



SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA

GPT 03  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## GRUPO II

### GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

#### DESENVOLVIMENTO DE FILTROS DE ESPUMAS DE POLIURETANO PARA PURIFICAÇÃO ON-LINE DE GÁS NATURAL: REMOÇÃO DE MERCÚRIO E COMPOSTOS À BASE DE ENXOFRE

Rodrigo Soares Ferreira<sup>1</sup> \*, Helena Maria Wilhelm<sup>1</sup>, Eduardo Marques Trindade<sup>1</sup>, Sônia Faria Zawadzki<sup>2</sup>, José Ricardo Maia da Rocha Paranhos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO – LACTEC

<sup>2</sup> LABORATÓRIO DE POLÍMEROS SINTÉTICOS – LABPOL / DQ-UFPR

<sup>3</sup> COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA – COPEL DISTRIBUIÇÃO

## RESUMO

O gás natural (GN) tem apresentado uma participação cada vez maior na matriz energética brasileira. Este fato é justificado não somente pelo seu potencial de prover estabilidade ao sistema elétrico e mitigar o risco hidrológico durante a operação de usinas térmicas para geração de eletricidade, mas também pelas suas inquestionáveis vantagens ambientais, tecnológicas e industriais, frente a outros tipos de combustíveis fósseis tradicionais. Entretanto, por se tratar de um combustível fóssil extraído de rochas porosas no subsolo terrestre, apresenta contaminantes minerais tais como mercúrio, um elemento altamente tóxico e um potencial agente de corrosão de tubulações industriais.

Por ser inodoro, são adicionados na distribuição do GN compostos odorizantes à base de enxofre, do tipo mercaptanas, para facilitar a detecção de vazamentos. Porém, a presença de enxofre, pode causar vários problemas em equipamentos que operam com este gás, a exemplo das células a combustível, sendo necessária sua remoção antes do uso.

Com a proposta de desenvolver sistemas filtrantes eficientes e práticos para remover o mercúrio e compostos à base de enxofre do GN, neste trabalho foram sintetizadas diferentes espumas de poliuretano, modificadas por meio da adição de enxofre em pó ou óxido de zinco, respectivamente. Deste modo, os filtros podem ser adaptados na linha de fornecimento de gás natural para que seja procedida a retirada desses compostos indesejáveis de forma *on-line*, sem ocasionar aumento de pressão no sistema.

## PALAVRAS-CHAVE

Gás natural, espumas de poliuretano, mercúrio, mercaptanas, célula a combustível.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

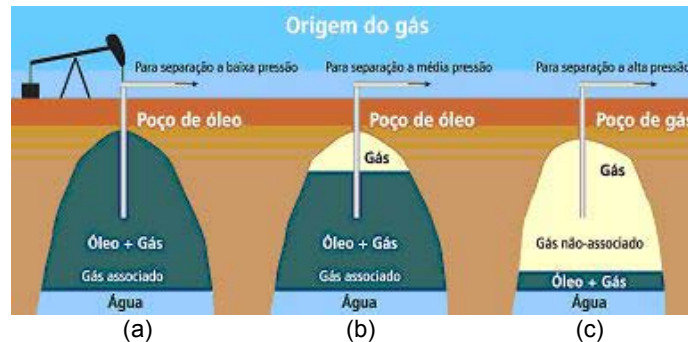
### 1.1 – Gás natural

O GN é obtido pela degradação da matéria orgânica pela ação de bactérias anaeróbias, temperatura e pressão elevada, ou pela alteração térmica de hidrocarbonetos líquidos<sup>(1)</sup>. É formado em reservatórios subterrâneos tanto em terra quanto no mar acumulado em rochas porosas, podendo ser encontrado juntamente com petróleo (gás associado), ou sozinho (gás não associado) (Figura 1).

**Gás associado:** é aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás. Neste caso, a extração de gás é determinada diretamente pela produção do óleo. Caso não haja condições econômicas para a extração, o GN é reinjetado na jazida ou é queimado, a fim de evitar o acúmulo de gases combustíveis próximos aos poços de petróleo. Apresenta maiores porcentagens de hidrocarbonetos mais pesados tais como etano, propano e butano, em relação ao GN não-associado.

