

INVESTIGAÇÃO DA FORMAÇÃO DE POLUENTES A PARTIR DO PROCESSO DE COMBUSTÃO DO GÁS DE ATERROS SANITÁRIOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA.

Pedro Rios de Moura Teixeira

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
pdriosh@hotmail.com

Marcos Sebastião de Paula Gomes

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil
mspgomes@mec.puc-rio.br

O trabalho investiga, através de simulação numérica, a formação de poluentes e suas concentrações, em um processo de combustão do gás do lixo no interior de uma fornalha cilíndrica. Investigou-se a formação do NO, do SO₂ e do CO, buscando quantificar suas concentrações na saída do combustor.

O modelo é baseado na formulação de volumes finitos. Inclui modelos de turbulência, de radiação por transferência discreta, e o modelo de taxas finitas, utilizando o pacote comercial Fluent. Investigou-se, com maiores detalhes a formação do NO, comparando os processos "thermal NO_x", "prompt NO_x" e "fuel NO_x".

Palavras chave: (Aterros Sanitários, Combustão, Simulação Numérica, Poluição, Biogás).

1. Introdução

No Brasil, o método mais utilizado para a disposição final de resíduos sólidos é o aterramento. Segundo o IBGE (2000), 30,5% dos resíduos sólidos domésticos são colocados em lixões, 22,3% em aterros controlados, e, 47,1% são destinados a aterros sanitários. Para que o aterro seja explorado adequadamente, são necessárias redes de drenagem de águas pluviais e lixiviantes, como também de captação dos gases produzidos com monitoramento efetivo.

O biogás produzido em aterros pode ser utilizado, devido à sua composição, como combustível e na geração de energia elétrica. Isso mostra que problemas ambientais consequentes da produção de resíduos sólidos podem ser revertidos em benefícios ambientais e econômicos para o Brasil e para o mundo.

Entre os problemas ambientais associados aos aterros está o problema do efeito estufa. Este é causado pela excessiva emissão de gases com propriedades que desequilibram os níveis de temperatura na superfície da terra, tendo como consequência o aquecimento global.

Os principais compostos do biogás produzido nos aterros, o metano (CH₄) e o gás carbônico (CO₂), são gases de efeito estufa. O metano, contudo, tem uma influência vinte uma vezes maior no fenômeno do aquecimento global do que o gás carbônico. Um inventário de gases de efeito estufa feito na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, mostrou que 36% do metano e 2% do gás carbônico gerado em atividades urbanas provêm dos aterros sanitários. São necessárias, portanto, ações que reduzam, o máximo possível, as emissões de metano nos aterros sanitários.

Nesse sentido, o biogás produzido nos aterros pode ser aproveitado para a produção de energia através de processos de combustão, obtendo ainda, um abatimento na emissão de gases de efeito estufa. Contudo, a combustão do biogás não produz somente CO₂ e água. A partir de sua composição outros compostos, também poluentes, como o NO_x e o SO₂ podem ser formados. Portanto, são necessários, o monitoramento, a análise e o controle de emissões desses gases.

Neste trabalho, buscou-se a investigação da performance de um modelo baseado na simulação de volumes finitos utilizando o pacote comercial Fluent. Investigou-se também a formação de NO, CO e SO₂ nas chamas de gases provenientes de aterros sanitários utilizando a composição do biogás referente a um aterro sanitário existente na cidade de Montreal-Canadá.

2. Modelagem Numérica

As equações de conservação utilizadas foram obtidas através do procedimento conhecido como decomposição de Reynolds. Foi utilizado no trabalho o modelo k-ε de turbulência, o qual assume as tensões de Reynolds como proporcionais aos gradientes de velocidade média. Hinze, J. O. (1987).

As equações de conservação de massa e da quantidade de movimento linear utilizadas são:

$$\text{div}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}(\rho v v) = \text{div}(\mu_{ef} \text{grad}(v)) + \text{div}(\mu_{ef} \text{grad}(v))^T - \text{grad}(P) \quad (2)$$

As equações, a partir das quais, são obtidos os valores de k e ϵ , na sua forma vetorial, são apresentadas a seguir:

$$\text{div}(\overline{\rho\nu k}) = \text{div}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad}(k)\right) + G_k - \overline{\rho\epsilon} \quad (3)$$

$$\text{div}(\overline{\rho\nu\epsilon}) = \text{div}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \text{grad}(\epsilon)\right) + G_\epsilon - \overline{\rho\epsilon} \quad (4)$$

A taxa de produção de energia turbulenta, G_k é dada por:

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (5)$$

$C_{1\epsilon}$ e $C_{2\epsilon}$ são constantes empíricas e, σ_k e σ_ϵ os números de Prandtl que governam a difusão turbulenta. Estes quatro valores são determinados empiricamente.

A viscosidade turbulenta μ_t é definida por:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

Onde C_μ é uma constante de proporcionalidade definida de forma empírica.

O campo de temperaturas no interior da fornalha é obtido através da solução da equação de conservação de energia:

$$\text{div}(\rho\nu h) = \text{div}\left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t}\right) \text{grad}(h)\right] + \nu \bullet \text{grad}(P) + S_h \quad (7)$$

Através do termo fonte, S_h , da Eq. 7 é incorporado na equação de energia, o processo de transferência de calor por radiação. Este termo também representa a fonte de entalpia devido às reações químicas.

O modelo de radiação por transferência discreta, DTRM, obtém a intensidade radiante através da sua integração em todos os comprimentos de onda. É utilizado também um sub-modelo que utiliza o conceito de coeficiente de absorção.

A equação de transporte das espécies químicas para um escoamento turbulento, assumindo regime permanente, tem a seguinte forma:

$$\text{div}(\rho\nu m_l) = \text{div}\left[\left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right) \text{grad}(m_l)\right] + R_l \quad (8)$$

R_l , na Eq. 8, é a taxa de reação para cada espécie l , e é a soma das fontes em todas as reações, nas quais, a espécie l participa. É calculado a partir das taxas de Arrhenius, utilizando o conceito de dissipação de vórtices segundo Magnussen e Hjertager (1976).

A Tabela 1 apresenta as reações globais utilizadas nas simulações.

