

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADE DO CATALISADOR AO LONGO DO RISER DE UM MODELO DE REATOR DE LEITO FLUIDIZADO POR MEIO DE TÉCNICAS NUCLEARES

SANTOS, V.A. & DANTAS, C.C.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR - UFPE

AV. PROF. LUIZ FREIRE S/N, RECIFE - 50.000 - PE

S U M Á R I O

Um método, adequado à aplicações industriais de medidas de escoamento em reator de leito fluidizado, foi desenvolvido. Num segmento do escoamento onde a velocidade do catalisador seja menor que no riser: medir a velocidade média e variação de densidade de catalisador no segmento escolhido, para o cálculo de velocidade local; repetir as medidas de densidade no riser, correlacioná-las com os dados anteriores e então calcular as velocidades locais no riser. Para medida da velocidade média do catalisador no trecho de menor velocidade, foi utilizado traçador radioativo intrínseco, o radionuclídeo ^{59}Fe e, para medidas de densidade, por meio de atenuação gama, foi usada uma fonte padrão de ^{241}Am . Sinais produzidos em cintiladores NaI(Tl) , foram enviados simultaneamente a um relógio eletrônico, para registrar o tempo de trânsito, nas medidas de velocidades média do catalisador, cuja reprodutibilidade foi de 0,4%. O erro total estimado para o método foi de no máximo 4%; tendo o método apresentado importantes simplificações e vantagens práticas, se comparadas às medidas convencionais com traçador.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de radioisótopos para se obter informações de fluxo e de processos de transferência de massa, tem sido bastante útil e, muitas vezes, a única técnica válida para este tipo de medida em escala industrial¹. Nos últimos 25 anos, o uso de radionuclídeos em aplicações industriais, tem sido expandido, tanto em testes de rotina quanto em desenvolvimento de processos. No estudo de parâmetros de escoamento, a obtenção de dados que regem o comportamento do fluxo, é necessário desde as operações de controle e testes de escala até nos projetos de novos processos.

A medida da velocidade do catalisador em reatores de leito fluidizado, como por exemplo, nas unidades de FCC², apresenta dificuldades devido a alta velocidade do escoamento. No caso de medidas com traçador radioativo, como feitas por HULL², o equipamento possui sofisticados sistemas eletrônicos associados, para detectar e registrar o tempo de passagem do traçador. A técnica oferece boa precisão, mas é competitivamente inviável para aplicações industriais. A obtenção de resultados, com a exatidão e a precisão requeridas, associada ao equipamento necessário, é um compromisso que certamente tem limitado a utilização industrial de medidas de escoamento em reatores de FCC.

Neste trabalho foi desenvolvida uma técnica de medida de escoamento em reatores de leito fluidizado, adequada a aplicações industriais. Foi mantido o equipamento mais simples como detectores NaI(Tl), acoplados a um relógio eletrônico, utilizado anteriormente na determinação da velocidade de sólidos fluidizados³. Com esse instrumental, realizou-se medidas indiretas nos segmentos de maior velocidade, utilizando-se medidas diretas feitas onde a circulação foi mais conveniente para a detecção do traçador. As medidas diretas são, a velocidade e a densidade radial do catalisador, feitas na coluna compactada por meio de traçador e da atenuação- γ respectivamente. Correlacionou-se estes dados com medidas de densidade realizadas no riser, obtendo-se então indiretamente a velocidade local do catalisador no riser. Este método de medidas indiretas de velocidade local, amplia con-

sideravelmente a capacidade de medir fluxos em instalações industriais; não sō pelas vantagens em simplicidade de operaçāo e economia, mas tambēm por permitir medidas mais exatas em circuitos complexos, onde grande quantidade de material estā em circulaçāo. Numa consequēncia da tēcnica de, medidas desenvolvida, se obtem ainda um perfil de velocidades no riser ou em outro segmento qualquer do reator, prāticamente independente de condiçōes experimentais se comparado ao mētodo de medida direta.

