

AVALIAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E DE SÍLICA COMO ADSORVENTES PARA AMOSTRAS COM CORANTES E COM SÓDIO

Michele Fangmeier¹, Lucélia Hoehne²

Resumo: Devido ao crescimento das indústrias, houve a geração de efluentes que nem sempre são fáceis de tratar. Dessa forma, há a necessidade de desenvolver alternativas para tratamento de resíduos em que a indústria possa desenvolver e minimizar os danos causados por seus efluentes. Por isso, este trabalho teve por objetivo, avaliar tratamentos de amostras contendo corante e sódio por meios filtrantes de areia e de carvão ativado e avaliou-se características físico-químicas como pH, concentração de Na, K, Li e Ca, turbidez e condutividade. As análises foram feitas através de equipamentos adequados e foram avaliados diferentes tipos de tratamentos. Para amostras contendo corantes, o uso do carvão ativado foi mais eficiente e para amostras contendo metais, o uso da sílica foi mais adequado. Testes adicionais ainda serão feitos.

Palavras-chave: Carvão. Areia. Tratamento de efluente.

1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento industrial e o surgimento de novas tecnologias nas últimas décadas trouxeram muitos benefícios ao ser humano, porém também trouxeram muita poluição sob forma de efluente.

Por meio de uma revisão bibliográfica sobre o assunto, pode-se perceber que um dos problemas dos efluentes está relacionado ao parâmetro de cor, principalmente em efluentes oriundos de indústrias têxteis. Os corantes apresentam grande diversidade estrutural que provém de diferentes grupos orgânicos e diferentes tecnologias de aplicação.

A presença de corantes nos efluentes é facilmente visualizada, ou seja, afeta a estética, a transparência da água e a solubilidade de gases nos corpos receptores, e reduz a capacidade de reaeração dos corpos hídricos em função da redução da penetração de luz solar e consequente alteração dos processos de fotossíntese (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Isso leva à busca de um método eficaz e de custo baixo para eliminar corantes de águas residuais. A adsorção apresenta-se como um método alternativo no tratamento de efluentes contendo corantes, pois faz uso de materiais adsorventes de baixo custo, como o carvão ativado. O carvão ativado é um adsorvente que apresenta características adequadas para a implementação em escala industrial, pois possui alta capacidade de adsorção, baixa reatividade térmica, resistência a grandes variações de pH no meio, baixa relação custo-benefício e abundância, além da possibilidade de regeneração do adsorvente e recuperação do contaminante para a reutilização de ambos (BARROS, 2001).

1 Graduada de Química Industrial - Univates.

2 Graduação em Química Industrial e Mestrado e Doutorado em Química - Univates. luceliah@univates.br

Logo, este trabalho tem por objetivo estudar o processo de adsorção de uma amostra contendo corante alimentício amarelo e uma concentração conhecida de Na, utilizando carvão ativado e sílica como adsorvente, visando a observar os parâmetros de condutividade, concentração de metais, turbidez e pH e avaliar o processo de filtração mais adequado para essa amostra.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Adsorção

A adsorção é um fenômeno físico-químico onde o componente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são chamados adsorvatos, enquanto que a fase sólida que retém o adsorvato é chamada adsorvente. A remoção das moléculas a partir da superfície é chamada dessorção (MASEL, 1996). A migração destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Usualmente o adsorvente é composto de partículas que são empacotadas em um leito fixo por onde passa a fase fluida continuamente até que não haja mais transferência de massa. Como o adsorvato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior for esta superfície, maior será a eficiência da adsorção. Por isso geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA, 2006).

Segundo Letterman (1999), a adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química: $A + B \Rightarrow A.B$ onde A é o adsorvato, B é o adsorvente e A.B é o composto adsorvido.

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície do adsorvente pela ação de diversos tipos de forças químicas como: Ligações de Hidrogênio, Interações Dipolo-Dipolo e Forças de London ou Van der Waals.

Quando as moléculas de adsorvato presentes na fase fluída atingem a superfície do adsorvente, a força residual, resultante do desequilíbrio das forças de Van der Waals que agem na superfície da fase sólida, criam um campo de forças que atrai e aprisiona a molécula. O tempo que a molécula de adsorvato fica ligada à superfície do adsorvente depende diretamente da energia com que a molécula é segura, ou seja, é uma relação entre as forças exercidas pela superfície sobre essas moléculas e as forças de campo das outras moléculas vizinhas (HOMEM, 2001).

Existem basicamente dois tipos de adsorção: a adsorção física ou fisiossorção e a adsorção química ou quimissorção. No entanto, em certas ocasiões os dois tipos podem ocorrer simultaneamente (CHEREMISINOFF; ELLERBUSCH, 1978).

A adsorção física ocorre por uma diferença de energia e/ou forças de atração, chamadas forças de Van der Waals, que tornam as moléculas fisicamente presas ao carvão, por exemplo. Essas interações têm um longo alcance, porém são fracas. A energia produzida quando uma partícula é fisicamente adsorvida é da mesma ordem da entalpia de condensação. Esse tipo de adsorção é sempre exotérmica e reversível. O equilíbrio é estabelecido rapidamente, a menos que ocorra a difusão através da estrutura porosa. A fisiossorção corresponde a uma interação de natureza puramente eletrostática entre a partícula e os átomos superficiais do sólido. Origina-se pela atração entre dipolos permanentes ou induzidos, sem alteração dos orbitais atômicos ou moleculares das espécies comprometidas. Recebe também o nome de adsorção de Van der Waals (DROGUETT, 1983).

Entretanto, a quimissorção, corresponde a uma interação de tipo químico, na qual os elétrons de enlace entre as moléculas e o sólido experimentam reordenamento e os orbitais respectivos mudam de forma, de modo similar a uma reação química. Mas nem sempre a alteração eletrônica

é completa no sentido dos enlaces químicos comuns, covalentes ou iônicos; pode ocorrer somente uma modificação ou deformação parcial dos orbitais (DROGUETT, 1983).

2.2 Tratamento de Efluentes

O carvão ativado é muito utilizado em tratamento de água, tendo um papel fundamental na purificação, para fins de potáveis ou industriais. Ele elimina cor, odor, mau gosto e substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção. O carvão ativado pode atuar como barreira de bactérias e vírus, sendo muito utilizado como pré-tratamento da água utilizada em indústrias.

No tratamento do ar, o carvão ativado é muito utilizado para adsorver contaminantes nocivos do ar, removendo produtos indesejáveis por meio de aparatos operacionais, como filtros industriais. Um exemplo é o ar comprimido, que também é purificado dessa maneira.

Sua principal característica, e que o define, é a grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, formada por milhares de poros, classificados em micro, médio e macroporos. Essa área superficial varia normalmente de 500 a 1200 m²/g. Devido a essas características, a aplicação de carvão ativado no tratamento de efluentes industriais tem sido uma prática adotada por algumas indústrias.

Experiências com carvão ativado em lodos ativados datam da década de setenta.

Scaramell (1973) relata a utilização de carvão ativado, juntamente com o lodo ativado, na otimização de uma estação de tratamento de esgoto sanitário. Os resultados mostraram-se animadores e motivaram uma série de novas pesquisas.

Leipzig (1980) testou um sistema de carvão ativado-lodo ativado para a realização da nitrificação em efluentes industriais com algumas substâncias que poderia provocar efeitos simbióticos muito negativos à nitrificação. Nos testes relatados por Leipzig, foi verificada uma eficiência maior que 95% para as reações de nitrificação. A utilização de carvão ativado, segundo Leipzig (1980), favorece a nitrificação e conseqüentemente a desnitrificação.

Froehlich (1987) coloca que em sistemas contendo carvão ativado-lodo ativado, o carvão ativado é responsável pela sorção de substâncias como metais pesados AOX, VOX, sulfetos, amônia, etc. Esses compostos podem ser inibidores dos processos de nitrificação e desnitrificação, e é exatamente essa capacidade de sorção do carvão junto ao lodo ativado que favorece a nitrificação. Essas substâncias são removidas pelo carvão por meio de três processos: a Sorção, Bioatividade e Bioregeneração.

A Sorção, descrita por Perry e Chilton (1980), é o processo no qual certas substâncias são fixadas nos microporos, devido a uma série de forças e interações específicas entre o carvão e essas superfícies. A sorção aumenta a área disponível para fixação dos micro-organismos.

A Bioatividade é a capacidade que a matéria viva tem de se fixar nos macroporos existentes no carvão aumentando a quantidade de micro-organismos e o contato entre micro-organismos e substrato.

A Biorregeneração, segundo Froehlich (1987), é a capacidade que a biomassa fixada nos macroporos tem de regenerar os microporos liberando os sítios de troca do carvão ativo para novas substâncias a serem sorvidas.

Kuhn et al. (2003) utilizaram carvão ativado em uma planta semi-industrial tipo aeração prolongada buscando a remoção biológica de nitrogênio em efluentes de curtume. Nos testes realizados foi observado que a adição do carvão ativado potencializou a remoção de nitrogênio, assim como a remoção de demanda química de oxigênio (DQO).

Costa (2003) testou a aplicação de carvão em lodo ativado com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema e torná-lo mais resistente a cargas de choque. O teste conduzido utilizou 2,0g/L no reator biológico de um produto comercial com 80% de carvão ativado.

O processo mostrou-se eficiente na redução de Nitrogênio Amoniacal apresentando remoção superior a 90% conseguindo reduzir o teor desse poluente aos parâmetros exigidos na legislação (5mg/L). Também foi verificado um aumento na remoção de fósforo em relação aos processos convencionais.

Uma das vantagens observadas com o uso do carvão foi a melhora na qualidade do lodo que se mostrou menos sensível a compostos tóxicos presentes no efluente testado sugerindo que o carvão auxiliou na remoção de compostos tóxicos.

2.3 Carvão Ativado

2.3.1 Características do carvão ativado

O carvão ativado é uma forma de carbono puro de grande porosidade, apresenta notáveis propriedades atribuídas à sua área superficial, entre elas, a remoção de impurezas dissolvidas em solução. Pode ser empregado em pó ou granulado, conforme a utilização. Ele é obtido a partir da queima controlada de certos tipos de madeiras. A queima é feita a uma temperatura entre 800°C e 1000°C. Todo esse cuidado é para evitar que ocorra a queima total e perda da porosidade do carvão.

O carvão ativado tem a capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos e impurezas no interior dos seus poros, sendo por isso vastamente utilizado em sistemas de filtragem. Porém, é importante ressaltar que o potencial do carvão é limitado. Um filtro de carvão ativado deixa de ser eficiente se todos os poros de sua estrutura estiverem preenchidos. A área de aderência comprometida faz com que as impurezas não se fixem ao carvão (ALVES, 2012).

2.3.2. Produção de carvão ativado

Os carvões microporosos possuem largas aplicações por meio de sua reconhecida produção mundial de aproximadamente 400.000 ton/ano (RODRÍGUEZ-REINOSO; SABIO-MOLINA, 1998).

O carvão ativado é utilizado como adsorvente, catalisador ou suporte de catalisador. Na área de tratamento de efluentes é usado na adsorção em fase líquida, por exemplo, na adsorção de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade (LETTERMAN, 1999).

Qualquer material com alto teor de carbono, denominado de agente precursor pode ser transformado em carvão ativado, por exemplo, cascas de coco, carvões minerais (antracita, betuminosos, linhito), turfas, madeiras, resíduos de petróleo. Atualmente são utilizados como agentes precursores, os caroços e cascas de oliva, cereja, damasco, pêssego, azeitonas e ossos de animais. Em torno de 1/3 da produção mundial de carvão ativado é de origem vegetal, sendo esta proporção muito maior nos Estados Unidos da América e na Europa (CLAUDINO, 2003).

No Brasil, predominantemente, empregam-se madeira, carvão betuminoso e sub-betuminoso, osso e casca de coco. Uma vez preparada a granulometria desejada, a produção envolve, basicamente, a carbonização e ativação (ou oxidação) para desenvolvimento dos vazios internos. A carbonização ou pirólise é usualmente feita na ausência de ar, em temperaturas compreendidas entre 500 – 800°C, enquanto a ativação é realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900°C (DI BERNARDO, 2005).

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982), os poros podem ser classificados em função do diâmetro:

- Macroporos: maior que 50 nm
- Mesoporos: entre 2 e 50 nm
- Microporos secundários: entre 0,8 e 2 nm
- Microporos primários: menor que 0,8 nm

2.3.3 Características adsorptivas do carvão ativado

A aplicação industrial dos materiais carbonosos porosos se baseia principalmente em suas propriedades texturais e em sua natureza química, portanto, a caracterização desses materiais é de grande importância (RODRIGUEZ-REINOSO; MOLINA-SABIO, 1998).

As propriedades texturais dos carvões ativados se fundamentam em duas características importantes que são: tamanho de poro e a área superficial (IUPAC, 1982; LETTERMAN, 1999).

As propriedades do carvão ativado dependem das estruturas porosas e dos grupos químicos presentes em sua superfície. As propriedades físicas da superfície são descritas pela área superficial específica e porosidade, enquanto que as propriedades químicas dependem da presença ou ausência de grupos ácidos ou básicos sobre sua superfície (MORENO-CASTILLA, 2004).

O carvão ativado é considerado um trocador iônico natural (HELFFRICH, 1962), sendo esta propriedade enriquecida pela ativação química. A superfície de carvão tem tanto cargas negativas (aniônicas) como cargas positivas (catiônicas) para atrair íons livres em solução ou suspensão. O tratamento de carvão com uma base incrementará a capacidade do carvão para a troca com ânions, e a acidificação das superfícies dá ao carvão um poder de trocador catiônico (JANKOWSKA et al., 1991).

2.4 Sílica (areia)

O termo sílica refere-se aos compostos de dióxido de silício, SiO_2 , nas suas várias formas incluindo sílicas cristalinas, sílicas vítreas e sílicas amorfas. O dióxido de silício é o composto binário de oxigênio e silício mais comum, sendo inclusive composto dos dois elementos mais abundantes na crosta da Terra. A sílica e seus compostos constituem cerca de 60% em peso de toda a crosta terrestre.

Os depósitos de sílica são encontrados universalmente e são provenientes de várias eras geológicas. A maioria dos depósitos de sílica que são minerados para obtenção das "areias de sílica" consistem de quartzo livre, quartzitos, e depósitos sedimentares como os arenitos. Comercialmente, a sílica é fonte do elemento silício e é usada em grande quantidade como um constituinte de materiais de construção. Na sua forma amorfa é utilizada como dessecante, adsorvente, carga e componente catalisador.

Na sua forma vítrea é muito utilizada na indústria de vidro e como componentes ópticos. Sílica é um material básico na indústria de vidro, cerâmicas e refratários, e é uma importante matéria-prima na produção de silicatos solúveis, silício e seus derivados carvão de silício e silicones (IARC, 1997).

O silício forma estruturas orientadas tetraedricamente, constituindo um quinto, em peso, da composição da face terrestre, sendo o segundo elemento mais abundante, excedido apenas pelo oxigênio. Os minerais cuja composição química contém unicamente silício como cátion, SiO_2 , denominam-se genericamente por sílica (BARBA, 1997).

Segundo Santos (1989), em todos os silicatos, os átomos de silício estão com número de coordenação 4 com o oxigênio e, cada um fica no centro de um tetraedro com os 4 oxigênios nos vértices. As ligações Si-O são covalentes, mas a estrutura dos silicatos apresenta um caráter antes

iônico que covalente. Na forma ácida, as longas cadeias $(\text{SiO}_3)_2^-$ transformam as soluções dos sais de sódio ou hidrogênio em líquidos viscosos até a formação de géis (sílica-gel).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A solução testada (1000 mL de água destilada) foi feita sinteticamente com a adição de NaCl, com a concentração de 20 mg/L de Na e uma concentração de 5 mg/L de corante alimentício amarelo.

Com intuito de testar a adsorção dos compostos carvão ativado e sílica, submeteu-se a amostra a três diferentes filtrações com 2 g de carvão ativado, e a três diferentes filtrações com 2 g de sílica (areia). Foi necessário o uso de uma balança analítica (Bel, Classe I) para as pesagens dos reagentes. Após, realizou-se análises da solução resultante, sendo estas: condutividade (através de um condutivímetro, Digimed, DM-32), concentração de sódio por fotometria de chama (através de um fotômetro de chama (Digimed, DM-62), turbidez (através de um turbidímetro Digimed, DM-TU), pH (com o auxílio de um pHmetro, Digimed, DM-22) e análise visual.

Para a caracterização físico-química da amostra sem nenhum tratamento, coletou-se, em um Becker de 200 mL, 100 mL da solução e avaliou-se quanto as análise anteriormente citadas.

Para avaliar a eficácia do carvão ativado quanto à adsorção da cor do corante e do sódio da amostra, foram utilizados três tipos de testes.

Um filtro foi feito em um funil de separação contendo algodão e 2 g de carvão ativado. Transferiu-se 100 mL da amostra para o sistema. Coletou-se a solução resultante em um Becker de 200 mL. Analisou-se a solução após completa filtração (prática 1).

Um segundo tipo de filtro foi feito em um funil de separação, com o intuito de controlar a vazão da amostra e aumentar o tempo de contato com o material adsorvente (prática 2).

Uma terceira avaliação foi feita pesando, com auxílio de uma balança analítica, 2 g de carvão ativado. Transferiu-se a massa para um Becker de 200 mL contendo 100 mL da solução original. Agitou-se a solução, com auxílio de um agitador magnético, por 5 minutos. Transferiu-se a solução para um funil de vidro previamente preparado com um papel filtro. Coletou-se a solução resultante em um novo Becker de 200 mL. Analisou-se a solução após completa filtração (prática 3).

Os mesmos três métodos de filtração foram feitos substituindo o carvão ativado pela sílica e avaliou-se a eficácia deste adsorvente em relação à mesma amostra contendo corante e sódio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os testes feitos com os filtros de carvão e de sílica as amostras foram submetidas às análises físico-químicas. Os resultados dos filtros com o uso do carvão estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados com o uso de Carvão Ativado

Análises	Prática 1	Prática 2
Condutividade, μS	13,03	550,2
Concentração de Na, mg/L	2,2	7,0
Concentração de Li, mg/L	0,0	0,0
Concentração de K, mg/L	0,1	107,5
Concentração de Ca, mg/L	0,0	1,9
Turbidez, NTU	0,07	5,53
pH	7,45	6,59

Da mesma maneira, foram feitos testes com filtro de areia e o efluente foi avaliado quanto aos parâmetros físico-químicos. Os resultados estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados com o uso de Sílica (areia)

Análises	Prática 1	Prática 2
Condutividade, μS	160,0	637,9
Concentração de Na, mg/L	2,2	2,7
Concentração de Li, mg/L	0,0	0,3
Concentração de K, mg/L	0,0	0,3
Concentração de Ca, mg/L	0,0	0,8
Turbidez, NTU	1,8	1,49
pH	7,11	7,10

Observou-se nos resultados da Tabela 1, em que foram usados filtros de carvão, que a condutividade aumentou após filtrações, se comparada à solução original. Pode-se relacionar este resultado ao aumento das concentrações de metais após filtração. Logo, deduz-se que durante a filtração a solução foi contaminada por metais, ou seja, o carvão ativado utilizado nas filtrações estava contaminado por metais que foram carregados pela solução com corante.

A turbidez da solução também aumentou, ou seja, resultado oposto ao que se esperava encontrar. Este fato pode ser justificado por dois motivos. Primeiramente pelo turbidímetro que não estava aferido ou talvez pela porosidade do carvão ativado, que pode ter sido carregado pela solução através dos filtros.

O pH manteve-se constante, pois o carvão ativado não altera a acidez ou alcalinidade da solução.

Na análise visual pode-se perceber que, mesmo muito fraca, a coloração do corante permaneceu nas soluções após os diferentes tipos de filtração. Logo, conclui-se que filtros à base de carvão ativado não são uma boa opção para soluções compostas por corante alimentício.

Na Tabela 2, contendo os resultados com filtro de sílica, observou-se que a condutividade, turbidez e concentração de metais teve oscilações nos resultados, mas de modo geral estes índices aumentaram. O resultado obtido não condiz com o esperado, o que levou à conclusão de que a areia utilizada estava contaminada. Um dos inconvenientes de utilizar areia em filtrações é a sua contaminação, sendo necessário lavá-la várias vezes para retirar as impurezas.

Porém, devido a sua granulometria ser maior do que a do carvão ativado, sua eficiência foi maior em relação à turbidez da amostra. A areia foi uma boa opção para filtrações de soluções inorgânicas, pois sua composição também é inorgânica. Isto explica a melhor eficiência das filtrações com areia da solução com corante amarelo (caráter inorgânico), se comparado às filtrações com carvão ativado.

5 CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas nas soluções resultantes das filtrações, com carvão ativado e sílica, pode-se concluir que a escolha da forma de tratamento de determinada solução, deve ser feita baseada em testes e estudos. Inicialmente deve-se conhecer a solução/efluente a ser tratada(o), ou seja, sua composição, caráter, concentrações. Baseando-se nesses dados pode-se optar com segurança por um tratamento que seja capaz de eliminar os contaminantes indesejados dessa solução.

Neste estudo, o carvão ativado não foi tão eficiente, uma vez que poderia estar contaminado com metais. Da mesma maneira a areia também pode ter presença de metais, uma vez que nos dois filtros a condutividade aumentou. Mas entre os dois filtros, o uso da sílica foi relativamente mais adequado para este tipo de amostra. Dessa forma, testes posteriores devem ser feitos, descontaminando os filtros e avaliar sua eficiência novamente, bem como fazer um filtro duplo, contendo os dois adsorventes.

REFERÊNCIAS

ALVES, Líria. **Equipe Brasil Escola**. Disponível em: <www.brasilecola.com/quimica/carvao-ativado.htm+carv%C3%A3o+ativado&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 17 jul. 2012.

BARBA, A.; BELTRÁN, V.; FELIU, C.; Matérias-primas para la Fabrication de Suportes de Baldosas Ceramicas. **Castellón**: Instituto de Tecnologia Cerámica – AICE, Cap III e IV, p. 291, 1997.

BARBA JUNIOR, D. J.; WEINGAERTNER, W. L. **Desenvolvimento de tecnologia de fabricação de limas Hedstroem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 120 f, 1997.

BARROS, A. R. B., **Remoção de Íons Metálicos em Água Utilizando Diversos Adsorventes**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2001.

BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2006.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. FL. 2003.

CLASS, Isabel Cristina. Uso de carvão ativado na otimização de sistemas de lodo ativado. **Lodos Ativados: Princípios Teóricos Fundamentais, Operação e Controle**, p. 120-122. Porto Alegre-RS, 2007

CHEREMISINOFF, P. N.; ELLERBUSCH, F. Carbon Adsorption Handbook. **Ann Arbor Science**, 1. ed., 1978.

COSTA, C. Flávia et al. Tratamento do efluente de uma industria química pelo processo de lodos ativados convencionais e combinado com carvão ativado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 274-284. out/dez 2003.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. ABES, 2005.

DROGUETT, S. **Elementos de Catalisis Heterogenea, Serie de Química**. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Monografía No. 26. 1983.

DIDAI TECNOLOGIA. Disponível em: <www.e-didai.com.br/silica-gel-carv-o-ativado-tyvek.html>. Acesso em: 10 jul. 2012.

FROEHLICH, Silvani. **Carvão ativado no tratamento biológico de efluentes da indústria de celulose e papel**, Dissertação de Mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 1987.

GUARATINI, C. C. T.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, p. 71-78. 2000.

HOMEM, E. **Remoção de chumbo, níquel e zinco em zeólita utilizando sistema de leito fluidizado**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2001.

IARC, Lyon. **Monographs**. v. 68, p. 44, 1997.

IUPAC: **União Internacional de Química Pura e Aplicada**. Reporting Physisoption data for gás/solid systems, v. 54, p. 2201-2218, 1982.

KUHN, J. R. et al. Proc. SPIE, 4853, 318, 2003.

KUHN, J. R.; PENN, M. J.; MANN, I. ApJ, 456, L67 (KPM). 1996.

KUHN, J. R., et al. in IAU Symp. 154, Infrared solar physics, ed. D. M. Rabin, J. T. Jefferies, & C. Lindsey (Dordrecht: Kluwer), 185. 1994.

LEIPZING, Neil A. Effectiveness of the powered activated carbon/activated sludge system in removing ammonia from the organic chemical production wastewater. In: **Anais Industrial Waste Water Conference**, 35. Purdue University, 1980.

LETTERMAN, R.D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, 1999. 1 v.

MASEL, R. **Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces**. Wiley Series in Chemical Engineering. 1996.

PERRY, R.H. E CHILTON, C.H. **Chemical Engineers' Handbook Mc Graw Hill**. Nova York, 1980.

RODRIGUEZ-REINOSO, F; MOLINA-SABIO, M. Textural and chemical characterization of microporous carbons. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 76-77, p. 271-294, 1998.

SANTOS, A. M. A. Determinação Quantitativa de Sílica Livre Cristalizada por Difração de Raios X. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, 65, v. 17, p. 55-59, 1989.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgar Blücher, 2 ed, vol 1, p 38-40, 1989.