Tabela 1. Reações globais para o processo de combustão

	Reações Químicas
A	$CH_4 + 1,5O_2 \longrightarrow CO + 2H_2O$
B	$C_2H_6 + 2,5O_2 \longrightarrow 2CO + 3H_2O$
C	$C_3H_8 + 3,5O_2 \longrightarrow 3CO + 4H_2O$
D	$C_4H_{10} + 4,5O_2 \longrightarrow 4CO + 5H_2O$
E	$C_5H_{12} + 5,5O_2 \longrightarrow 5CO + 6H_2O$
F	$CO + 0,5O_2 \longrightarrow CO_2$
G	$H_2S + 1,5O_2 \longrightarrow SO_2 + H_2O$

As previsões da formação do dióxido de enxofre (SO₂) e do monóxido de carbono (CO) foram quantificadas a partir do modelo de equação global.

A modelagem utilizada para a previsão da formação do NO inclui modelos de três processos cinéticos químicos distintos: O “*thermal NO_x*” diz respeito à sua formação a partir do nitrogênio atmosférico, o “*prompt NO_x*” ocorre a partir da velocidade das reações na frente da chama, e o “*fuel NO_x*” a partir do nitrogênio existente no combustível. Os mecanismos utilizados para a previsão do NO foram abreviados.

Segundo Seinfeld (1986), a oxidação do nitrogênio atmosférico é fortemente dependente da temperatura e o NO é formado nas regiões de pico de temperatura das chamas. Na oxidação do nitrogênio existente no combustível o principal fator é a disponibilidade de oxigênio, e, geralmente, não sofre influência da temperatura. A formação que acontece na frente da chama pode ocorrer à baixa temperatura em misturas ricas em combustível onde se tenha um tempo curto de residência.

3. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho partiu de informações sobre a composição do biogás produzido no Centro de Eliminação de Resíduos situado na cidade de Montreal – Canadá, que é apresentada na Tab. 2, juntamente com as concentrações das emissões registradas no local.

Tabela 2. Composição do biogás produzido no aterro sanitário em Montreal e do gás emitido após o processo de combustão. Fonte: CADDET – Result 393 (2000).

Composição do Biogás (em volume)			Composição dos produtos da combustão (em volume)		
CH ₄ – 35 %	O ₂ – 5 %	H ₂ S– 232 ppmv	CO ₂ – 17,7 %	N ₂ – 66,7 %	NO _x – 21 ppmv
N ₂ – 20 %	CO ₂ – 40 %	VOC’s– 743 ppmv	H ₂ O– 15,6 %	CO– 24 ppmv	SO ₂ – 33 ppmv

De posse das informações a respeito do gás, passou-se à etapa de definição da geometria a ser considerada na simulação, que foi baseada na fornalha cilíndrica experimental de Garreton (1990), e também utilizada por Isnard (2000). Definiu-se então, as condições de contorno, propriedades importantes, e também, a malha a ser utilizada.

O passo seguinte foi o de implementação da modelagem do processo de combustão a partir do pacote comercial Fluent. Por fim, foram formuladas as conclusões a respeito do desempenho do modelo utilizado.

A fornalha experimental de Garreton (1994), apresentada na Fig. 1, tem a potência de 400 KW, e utiliza como combustível o gás natural. Opera a uma pressão de 50 Pa acima da pressão atmosférica como medida de precaução contra a entrada de ar ambiente. Injeta-se, através de um queimador de tubos concêntricos, combustível, a 313 K, no tubo interno, e ar, a 323 K, no tubo externo. E os fluxos de calor nas paredes do combustor são determinados através de jaquetas de resfriamento.

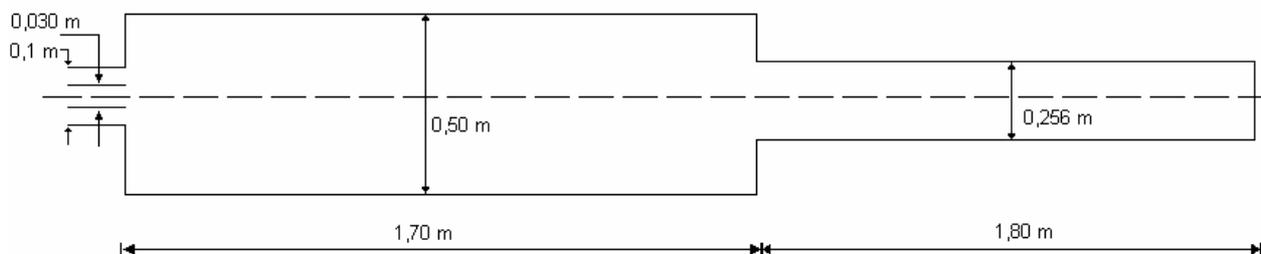


Figura 1. Geometria da fornalha cilíndrica de Garreton (1994).

A região de menor diâmetro à direita, na Fig. 1, é a região de descarga da fornalha de Garreton.

4. Definição da geometria e parâmetros da simulação

A geometria utilizada na simulação é apresentada na Fig. 2. Corresponde a uma fornalha cilíndrica baseada em Garreton (1994), utilizada por Isnard (2000) e por Teixeira e Gomes (2004), em seu domínio computacional, não contempla a seção de descarga vista na Fig. 1. O domínio computacional foi dividido em 238 volumes de controle na direção axial e 50 na direção radial.

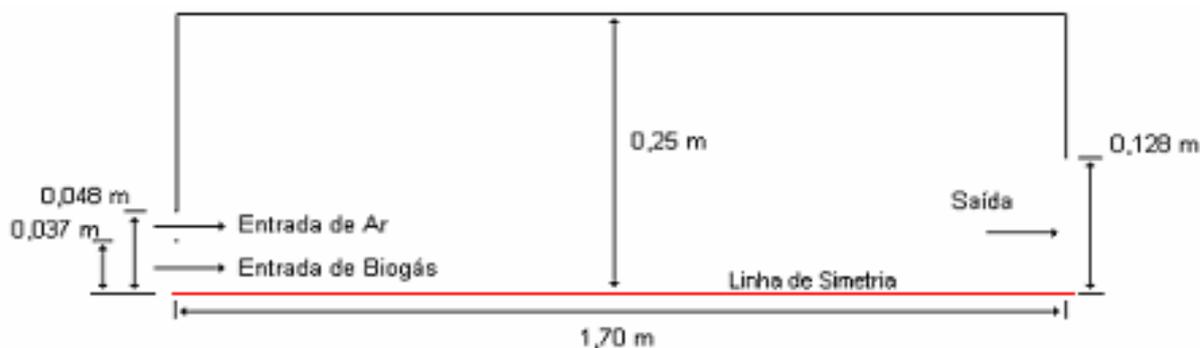


Figura 2. Geometria da câmara cilíndrica utilizada na simulação.