(\*) Endereço: BR-116 – KM 98 – S/Nº – Centro Politécnico da UFPR - Jardim das Américas - 81531-980 - Curitiba - PR  
Fone (41) 3361-6842 - Fax (41) 3361-6137 – e-mail: [rodrigo.ferreira@lactec.org.br](mailto:rodrigo.ferreira@lactec.org.br) e [helenaw@lactec.org.br](mailto:helenaw@lactec.org.br)

**Gás não-associado:** é aquele que, no reservatório, está livre ou junto a pequenas quantidades de óleo. Neste caso, só se justifica operacionalmente a extração do gás, e não do óleo. As maiores ocorrências de GN no mundo são de gás não associado, tornando-o mais interessante do ponto de vista econômico, devido ao grande acúmulo de metano<sup>(2)</sup>.



**FIGURA 1** – Representação dos tipos de reservatórios de gás natural: a-b) gás associado ao petróleo; c) gás não associado ao petróleo<sup>(2)</sup>.

A formação de GN continua a ocorrer na natureza. Porém, devido as movimentações da crosta terrestre, hoje, serem muito escassas, a velocidade com que novas quantidades são geradas é desprezível. Por esta razão, diz-se que este produto é "não-renovável"<sup>(3)</sup>.

A composição do gás natural é característica do poço de onde foi extraído, ou seja, pode ocorrer uma grande variação na concentração dos componentes em diversas regiões do mundo. Na Tabela 1 é mostrada a composição do GN em poços de diferentes regiões.

**TABELA 1** – Composição de diferentes gases naturais extraídos em diferentes regiões<sup>(3)</sup>.

Características de alguns gases naturais (percentagem em volume)				
Componentes	Bacia de Campos	Guamaré	Bahia	Bolívia
Metano (C <sub>1</sub> )	89,4	83,5	88,5	90,7
Etano (C <sub>2</sub> )	6,7	11,0	9,2	6,1
Propano (C <sub>3</sub> )	2,2	0,4	0,4	1,2
Butano e Superiores (C <sub>4</sub> , )	0,5	traços	traços	traços
H <sub>2</sub> S	traços	traços	traços	traços
CO <sub>2</sub>	0,3	2,0	0,6	0,5
N <sub>2</sub>	0,8	3,2	1,2	1,4
Densidade (relativa ao ar)	0,623	0,644	0,615	0,607
Poder calorífico superior (Kcal/m <sup>3</sup> )	9,608	9,207	9,375	9,264

O GN é usado como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes além de ser uma fonte de hidrogênio por meio do processo de reforma a vapor. Na área de transportes é utilizado como substituto do óleo diesel, gasolina e álcool por proporcionar uma combustão limpa aumentando a vida útil dos equipamentos e gerando menor corrosão, menor custo de manutenção e elevado rendimento energético.

Sua disponibilidade favorece seu uso para a geração de energia elétrica e refrigeração, em processos complementares às demandas energéticas das indústrias, residências e estabelecimentos comerciais. Além disso, apresenta vantagens ambientais por não emitir fuligem, dispensar o uso de equipamentos controladores de poluição e eliminar o tratamento dos resíduos resultantes de sua queima em comparação a outros combustíveis fósseis.

## 1.2 – Mercúrio no gás natural

Desde a descoberta do uso do mercúrio (Hg), que data de mais de 1.200 a.C., o seu emprego é cada vez mais difundido. Ocupa lugar no nosso dia-a-dia em diversas áreas de aplicação tais como em termômetros, lâmpadas fluorescentes, produtos químicos, além de matéria-prima para a produção de amálgamas de prata para uso dentário. Porém, certas formas de mercúrio, tanto orgânicas quanto inorgânicas, e seu uso descontrolado, têm causado problemas ambientais atraindo considerável atenção devido aos efeitos danosos que provoca aos seres vivos por ser um elemento bioacumulativo<sup>(4-7)</sup>.

