



AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Anderson Valente Borges
Rodrigo Azedo Won-Held de Freitas

Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Profa. Juacyara Carbonelli Campos, D. Sc
Profa. Lídia Yokoyama, D. Sc

Setembro de 2009

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Anderson Valente Borges
Rodrigo Azedo Won-Held de Freitas

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro
Químico.

Aprovado por:

Camille Ferreira Mannarino, M.Sc

Ubiratan Amorim da Silva, Eng. Químico.

Fabiana Valéria da Fonseca Araujo, D.Sc.

Orientado por:

Juacyara Carbonelli Campos, D. Sc.

Lídia Yokoyama, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Setembro de 2009

BORGES, ANDERSON VALENTE; FREITAS, RODRIGO AZEDO WON-HELD DE
Avaliação Preliminar da Utilização de Carvão Ativado no Tratamento de Lixiviado
de Aterro Sanitário / Anderson Valente Borges; Rodrigo Azedo Won-Held de
Freitas. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2009.

IX, 44p. 29,7 cm

(Projeto final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro –
Escola de Química, 2009.

Orientadores: Juacyara Carbonelli Campos e Lídia Yokoyama

1. Tratamento de Lixiviado
2. Lodos Ativados
3. Carvão Ativado
4. Carvão Ativado em Pó
5. Carvão Ativado Granular
6. Projeto Final de Curso. (Graduação – UFRJ/EQ)
7. Juacyara Carbonelli Campos e Lídia Yokoyama

I. Título: Avaliação Preliminar da Utilização de Carvão Ativado no Tratamento de
Lixiviado de Aterro Sanitário

A Deus por estar conosco em todos os momentos
e à nossa família pelo apoio

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar a nossa gratidão a várias pessoas que acompanharam a elaboração deste trabalho:

Às nossas orientadoras, Prof.(as) Juacyara Carbonelli Campos e Lídia Yokoyama (DPI-EQ/UFRJ) por toda ajuda dada durante o trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Águas e Efluentes Industriais (EQ/UFRJ) pelo companheirismo; em especial à amiga Talita Santos pela compreensão e paciência no dia a dia do laboratório.

À COMLURB pelo fornecimento de Lixiviado e Lodo Ativado da ETC de Gramacho utilizado nas diferentes etapas deste trabalho.

Finalmente, aos nossos Pais e irmãos pelo apoio e compreensão.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO.

Anderson Valente Borges
Rodrigo Azedo Won-Held de Freitas

Setembro, 2009

Orientadores: Prof(a) Juacyara Carbonelli Campos,
Prof(a) Lídia Yokoyama,

Kulikowska & Klimiuk (2008) citam que o lixiviado possui uma composição altamente variável e heterogênea, e ainda que lixiviados produzidos em aterros jovens contêm grandes quantidades de ácidos voláteis, como resultado da fermentação da fase ácida e que os aterros antigos produzem lixiviados com uma grande proporção de compostos orgânicos presentes, conhecidas como substâncias húmicas e fúlvicas.

A maior parte dos resíduos sólidos é disposta em vazadouros abertos e ou aterros, onde estes resíduos sofrem transformações físicas, químicas e biológicas. A solubilização dos componentes orgânicos e inorgânicos na água produz um lixiviado cuja tratabilidade é de grande desafio (BILA *et al*, 2005).

No presente estudo, o carvão ativado foi avaliado em duas diferentes rotas: como um auxiliar no tratamento biológico, reproduzindo o Processo PACT® (“Powered Activated Carbon Treatment, registrado pela DuPont”), que une o processo de Lodos Ativados com o de Adsorção em Carvão ativado em Pó.

E como etapa terciária de tratamento, tendo o carvão ativado granular como adsorvente do lixiviado biotratado da Estação de Tratamento de Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho. Os resultados apresentaram a marca de carvão ativado em pó Carbomafra com melhor poder de adsorção de contaminantes que a Brasilac no tratamento do lixiviado bruto. No tratamento

do lixiviado bruto, o uso de lodo ativado combinado com CAP na concentração de 5g/L removeu 37% do N-NH₃, 70% da turbidez e 70% da DQO. Na concentração de 10g/L removeu 43% do nitrogênio amoniacal, 70% da turbidez e 80% da DQO do lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho.

Nenhuma das marcas testadas de carvão ativado granular apresentou eficiência satisfatória como tratamento terciário do lixiviado.

De forma geral, observou-se que o tratamento de lixiviado de aterro sanitário tratado com lodo ativado e carvão ativado em pó apresenta boas perspectivas de tratamento.

SUMÁRIO

Capítulo I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
Capítulo II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
II.1 – ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO	4
II.2 TRATAMENTO VIA PROCESSO DE ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO	7
II.2.1 – Adsorção em Carvão Ativado	7
II.2.2 Isotermas de Adsorção	12
II.2.3- O Processo de Carvão ativado com Lodos ativados	13
Capítulo III – MATERIAIS E MÉTODOS	16
III.1 – USO DO CARVÃO ATIVADO EM PÓ NO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS	16
III.1.1 – Levantamento de isotermas para escolha do carvão ativado em pó	16
III.1.2 – Ensaios em batelada simulando o processo de lodos ativados com carvão ativado em pó	17
III.2 – USO DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR COMO ETAPA TERCIÁRIA DE TRATAMENTO	19
III.2.1 – Levantamento de isotermas para avaliação de diferentes marcas de carvão ativado granular	19
III.3 – METODOLOGIA ANALÍTICA	20
III.3.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)	20
III.3.2 – Nitrogênio Amoniacal	20
III.3.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH)	21
III.3.4 – Turbidez (NTU)	21
Capítulo IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
IV.1 – USO DO CARVÃO ATIVADO EM PÓ NO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS	22
IV.1.1 – Levantamento de isotermas para escolha do carvão ativado em pó	22
IV.1.2 – Ensaios em batelada simulando o processo de lodos ativados com carvão ativado em pó	24
IV.2 – USO DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR COMO ETAPA TERCIÁRIA DE TRATAMENTO	29
IV.2.1 – Levantamento de isotermas para avaliação de diferentes marcas de carvão ativado granular	29
Capítulo V – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXOS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II. 1 - Vista aérea do Aterro Metropolitano de Gramacho	5
Figura II. 2 - Esquema da estrutura interna de uma partícula de carvão ativado.	8
Figura II. 3 - Etapas de transferência de massa em uma partícula de carvão ativado.	9
Figura III. 1 – Mesa agitadora com amostras do lixiviado com diferentes concentrações de CAP	17
Figura III. 2 – Reatores simulando o processo PACT®	18
Figura III. 3 – Carvão ativado granular e em pó utilizados no presente trabalho.	19
Figura IV. 1 - Isotermas de Freundlich com Carvão Ativado Pó.....	23
Figura IV. 2 - Resultados de monitoramento de DQO (mg/L) das soluções versus tempo de operação (h).....	244
Figura IV. 3 – Resultados de eficiência de remoção de DQO(%) versus tempo de operação (h).....	25
Figura IV. 4 – Resultados de N-NH ₃ (mg/L) dos reatores versus tempo de operação (h)	26
Figura IV. 5 – Resultados de eficiência de remoção de N-NH ₃ (mg/L) versus tempo de operação (h).....	266
Figura IV. 6 – Turbidez (NTU) das soluções versus tempo de operação (h)...	277
Figura IV. 7 – Eficiência de remoção de Turbidez (NTU) versus tempo de operação (h)	277
Figura IV. 8 – Foto comparativa entre lixiviado bruto e lixiviado após tratamento com lodo ativado e CAP a 10g/L.....	288
Figura IV. 9 - Isotermas de Freundlich referente a DQO do processo simulando a etapa terciária de tratamento.....	300
Figura IV. 10 - Isotermas de Freundlich referente ao N-NH ₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento.	311

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II. 1- Caracterização do Lixiviado de Gramacho	6
Tabela II. 2– Comparação CAP X CAG	9
Tabela II. 3 – Lista de Pesquisas com tratamento de lixiviado de aterro por processo de carbono ativado durante últimos 15 anos.....	11
Tabela IV. 1 – Propriedades do lixiviado bruto utilizado	Erro! Indicador não definido.
Tabela IV. 2 – Parâmetros de Freundlich da Isoterma com Carvão em Pó..	Erro! Indicador não definido.
Tabela IV. 1 - Propriedades da amostra de lixiviado usada nos ensaios em batelada.....	24
Tabela IV. 4 – Propriedades do lixiviado proveniente do tratamento secundário	29
Tabela IV. 5 - Parâmetros de Freundlich referente a DQO da Terceira Etapa .	29
Tabela IV. 6 - Parâmetros de Freundlich referente ao N-NH ₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento.	Erro! Indicador não definido.

Capítulo I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A preocupação com o meio ambiente aumentou com o passar dos anos de maneira global. Durante várias décadas, o aumento exponencial da população gera modificações nos hábitos de produção e consumo, aumentando o uso de recursos e geração de efluentes, e o contínuo desenvolvimento das indústrias e tecnologia tem sido acompanhado pela rápida geração de resíduos sólidos municipais e industriais, o que cria o mais intransigente paradoxo no mundo.

É sabido que, aterro sanitário é reconhecido como meio mais comum e barato para a disposição final de resíduos sólidos e eliminação de resíduos de incineração e reciclagem de processos industriais e ou urbanos. Isso se deve ao fato da sua simplicidade de aplicação e baixo custo envolvido (FOO & HAMEED 2009).

Em geral, lixiviado ou chorume é definido como qualquer efluente líquido percolado contaminado devido a resíduo depositado e emitido por um aterro sanitário ou lixão por fontes externas, pela qual sua rota de exposição e toxicidade na maioria das vezes é desconhecida (FOO & HAMEED, 2009).

O lixiviado ou percolado, é caracterizado por ser um líquido escuro e de odor desagradável, que apresenta em sua composição altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos na sua forma dissolvida e coloidal; ainda é altamente poluidor e um sério problema ambiental (SILVA, 2002).

Segundo Nascimento *et al* (2001) o lixiviado, ou chorume, ou ainda percolado, da massa orgânica do lixo durante o processo de degradação biológica que em contato com a água da chuva, percola a massa do aterro.

O tratamento do lixiviado mostra-se um desafio nos projetos de aterros sanitários uma vez que suas características são alteradas em função dos tipos de resíduos vazados no aterro e, sobretudo, com a idade deste. A maioria dos aterros brasileiros não possui nenhum tipo de tratamento para o líquido percolado ou o trata de maneira ineficiente. Desta forma, é relevante o desenvolvimento de técnicas de tratamento eficientes na remoção da carga poluidora do lixiviado e que sejam compatíveis com a realidade técnica e econômica dos municípios (MANNARINO, 2003).

Este trabalho avaliou o uso de carvão ativado no tratamento do lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho. O lixiviado gerado neste aterro apresenta característica marcadamente recalcitrante, ou seja, baixa razão DBO/DQO e elevada concentração de nitrogênio amoniacal.

Diante disso, no presente projeto, o carvão ativado foi avaliado em duas diferentes rotas: como um auxiliar no tratamento biológico, reproduzindo o Processo PACT® (“Powered Activated Carbon Treatment”, registrado pela Dupon), que une o processo de Lodos Ativados com o de Adsorção em Carvão ativado em Pó e como etapa terciária de tratamento, tendo o carvão ativado granular como adsorvente do lixiviado biotratado da Estação de Tratamento de Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho.

Segundo informações disponíveis em trabalho da Siemens (2006), o processo PACT que combina o tratamento físico do carvão ativado com o tratamento biológico dos Lodos Ativados consegue tratar poluentes biodegradáveis e não-biodegradáveis com uma etapa apenas e assim possui as seguintes vantagens:

- Remoção de cor e odor;
- A nitrificação também ocorre em uma única etapa do processo;
- Remoção de alguns metais;
- O processo PACT possui uma menor perda de lodo;
- A adição de carvão aumenta a flexibilidade operacional, pois pode ser dosado de acordo com variações das características do lixiviado;

Objetivo Geral

Avaliar o uso de carvão ativado no tratamento de lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho em escala laboratorial.

Objetivos Específicos

- Avaliar diferentes marcas de carvão ativado em pó, através de levantamento de isotermas para utilização nas etapas posteriores do trabalho;
- Avaliar diferentes concentrações de carvão adicionado no processo de lodo ativado;
- Avaliar eficiência do processo PACT® no tratamento de lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho;
- Avaliar o uso do carvão ativado granular como etapa de tratamento terciário

Capítulo II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 – ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO

Segundo Giordano *et al.* (2002), durante o período de 1977 até 1995 em uma área de 1,4 milhões de metros quadrados na Baía de Guanabara, localizada no Município de Duque de Caxias, foi usada como depósito de resíduos, sendo os resíduos sólidos dispostos e estocados sobre o solo degradado, sem nenhum cuidado ou controle. Durante este período, esta área originalmente de manguezais, recebeu aproximadamente 25 milhões de toneladas de lixo. Parte desses resíduos foi queimada, pois o aterro apresentava diversos focos de incêndio. Esta descontrolada disposição no solo afetou uma grande parte do estuário do Rio Iguaçu, o qual flui para a Baía de Guanabara além de sufocar a vegetação e assorear outros braços de rios da área (GIORDANO *et al.*, 2002).