Com o objetivo de simplificar o problema e otimizar o trabalho computacional, a câmara de combustão cilíndrica foi modelada como axisimétrica. Esta simplificação leva em consideração a geometria cilíndrica da fornalha e do queimador de tubos concêntricos, e possibilita um tratamento bidimensional para o problema. A Fig. 3 apresenta a malha utilizada na simulação.

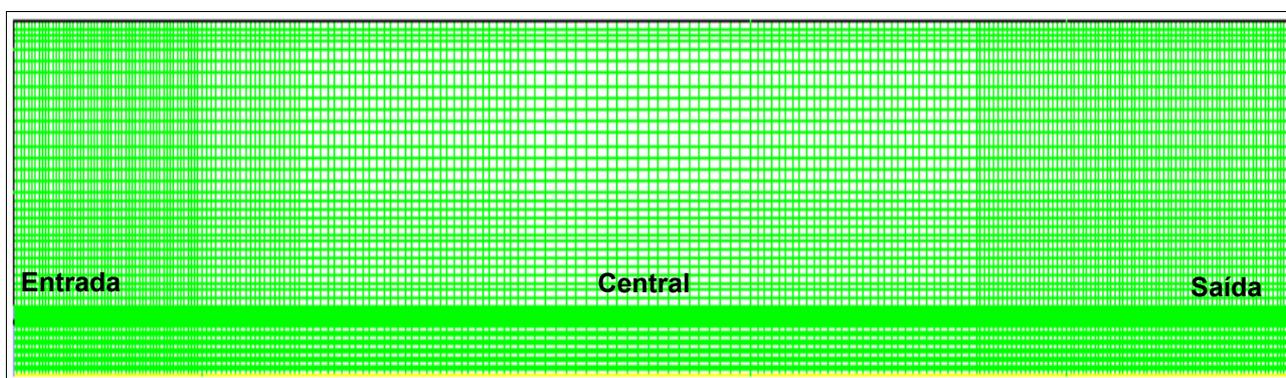


Figura 3. Regiões, em detalhe, da malha utilizada na simulação (linha inferior corresponde à simetria da câmara de combustão cilíndrica).

O valor da vazão de entrada de combustível foi calculado com o conhecimento dos valores do poder calorífico inferior das espécies que compõem o biogás, de acordo com Van Wylen (1986), e com a potência da fornalha, conforme Garreton (1994). Através da relação de estequiometria foi calculado o valor para a vazão do ar.

A chama considerada é difusiva turbulenta. Através de tubos concêntricos são injetados o ar e o biogás (Vide Fig. (2)) a 0,1295kg/s a 323K, e 0,0442kg/s a 313K respectivamente. A intensidade turbulenta e o comprimento de escala foram definidos para a entrada do biogás em 6% e 0,02m e para a entrada do ar em 5% e 0,01m.

Os valores utilizados na simulação para a composição do biogás e do ar, em suas respectivas entradas no pacote Fluent, são as suas concentrações em massa.

Tabela 3. Valores das concentrações em volume e em massa do biogás e do ar utilizados na simulação do processo de combustão na fornalha cilíndrica.

	Espécies	Concentrações	
		Em volume	Em massa
Biogás	CH ₄	35%	18%
	C ₂ H ₆	300 ppmv	0,030%
	C ₃ H ₈	200 ppmv	0,029%
	C ₄ H ₁₀	143 ppmv	0,027%
	C ₅ H ₁₂	100 ppmv	0,024%
	H ₂ S	232 ppmv	0,026%
	O ₂	5%	5%
	CO ₂	40%	58%
	N ₂	20%	18%
Ar	N ₂	78%	75,42%
	O ₂	21%	23,20%
	Ar	1%	1,38%

A composição utilizada na simulação é a composição encontrada no aterro de Montreal (Vide Tab. 2), sendo que, para os compostos voláteis, foram arbitrados valores de suas concentrações de modo que a soma dos valores de todas as espécies resultasse em 100% em ordem decrescente do etano ao pentano. Vide Tab. 3.

As constantes utilizadas no modelo k- ϵ foram $C1\epsilon = 1,4$, $C2\epsilon = 1,9$ e $C\mu = 0,09$; os números Prandtl e Schmidt turbulentos estão ajustados em 0,7. Para o modelo de Magnussen $K1 = 4,0$ e $K2 = 0,5$.

Os fluxos de calor através da parede do combustor foram prescritos a partir de uma estimativa de perda de 20%. O valor prescrito do fluxo na parede da fornalha é $26,64 \text{ kW/m}^2$.

A emissividade da parede da fornalha em todas as suas seções foi definida como igual a 0,6 enquanto que as da entrada e saída foram definidas como sendo iguais a 1. No que diz respeito ao modelo de radiação DTRM e ao sub-modelo WSGGM, utilizou-se 120 superfícies radiantes com o número de divisões em θ e em ϕ igual a 4.

A densidade da mistura foi calculada pela lei dos gases ideais, já o seu calor específico foi definido como sendo uma função tanto da temperatura como da sua composição. O cálculo é feito por meio de uma média ponderada das frações mássicas dos componentes individuais de calor específico.

Os valores de viscosidade, condutividade térmica e difusão de massa foram prescritos constantes, tendo como espécie de referência o N_2 por ser a espécie predominante no interior do combustor. São eles: Viscosidade para N_2 a 763K, $\mu = 2,95 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$; Condutividade térmica para N_2 a 700K, $k = 4,54 \times 10^{-2} \text{ W/mK}$; e o Coeficiente de difusão de massa para N_2 a 700K e a 1 atm, em ar atmosférico, $D_{i,m} = 2,88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Nas simulações foi estabelecido como critério de convergência, num modelo em dupla precisão, que os resíduos para todas as grandezas envolvidas fosse inferior a 10^{-6} , exceto a energia, para a qual foi requerido um valor inferior a 10^{-8} .

5. Apresentação dos resultados

Os resultados da simulação são descritos nesta seção. As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos de concentração do thermal NO, referentes à modelagem 1, respectivamente, ao longo da direção axial (para $r=0\text{m}$ e $r=0,128\text{m}$) e no interior do domínio computacional.