2. MATERIAIS E MĒTODOS

2.1. Fundamentos do Mētodo

O modelo de reator utilizado (ver fig. 1), tem como seccōes de testes principais o riser e a coluna de regeneraçāo ou coluna compactada. Nestes dois trechos o catalisador passa por dois diferentes tipos de escoamentos. No riser, a mistura, catalisador mais ar, escoa em sentido contrārio ao da gravidade, com elevada fraçāo de vazios, isto ē, maior percentagem de ar do que catalisador. Na coluna de regeneraçāo, a massa de catalisador cai em queda livre formando uma coluna compactada, com baixa fraçāo de vazios.

Relacionando-se densidades e velocidades das fases em circulaçāo e, assumindo-se que: se o escoamento ē feito em circuito fechado, e a vazāo da fase gasosa for mantida constante, a mesma massa de catalisador passa por uma dada seccāo reta do escoamento, consecutivas vezes. Desta forma, em 2 pontos distintos ao longo da coluna de regeneraçāo, aplicando-se a equaçāo da continuidade¹, tem-se:

$$\bar{v}_1 \rho_1 A_1 = \bar{v}_2 \rho_2 A_2$$

onde \bar{v}_i ē a velocidade mēdia numa seccāo transversal no ponto i e, a ārea de seccāo reta e a densidade correspondente sō A_i e ρ_i respectivamente. Como a ārea ao longo do escoamento se mantēm constante, a velocidade local de sōlidos na coluna, ē inversamente proporcional a densidade de sōlidos, isto ē,

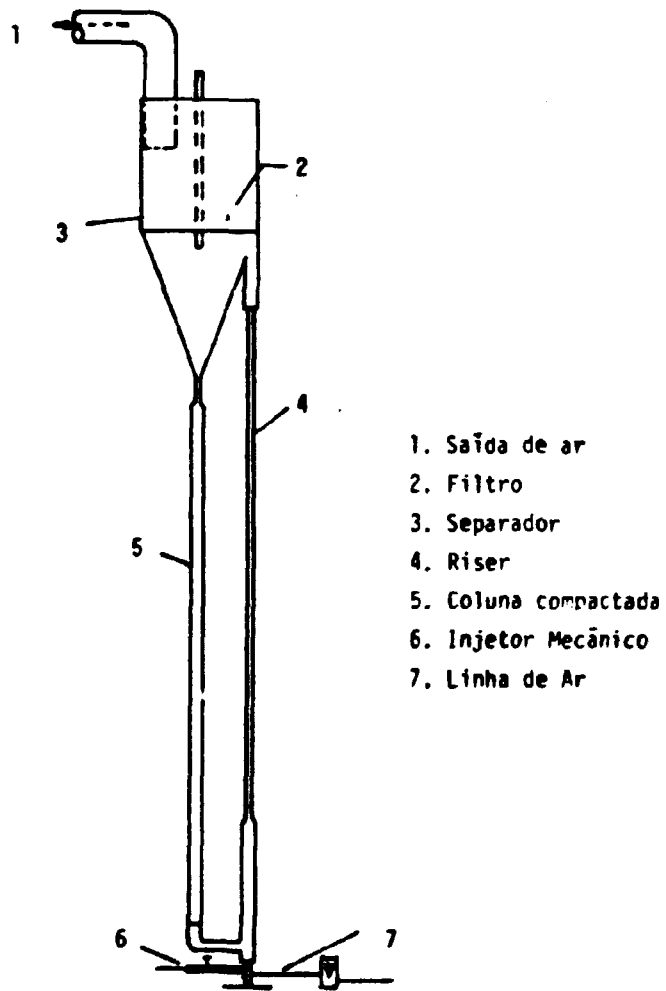


FIG. 1 - Modelo Simplificado de uma Unidade Piloto de FCC

$$\bar{v}_1 = \frac{K}{\rho_1} \quad (2)$$

Relacionando-se velocidade, densidade e área, medidas em um ponto da coluna compactada com estes mesmos parâmetros num ponto qualquer do riser, tem-se:

$$\bar{v}_1 \rho_1 A_1 = \bar{v}_3 \rho_3 A_3 \quad (3)$$

daí,

$$\bar{v}_3 = v_1 \cdot \frac{\rho_1}{\rho_3} \left(\frac{D_1}{D_3}\right)^2 \quad (4)$$

e fazendo-se $\left(\frac{D_1}{D_3}\right)^2 = K_D$ ou seja, tomando-se como constante a relação entre os diâmetros.

$$\bar{v}_3 = K_D \frac{\rho_1}{\rho_3} \bar{v}_1 \quad (5)$$

sendo o ponto 1 na coluna compactada e o ponto 3 no riser.