Cerca de 87% das emissões de mercúrio são provenientes da queima de combustíveis<sup>(8)</sup>. Mesmo que existam atualmente tecnologias para controlar a emissão de mercúrio na atmosfera, muitas não são eficientes na remoção de baixas concentrações de compostos de mercúrio nas linhas de GN que abastecem plantas industriais<sup>(9)</sup>.

O mercúrio ocorre naturalmente em pequenas quantidades no GN. Embora seja difícil generalizar, sua concentração típica no GN está entre 1 e 200  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ <sup>(10)</sup>. Mesmo nestas quantidades consideradas pequenas, o mercúrio e seus compostos têm um efeito extremamente prejudicial à saúde humana, e representa também um problema complexo nos processos de exploração, produção, distribuição e no uso de hidrocarbonetos combustíveis contaminados com o mesmo<sup>(11)</sup>. Há vários casos relatados em diferentes partes do mundo (EUA, Argélia, Indonésia), que descrevem enormes falhas resultando em grandes danos e catástrofes ambientais em consequência da presença acima do limite aceitável de mercúrio no GN<sup>(12)</sup>.

Já existe a comprovação da existência de uma pequena concentração de mercúrio no GN proveniente da Bolívia e importado pelo Brasil. Em 24 de setembro de 2003, a PETROBRAS divulgou um documento com dados de análises do teor de mercúrio no GN proveniente da Bolívia e transportado pelo GASBOL. De acordo com aquele documento, as análises foram feitas na Bolívia, com amostras coletadas entre julho de 1999 e dezembro de 2002. As concentrações de mercúrio determinadas variaram entre 0,12 e 0,60  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  de GN<sup>(13)</sup>.

O estrago causado às plantas industriais, particularmente nas petroquímicas, pela presença de espécies de mercúrio pode ser crítico do ponto de vista financeiro especialmente quando paradas de produção não programadas são necessárias. Esta implicação foi reportada após 1973, ano em que ocorreu uma falha em uma caldeira de alumínio em uma planta de GN na cidade de Skkida, na Argélia. Investigações subseqüentes determinaram que a falha foi causada devido à corrosão provocada pelo mercúrio<sup>(10)</sup>.

Diversos fatores influenciam na eficiência na remoção do mercúrio do GN: a composição do gás quanto à concentração variável de vapor de mercúrio, a presença de hidrocarbonetos mais pesados, de água e de outras impurezas, a temperatura, a pressão de uso, a taxa de fluxo do gás, as características do sistema filtrante utilizado e o tempo de contato.

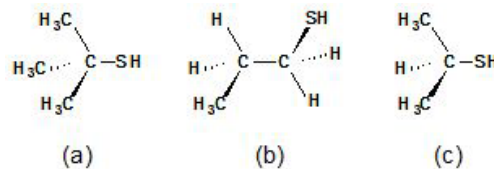
A remoção do mercúrio do GN por meio de processos gás/sólido utilizando espumas de poliuretano quimicamente modificadas passa a ser uma necessidade e uma maneira econômica, simples e prática de purificação do GN.

### 1.3 – Enxofre no gás natural

Compostos de enxofre são os contaminantes majoritários dos combustíveis fósseis. Os principais exemplos incluem o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mercaptanas ( $\text{RSH}$ ) e outros sulfetos orgânicos. O enxofre é liberado para a atmosfera em forma de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) como resultado da combustão de combustíveis gasosos. O  $\text{SO}_2$  pode ainda ser oxidado ao composto trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ), solúvel em água, que pode produzir a chuva ácida que acarreta sérios danos à saúde da população e ao meio ambiente em geral.

A adição de compostos odorizantes baseados em mercaptanas ao GN é um processo obrigatório para manter a segurança no seu transporte e evitar acidentes na linha de distribuição. No Brasil este processo é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Atualmente, para a distribuição de GN, a injeção de produto odorizante é feita numa taxa que varia de 12 a 17  $\text{mg}/\text{m}^3$ , constituído por 76% de terc-butil mercaptana (Figura 2a), 7 % de n-propil mercaptana (Figura 2b) e 16% de isopropil mercaptana (Figura 2c).



**FIGURA 2** – Estruturas das mercaptanas utilizadas como odorizantes para o gás natural: (a) terc-butil mercaptana, (b) n-propil mercaptana e (c) isopropil mercaptana.