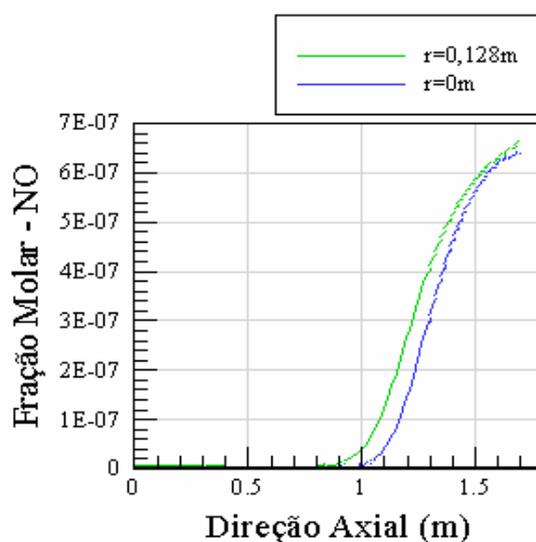


Figura 4. Concentração (fração molar) de thermal NO, referente à modelagem 1, para $r=0\text{m}$ e $r=0,128\text{m}$.

São mostrados resultados referentes a quatro modelagens que diferem apenas quanto ao processo para a previsão da formação de NO. A modelagem 1 apresenta resultados referentes ao “thermal NO_x ”, a modelagem 2 refere-se ao “prompt NO_x ” e a modelagem 3 ao “fuel NO_x ”. E a modelagem 4 reúne os três processos simultaneamente.

O processo de combustão analisado, em relação às reações químicas, foi realizado em duas etapas para oxidação dos hidrocarbonetos. Com isso foi possível a análise da formação do CO no interior da fornalha cilíndrica.

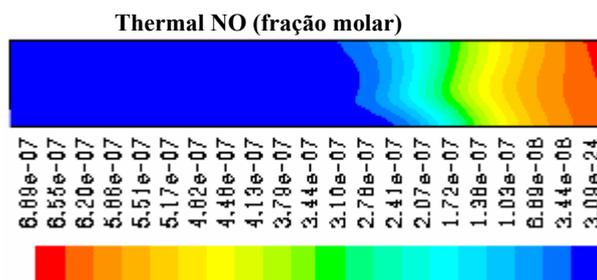


Figura 4. Concentração, em fração molar, do thermal NO, referente à modelagem 1 no interior do domínio computacional.

Os gráficos referentes à modelagem 2, que enfoca a formação do prompt NO, são apresentados nas Fig. 6 (dentro do domínio computacional) e 7 (para $r=0m$ e $r=0,128m$).

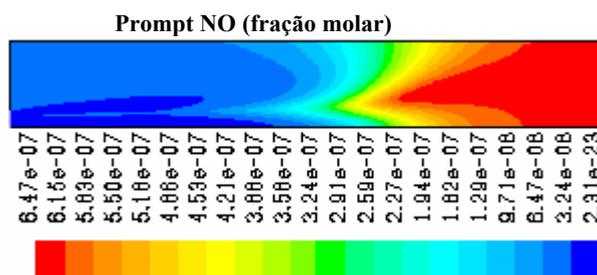


Figura 6. Concentração (fração molar) do prompt NO, referente à modelagem 2 no domínio computacional.

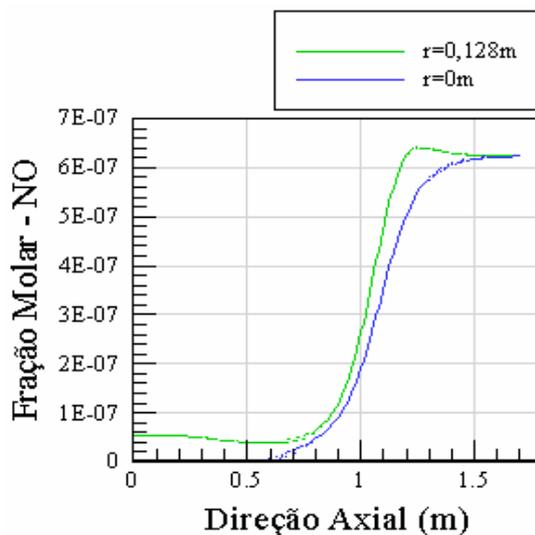


Figura 7. Concentração (fração molar) de prompt NO, referentes à modelagem 2, para $r=0m$ e $r=0,128m$.

Para a modelagem 3, que enfoca a formação do fuel NO, são apresentados gráficos referentes às concentrações do NO e do O_2 , no domínio computacional (Fig. 8) e ao longo da direção axial (Fig. 9).

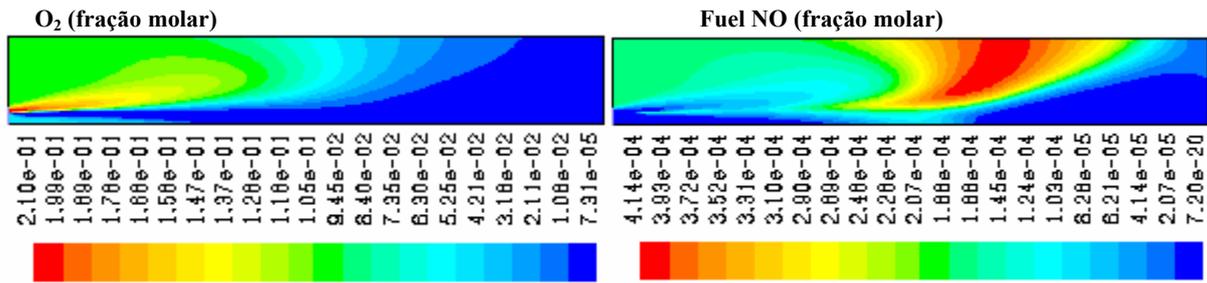


Figura 8. Concentração, em fração molar, de O₂ e do fuel NO, referentes à modelagem 3 no domínio computacional.