O valor da velocidade do catalisador na coluna de regeneração, varia, uma vez que, existe nesta coluna uma variação de densidade de sólidos em função da altura da coluna (y) no ponto de medidas.

Assim, se usarmos o método do traçador radioativo, que mede a velocidade média do catalisador no trecho a relação mostrada pela equação 5 não pode ser usada; isto porque a velocidade média do escoamento só pode ser tomada para velocidade local quando não existe variação de densidade no segmento estudado. Conhecendo-se o valor da constante K (equação 2), podemos obter valores de velocidades locais em função das densidades obtidas ao longo da coluna.

Sendo \bar{v} a velocidade média num trecho de comprimento L e \bar{v}_1 a velocidade local do catalisador em um ponto i tomada ao longo de L, teremos,

$$\bar{v} = \int_{y_1}^{y_2} \frac{\bar{v}_1}{L} dy \quad (6)$$

substituindo (2) em (6)

$$\bar{v} = \frac{K}{L} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{\rho_i(y)} \quad (7)$$

onde: $\rho(y)$ é a expressão para obtenção da densidade ρ em um ponto i de altura y na coluna compactada. Daí,

$$K = \frac{L \bar{v}}{\int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{\rho_i(y)}} \quad (8)$$

2.2. Instrumentação

O equipamento de medida utilizado neste método, pode ser dividido em dois grupos: arranjo instrumental para determinação direta da velocidade do catalisador e arranjo instrumental para medida de densidade. Em ambos os casos a detecção da radiação- γ é feita por detectores de NaI(Tl). A figura 2 mostra o arranjo instrumental, usado na determinação da velocidade média do catalisador, na coluna de regeneração. Para determinação da densidade, tanto na coluna de regeneração como no riser, o arranjo instrumental pode ser visto na figura 3. Ambos os arranjos já foram descritos por Santos e Dantas⁷, como também já foi descrito a técnica de injeção do traçador por meio de injetor mecânico.

2.3. Traçador e Fonte- γ

O catalisador foi marcado por traçador intrínseco sendo obtido o radionuclídeo ^{59}Fe , com meia-vida de 45,1 dias e contendo gama de 1099 KeV. Nas medidas de densidade por meio de atenuação- γ , foi utilizado fonte padrão de ^{241}Am , cuja emissão gama mais importante tem energia de 60 KeV. Ambas as técnicas, marcação intrínseca do catalisador zeólito e medida de densidade por atenuação- γ , são descritas por Paiva⁵ e Souza⁶, respectivamente.

