considerados e calculados em pós-processamento.

Metodologia

Analisando-se simulações feitas no ano anterior foram descobertas inconsistências nos valores encontrados para as emissões da caldeira em condições de entrada diferentes. Foi feito então um teste de malhas com 6 discretizações para que os casos pudessem ser simulados novamente. O teste de malhas foi estudado tomando-se a temperatura em uma linha radial a ¼ do comprimento da caldeira (0,425 m) e em uma linha axial a ½ da altura da caldeira (0,125 m). Os resultados deste teste estão mostrados na seqüência.



Figuras 1 e 2 – Resultado do teste de malhas.

Foi selecionada para o presente estudo, então, a malha computacional bidimensional axisimétrica com 21825 células, seguindo a geometria proposta na figura 3.

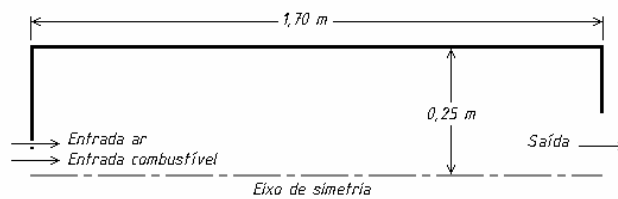


Figura 3 – Geometria proposta paraa caldeira.

Visando melhorar a mistura ar-combustível na entrada da caldeira foram criados 6 casos para simulações de diferentes condições de operação na mesma caldeira anteriormente citada. A partir dos poderes caloríficos inferiores dos componentes do gás, predominantemente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e nitrogênio (N_2) com outras espécies presentes em menos concentração, calculou-se as vazões mássicas de entrada requeridas para a potência estabelecida da caldeira de 400kW conforme TEIXEIRA [2]. Das vazões mássicas calculou-se então as velocidades de entrada do ar (39,03 m/s) e do biogás (8,80 m/s) para o queimador axial. As condições de fronteira foram mantidas como no caso axial anteriormente estudado. A decomposição das velocidades de entrada do queimador manteve sempre as vazões calculadas para o caso de entradas axiais. A caldeira foi considerada adiabática e a emissividade das suas paredes igual a 0,6.

As composições do ar e do biogás adotadas nas simulações são dadas na tabela 1 abaixo.

		Concentrações	
		Espécies	(em volume)
Biogás	CH₄		35%
	CO₂		40%
	N₂		20%
	O₂		5%
Ar	N₂		78%
	O₂		21%
	Ar		1%

Tabela 1 – Composições dos gases na entrada da caldeira.

Resultados

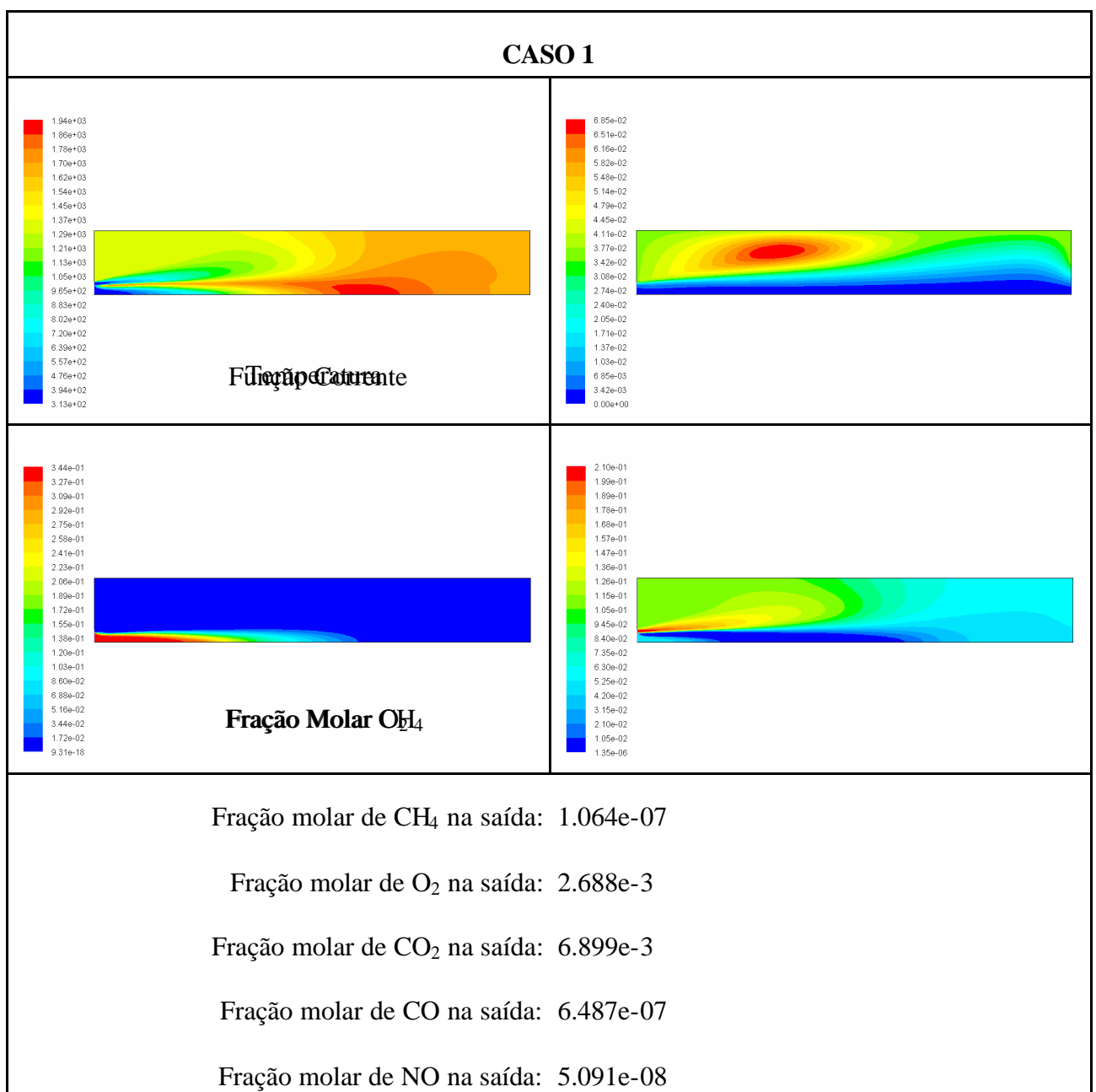
A análise dos resultados considerou os seguintes parâmetros:

- Perfis de temperaturas;
- Perfis de função corrente;
- Perfis de frações molares de CH_4 e O_2 ;
- Frações molares de CH_4 , O_2 , NO , CO_2 , CO e integradas na saída da caldeira.

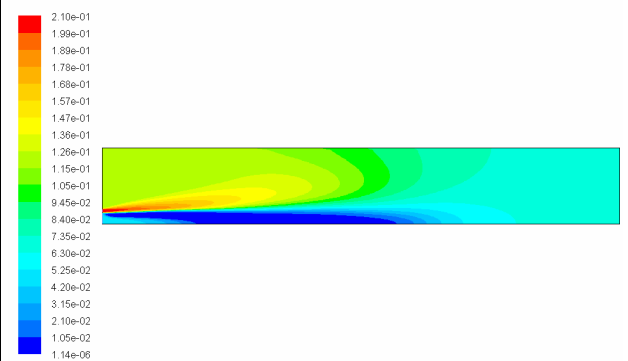
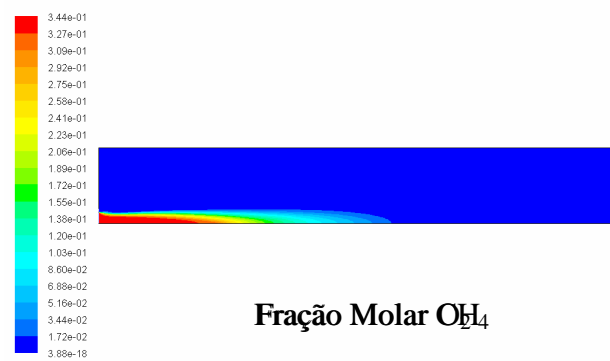
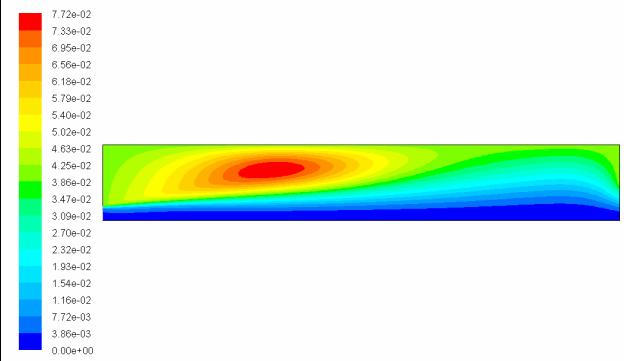
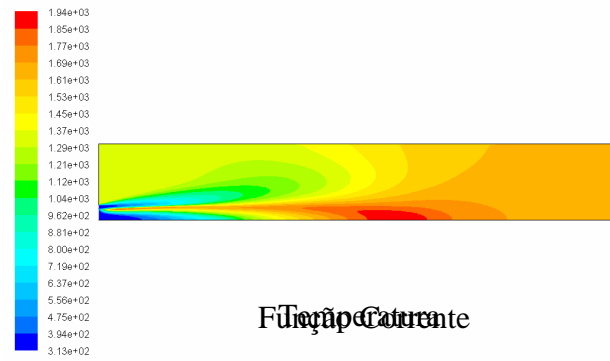
Até o presente momento foram simulados 4 casos para as seguintes condições de operação da caldeira:

CASO	COMP. SWIRL	EXCESSO AR
1	0	1,5
2	0	1,7
3	10%	1,2
4	20%	1,2

Tabela 2 – Casos simulados numericamente com a componente swirl indicada em percentagem da componente axial.