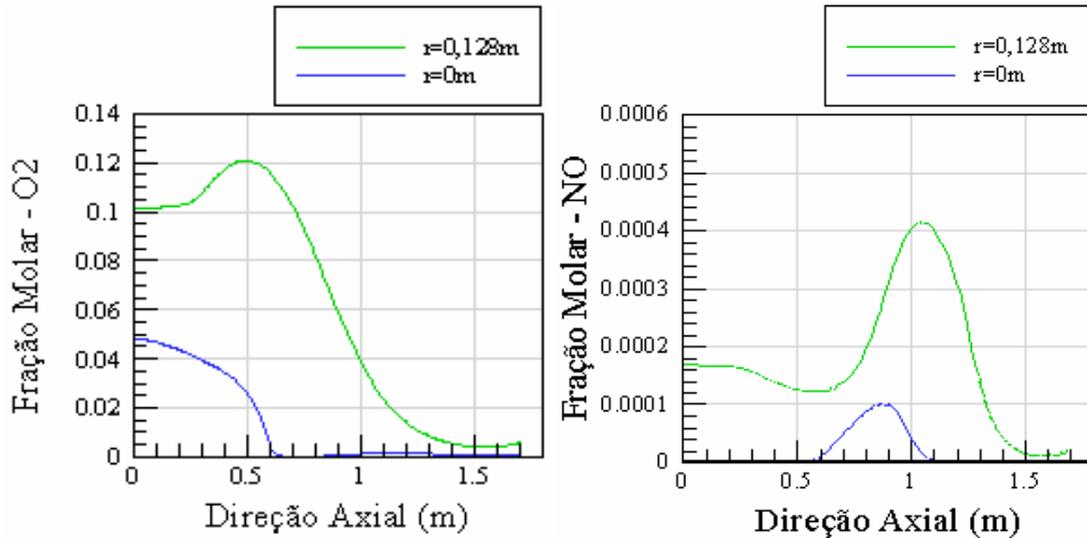


Figura 9. Concentração, em fração molar, de O₂ e do fuel NO, referentes à modelagem 3, para r=0m e r= 0,128m.

A modelagem 4, como foi dito anteriormente, reúne, simultaneamente, os três processos referentes à formação do NO. Seus gráficos são apresentados nas Fig. 10 e 11.

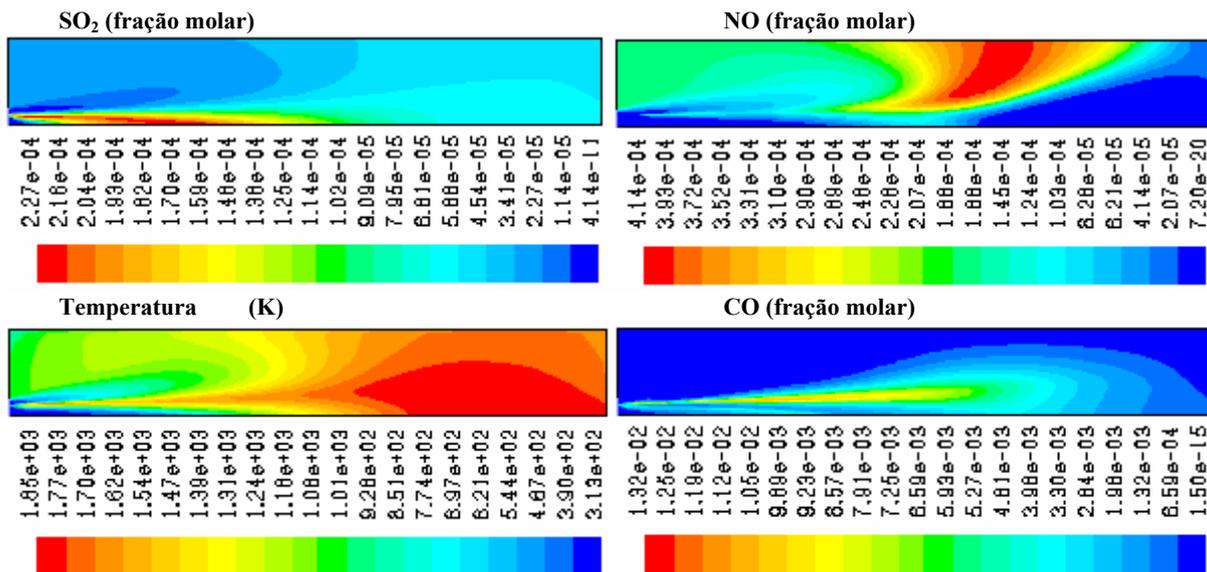


Figura 10. Gráficos da modelagem 4 no interior do domínio computacional

As Figuras 10 e 11 reúnem os seguintes gráficos: distribuição de temperaturas, e concentrações de SO₂, NO e CO. Na Fig. 10 dentro do domínio computacional, e na Fig. 11 ao longo do eixo de simetria.

Os gráficos para as concentrações de SO_2 e CO apresentados na Fig. 10, por não haver alteração na distribuição dessas espécies no interior do domínio computacional, são os mesmos para as modelagens anteriormente apresentadas.