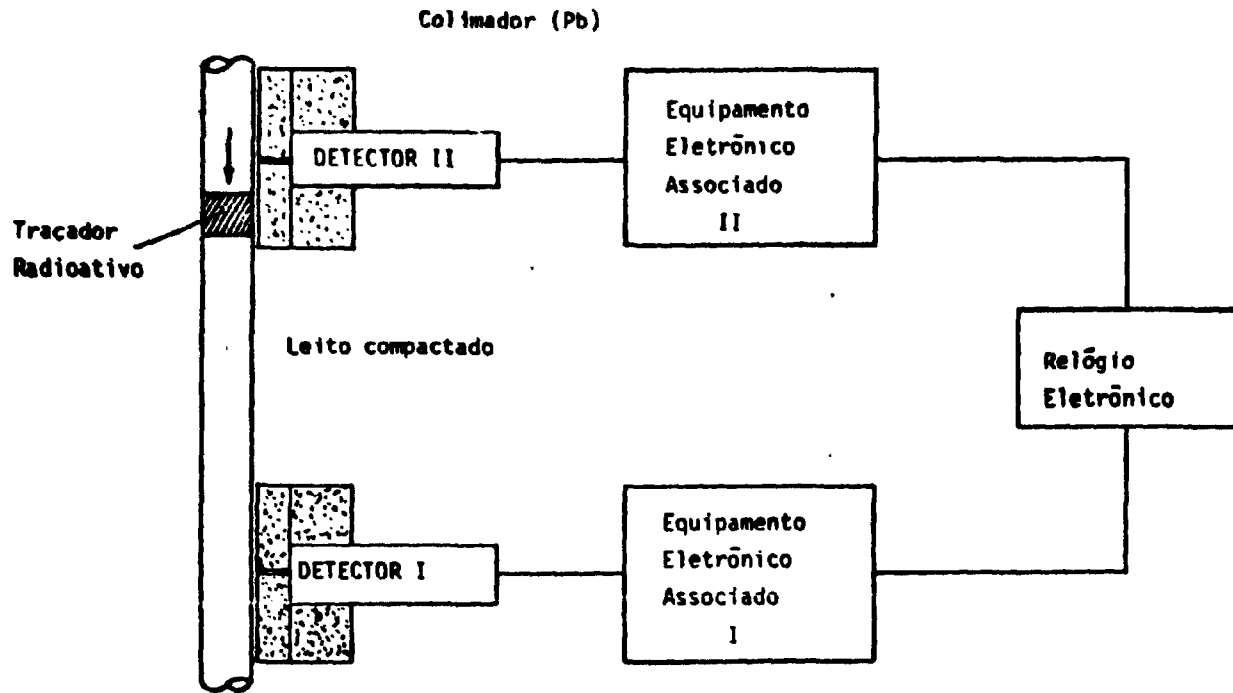


FIG. 2 - Arranjo Instrumental para Determinação da Velocidade Média do Catalisador.

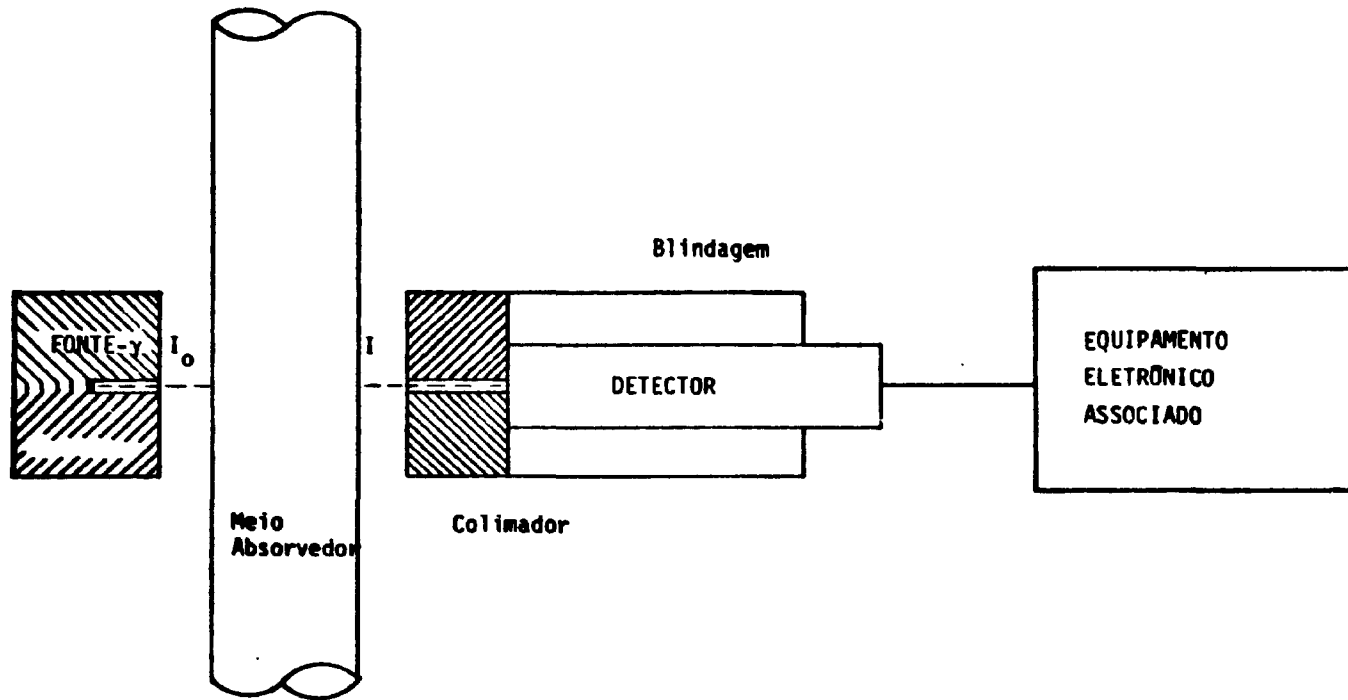


FIG. 3 - Arranjo Instrumental para Determinação da Densidade por Meio de Atenuação- γ

3. MEDIDAS

Velocidade Média do Catalisador na Coluna Compactada.

