UTILIZAÇÃO DE CINZA DA CASCA DE ARROZ COMO MATERIAL SORVENTE PARA A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E TURBIDEZ DE EFLUENTE DO PROCESSO DE PARBOILIZAÇÃO DO ARROZ

USE OF RICE SHELL ASH AS SORBENT MATERIAL FOR REMOVAL OF ORGANIC MATTER AND TURBIDITY OF EFFLUENT FROM THE RICE PARABOILYNG PROCESS

BERWANGER FILHO, Jorge Augusto¹; WILBERG, Katia de Quadros²; PROCHNOW, Tania Renata³

Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, 1 Bacharel em Engenharia Ambiental, 2 Curso de Engenharia Ambiental, 3 Curso de Química e Curso de Engenharia Ambiental.
Av. Farroupilha, 8001, B. São José, CEP 92420-280, Canoas – RS, Brasil
e-mail: katiawilberg@yahoo.com.br, taniapro@terra.com.br

Received 10 August 2009; received in revised form 03 November 2009; accepted 02 May 2010

RESUMO

A estimativa da produção de arroz no Brasil, na safra de 2008/2009, foi de 12.149,35 mil t, sendo o Rio Grande do Sul (RS) responsável por 61,34% deste valor. A casca de arroz geralmente é queimada para produção de energia, gerando como resíduo a cinza da casca de arroz (CCA). A CCA representa, em média, 4% da massa do grão. Portanto, para o RS estima-se a geração de 298,1 mil t de CCA neste período. Tentativas de reaproveitamento deste resíduo enfrentam dificuldades devido às propriedades inerentes da CCA. Ensaio de sorção em escala de bancada foram realizados para verificar a eficiência do uso da CCA na remoção de matéria orgânica (MO) e turbidez do efluente do processo de parboilização do arroz. A estratégia de reaproveitamento de um resíduo de processo, para tratar o efluente do próprio processo produtivo, visa diminuir os custos com a gestão de resíduos, além de contribuir com o meio ambiente de forma sustentável. A eficiência de sorção da CCA como material sorvente alternativo alcançou valores de 78% de remoção de MO e 99% de remoção de turbidez.

Palavras-chave: : Cinza da casca de arroz, Efluente de parboilização do arroz, Matéria orgânica, Sorção.

ABSTRACT

The estimate rice productivity in Brazil for the 2008/2009 season, is 12,149.35 thousand tons of grains, being Rio Grande do Sul (RS) state responsible for 61.34% of national production. The rice shell is usually burned for energy production, generating rice shell ash (CCA) as solid residue. CCA represents an average of 4% of the grain mass. In this way, RS state presents an estimated generation of 298.1 thousand tons of CCA in this period. Attempts to reuse this waste are constantly facing difficulties due to inherent CCA properties. This work aims to perform sorption bench tests to verify the possibility of using CCA to treat the effluent of the parboiled process. Tests efficiencies were expressed in terms of organic matter and turbidity removal. The use of a solid residue of the end of the process to treat the effluent of the very process is a strategy to minimize costs for waste management and contribute to the environment in a sustainable way. The sorption efficiency of CCA as an alternative sorbent material reached 78% of organic matter removal and 99% of turbidity removal.

Keywords: Organic matter, Parboiling effluent, Rice shell ash, Sorption

Introdução

No decorrer das últimas décadas houve uma intensificação do uso irracional dos recursos naturais, devido ao modelo de industrialização e do desenvolvimento urbano adotados pela sociedade contemporânea. A utilização desenfreada desses recursos causou fenômenos de desequilíbrio ecológico que, se não forem remediados, ameaçam a vida planetária.

Capra (1982) afirma que é preciso uma mudança radical de valores, de nossas percepções e em nosso pensamento, onde se deve levar em conta a visão da interdependência de todos os seres, ou seja, considerar a dinâmica das relações. Logo, a busca pela sustentabilidade ambiental necessita de uma visão holística e sistêmica.

Na sustentabilidade pressupõe-se que, não somente o uso correto e eficiente da matéria-prima, mas também o controle e a gestão dos resíduos devem ser considerados, uma vez que esses resíduos, dependendo do seu grau poluidor, poderão ser impactantes ao meio ambiente.

Hoje em dia, os órgãos estaduais de meio ambiente já estabelecem medidas mais restritivas do que as do Ministério de Meio Ambiente. No Rio Grande do Sul (RS), por exemplo, foi incorporada à legislação, por meio do Decreto Estadual 38.356 de 01 de abril de 1998, artigo 8º, a responsabilidade da fonte geradora em relação ao sistema de gerenciamento de seus resíduos (RIO GRANDE DO SUL, 1998).

A destinação correta de resíduos deve não somente estar entrelaçada com fatores ambientais, mas também com fatores econômicos e sociais da região. O reaproveitamento e a reciclagem devem, sempre que possível, ser uma alternativa a se levar em conta.

O primeiro levantamento sobre a safra de grãos realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2008), apontou uma estimativa da produção de arroz no Brasil de 12.149,35 mil t de grãos de arroz para a safra de 2008/2009. O Rio Grande do Sul (RS) contribui com 61,34% (7.452,45 mil t) da produção nacional.

Amato *et al* (2002) descreve que a cinza da casca de arroz (CCA) representa cerca de 4% da massa do grão e é composta basicamente por

sílica. Considerando a produção estimada para a safra de 2008/2009, a CCA representa um valor de 485,97 mil t no Brasil e 298,1 mil t no RS.

Para a produção industrial do arroz parboilizado, os principais insumos são os grãos de arroz, a água, a energia elétrica e a energia térmica. As três etapas básicas que caracterizam o processo são o encharcamento dos grãos, a gelatinização do amido e a secagem dos grãos.

No encharcamento, os nutrientes presentes na película e no germe se solubilizam em direção ao interior. O arroz, ainda com a casca, previamente selecionado e lavado, é colocado em tanques. O encharcamento pode ser a quente ou a frio, mas por razões técnicas (operacionais e de higiene) é feito atualmente com água quente. Essa etapa tem como meta conferir 30-32% de umidade no centro do grão, com o máximo de uniformidade e maior rapidez (AMATO *et al*, 2002).

A gelatinização do amido é a responsável pela fixação de vitaminas no centro do grão. A gelatinização promove o efeito positivo da pasteurização, eliminando microrganismos e inativando enzimas. É nessa etapa que o grão sofre modificações quanto às suas dimensões, facilitando o descascamento posterior. Após esta etapa, os grãos de arroz são secos para posterior descascamento, polimento e seleção.

A etapa de descascamento do arroz gera um resíduo sólido representado pela casca do grão. Este resíduo apresenta elevado poder calorífico, de aproximadamente 16.720 kJ/kg, o que corresponde a 50% da capacidade térmica de um carvão betuminoso de boa qualidade e cerca de 33% da capacidade do petróleo (GUTIERREZ apud DELLA *et al*, 2001).

A combustão da casca de arroz, em uma caldeira industrial para a geração de energia, pode resultar na emissão de material particulado para a atmosfera em instalações dotadas de controle ineficiente de emissões. Todavia, esta estratégia além de prover energia para o processo, beneficia a redução do volume de casca de arroz a ser disposto no meio ambiente.

A CCA resultante da queima da casca de arroz é composta praticamente por sílica e carbono residual e representa, em média, 20% do volume da casca.

O carbono residual, proveniente da queima incompleta da casca de arroz, é facilmente identificado através da coloração da

CCA. Houston (1972) classificou a cor da CCA em função da quantidade de carbono presente. A CCA de coloração preta apresenta alta concentração de carbono, a de coloração cinza claro, baixa concentração de carbono e a de coloração branca ou levemente rosada, é classificada como isenta de carbono.

Atualmente, com tecnologias mais avançadas, como a combustão fluidizada, é possível assegurar a conversão quase completa, pela relação favorável combustível-comburente proporcionada pelo processo (AMATO *et al*, 2002).

Tanto a casca de arroz como a CCA são comumente depositadas a céu aberto, em beiras de estradas e margens de rios. As tentativas de uso destes dois resíduos enfrentam constantes dificuldades devido às propriedades inerentes, tais como dureza, natureza abrasiva, difícil degradabilidade, grande volume e elevada concentração residual de carbono e dióxido de silício (sílica). Porém, pesquisas desenvolvidas com base nestes resíduos comprovam a viabilidade de sua utilização em várias áreas (DELLA *et al*, 2001).

Alternativas para utilização da CCA já começam a aparecer em estudos no meio acadêmico. Della *et al* (2001) relatam que a CCA resultante do processo de parboilização possui baixo poder como fertilizante e pode ser utilizada como componente principal de massas cerâmicas para a produção de refratários silicosos ácidos, na aeração do solo e em materiais de construção.