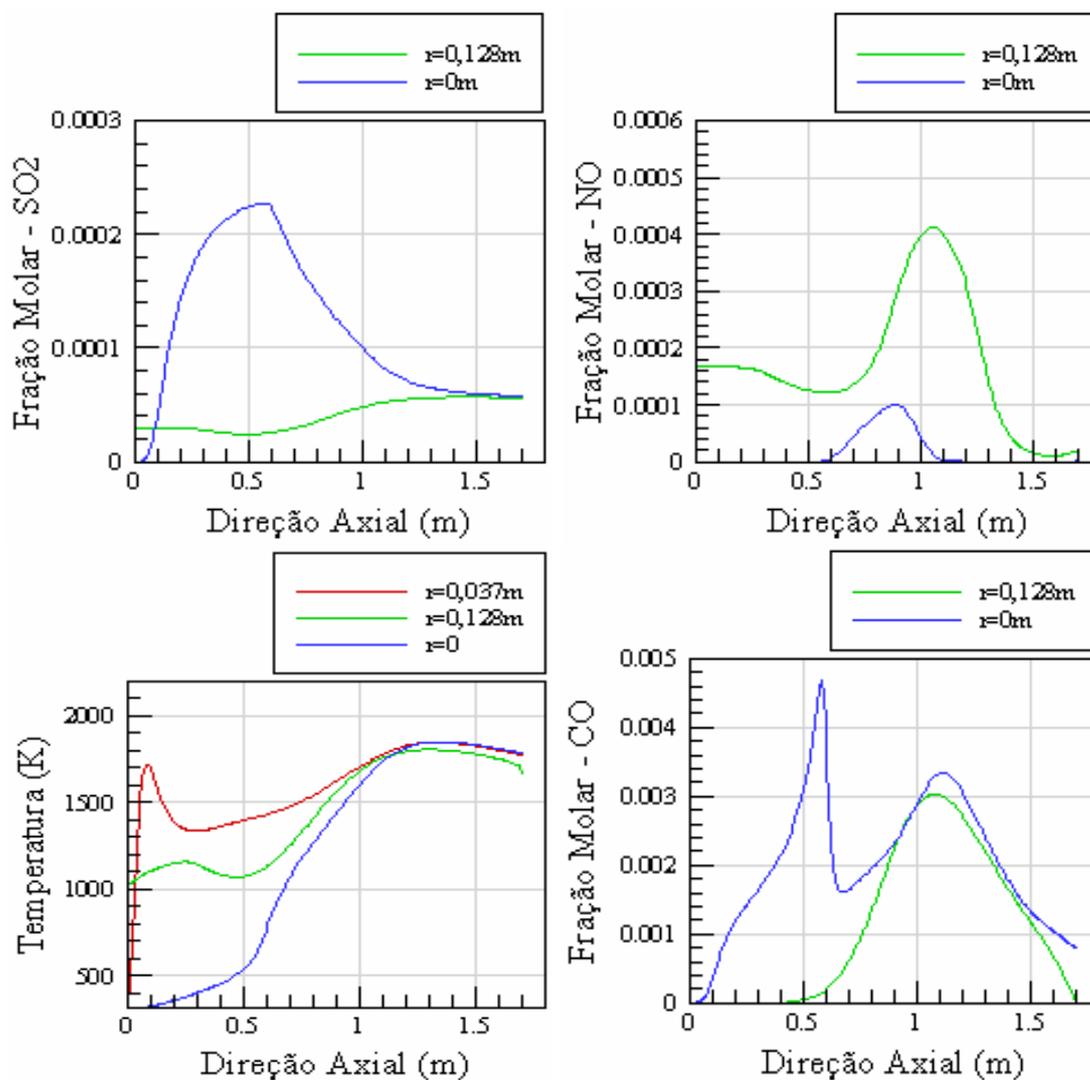


Figura 11. Concentração de NO , CO e SO_2 e, distribuição de temperaturas para a modelagem 4.

A Figura 12 apresenta gráficos das concentrações de NO para cada uma das modelagens. Os gráficos apresentam a distribuição do NO na saída da fornalha cilíndrica em sua fração molar.

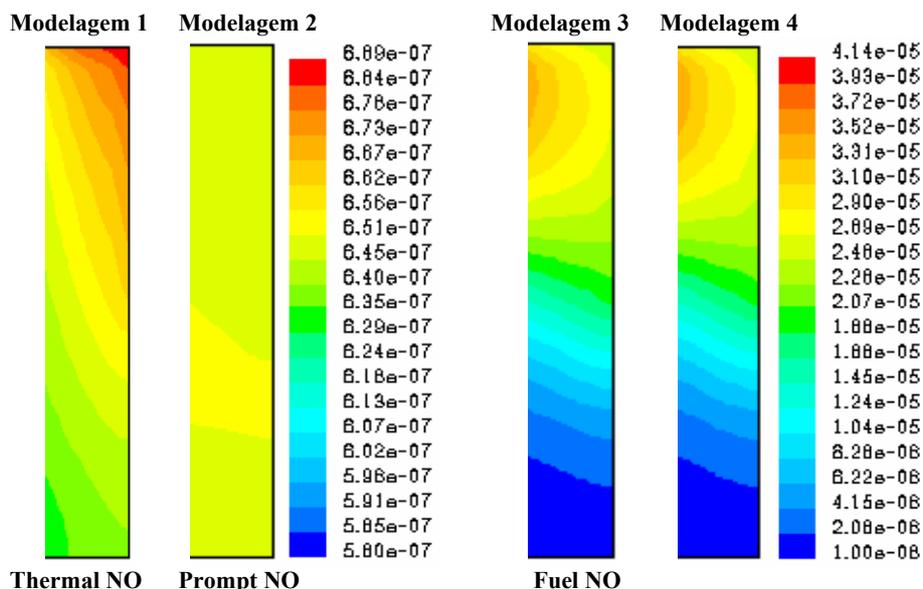


Figura 12. Concentrações de NO, em fração molar, para as modelagens 1, 2, 3 e 4, na saída da fornalha cilíndrica.

As Figuras 13 e 14 apresentam, respectivamente, ao longo do eixo de simetria e na saída da fornalha estudada, gráficos comparativos das concentrações de NO entre as modelagens descritas. Cada processo de formação do NO está indicado, próximo à respectiva curva, no gráfico apresentado. A modelagem 4, indicada na legenda, reúne os três processos na mesma simulação.

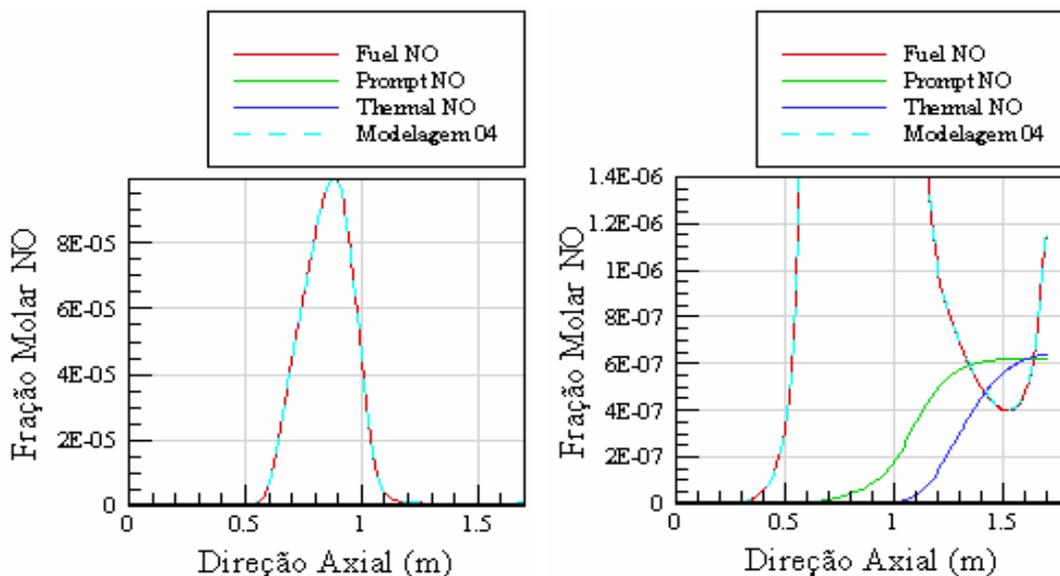


Figura 13. Gráfico comparativo das concentrações de NO, ao longo da linha de simetria da fornalha cilíndrica, entre as modelagens descritas no trabalho.