Foram feitas medidas do tempo de trânsito do traçador. Sendo nesta coluna, o escoamento do tipo laminar, se requer que o traçador esteja totalmente disperso no catalisador em relação a direção do fluxo. Isto se consegue fazendo-se a injeção do traçador na base do riser. Este se dispersa radial e axialmente ao longo do riser e se deposita no topo da coluna de regeneração, numa mistura catalisador traçador totalmente disperso radialmente. Isto, pôde ser constatado com a utilização de uma marcação inerte (traçador colorido), sendo possível esta constatação devido a construção da coluna de regeneração do modelo, em material transparente (vidro).

A tabela 3.1 mostra os valores dos tempos de trânsito do catalisador para uma distância de 90cm, tomada ao longo da coluna. A vazão de ar foi mantida a 1008 l/h e a massa de catalisador foi de 0,5 kg.

TABELA 3.1.
VELOCIDADES MÉDIAS DO CATALISADOR NA COLUNA DE REGENERAÇÃO

MEDIDA	TEMPO DE TRÂNSITO (s)	VELOCIDADE MÉDIA CORRESPONDENTE (m/s)
1ª	290	0,003
2ª	287	0,003
3ª	288	0,003
4ª	291	0,003
5ª	290	0,003
6ª	291	0,003

Densidade do Catalisador na Coluna Compactada.

A obtenção do perfil de densidade através do emprego da atenuação- γ , obdeceu a critérios recomendados por Souza⁸, tendo sido construídas curvas de calibração, para aplicação do método. A tabela 3.2 mostra o perfil de densida

de de catalisador, obtido na coluna de regeneração, nas mesmas condições de operações anteriores do modelo.

TABELA 3.2
PERFIL DE DENSIDADE DO CATALISADOR NA COLUNA DE REGENERAÇÃO

ALTURA DA COLUNA DE REGENERAÇÃO(m)	DENSIDADE DO CATALISADOR (kg/m ³)
0,18	980
0,36	968
0,54	957
0,72	946
0,90	932
1,08	918

4. FONTES DE ERROS

O erro máximo estimativo para as medidas da velocidade no riser, foi feita sobre os parâmetros da equação 4, que reescrita dá:

$$\bar{v}_r = \bar{v}_c \left(\frac{D_c}{D_r} \right)^2 \frac{\rho_c}{\rho_r}$$

onde os subscritos r e c referenciam pontos localizados no riser e coluna compactada, respectivamente.

Assim, a análise do erro no cálculo de v_r foi feita conforme Gaspar⁴. Na determinação de \bar{v}_c , tem-se um erro máximo estimado em 2%⁷. Foi atribuído ao cálculo dos diâmetros um erro de 2%, dados das especificações de fabricantes dos tubos com os quais são confeccionados o modelo. Nas determinações das densidades, os erros foram calculados segundo Souza⁸, com 2 e 2,5% para ρ_c e ρ_r , respectivamente. Desta forma, o erro máximo estimado para \bar{v}_r (ϵ_{v_r}), será:

$$\epsilon_{v_r} = \sqrt{\epsilon_{v_c}^2 + \epsilon_{k_D}^2 + \left(\frac{\epsilon_{\rho_c}}{\rho_r} \right)^2}$$

$$e_{v_r} = \sqrt{2^2 + 2^2 + 3,2^2} = 4,3\%$$

5. RESULTADOS

Cálculo de K

Os valores computados na tabela 3.2, foram ajustados a uma curva característica por meio do método dos mínimos quadrados. A equação representativa dos pontos é

$$\rho(y) = \rho_0 + b_y$$

onde ρ_0 é a densidade medida na base da coluna compactada. Assim teremos

$$\rho(y) = (980 - 66y) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Da equação 8, obtém-se o valor de K,

$$K = \frac{L \cdot \bar{v} \cdot b}{\ln \left(\frac{\rho - b y_2}{\rho - b y_1} \right)}$$

$$K = 2,815 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Cálculo de Velocidades Locais na Coluna de Regeneração.