A presença de compostos à base de enxofre no GN pode causar corrosão em diferentes tipos de materiais metálicos, presentes tanto em equipamentos de geração de energia, tais como as células a combustível, quanto em veículos automotores. Nas células a combustível, o enxofre pode ocasionar a desativação do catalisador de níquel empregado no processo de reforma a vapor do GN. Para a remoção dos compostos à base de enxofre presentes no gás, a célula possui um hidrodessulfurizador constituído por alumina e óxidos de platina e paládio, que são materiais de elevado custo. Assim, a redução da quantidade deste contaminante diretamente na linha de GN que abastece a célula, aumentaria significativamente a vida útil do hidrodessulfurizador.

A análise de compostos voláteis de enxofre é dificultada devido a um grande número de fatores. As substâncias estão freqüentemente presentes em baixa concentração, porém, em uma grande quantidade de classes de compostos associados. A análise cromatográfica por meio de detecção por fotoionização em chama é a técnica mais utilizada para a avaliação quantitativa de compostos desta natureza<sup>(14-16)</sup>.

## 2.0 – OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de sistemas filtrantes eficientes e práticos para remoção de mercúrio e compostos à base de enxofre do GN. Este projeto surgiu da necessidade de purificação do GN que abastece as células a combustível do LACTEC e da COPEL, evitando assim o envenenamento do catalisador de reforma pelo enxofre contido nesse gás, além de eliminar o lançamento de compostos tóxicos de mercúrio para a atmosfera.

## 3.0 - METODOLOGIA

### 3.1 - Síntese das espumas flexíveis de poliuretano

#### 3.1.1 - Síntese da espuma flexível de poliuretano padrão

Foram testadas diversas formulações até que a proporção ideal dos componentes fosse atingida para a aplicação desejada. Os componentes da espuma padrão foram: poliálcool polipropilenoglicol, glicerina, silicone, catalisador, água, ciclopentano e diisocianato de 4-4' difenilmetano (MDI). As espumas foram preparadas pelo método "one-shot", ou seja, os reagentes foram misturados em uma única etapa. As sínteses foram conduzidas por meio da variação das proporções entre os componentes de modo a obter uma espuma flexível, com células abertas e boa porosidade.

#### 3.1.2 - Síntese das espumas flexíveis de poliuretano modificadas para adsorção de mercúrio

Na síntese das espumas modificadas, foi utilizada a composição da espuma padrão (item 3.1.1.). Após a mistura dos componentes PPG, glicerina, silicone, água e catalisador, foi adicionado enxofre pulverizado. A mistura foi vertida em um molde de PVC com diâmetro de 50 mm e comprimento de 10 cm. Em seguida foi adicionado o ciclopentano e finalmente o MDI. Foram sintetizadas espumas de poliuretano contendo teores de enxofre (código EPS) de aproximadamente 5, 10 e 15% (m/m) em relação à soma das massas dos constituintes da espuma padrão.

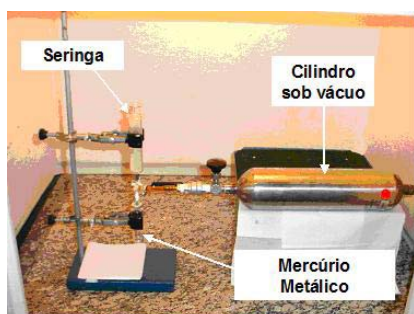
#### 3.1.3 - Síntese das espumas flexíveis de poliuretano modificadas para adsorção de compostos à base de enxofre

Estas espumas foram preparadas a partir da composição da espuma de poliuretano padrão. Os componentes PPG, glicerina, silicone, água e catalisador, foram misturados e após isto, foi adicionado óxido de zinco. A massa polimérica foi vertida em moldes de PVC com diâmetro de 50 mm e comprimento de 10 cm. Em seguida foi adicionado o ciclopentano e finalmente o MDI. As espumas de poliuretano modificadas foram sintetizadas contendo 5, 10 e 15% (m/m) em massa de óxido de zinco (código EPO) em relação à soma das massas dos constituintes da espuma padrão.

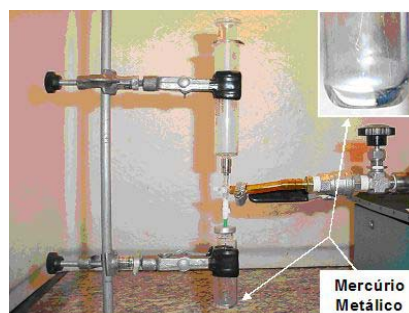
### 3.2 - Ensaio de adsorção de mercúrio pela espuma modificada pela adição de enxofre

#### 3.2.1 - Preparação da amostra padrão de gás contendo mercúrio

Um cilindro metálico sob vácuo foi adaptado a um recipiente lacrado contendo mercúrio metálico (Figura 3). Neste foi inserido uma agulha conectada a uma seringa de vidro ligada a uma válvula de três vias (Figura 4). Por meio de sucção a atmosfera de mercúrio na forma de vapor contida no recipiente foi passada para o cilindro metálico. Essa operação foi repetida várias vezes para que uma maior quantidade de mercúrio fosse transferida para o interior do cilindro. Em seguida o cilindro foi preenchido com uma mistura padrão de hidrocarbonetos composta por metano (89,3% mol/mol), etano (4,7% mol/mol), propano (1,6% mol/mol), butano (0,2% mol/mol), gás carbônico (1,5% mol/mol), nitrogênio (2,6% mol/mol) e hidrocarbonetos maiores (0,1% mol/mol) para compor a amostra padrão de GN contaminada com mercúrio.



**FIGURA 3** – Sistema montado para a preparação da amostra padrão de GN contendo mercúrio.

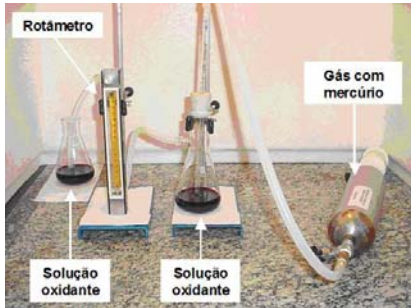


**FIGURA 4** – Visualização do recipiente contendo mercúrio metálico.

### 3.2.2 - Passagem da amostra padrão de GN pelas espumas para a remoção de mercúrio

Inicialmente a amostra padrão de GN contendo mercúrio foi coletada em um erlenmeyer contendo 50 mL de uma solução 2% (m/m) de permanganato de potássio em ácido sulfúrico 10% (v/v) (Figura 5). O fluxo do gás foi controlado com a utilização de um rotâmetro. Em seguida, o procedimento foi repetido, porém, com a amostra de GN passando pelo filtro contendo a espuma de poliuretano (Figura 6).

As soluções resultantes foram analisadas diretamente por absorção atômica por geração de vapor à frio em aparelho Perkin Elmer mod 4100 para determinação do teor de mercúrio.



**FIGURA 5** – Passagem da amostra padrão de GN contendo mercúrio diretamente para a solução oxidante.



**FIGURA 6** – Passagem da amostra padrão de GN contendo mercúrio pela espuma de poliuretano e posteriormente, pela solução oxidante.

### 3.3 - Ensaio de adsorção de mercaptanas na espuma modificada pela adição de óxido de zinco

O filtro de PVC contendo a espuma de poliuretano modificada com óxido de zinco foi adaptado a um cilindro (Figura 7) contendo amostra padrão de uma mistura de mercaptanas nas concentrações de 3,16 mg/m<sup>3</sup> de isopropil mercaptana, 28,52 mg/m<sup>3</sup> de terc-butil mercaptana e 8,26 mg/m<sup>3</sup> de n-propil mercaptana, tendo nitrogênio como balanço da mistura.

A mistura gasosa foi passada através da espuma com fluxo controlado e analisada diretamente em um cromatógrafo em fase gasosa Trace Ultra GC acoplado a um detector de fotoionização em chama, visando a quantificação dos compostos à base de enxofre. O ciclo de passagem de gás foi repetido até a saturação da espuma.



**FIGURA 7** – Sistema montado para a passagem da amostra padrão de GN contendo mercaptanas pela espuma de poliuretano.

## 4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

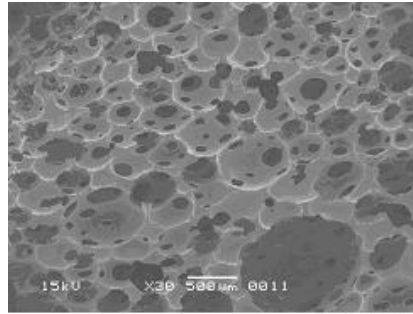
### 4.1- Preparação das espumas de poliuretano

As propriedades das espumas de poliuretano dependem diretamente do método de preparo, que por sua vez é afetado por diversos fatores como: a quantidade e a ordem de adição dos reagentes, a velocidade de agitação, o tempo de reação, o molde utilizado e a presença de aditivos.

Após diversas alterações na quantidade e na ordem de adição dos componentes das espumas de poliuretano, foi definida a formulação ideal para o uso desejado, ou seja, a passagem do GN sem restrição considerável no fluxo (Figura 8). Pode ser observado na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 9) que a abertura das células é intrínseca da espuma padrão como um todo, e não somente de certas áreas. Este tipo de análise morfológica indica também que possivelmente o gás permeia pela espuma em caminhos totalmente aleatórios.



**FIGURA 8** – Corte transversal da espuma flexível de poliuretano.



**FIGURA 9** – Micrografia obtida por MEV da espuma de poliuretano padrão (30x).

## 4.2 - Ensaio de adsorção

### 4.2.1 - Adsorção de mercúrio pelas espumas flexíveis de poliuretano contendo enxofre

Os testes foram realizados em um molde de PVC de 10 cm de comprimento por 50 mm de diâmetro contendo a espuma de poliuretano com 5, 10 ou 15% (m/m) de enxofre, respectivamente. O fluxo de gás passado pelas espumas foi de 400 mL/min em uma pressão de 28 psi (2,0 kg/cm<sup>2</sup>).

A massa de mercúrio não adsorvida nas espumas foi retida em 50mL de uma solução oxidante. Esse valor corresponde diretamente à massa de mercúrio presente no volume de gás após a passagem pela espuma. Ocorre neste caso uma reação de oxirredução na qual o mercúrio metálico em forma gasosa, é oxidado pelo permanganato de potássio sendo retido na solução. O grau de eficiência das espumas na adsorção do GN foi determinado pela Equação 1.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{mHg(ads)}{mHg(teórica)} * 100 \quad \text{(EQUAÇÃO 1)}$$

Sendo:

mHg teórica = massa total de mercúrio contida no volume de GN permeado pela espuma

mHg ads = massa de mercúrio adsorvida pela espuma

Foi possível comprovar que a eficiência do processo de adsorção de mercúrio do GN aumentou com o aumento da massa de enxofre adicionada à espuma, como esperado (Tabela 2).

**TABELA 2** - Quadro comparativo entre as formulações testadas para adsorção de mercúrio presente no GN.

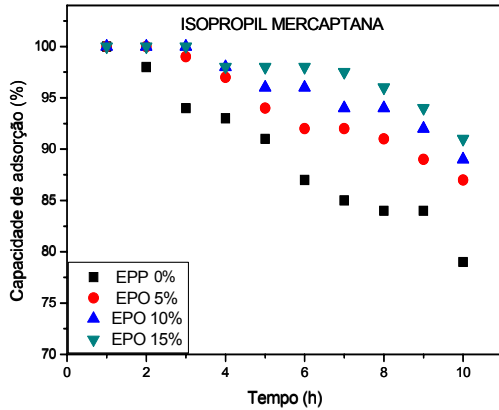
Teor de enxofre na espuma (%m/m)	Eficiência na adsorção de mercúrio (%)
0	0
5	66,4
10	69,8
15	82,7

A maior eficiência de adsorção de mercúrio foi obtida com a espuma contendo 15% (m/m) de enxofre. Esta também apresentou a maior resistência à compressão e a melhor distribuição do enxofre pela superfície polimérica. Desta forma, esta espuma pode ser utilizada para a instalação na linha de GN, pois, apresenta as características mecânicas adequadas para a passagem do gás e maior eficiência na retenção do mercúrio.

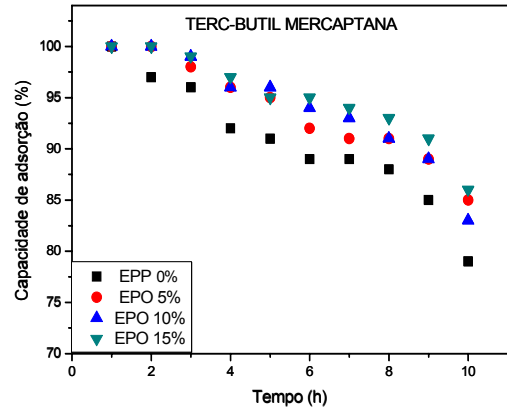
### 4.2.2 - Adsorção de compostos à base de enxofre pelas espumas contendo óxido de zinco

Para os ensaios de adsorção de mercaptanas, foram utilizados moldes de PVC nas medidas de 10 cm de comprimento por 50 mm de diâmetro, preenchidos com as espumas. Os gráficos das Figuras 10 a 12 representam a adsorção de compostos à base de enxofre adicionados como odorizantes ao gás natural *versus* o tempo de permeação do gás pela espuma padrão e pelas quimicamente modificadas contendo 5, 10 e 15% (m/m) de óxido de zinco.

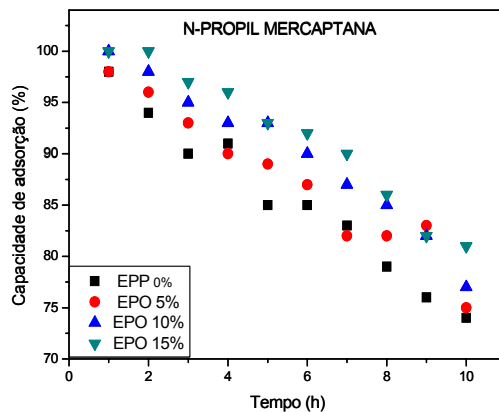
É possível perceber que as espumas quimicamente modificadas contendo maiores teores de óxido de zinco apresentaram um melhor desempenho de adsorção das mercaptanas em relação ao tempo de teste.



**FIGURA 10** – Capacidade de adsorção do componente isopropil mercaptana pelas espumas quimicamente modificadas com óxido de zinco (EPO: ● 5%, ▲ 10% e ▼ 15%) e pela padrão (EPP: ■ 0%).



**FIGURA 11** – Capacidade de adsorção do componente terc-butil mercaptana pelas espumas quimicamente modificadas com óxido de zinco (EPO: ● 5%, ▲ 10% e ▼ 15%) e pela padrão (EPP: ■ 0%).



**FIGURA 12** – Capacidade de adsorção do componente n-propil mercaptana pelas espumas quimicamente modificadas com óxido de zinco (EPO: ● 5%, ▲ 10% e ▼ 15%) e pela padrão (EPP: ■ 0%).

A espuma padrão (EPP 0%) apresentou uma boa interação com as mercaptanas testadas (Figuras 10 a 12). Porém em todos os gráficos é possível visualizar que a curva de adsorção de mercaptanas desta espuma está abaixo das curvas referentes às espumas quimicamente modificadas com óxido de zinco (EPO 5%, 10% e 15%). Isto demonstra que a inserção do óxido de zinco nas espumas aumentou significativamente o tempo de saturação das mesmas, gerando uma maior eficiência no processo de captação de compostos à base de enxofre do GN. O melhor desempenho na adsorção destes compostos, foi verificado para a espuma contendo a maior quantidade de óxido de zinco (EPO 15%). Ao final de 10 horas de passagem da mistura de gás padrão de mercaptanas pelas espumas, esta manteve sua capacidade adsorviva em torno de 83%.

## 5.0 - CONCLUSÕES

As espumas flexíveis de poliuretano modificadas por meio da adição de enxofre apresentaram resultados de eficiência na ordem de 83% na remoção de mercúrio do GN. Foi verificado que o aumento do teor de enxofre adicionado às espumas, afeta positivamente a eficiência de remoção de mercúrio. Tratam-se de produtos ainda não existentes ou disponíveis no mercado internacional, e podem ser aplicadas na purificação direta de GN, eliminando a emissão de poluente extremamente tóxico para a atmosfera e reduzindo problemas de corrosão nos reatores onde este gás é utilizado.

As espumas de poliuretano sintetizadas por meio da adição de óxido de zinco apresentaram ótimo rendimento na adsorção de compostos à base de enxofre presentes no GN. A incorporação deste óxido aumentou a capacidade de adsorção das espumas em relação à espuma padrão.

A espuma desenvolvida para remoção de produtos sulfurados, sintetizada com a adição de óxido de zinco, também é inédita no mercado e pode ser utilizada como filtro de segurança em sistemas que operam com gás natural, como por exemplo, nas células a combustível.

A preparação de polímeros uretânicos funcionalizados, para aplicação específica como sistemas filtrantes na indústria, mostra-se uma grande oportunidade de pesquisa para o atendimento das necessidades tecnológicas deste setor.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VIEIRA, P. L.; GARCIA, C. B.; GUIMARÃES, H. B.; TORRES, E. A.; PEREIRA, O. L. S.; "Gás natural: benefícios ambientais no estado da Bahia", Salvador: Solisluna design e Editora, 132p, (Bahia gás documenta) 2005.
2. GÁS E ENERGIA 2006 – Disponível em - [www.gasenergia.com.br](http://www.gasenergia.com.br) - Acessado em 21/02/2006.
3. ABREU, P. L.; MARTINEZ, J. A.; "Gás Natural – o combustível do novo milênio" Porto Alegre; Plural Comunicação, p. 9-70, 1999.
4. XIU, GUANGLI L.; *et. al.*; **Atmospheric Environment**, 39, 419-427, 2005.
5. ZENEBON, O.; *et. al.*; **Revista Saúde Pública**, 28, 127-130, 1994.
6. CIZDZIEL, J.V.; GERSTENBERGER, S.; **Talanta**, 64, 918-921, 2004.
7. BAIRD, C.; **Química Ambiental**, Bookman Ed. 2ª ed., 2002.
8. KEATING, M.H.; MAHAFFEY, K. R.; SCHOENY, R.; RICE, G.E.; BULLOCK, O.R.; "Mercury study report to congress. Office of air quality planning and standards, EPA/452/R-97-003 (NTIS PB124738), **U.S. Environmental Protection Agency, research Triangle Park, NC**; 1997.
9. ROY, S.; ROCHELLE, G. T.; **Chemical Engineering Science**, 59, 1309-1323, 2004.
10. SHAFAWI, A.; EBDON, L.; FOULKES, M.; STOCKWELL, P.; CORNS, W.; **Analyst**, 124, 185-189, 1999.
11. MICARONI, R. C. M.; BUENO, M. I. M.; JARDIM, W. DE F.; **Química Nova**, 23, 487-495, 2000.
12. RYZHOV, V. V.; MASHYANOV, N. R.; OZEROVA, N. A.; POGAREV, S. E.; **The Science of the Total Environment**, 304, 145-152, 2003.
13. HESS, S.C.; CAVALHEIROS, D. F.; DAMASCENO JR., G.A.; LACERDA, M.; SALIS, S.; FERREIRA, V.L.; TOMÁS, W.M.; LIMA, C.R.; SALDIVA, P.N.; HECKI, H.; "Parecer técnico referente ao EIA/RIMA do empreendimento denominado TERMOPANTANAL Ltda., elaborado pela CAL Consultoria Ambiental Ltda" Corumbá, MS, 2005.
14. XU, L.; YANG, J.; LI, Y.; LIU, Z.; **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 71, 591-600, 2004.
15. AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 6228-98/03** "Determination of sulfur compounds in natural gas and gaseous fuels by gas chromatography and flame photometric detection".
16. AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 5504-94** "Standard test method for determination of sulfur compounds in natural gas and gaseous fuels by chromatography and chemiluminescence".