Na Figura 13 observa-se uma diferença, dos perfis de NO, entre as modelagens 1 (mecanismo thermal NO_x isolado) e 4 (todos os mecanismos reunidos). Isto pode ser explicado devido ao rápido consumo do oxigênio molecular, na região próxima ao queimador, por parte do mecanismo fuel NO_x.

Na Figura 14, onde são comparados os perfis de NO na saída da fornalha, observa-se que, para modelagem 1 (mecanismo thermal NO_x), a formação de NO ocorre próximo à saída, e atinge valores em torno de 0,7ppmv. Para modelagem 4 (todos os mecanismos reunidos), o NO é formado próximo à região de recirculação, atinge um pico em torno de 400ppmv (Vide Fig. 8), e aparece em uma concentração mais diluída (em torno de 20ppmv) na saída da fornalha.

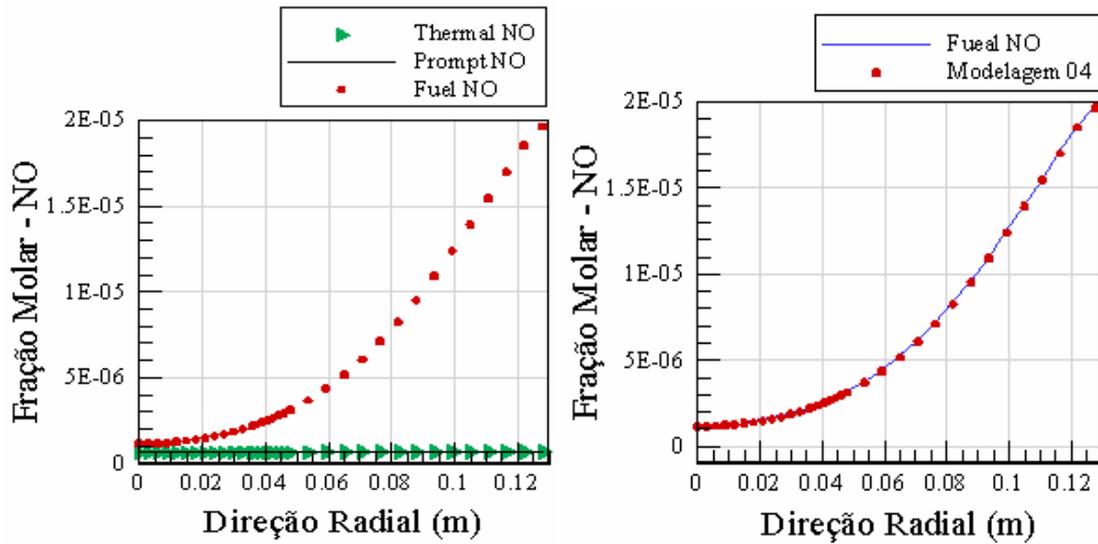


Figura 14. Gráfico comparativo das concentrações de NO, na saída da fornalha cilíndrica, entre as modelagens descritas no trabalho.

Na Figura 15 são apresentados os gráficos de velocidade e função de corrente, referentes às modelagens descritas no trabalho.

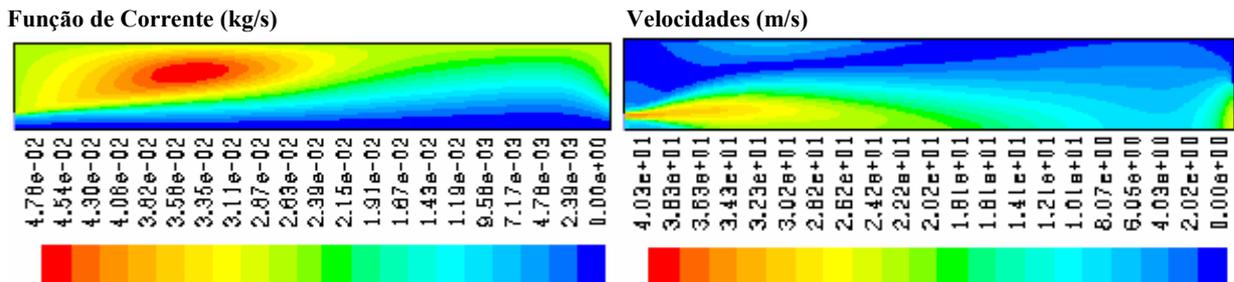


Figura 15. Gráficos da Função de corrente (kg/s) e de velocidade (m/s) no interior da fornalha cilíndrica.

A Figura 16 refere-se às concentrações de CO e SO₂ na saída da fornalha cilíndrica para todas as modelagens. A análise destas espécies, na saída da fornalha, também é de grande relevância do ponto de vista ambiental. Com estes gráficos é possível quantificar a emissão destes poluentes e verificar a necessidade ou não, do seu controle.

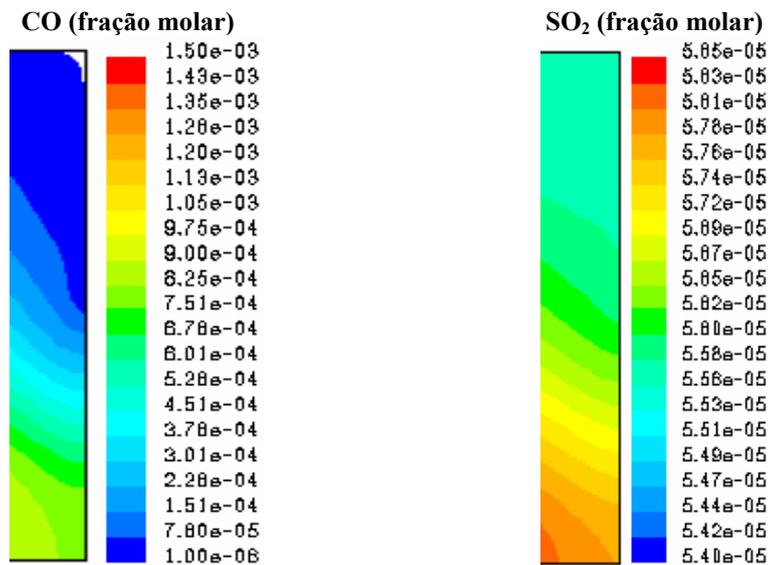


Figura 16. Concentrações de CO e SO₂, em fração molar, na saída da fornalha cilíndrica.