CASO 2



Fração molar de CH₄ na saída: 4.892e-08

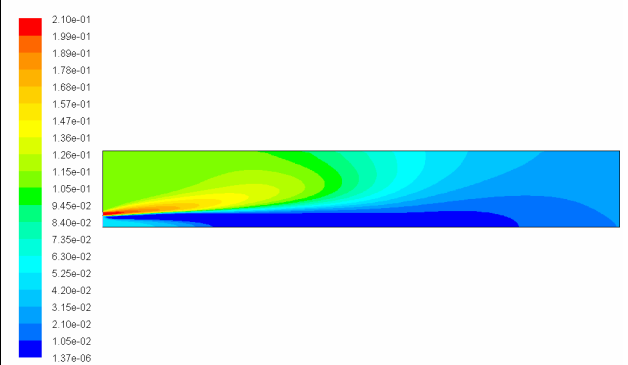
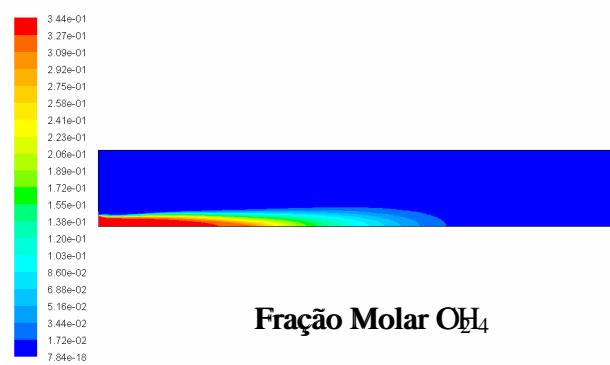
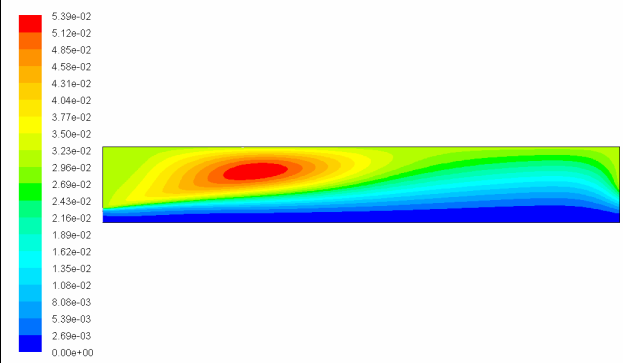
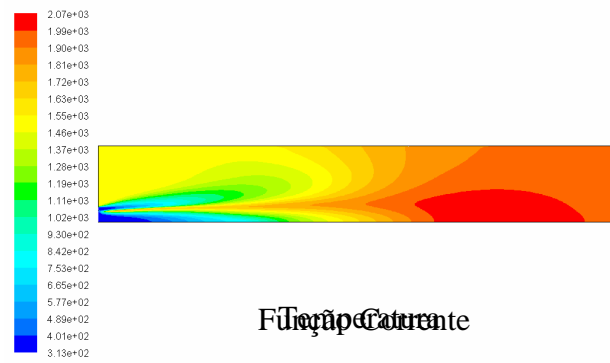
Fração molar de O₂ na saída: 3.436e-3