Tem-se, também, alternativas de utilização da CCA para a obtenção de diferentes tipos de silicatos, produção de carbetos de silício (SiC), produção de sílica pura (SiO₂), para aplicação em compostos de borracha, zeolitas, entre outros.

Com relação à questão da poluição das águas, Amato *et al* (2002) afirma que a operação unitária de encharcamento constitui a mais significativa quando se trata da questão de avaliar o impacto ambiental. O efluente do processo apresenta temperatura de cerca de 60°C, o que pode diminuir a concentração de oxigênio dissolvido de um manancial, caso este efluente seja lançado diretamente no corpo receptor. O mesmo autor relata, ainda, que a proporção de consumo de água no processo é de 1:1 em relação à massa de arroz a ser processada. Devido à lixiviação da matéria

orgânica do grão, o efluente apresenta alta carga orgânica e elevada concentração de sólidos suspensos. A indústria de arroz parboilizado gera efluentes com Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 2.000 a 4.500mg/L (ISOLDI e KOETZ, 1998).

Portanto, o processo de parboilização do arroz tem como principais resíduos a casca de arroz, a CCA e o efluente líquido com alta carga orgânica.

Parte Experimental

Procedência das amostras

As amostras de cinza da casca de arroz (CCA) e de efluente do processo de parboilização foram fornecidas por uma empresa localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre (RS).

Caracterização da amostra de CCA

A amostra de CCA foi caracterizada quanto à concentração de carbono conforme a tonalidade da sua coloração (HUSTON, 1972). Também foi caracterizada quanto à umidade conforme o procedimento descrito a seguir. Após a determinação da massa, a amostra foi submetida a uma temperatura de 60°C em estufa, por 24h. A seguir, a amostra foi aclimatada em dissecador e teve sua massa novamente determinada. A umidade foi calculada pela diferença entre a massa da amostra antes e após a secagem. O valor da umidade apresentado foi calculado através da média aritmética de determinações feitas em triplicata.

Caracterização da amostra de efluente

A amostra de efluente foi caracterizada tanto em relação à concentração de matéria orgânica (MO) quanto em relação à turbidez.

A concentração de MO foi determinada através da sua relação direta com a concentração de oxigênio (O₂) consumido pela amostra, numa reação de oxi-redução (DB, 1982).

O teste de oxidação da MO foi realizado pela adição de 10mL de solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1:3 e 10mL de solução de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,01N a 100mL de amostra do efluente. Após este procedimento, o conjunto foi submetido a digestão, em banho-maria, por 30min. A seguir,

foram adicionados 10mL de solução de ácido oxálico 0,01N, sob agitação. A solução resultante foi titulada com permanganato de potássio 0,01N até adquirir coloração levemente rósea. O consumo de O_2 (mg/L) foi calculado pela multiplicação do volume de solução de $KMnO_4$, empregado na titulação, por um fator igual a 0,8. A concentração de MO (mg/L) foi determinada pela multiplicação do consumo de O_2 (mg/L) por um fator igual a 3,95.

Para a determinação da turbidez da amostra de efluente foi utilizado em turbidímetro Polilab Modelo AP1000II.

Ensaio de sorção

Os ensaios de sorção em escala de bancada foram realizados tanto com a CCA em suspensão quanto em leito fixo.

Ensaio de sorção em suspensão

Para os ensaios de sorção com CCA em suspensão foram utilizadas diferentes concentrações de CCA conforme (Tabela 1).

Tabela 1 - Concentração de CCA utilizada nos ensaios de sorção em suspensão

Ensaio	CCA (g/L)
Branco	0
E1	7,7
E2	15,3
E3	22,9
E4	30,6
E5	38,3
E6	45,8
E7	53,6
E8	61,2
E9	68,9
E10	76,5

Cada amostra de CCA foi adicionada a 1L de efluente e a suspensão foi mantida com o auxílio de um agitador mecânico micro processador a 130rpm por 30 minutos. Ao final do ensaio, a CCA em suspensão foi decantada por 20 minutos e o sobrenadante foi submetido à filtração a vácuo utilizando papel de filtro comum.

Amostras de 500mL do filtrado foram

coletadas, armazenadas em frascos plásticos e mantidas sob refrigeração ao abrigo da luz para posterior verificação da eficiência de sorção.