6. Considerações finais

Nas Figuras 4 e 5 observa-se o crescimento da concentração do thermal NO, a partir da posição 0,5m que corresponde à região que atinge cerca de 1500K no gráfico das temperaturas. A concentração de thermal NO atinge 0,7ppmv, próximo à saída da fornalha.

Para as previsões do prompt NO, através das Fig. 6 e 7, percebe-se que a sua maior concentração encontra-se na região de frente de chama. E, ao longo do eixo de simetria, atinge cerca de 0,6ppmv.

A formação do fuel NO (Fig. 8 e 9) tem o seu pico próximo à entrada do combustor e depois sofre queda brusca. Isto se dá devido a existir uma maior disponibilidade de oxigênio na entrada da fornalha e na região de recirculação. A concentração do fuel NO chega a cerca torno de 400ppmv.

Na modelagem 4, estão acoplados juntos os três processos para a formação do NO. Nas Fig. 10 e 11 nota-se que os gráficos para as concentrações do NO são as mesmas para as apresentadas nas Fig. 8 e 9 referentes ao fuel NO. Indicação de que esse seja o processo determinante na formação do NO para este processo de combustão.

Comparando as quatro modelagens no contorno da saída da fornalha, nas Fig. 14 e 15, as maiores emissões de NO acontecem através do fuel NO (cerca de 20ppmv) quando visto isoladamente. Percebe-se que a curva correspondente à modelagem 4 tem o mesmo perfil e está bem próxima da curva para o fuel NO, o que sustenta o indicador de que, para este o caso estudado, o fuel NO seja o mecanismo determinante para a previsão do NO. As emissões de NO obtidas pelo modelo estão de acordo com as emissões encontradas em Montreal (21ppmv). Vide Tab. 1.

Os gráficos referentes à distribuição de temperaturas e à formação do SO₂ e do CO são os mesmos para todas as modelagens descritas no trabalho.

O pico de concentração de CO, segundo apresentado na Fig. 11, acontece para $x < 0,5m$. Seu valor atinge cerca de 1% no seu pico, porém na saída atinge 0,1%. Estes valores obtidos para o monóxido de carbono são considerados elevados e podem estar superestimados pelo modelo.

A concentração do SO₂ tem seu pico de formação no interior da fornalha em $x < 0,5m$ no valor de 227ppmv. Na saída da fornalha os resultados apontam para 57ppmv, e acordo com esses resultados seria necessário um controle das emissões de SO₂. Não foi fornecida nenhuma informação a respeito de qualquer beneficiamento ou tratamento do gás produzido ou emitido pelo Centro de Eliminação de Resíduos da cidade de Montreal, contudo as emissões de dióxido de enxofre registradas pelo modelo estão na mesma ordem de grandeza das emissões do referido aterro (33ppmv). Vide Tab. 1.

Os resultados, descritos neste artigo indicam a possível aplicação do modelo na investigação do processo de combustão do biogás. Permitem, também avaliar como alternativa importante o aproveitamento dos gases, provenientes de aterros sanitários, na geração de energia.

Devido às grandes variações de temperatura e concentrações, novos estudos podem ser encaminhados, não se atribuindo às propriedades, valores constantes no interior da fornalha.

Para futuros trabalhos recomenda-se a modelagem do processo de combustão, utilizando outros modelos para efeito de comparação.

O conhecimento da composição dos gases produzidos em aterros sanitários, no Brasil, também seriam de grande importância para seu correto aproveitamento, e para serem utilizados em novos estudos.

7. Referências

- Fluent User's Guide, version 6.1. Fluent Incorporated,
GARRETON, D. SIMONIN. First Workshop on Aerodynamics of Steady State Combustion Chambers and Furnaces: Final Results, Chatou, France, 1994.
GOMES, M. S. P.; NIECKELE, A. O.; NACCACHE, M. F.; KOBAYASHI, W. T.. "Numerical Investigation of the Oxygen Enriched Combustion Process in a Cylindrical Furnace", Fourth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment, Lisboa, Portugal, 1997.
HINZE, J. O.. Turbulence, Mc Graw Hill, 2nd ed., 1987.
ISNARD, ANDRÉ. Simulação Numérica da Combustão e Formação de Poluentes em Chamas de Gás Natural, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, 2000.
ISNARD, ANDRÉ; GOMES, M. S.P.. "Numerical Investigations on the NO_x Formation in Natural Gas Combustion", 7th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.
KNACKE, K. H.. Thermochemical Properties of Inorganic Substances, 2nd ed., 1991.
MAGNUSSEN, B. F.. On the Structure of Turbulence and a Generalized Eddy Dissipation Concept for Chemical Reaction in Turbulent Flow, Nineteenth AIAA Meeting, St. Louis, 1981.
MAGNUSSEN, B.F. AND B. H. HJERTAGER. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion, In *16th Symp. (Int'l.) on Combustion*. The Combustion Institute, 1976.
Production of 25 MW of electricity using landfill gas, CADDET, Result 393, 2000.
SEINFELD, J. H.. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley & Sons, New York, 1986.
SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, John Wiley & Sons, New York, 1998.

TEIXEIRA, P. R.; GOMES, M. S. P. "Simulação do Processo de Combustão de Gases provenientes de Aterros Sanitários", CONEM, Belém, Brasil, 2004.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.. Fundamentals of Classical Thermodynamics, John Wiley & Sons, New York, 1986.

INVESTIGATION OF POLLUTANTS FORMATION IN COMBUSTION PROCESS OF LANDFILL GASES, THROUGH NUMERICAL SIMULATION

Pedro Rios de Moura Teixeira

Mechanical Engineering Department, Pontific Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil
pdriosh@hotmail.com

Marcos Sebastião de Paula Gomes

Mechanical Engineering Department, Pontific Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil
mospgomes@mec.puc-rio.br

Abstract

The work investigated, through numerical simulation, the pollutants formation and their concentrations resulting from a landfill gas combustion process inside a cylindrical furnace. It looked at the NO, SO₂ and CO formation, and quantified their concentrations at the exit of the furnace.

The model was based in the finite volume formulation. It included the k- ϵ turbulence model, the discrete transfer radiation model, and the finite rate model for chemical reactions, using the commercial code Fluent. It also investigated in more details the NO formation, comparing the mechanisms of "thermal NO_x", "prompt NO_x", and "fuel NO_x" production.

Keywords: *Landfill, Combustion, Biogas, Pollution, Numerical Simulation*