Fração molar de CO₂ na saída: 6.245e-3

Fração molar de CO na saída: 3.231e-07

Fração molar de NO na saída: 2.327e-08

CASO 3



Fração molar de CH₄ na saída: 9.511e-07

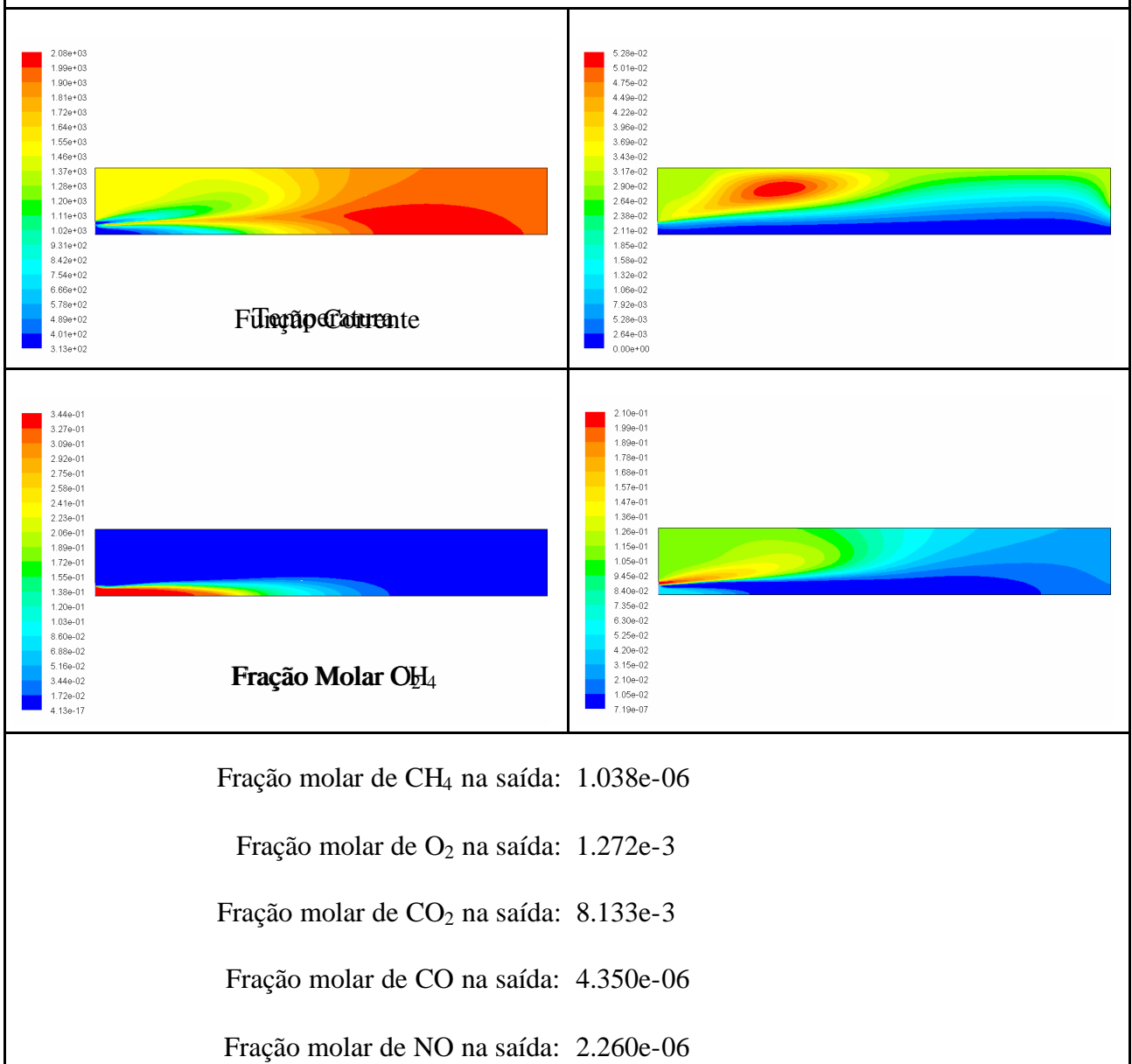
Fração molar de O₂ na saída: 1.261e-3

Fração molar de CO₂ na saída: 8.143e-3

Fração molar de CO na saída: 4.195e-06

Fração molar de NO na saída: 1.879e-06

CASO 4



Conclusões

Até o presente momento, por não terem sido terminadas todas as simulações desejadas não se pode afirmar conclusivamente a influência da introdução de componentes *swirl* na caldeira em questão. Pode-se, porém, observar dos dados já obtidos que a adição de ar em excesso para a queima do gás combustível reduz a temperatura global de operação da caldeira, diminuindo assim os níveis de emissões de NO, CO₂ e CO pela saída, o que já era de se esperar. Para os dois casos com *swirl* (3 e 4) nota-se que o aumento da velocidade tangencial, ao contrário do que se esperava, piorou a queima do metano com o ar de entrada. Novas simulações estão sendo feitas para uma averiguação mais detalhada sobre o assunto.

Referências

1 - BAUKAL JR., Charles E.; John Zink Company. **The John Zink combustion handbook.** Boca Raton, Flórida CRC Press, 2001. 750 p.

2 - TEIXEIRA, Pedro Rios de Moura; GOMES, Marcos Sebastião de Paula; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Simulação do processo de combustão de gases provenientes de aterros sanitários.** 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica.