

Determinação da capacidade adsortiva (Ca) de carvão ativado granulado (Cag) usado em filtros químicos para retenção de vapores orgânicos

Determination of adsorptive capacity (Ca) of granulated activated carbon (Cag) used in chemical filters for the retention of organic vapors

Determinación de la capacidad adsortiva (Ca) de carbono activado granulado (Cag) utilizado en filtros químicos para la retención de vapores orgânicos

Recebido: 26/10/2020 | Revisado: 30/10/2020 | Aceito: 05/11/2020 | Publicado: 11/11/2020

Silvia Pierre Irazusta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6856-4035>

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil

E-mail: silvia.irazusta@cpspos.sp.gov.br

Cleber Corrêa Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4843-0136>

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil

E-mail: cleber.vieira@cpspos.sp.gov.br

Francisco Tadeu Degasperi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8086-7709>

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil

E-mail: Francisco.degasperi@cpspos.sp.gov.br

Fabício José Piacente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8306-4541>

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Brasil

E-mail: fabricao.piacente@cpspos.sp.gov.br

Resumo

O carvão ativado granulado (CAG) é largamente utilizado em filtros químicos de respiradores para reter solventes orgânicos, gases ácidos, amônia e gás sulfídrico. Sua utilização se deve a sua alta relação área/massa, o que lhe confere grande superfície de adsorção de contaminantes gasosos, a qual pode variar entre 300 e 1.300 m².g⁻¹ dependendo do tipo de matéria prima usada na sua fabricação, tratamento químico e dimensões. Este trabalho teve como objetivo, desenvolver uma metodologia de ensaio, utilizando um arranjo experimental, constituído de um circuito para provocar a saturação de filtro químico de respirador semifacial (SF) com uso

de um solvente orgânico e assim medir a capacidade adsortiva (Ca) do CAG desse filtro químico testado. Nas condições do ensaio, com o solvente tolueno, o valor de Ca obtido foi de 110,2 mg.g⁻¹. O modelo apresentado forneceu um parâmetro útil para fabricantes e usuários, de indicador para o controle de qualidade de filtros químicos utilizados em respiradores semifaciais, permitindo a comparação entre lotes de GACs originados de diferentes matérias-primas, formatos e dimensões.

Palavras-chave: Carvão ativado granulado; Adsorção; Filtros químicos; Solvente orgânico.

Abstract

Granulated activated carbon (CAG) is widely used in filters of chemical respiratory devices to retain organic solvents, acid gases, ammonia and hydrogen sulfide. Its use is due to its high area / mass ratio, which gives it a large surface of adsorption of gaseous contaminants, which can vary between 300 and 1,300 m².g⁻¹ depending on the raw material used in its manufacture, chemical treatment. and dimensions. The objective of this work was to develop a methodology using an experimental arrangement consisting of a circuit to cause saturation of a semifacial respiratory filter (SF) using a organic solvente and this way measure the adsorptive capacity (Ca) of the CAG. Under assay conditions, with toluene as solvent, the Ca value obtained was 110.2 mg.g⁻¹. The model presented provided a useful parameter for manufacturers and users as an indicator for quality control of chemical filters used in semifacial respiratory devices, allowing the comparison between batches of GACs originated from different raw materials, shapes and dimensions.

Keywords: Granulated activated carbon; Adsorption; Chemical filters; Organic solvent.

Resumen

El carbón activado granulado (CAG) se usa ampliamente en filtros de respiradores químicos para retener solventes orgánicos, gases ácidos, amoníaco y sulfuro de hidrógeno. Su uso se debe a su alta relación área / masa, lo que le confiere una gran superficie de adsorción de contaminantes gaseosos, la cual puede variar entre 300 y 1.300 m².g⁻¹ dependiendo del tipo de materia prima utilizada en su fabricación, tratamiento químico y dimensiones. Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar una metodología de ensayo, utilizando un arreglo experimental, consistente en un circuito para provocar la saturación de un filtro químico de respirador semifacial (SF) con el uso de un solvente orgánico y así medir la capacidad adsortiva (Ca) del CAG de este filtro químico probado. En las condiciones del ensayo, con el disolvente tolueno, el valor de Ca obtenido fue 110,2 mg.g⁻¹. El modelo presentado

proporcionó un parámetro útil para fabricantes y usuarios, un indicador para el control de calidad de los filtros químicos utilizados en respiradores semifaciales, permitiendo la comparación entre lotes de GAC provenientes de diferentes materias primas, formas y dimensiones.

Palabras clave: Carbón activado granulado; Adsorción; Filtros químicos; Disolvente orgânico.

1. Introdução

Compostos orgânicos voláteis (COVs) são compostos de carbono, excluindo-se monóxido e dióxido de carbono, ácido carbônico, compostos metálicos ou carbonatos os quais participam de reações fotoquímicas na atmosfera. Os COVs são compostos orgânicos voláteis que se evaporaram em baixos valores de pressão e temperatura. Hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos (ANP, 2001), como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), são compostos lipossolúveis e tóxicos para o sistema nervoso central mesmo em baixas concentrações (ATSDR, 2004.). São bastante empregados na indústria como matéria-prima na fabricação de tintas e solventes (Atkins, 1986).

Os filtros componentes de respiradores semifaciais (SF) são classificados pela norma NBR 12.543 (ABNT, 2017), como filtro químico para reter vapores orgânicos (VO) utilizado em respiradores tipo SF que funcionam por pressão negativa respiratória (movimento de inalação do próprio usuário). Deste modo, ao inalar, o usuário direciona o ar próximo das suas vias respiratórias para o filtro químico que contém carvão ativado granulado (CAG) e pelo processo físico de adsorção retém as moléculas de COVs até a sua saturação ou *breakthrough time*, momento em que atinge a sua máxima capacidade adsorvente (Ca) (Brevigliero *et al.*, 2006).

Um tipo comum e econômico de material que tem grande capacidade de reter compostos orgânicos é o carvão ativado granulado (CAG), que é indicado como adsorvente para a filtração destes COVs (Brinques, 2005). Os CAGs são materiais sólidos dispostos em grãos, obtidos a partir de elementos carbonáceos e utilizados como elemento adsorvente nos equipamentos destinados à proteção respiratória individual. A superfície do CAG é essencialmente apolar, embora uma polaridade muito pequena surja da oxidação da sua superfície (Ruthven, 1984). A qualidade destes carvões é comumente avaliada pela área superficial fornecida pela isoterma de *Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett e Edward Teller*, conhecida como isoterma de BET. Na equação de equilíbrio termodinâmico de Gibbs, se a

variação de entalpia (ΔH) for negativa, revela que a adsorção é também um processo exotérmico. Sob condições de equilíbrio a uma temperatura constante, o volume de vapor adsorvido na fase coletora é proporcional à pressão do vapor representado por isothermas de Freundlich (Atkins, 1986).

Este adsorvente é um material microcristalino produzido pela decomposição térmica da madeira e outros vegetais, como cascas de coco de babaçu, seguida pela ativação com vapor d'água superaquecido ou dióxido de carbono a elevada temperatura. São elaborados de tal forma a possuírem uma imensa rede de “orifícios” ou “poros” na superfície interna constituindo uma grande área superficial. O CAG geralmente tem área superficial entre 300 a 1.300 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ com diâmetro médio de poros compreendidos entre 6 a 10 Å (Lílo-Ródenas *et al.*, 2006).

Independente da natureza ou origem, o carvão destinado à adsorção de compostos químicos, deve sofrer ativação, que consiste no procedimento de limpeza dos poros, provenientes do processo inicial de mineralização.

A ativação, processo subsequente à pirólise, consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial. Deseja-se no processo de ativação, o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica, etc) de acordo com a configuração requerida para uma dada aplicação. Segundo László *et al.* (2005), há dois tipos de ativação utilizados: ativação química e a física. No caso de CAG utilizado em respiradores tipo SF a ativação é física, por meio de jatos de ar comprimido ou vapor d'água superaquecido (CCC, 2017).

De um modo geral, a ativação física produz uma estrutura de poro tipo fenda bastante fina, tornando os carvões assim obtidos apropriados para o uso em processo de adsorção de vapores (Fogler, 1998; Faulconer, 2012).

O formato do grão do CAG é prismático com dimensões aproximadas de 1 a 3 mm. No processo industrial dos filtros químicos, os grãos de GACs importados foram inseridos por ação da gravidade e prensados em seguida por um dispositivo pneumático, após essa fase, a tampa externa de alumínio no corpo do filtro é conformada por estampagem, junto com os 2 discos de polietileno, cuja função é o aprisionando dos CAGs.

A pressão de fechamento do filtro químico empregada é o suficiente para compactar o carvão sem que haja o seu cisalhamento, o que, causaria redução de sua propriedade de adsorção de moléculas de solventes, pois haveria “folga” entre os grãos de CAGs, decorrente do preenchimento parcial dos poros pelo pó de carvão cisalhado, uma parte dos CAGs

deixaria de ser ativado. Os CAGs dos filtros químicos devem ter a capacidade de atrair e reter volumes apreciáveis de COVs, sem gerar pó no manuseio do filtro, e manter estáveis tais propriedades nas condições normais de fabricação, estocagem e uso (Torloni & Vieira, 2003).

A proposta deste trabalho foi estabelecer o parâmetro Coeficiente Adsorativo (Ca), cujo valor, determinado para os CAGs, poderá ser útil como indicador de qualidade dos filtros químicos adsorventes de COV, podendo ser empregado pelos fabricantes para avaliar diferentes lotes de GAC ou GACs de diferentes procedências, ou ainda, GACs com partículas com características distintas.

2. Metodologia

A metodologia utilizada para esse trabalho foi a pesquisa experimental, caracteriza-se pela manipulação direta das variáveis relacionadas com o objeto de estudo. Portanto, a pesquisa experimental se destina a dizer e compreender de que modo ou causas o fenômeno estudado é produzido (Pereira *et al.*, 2018).

Foram testadas amostras de filtros químicos para reter compostos orgânicos voláteis de um fabricante nacional, contendo GAC importado. Todas de um mesmo lote, utilizadas em peça SF de EPR, cuja especificação, código 514.367, modelo 2000 A1, lote 01/2017, válido até 01/2022, com Certificado de Aprovação (CA) nº 5757. Este modelo de filtro químico é utilizado em conjunto com a peça SF, formando o conjunto de EPR modelo Air Tox II, ilustrado na Figura 1.

Foram ensaiados cinco filtros químicos do fabricante (*Air Safety*), e os ensaios foram realizados em quadruplicata. O adsorvente do filtro químico da *Air Safety* utilizado neste experimento foi o CAG importado da empresa *Calgon Carbon Corporation* (CCC) e o adsorbato escolhido para o experimento foi o solvente orgânico tolueno a 99,5% vol/vol.

Os filtros utilizados na pesquisa foram desmontados mecanicamente após a realização do último ensaio de saturação ocorrido no arranjo experimental. A massa do carvão ativado CAG (M_{cag}) inserido no corpo dos cartuchos dos 05 filtros químicos foi em média de $(90,48 \pm 0,28)$ g. O formato do grão do CAG é prismático com dimensões aproximadas de 1 a 3 mm. A pressão de fechamento do filtro químico empregada é o suficiente para compactar o carvão ativado sem que haja o seu cisalhamento.

Figura 1. Peça SF modelo Air Tox II, com o filtro químico encaixado, constituindo o EPR.

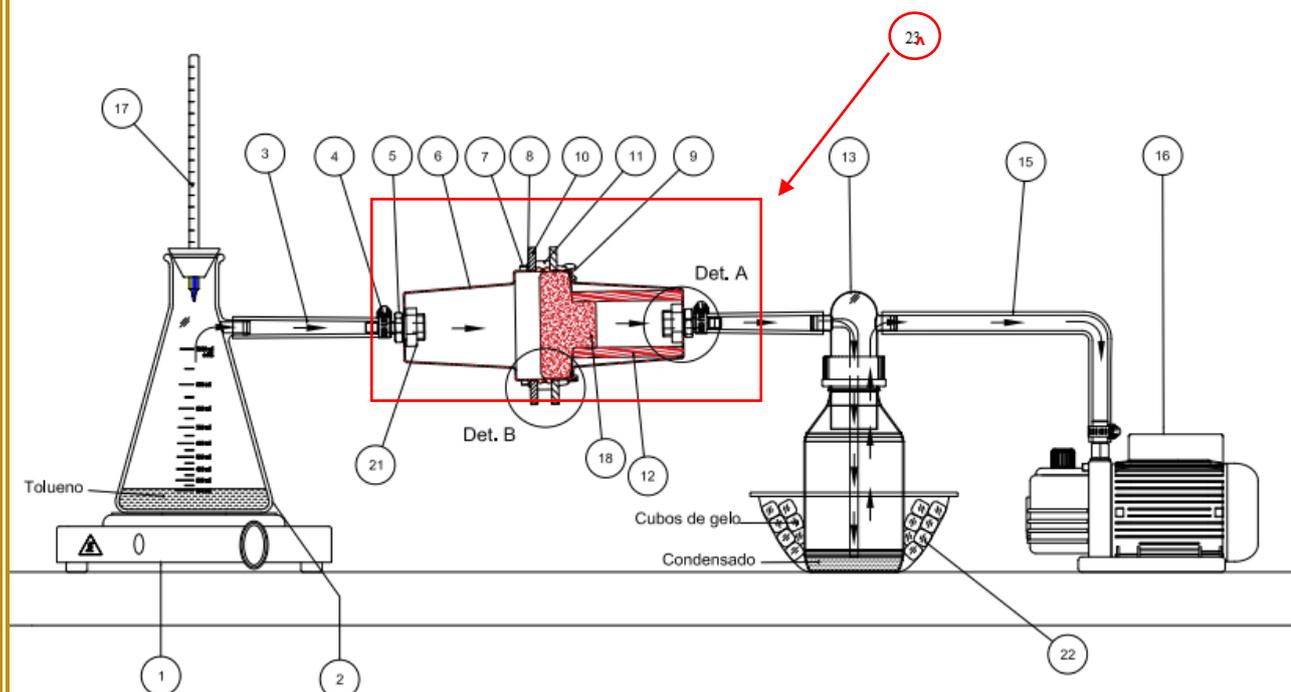


Fonte: Adaptadp de SBPR (2018).

O arranjo experimental utilizado foi modelado para a realização dos ensaios de adsorção, pela saturação dos CAGs com uso do solvente tolueno, e posterior dessorção, pelo arraste de solvente por meio de vapor d'água. O arranjo foi constituído, segundo o desenho esquemático da Figura 2.

De acordo com o desenho, o arranjo experimental foi constituído dos seguintes itens: recipiente (2) para conter tanto o tolueno (adsorção), como para a água posteriormente (dessorção); aquecedor de placa Nalcon, modelo 1620 regulado a temperatura de 120 °C (1); dispositivo metálico com 02 corpos de alumínio (6) para encaixe do filtro químico ensaiado (18); os itens 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 21 constituem componentes para conexões e foram contidos num recipiente isolante térmico (23) para evitar resfriamento e, conseqüente, condensação antes de atingir o filtro químico. Para receber o condensado, utilizou-se o frasco coletor tipo Drechsel (13), dentro de um banho de gelo (22). A bomba de vácuo modelo G-50D (vazão de 60 L.min⁻¹ e pressão de 1.10⁻³.0 Torr (16) foi utilizada para estabelecer o fluxo do vapor do solvente ou da água, respectivamente para os processos adsorção ou dessorção.

Figura 2. Layout do arranjo experimental.



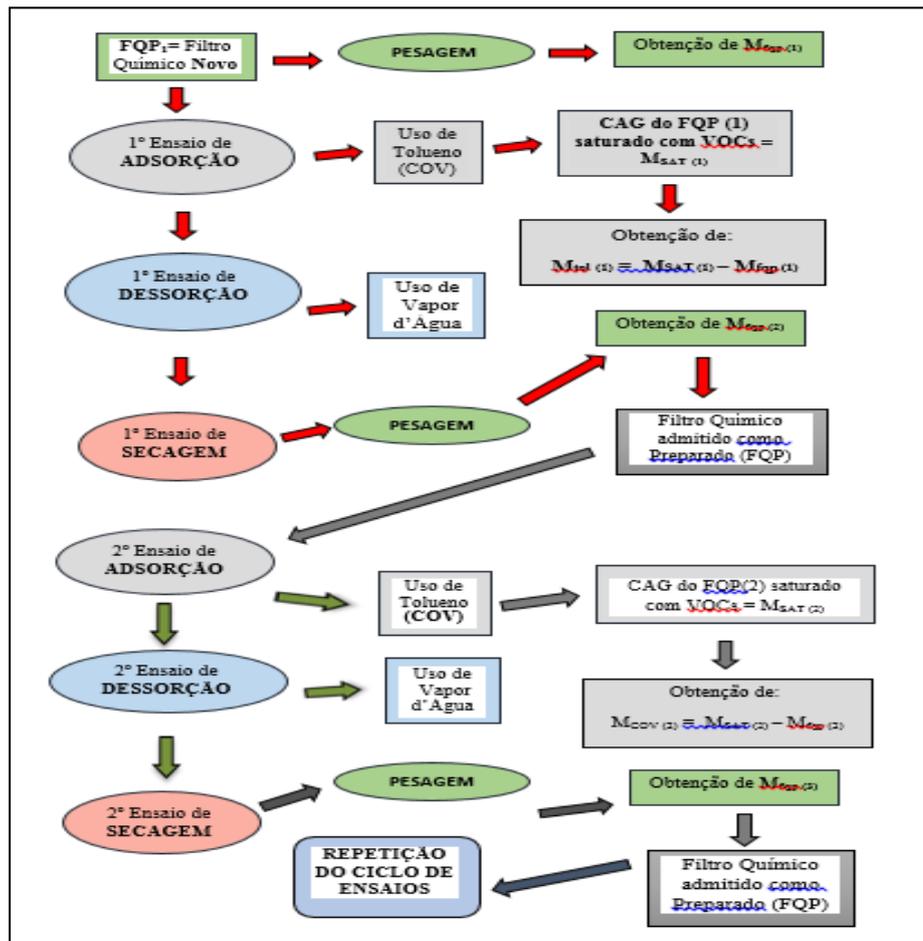
Fonte: Elaborado pelos autores.

Inicialmente o filtro químico novo, foi retirado de sua embalagem original e pesado e após a montagem do arranjo experimental, foi inserido dentro do dispositivo metálico (6). Foram inseridos 100 mL de tolueno dentro do (2) e foram aquecidos a temperatura de 120 °C, simultaneamente promoveu-se o aquecimento do dispositivo metálico (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 21) dentro do compartimento (23). Ao iniciar a evaporação do tolueno, a bomba de vácuo (16) foi acionada para que o solvente fosse direcionado ao CAG do filtro químico em teste. Ao ser observada a formação das primeiras gotas de condensado no frasco coletor (13), encerrou-se o ensaio de adsorção, desligando-se a bomba de vácuo. Após esta etapa o filtro químico foi pesado e massa determinada (M_{sat}).

Na próxima etapa, realizou-se o processo de dessorção do solvente por arraste por meio de um fluxo de vapor d'água (2), aquecendo-se a água até a temperatura de 120 °C. Esta etapa foi finalizada, da mesma forma, ao se observar as primeiras gotículas de condensado em (13). Na sequência o filtro químico foi retirado do dispositivo metálico (6) e colocado em uma estufa a temperatura de 150 °C, por 12 horas. Após arrefecimento em dessecador, o filtro foi pesado novamente. Ambos processos foram repetidos 4 vezes para cada filtro ensaiado. Adotou-se a denominação filtro químico preparado (fqp) para os filtros após dessorção, bem como para o filtro novo (isento de solvente).

Para o cálculo do Ca, foram utilizados os valores de massa de tolueno adsorvido pelo GAC (M_{tol}) e os valores da massa do CAG (M_{cag}), sendo que os valores de M_{cag} de cada um dos cinco filtros químicos foram obtidos após a retirada do CAG dos filtros químicos, por processo mecânico. Depois, a M_{cag} foi calculada pela pesagem do conteúdo do interior do fitro. O fluxograma apresentado na Figura 3 resume os procedimentos descritos.

Figura 3. Fluxograma dos quatro ciclos de ensaios.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir das massas obtidas aplicou-se a Equação 1 para o cálculo da massa de solvente (M_{tol}) retida pelo CAG do filtro químico testado. Para tanto, utilizou-se a massa do filtro químico preparado (M_{fqp}) e a massa do filtro químico saturado (M_{sat}) obtidas no ensaio de saturação.

$$M_{tol} = M_{sat} - M_{fqp} \quad [g] \quad (\text{Eq. 1})$$

No encerramento do terceiro ciclo de ensaios, o CAG foi retirado do filtro químico e pesado para a obtenção da massa do GAC (M_{CAG}). O Ca foi obtido pela relação entre a M_{tol} e M_{CAG} , conforme equação 2.

$$Ca = \frac{M_{tol}}{M_{cag}} [mg.g^{-1}] \quad (Eq. 2)$$

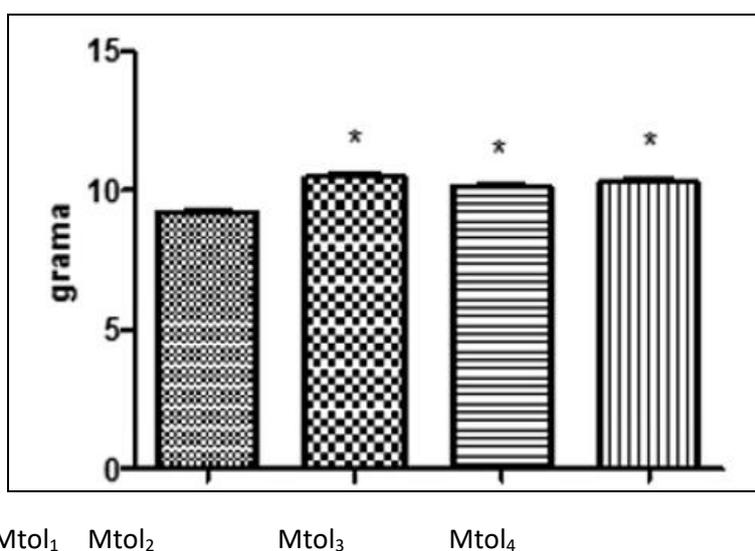
Os valores médios de M_{tol} e Ca foram comparados por meio da análise estatística do teste “t” de Student, considerando-se $p < 0,05$ como nível de significância.

3. Resultados e Discussão

Os valores de massas M_{fqp} , M_{tol} e M_{gac} foram utilizados como variáveis das Eq. 1 e Eq. 2 para determinar a capacidade adsorptiva do carvão ativado do filtro químico.

Os valores individuais de M_{tol} obtidos nos ensaios de adsorção de cada ciclo, ao final do quarto ensaio de secagem, estão representados na Tabela 1. Observa-se que a massa de solvente retida após a regeneração do filtro ($M_{tol\ 2,3,4}$) é maior do que aquela retida no filtro novo (M_{tol1}), mostrando um incremento nesta propriedade do carvão, porém não há incremento significativo a partir do segundo ensaio (Figura 4).

Figura 4. Média da massa de vapores de tolueno (M_{tol}) adsorvida.



Nota: $p < 0,05$, teste “t” de Student; os valores M_{voc2} , M_{voc3} e M_{voc4} não diferenciam entre si
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de resultados da pesquisa.

Tabela 1. M_{cag} e os quatro valores de M_{tol} obtidos nos ensaios.

M (g)	Filtro químico 1	Filtro químico 2	Filtro químico 3	Filtro químico 4	Filtro químico 5	Média	Desvio Padrão
M_{cag}	89,9721	90,4828	90,5003	90,4960	89,9891	90,48	0,28
M_{tol_1}	9,2350	9,0928	9,3337	9,2811	9,2175	9,23	0,09
M_{tol_2}	9,9673	10,4361	10,8544	10,7129	10,4129	10,43	0,34
M_{tol_3}	10,0678	10,1601	10,2614	10,1862	10,0879	10,16	0,08
M_{tol_4}	10,0426	10,4503	10,2597	10,4290	10,3608	10,36	0,17

Fonte: Elaborado pelos autores.

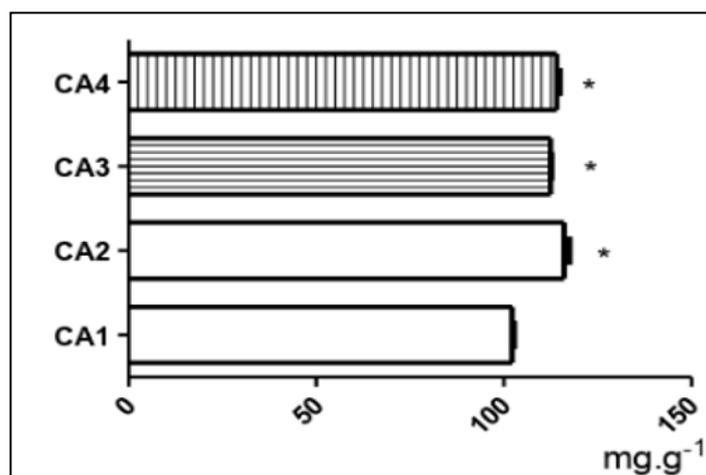
Os resultados do índice Ca, que foram calculados pela Equação 2, para cada um dos cinco filtros químicos ensaiados foram inseridos na Tabela 2. O gráfico da Figura 5 apresenta a comparação dos valores de Ca médio obtido para cada ciclo de ensaio. Observa-se do gráfico que a massa de solvente adsorvida no CAG é maior nos filtros regenerados do que no filtro novo, aqui também, não se observou incremento significativo nos ensaios subsequentes.

Tabela 2. Resultados do cálculo do Ca [$mg.g^{-1}$].

Ca_{xy} ($mg.g^{-1}$)	Filtro químico 1	Filtro químico 2	Filtro químico 3	Filtro químico 4	Filtro químico 5
Ca_1	102,6	100,5	103,1	102,6	102,4
Ca_2	110,8	115,3	119,9	118,4	115,7
Ca_3	111,9	112,3	113,4	112,6	112,1
Ca_4	111,6	115,5	113,4	115,2	115,1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5. Ca para cada ensaio de saturação (de 1 a 4).



Notas: * $p < 0,05$, teste “t” de student; os valores de Ca dos ensaios de saturação números 2, 3 e 4 não diferenciam entre si.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de resultados da pesquisa.

Lilo-Rodenas et al. (2006), estabeleceram que capacidade adsorptiva dos carvões ativados de uso comercial, para vapores de compostos orgânicos aromáticos, como o tolueno, era de 190 mg.g^{-1} , quando os ensaios foram realizados com a concentração de 200 ppm ao fluxo de 60 L.min^{-1} .

Este trabalho mostrou uma otimização do processo de adsorção/dessorção/regeneração do CAG, que foi atribuída ao procedimento de secagem sob condições controladas, o que permitiu a eliminação completa de resíduos dos seus poros, ampliando sua capacidade de retenção (Ca) de vapores.

Constatamos que quanto maior for a M_{tol} retida no GAC saturado pelo ensaio de adsorção, maior será o valor do Ca do filtro químico testado.

Nos ensaios realizados no arranjo experimental deste trabalho, o valor médio obtido para esta capacidade de adsorção foi de $C_{a_m} = (110,2 \pm 0,1) \text{ mg.g}^{-1}$ em alta concentração de vapores de tolueno (8.041 ppm), nas condições experimentais relatadas. O Quadro 1 mostra uma análise comparativa das principais publicações relacionadas a este modelo experimental

Quadro 1. Comparação entre o método desenvolvido para a regeneração de GAC desenvolvido no arranjo experimental e o da literatura.

Método	Arranjo Experimental	Literatura Pesquisada
Uso de filtro químico de EPR	Sim	Sim
Uso de GAC comercial	Sim	Sim
Uso de vapor de água para dessorção de VOCs	Sim	Sim
C _{Tolueno} (ppm)	8.041	200
Fluxo da mistura (L.min ⁻¹)	60	60
Breakthrough time (min)	5,5	> 40
Secagem (aquecimento)	Estufa	Micro ondas
Ca _{Tolueno} (mg.g ⁻¹)	110,2	190

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para um mesmo nível de exposição ocupacional a vapores orgânicos no ambiente, o melhor adsorvente será aquele que possuir um maior *breakthrough time*, ou seja, maior Ca. A determinação desta, da forma apresentada neste trabalho, pode nortear a escolha do filtro químico.

O índice Ca, aqui estabelecido, poderá ser utilizado pelos fabricantes de EPRs, como um método para o controle de qualidade, a ser aplicado para a comparação entre lotes do mesmo fabricante, bem como entre diferentes fabricantes, bem como grãos com características distintas.

Um outro aspecto a ser considerado é o ambiental, uma vez que ao se considerar também a possibilidade de retorno destes filtros, pela sua regeneração, haveria uma redução no descarte destes materiais, como, ou, de outro modo, seria possível reclassificá-los da categoria I (resíduo perigoso) para categoria II (resíduo não perigoso), após a retirada do solvente.

Numa rápida abordagem, se considerarmos a utilização de um volume de 10.000 unidades de filtros químicos, do modelo utilizado nos ensaios, seria evitado o descarte ao meio ambiente dos seus componentes, nas quantidades ilustradas no Quadro 2.

Quadro 2. Massas dos componentes do cartucho, estimados para 10.000 unidades.

Componente	Massa (gramas)
GAC	899,91
Solvente (Condensado)	99,16
Alumínio	384,10
Polietileno	17,90

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Considerações Finais

Estabeleceu-se um arranjo experimental para o desenvolvimento de um método de ensaio para adsorção e dessorção de compostos orgânicos voláteis a partir do CAG, que pode ser usado como um indicador de qualidade.

A capacidade de adsorção de vapores orgânicos pelo CAG do filtro químico, aqui denominado de Ca foi em média de $Ca_m = 110,2 \pm 0,1 \text{ mg.g}^{-1}$ para o uso do tolueno como adsorbato

Este indicador poderá ser utilizado pelos fabricantes de EPRs, para o controle de qualidade, pois permitirá a comparação entre lotes de CAGs com diversos tipos de matérias-primas empregadas, formatos e dimensões.

Referências

ABNT (2017): Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12.543: Equipamentos de Proteção Respiratória- Terminologia*. Rio de Janeiro: ABNT.

Atkins, P. W. (1986). *Físico Química*. (3a ed.), Version em espanhol de Bárbara Loeb Luschow (Universidade Católica de Chile) y Miguel Angel Rios Fernandez (Universidad de Santiago de Compostela, España). Addison-Wesley Iberoamericana S. A, Wilmington, Delaware, EUA..

ANP (2001). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico Brasileiro Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis*. Rio de Janeiro: ANP.

ATSDR (2004). U.S. Department of Health and Human Services. Interaction profile for: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX). Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

Breviglieri, E., Possebon, J. & Spinelli, R. (2006). *Higiene Ocupacional. Agentes Biológicos, Químicos e Físicos*. SENAC. 320p.

Brinques, G. B (2005). *Adsorção de Tolueno de Solução Aquosa em Leito de Carvão Ativado em Planta Piloto*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia.

Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.
Dissertação de Mestrado. Porto Alegre.

CCC (2017). Calgon Carbon Corporation. *Ganular Activated Carbon for Respirators*. Recuperado de <http://www.calgoncarbon.com/media/press-releases/2017-06-11/calgon-carbon-announces-third-quarter-2017-results/>.

Faulconer, E. K. (2012). *Effects of activated carbon surface chemistry modification on the adsorption of mercury from aqueous solution*. University of Florida.

Fogler, H. S. (1998). *Elements of Chemical Reaction Engineering*. (3a ed.), Prentice- Hall.

László, K., podloscielny, P., & Dabrowski, A. (2005). Heterogeneity of activated carbons with diferente surface chemistry in adsorption of phenol from aqueous solutions. *Applied Surface Science*.252, 5752-5762.

Lilo-Ródenas, M. A., Fletcher, A. J., Thomas, K. M., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2006). Competitive adsorption of benzene-toluene mixture on actvated carbons at low concentration. *Carbon*. 44(1), 455-1463.

Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book].Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Ruthven, D. M. (1984). Principles of Adsorption and Adsorption Processes. *John Wiley Sons, Inc.*, Canada.

Torloni, M., & Vieira, A. V.(2003) *Manual de Proteção Respiratória*. (2a ed.), São Paulo: Editora Abho.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Silvia Pierre Irazusta – 35%

Cleber Corrêa Vieira – 35%

Francisco Tadeu Degaspero – 15%

Fabício José Piacente – 15%