Ensaio de sorção em leito fixo

Para estes ensaios foram utilizadas três colunas de policloreto de vinila (PVC), de 1m de altura e 10cm de diâmetro, com capacidade de 31,4L cada. As colunas foram seladas na porção inferior e providas de válvula plástica simples posicionada a 3cm da base inferior de cada coluna. A CCA foi suportada por um tecido fino e inerte (voal) acima da válvula.

As colunas foram preenchidas com diferentes massas de CCA (944g em C1, 539g em C2 e 272g em C3).

Em cada coluna foram adicionados 3L de água destilada enquanto as válvulas foram mantidas abertas durante um período de 24h. O volume de água percolado foi relacionado com o tempo de percolação nos primeiros 40min do procedimento para verificar a taxa de percolação no leito fixo. O restante da água percolado teve a função de promover a remoção de possíveis contaminantes da CCA.

Ao final deste procedimento, foram adicionados 5L de efluente a cada coluna. Amostras de 500mL do percolado, retiradas através das válvulas, foram coletadas, armazenadas em frascos plásticos e mantidas sob refrigeração ao abrigo da luz para posterior verificação da eficiência de sorção.

Eficiência de sorção

A eficiência de sorção foi determinada tanto em termos de remoção de MO quanto de turbidez, verificadas entre a amostra de efluente e as amostras resultantes dos ensaios.

Os valores de eficiência de sorção apresentados foram calculados através da média aritmética de determinações feitas em triplicata.

Resultados e Discussão

Caracterização da amostra de CCA

A CCA pode apresentar diferentes características químicas relativas à concentração de carbono, sílica e outras substâncias, dependendo do processo de combustão que as gerou. Em processos onde há queima

incompleta, a CCA possui maior concentração de carbono. A Figura 1 apresenta uma fotografia da amostra de CCA utilizada neste estudo.

Figura 1: Amostra de CCA

A coloração cinza escuro da CCA sugere que a amostra possui elevada concentração de carbono residual em sua composição (HOUSTON,1972). A umidade da amostra também foi determinada e resultou em um valor de 5,2%.

Caracterização da amostra de efluente

A concentração de matéria orgânica (MO) determinada para o efluente foi de 6.920mg/L enquanto que a turbidez foi de 130UNT. Como a concentração de MO é diretamente proporcional à DQO, é possível que a concentração determinada seja equivalente ao sugerido pela literatura em termos de DQO (ISOLDI e KOETZ, 1998).

Ensaio de sorção

A configuração física dos ensaios de sorção em bancada pode ser observada nas Figuras 2 e 3, com CCA em suspensão e em leito fixo, respectivamente. Ainda, pode-se visualizar, a aparência do efluente submetido aos ensaios.

Figura 2: Configuração física dos ensaios de sorção com CCA em suspensão e aparência do efluente

Figura 3: Configuração física dos ensaios de sorção com CCA em leito fixo e aparência do efluente

Ensaio de sorção em suspensão

Na [Figura 4](#) a concentração residual de MO de cada ensaio de sorção em suspensão foi relacionada com a respectiva concentração de CCA utilizada. Ainda, na [Figura 4](#), pode-se comparar a concentração inicial de MO do efluente com a residual de cada ensaio.

De acordo com a [Figura 4](#), pode-se

observar que o aumento na concentração de CCA foi inversamente proporcional à concentração residual de MO. Concentrações de CCA superiores a 45,8g/L (ensaios E6 a E10) não influenciaram significativamente na eficiência de remoção de MO.

Para o ensaio E10, realizado com 76,5g/L de CCA, a concentração de MO do efluente diminuiu de 6.920mg/L para 2.970 mg/L, o que representa uma eficiência de remoção de MO de 57%.

Na [Figura 5](#), a eficiência de remoção de MO foi relacionada com a concentração de CCA utilizada em cada ensaio de sorção em suspensão.

De acordo com a [Figura 5](#), o aumento da eficiência de remoção de MO foi proporcional à concentração de CCA utilizada nos ensaios de sorção em suspensão. Este aumento foi mais significativo até a concentração utilizada no ensaio E6, conforme já observado na [Figura 4](#).

Na [Figura 6](#), foi relacionado o valor de turbidez residual de cada ensaio de sorção (E1 a E10) com a respectiva concentração de CCA utilizada. Ainda, na [Figura 6](#), pode-se comparar a turbidez inicial do efluente com a residual de cada ensaio.

Para o ensaio E10, realizado com 76,5g/L de CCA, a turbidez do efluente diminuiu de 140UNT para 5,5UNT ([Figura 6](#)), o que representa uma eficiência de remoção de turbidez de 96%.

Ensaios de sorção em leito fixo

A taxa de percolação do leito fixo foi verificada utilizando 3L de água destilada em cada uma das colunas preenchidas com diferentes massas de CCA. A [Figura 7](#) relaciona o volume de água percolado com o tempo de percolação.

De acordo com a [Figura 7](#), o volume de água percolado foi inversamente proporcional à massa de CCA nas colunas. O volume de água percolado após 40min em C1 (944g de CCA) foi de 1350mL, em C2 (539g de CCA) de 1560mL e em C3 (272g de CCA) de 1725mL. A taxa de percolação calculada para este tempo foi de 34mL/min, 39mL/min e 43mL/min para C1, C2 e C3, respectivamente.

Ainda na [Figura 7](#), foi possível verificar que quanto maior a carga da coluna de água sobre o leito de CCA maior foi a taxa de percolação. Isto é, para os primeiros 4min de percolação as taxas foram de 97mL/min, 164mL/min e 625mL/min (para C1, C2 e C3, respectivamente) Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que a água exerce pressão sobre o leito de CCA no sentido do fluxo e que, ao diminuir a carga na coluna de água, a taxa de percolação tende a zero.

Após 24h da adição da água destilada, foram adicionados 5L do efluente. Na [Figura 8](#), pode-se comparar a concentração inicial de MO do efluente com a residual de cada ensaio de sorção em leito fixo.

De acordo com a [Figura 8](#), os ensaios de sorção em leito fixo resultaram em remoção significativa da MO do efluente. Para os ensaios C1 e C2, com 944g e 539g de CCA, respectivamente, a concentração de MO passou de 6.920mg/L para 1550mg/L. Não foi observada variação significativa na remoção de MO entre estes dois ensaios. Contudo, para o ensaio C3, com menor massa de CCA (272g), a remoção de MO foi menos significativa.

A eficiência de remoção de MO em cada um dos ensaios (C1, C2 e C3) foi relacionada com a massa de CCA na [Figura 9](#). A eficiência foi de 78% nos ensaios C1 e C2 e de 70% no ensaio C3.

Nas [Figuras 8 e 9](#), pode-se verificar que o aumento na massa de CCA, de 539g para 944g, não representou aumento na eficiência de remoção de MO. Este comportamento pode sugerir que a MO residual seja hidrossolúvel e composta por glicídios simples, como a glicose. Nesta forma, a MO não é passível de remoção por fenômeno de sorção. Sendo assim, sugere-se o uso de processos biológicos de metabolização da MO residual.

Na [Figura 10](#), foi relacionado o valor de turbidez residual dos ensaios de sorção em leito fixo (C1, C2 e C3) com as respectivas massas de CCA utilizadas. Ainda, na [Figura 6](#), pode-se comparar a turbidez inicial do efluente com a residual de cada ensaio.

Para o ensaio C1, realizado com 944g de CCA, a turbidez diminuiu de 130UNT para 1,9UNT, representando 99% de eficiência de remoção de turbidez.

Na [Figura 11](#), da esquerda para a direita,

pode-se observar a aparência da amostra de efluente e de amostras residuais dos ensaios de sorção em leito fixo, C3, C2 e C1, respectivamente.

Figura 11: Aparência da amostra de efluente e de amostras residuais dos ensaios de sorção em leito fixo, C3, C2 e C1, respectivamente (da esquerda para a direita).

A Figura 11, que ilustra a aparência das amostras residuais dos ensaios de sorção em leito fixo, bem como os resultados de remoção de MO e turbidez, demonstram a viabilidade técnica do tema em estudo. Isto é, a CCA possui potencial de ser utilizada como material sorvente para a remoção de MO e turbidez de efluente do processo de parboilização do arroz.

A utilização de um resíduo do processo de parboilização do arroz, a CCA, direta ou indiretamente para um fim comercial, tende a fechar o ciclo da industrialização de arroz. Esta manobra remete a uma produção industrial ideal, ou seja, aquela onde a geração de resíduos tende a zero.

Conclusões

Este trabalho possibilitou concluir que a amostra de cinza da casca de arroz (CCA) utilizada, com alta concentração de carbono, pode ser empregada, com eficiência, na remoção de matéria orgânica (MO) e turbidez de efluente do processo de parboilização do arroz.

A técnica de sorção em leito fixo é mais indicada para aplicação em grande escala do que a de sorção em suspensão. O efluente resultante da técnica em leito fixo dispensa etapa posterior de separação sólido-líquido. Os ensaios de sorção em suspensão foram seguidos por

filtração.

Além de dispensar a separação sólido-líquido, a sorção em leito fixo apresentou maior eficiência do que a sorção em suspensão, nas condições estudadas. Para a remoção de MO, obteve-se 78% em leito fixo e 57% em suspensão, e para a remoção de turbidez, 99% em leito fixo e 96% em suspensão.

Existe, portanto, uma grande potencialidade na utilização de CCA como material sorvente no tratamento de efluente de parboilização do arroz. Além de elevada eficiência de remoção de MO e turbidez, pode ser uma alternativa economicamente viável de gestão de CCA. A CCA é um resíduo do processo de geração de energia empregada para a parboilização do arroz. A re-utilização deste resíduo no próprio processo está incluída nos pressupostos da sustentabilidade.

Referências

1. AMATO, G. W., CARVALHO, J. L. V., SILVEIRA FILHO, S., **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**, Ricardo Lenz, Porto Alegre (2002) 240p.;
2. DB - DEUTSCHE BABCOCK ANLAGEN AKTIENGESSELLSCHAFT, **Babcock handbuch wasser**, Vulkan-Verlag, Essen (1982) 336p.;
3. CAPRA, F., **O ponto de mutação**, Cultrix, São Paulo (1982) 447p.;
4. CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, **Acompanhamento da safra brasileira: grão : intenção de plantio, primeiro levantamento, outubro 2008, Brasília, 2008**, disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf>, acessado em 16/04/2009;
5. DELLA, V. P., KÜHN, I., HOTZA, D., **Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica**, Química Nova, São Paulo, nov/dez 24:6 (2001), disponível em < <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100->

40422001000600013&script=sci_arttext>, acessado em 24/06/2009;

6. HOUSTON, D. F.; **Rice: Chemistry and technology**, American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota (1972) 517p.;
7. ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R. **Remoción de nitrógeno de aguas residuales de la industrialización de arroz em reactores performantes**. In: V TALLER Y SEMINARIO LATINOAMERICANO "TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES", 27-30 OUT.,1998. Viña del Mar. **Anales...**,Viña del Mar: Universidad Católica de Valparaíso, Universidad Técnica Frederico de Santa Maria y Internacional Association on Water Quality (IAWQ) (1998);
8. DELLA V. P., HOTZA D., JUNKES J. A., OLIVEIRA A. P. N., **Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz**, Química Nova 29:6 (2006) 1175-1179 disponível em < [va.sbgq.org.br/qn/qnol/2006/vol29n6/04-AR05225.pdf> acessado em 24/06/2009;](http://quimicano-</div><div data-bbox=)

9. RIO GRANDE DO SUL, **Decreto N° 38.356, de 01 de abril de 1998**, Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/de_c_38356.htm> acessado em 16/04/2009.

Figura 4: Diminuição da concentração residual de MO em função do aumento da concentração de CCA em cada ensaio de sorção em suspensão (E1 a E10)

Figura 5: Aumento da eficiência de remoção de MO em função do aumento da concentração de CCA em cada ensaio de sorção em suspensão (E1 a E10)

Figura 6: Diminuição da turbidez residual em função do aumento da concentração de CCA em cada ensaio de sorção em suspensão (E1 a E10)

Figura 7: Aumento do volume de água percolado em função do tempo de percolação em cada uma das colunas (C1, C2 e C3 - preenchidas com 944g, 539g e 272g de CCA, respectivamente)

Figura 8: Comparação entre a concentração inicial de MO do efluente com a residual de cada ensaio de sorção em leito fixo (C1, C2 e C3)

Figura 9: Relação entre a eficiência de remoção de MO com a massa de CCA utilizada em cada ensaio de sorção em leito fixo (C1, C2 e C3)

Figura 10: Diminuição da turbidez em função do aumento da massa de CCA utilizada em cada ensaio de sorção em leito fixo (C1, C2 e C3).