Com ajuda dos valores da tabela 3.2, a tabela 5.1 lista as velocidades locais correspondentes, com ajuda da equação 2.

TABELA 5.1
VELOCIDADES LOCAIS NA COLUNA DE REGENERAÇÃO

ALTURA DA COLUNA DE REGENERAÇÃO(m)	VELOCIDADE LOCAL DO CATALISADOR (m/s)
0,18	0,0029
0,36	0,0029
0,54	0,0029
0,72	0,0029
0,90	0,0030
1,08	0,0031

Cálculo das Velocidades Locais no Riser.

A tabela 5.2 foi confeccionada com ajuda da equação 4, relacionando-se densidades e velocidades, obtidas na coluna de regeneração, com medidas de densidades locais no riser.

TABELA 5.2
VELOCIDADES LOCAIS NO RISER

ALTURA NO RISER (m)	DENSIDADE LOCAL DE CATALISADOR ($\frac{kg}{m^3}$)	VELOCIDADE LOCAL DO CATALISADOR (m/s)
0,1	5,23	0,208
0,2	5,23	0,208
0,3	5,23	0,208
0,4	5,23	0,208
0,5	5,23	0,208
0,6	5,24	0,208
0,7	5,24	0,208
0,8	5,24	0,208
0,9	5,26	0,207
1,0	5,26	0,207
1,1	5,24	0,208
1,2	5,25	0,207
1,3	5,25	0,207
1,4	5,26	0,207
1,5	5,26	0,177
1,6	5,40	0,202
1,7	6,0	0,178
1,8	6,1	0,178

6. CONCLUSÕES

Em comparação com as técnicas de medidas diretas, o método proposto apresenta as seguintes vantagens:

- É requerida menos atividade total de traçador radioativo, o que conseqüentemente requer menos blindagem e cuidados com a proteção radiológica.
- Permite simplificação do equipamento porque oferece uma alternativa para a dificuldade de detectar e registrar medidas de escoamento a altas velocidades.
- Possibilita uma maior exatidão em medidas de velocidade do catalisador em instalações industriais, onde os fatores de dispersão são muito importante em cada circulação completa do traçador.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRÁS, através do CENPES e do Grupo de trabalho, coordenado pelo Dr. Dorodame Leitão, pelo apoio financeiro e pela cooperação técnica à realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ HULL D.E., Radiotracer Studies of Flow Patterns in Industrial, IJARI, Vol. 1, (305-313), London, 1957.
- ² HULL, R. L. & ROSENBERG, A.E., Radiochemical Tracing of Fluid Catalyst Flow, Industrial and Engineering Chemistry, Vol.52, No.12, December 1960.
- ³ FERREIRA, O.C. & URBAN P. W., Some Aspects of Flow Rate Measurements in Pipe Using Radioactive Tracers. IJARI, Vol. 21, (735-738). Northern Island, 1970.

- GASPAR, E. & ONCESCU, M., Radioactive Tracers in Hydrology România, Academie Republicii Socialiste, 1967.
- PAIVA, J.A.A., Construção de um Modelo Experimental Simplificado para Determinação de Parâmetros de Escoamento em Reatores Químicos, Utilizando Traçador Radioativo. DEN-UFPE, 1980 (Tese de Mestrado).
- SISSON, L.E. & PITTS, D.R. Elements of Transport Phenomena Mac Graw Hill, 1982.
- SANTOS, V.A. & DANTAS, C.C., Determinação de Parâmetros de Escoamento de um Modelo Simplificado de um Reator de Leito Fluidizado Utilizando Técnicas Nucleares. IX ENEMP, Salvador, outubro, 1981.
- SOUZA, R. Estudo da Concentração Columétrica de Bolhas em um Leito Fluidizado. COPPE/UFRJ, 1978. (Tese de Mestrado).
- VENUTO, P.B. & HABIG, Jr. T. Fluid Catalytic Cracking With Zeolit Catalyst. New York, Marcel Dekker, 1979.