Com o objetivo de transformar o depósito de resíduos no Aterro Metropolitano de Gramacho, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, através da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) introduziu uma série de modificações na área. Essas modificações objetivaram adaptar o aterro às diretrizes técnicas promulgadas pelo então órgão ambiental do Estado (FEEMA), minimizando a poluição causada pela disposição de resíduos (MANNARINO, 2003).

A recuperação ambiental da área incluiu medidas como a conformação e cobertura de toda a massa de lixo; drenagem das águas superficiais, do percolado e dos gases produzidos; construção de uma barreira de isolamento de argila orgânica, a fim de impedir a migração de contaminantes para fora da área do aterro; delimitação de uma célula para disposição de resíduos hospitalares; construção de uma estação de tratamento de chorume e recuperação do manguezal (NASCIMENTO, 2002 *apud* MANNARINO, 2003).

O Aterro, localizado no bairro Jardim Gramacho, em Duque de Caxias, atualmente recebe resíduos dos municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, São João de Meriti, Queimados e Nilópolis (O GLOBO ONLINE, 2009).

Hoje, o aterro possui sistema de captação e tratamento de chorume, sistema de captação e queima de biogás, novos prédios administrativos, um centro de educação ambiental e um centro de triagem de materiais recicláveis operado pela cooperativa de catadores. Existe também um trabalho de recuperação do manguezal do entorno com replantio de mudas e propágulos. O lixo recolhido é disposto, compactado e coberto com argila, evitando focos de incêndio e proliferação de vetores. O Aterro de Gramacho transformou-se num modelo de recuperação de áreas degradadas, sendo operado atualmente dentro das normas de engenharia sanitária ambiental. A Figura II.1 mostra uma vista aérea do Aterro Metropolitano de Gramacho, após a sua reestruturação (COMLURB, 2009).



Figura II. 1 - Vista aérea do Aterro Metropolitano de Gramacho

Fonte: CAMPOS (2007)

O lixiviado gerado no aterro de Gramacho apresenta características marcantes de um lixiviado recalcitrante, onde a relação DBO/DQO é muito baixa, além de apresentar elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal,

alcalinidade e salinidade. Esses dados podem ser vistos na Tabela II.1, que ilustra um resumo de avaliação do lixiviado durante o ano de 2005, resultado de 47 amostragens realizadas (CASTILHO, 2006).

Tabela II. 1- Caracterização do Lixiviado de Gramacho

Parâmetros	Média	Mínimo	Máximo
pH	8,3	7,5	8,7
Condutividade (mS/cm)	18,0	9,7	30,1
DQO (mgO ₂ /L)	2665	1479	4825
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	291,6	56,8	625,0
DBO ₅ /DQO	0,11	0,02	0,26
N-NH ₃	1116	211	2095
Fósforo total (mg P/L)	5,01	1,33	10,72
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	6291	2532	10721
Cloreto (mg/L)	4175	2161	6836
SST (mg/L)	181	32	860
SSV (mg/L)	108	12	417

Fonte: Adaptado de CASTILHO, 2006

No dia 06 de maio de 2009 foi inaugurada a primeira fase da reestruturação da Estação de Tratamento de Chorume do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, em Duque de Caxias. O novo sistema, que atualmente processa 960m³ de lixiviado por dia, após o término das obras, terá capacidade para absorver 1920m³, tornando-se uma das maiores unidades de tratamento desse tipo de efluente do mundo. Na Estação de Tratamento, o lixiviado bruto passa por quatro etapas até o produto final. As etapas são as seguintes (TECMA, 2009):

- Tratamento preliminar do lixiviado bruto com equalização em lagoa;
- Tratamento físico-químico por precipitação e correção de pH;
- Tratamento aeróbio por lodos ativados;

A última fase consiste na passagem do líquido pelo processo de nanofiltração, com o qual são removidas partículas do tamanho de um nanômetro.

II.2 TRATAMENTO VIA PROCESSO DE ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO

II.2.1 – Adsorção em Carvão Ativado

Muitos efluentes industriais, assim como lixiviados de aterro sanitário, contém compostos orgânicos recalcitrantes, os quais são difíceis ou impossíveis de serem removidos pelos processos convencionais de tratamento biológico. Alguns compostos orgânicos heterocíclicos são exemplos de compostos de difícil tratabilidade. Esses materiais podem frequentemente ser removidos sobre uma superfície sólida ativada. O adsorvente mais comumente usado é o carvão ativado (ECKENFELDER, 1989).

A adsorção é a concentração de um soluto (adsorvato) na superfície de um sólido (adsorvente). Esse fenômeno acontece quando se coloca uma superfície em contato com uma solução, e uma camada de moléculas do soluto se acumula na superfície do sólido devido ao desequilíbrio das forças superficiais. Esse fenômeno é denominado adsorção física e as forças de atração envolvidas são do tipo Van der Waals (RAMALHO, 1991).

O termo “carvão ativado” refere-se a uma forma de carvão que foi especialmente tratado para aumentar em várias vezes o número de poros, obtendo-se assim, um produto de enorme área interna que pode variar de 500 até 1500 m²/g de carvão (VALLE, 2008). É uma substância quimicamente inerte e suas propriedades dependem de vários fatores como: matéria-prima, processo de ativação, tempo de ativação, etc (VALLE, 2008).

O carvão ativado possui três tipos de poros (COSTA, 2003):

- ✓ MICROPOROS, onde seu raio efetivo é menor que 20 (Å), e sua área superficial é perto de 95% da área total do carvão, sendo responsável pela adsorção de pequenas moléculas;

- ✓ TRANSIÇÃO, onde seu raio efetivo esta na faixa de 500-1000 (Å), sua área superficial é menor que 5% e adsorvem moléculas de tamanho médio;
- ✓ MACROPOROS, raio efetivo de 5000-20000 (Å), e sua área superficial é de 0,5 a 2,0 m²/g, sendo responsável pela adsorção de moléculas grandes.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os poros são classificados em Macroporos (>25 nm), Mesoporos (1-25 nm) e Microporos (<1 nm). Um esquema pode ser visto na Figura II.2

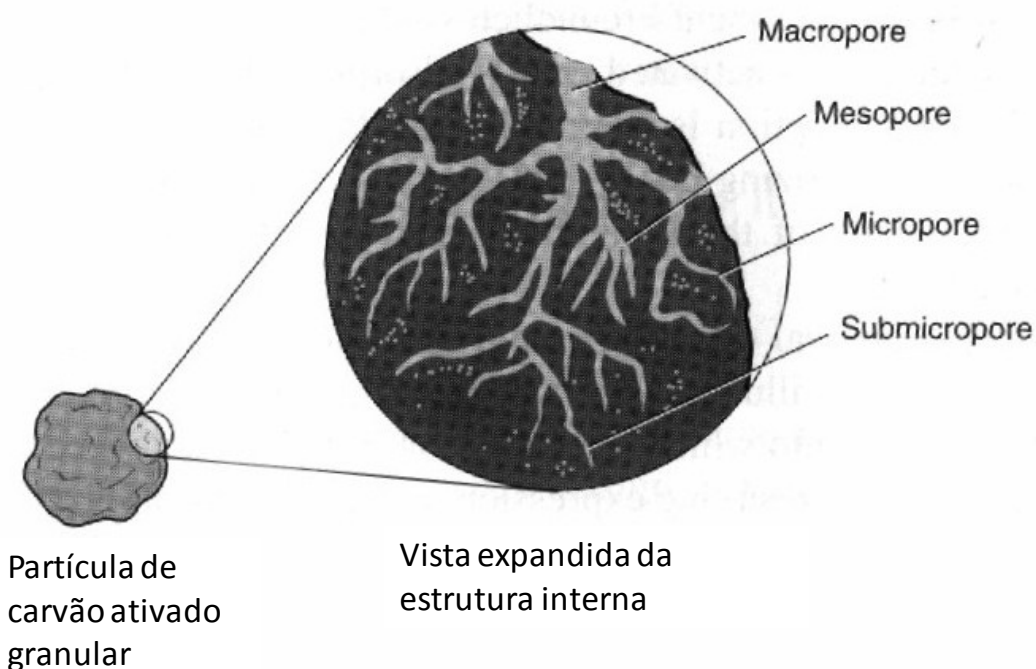


Figura II. 2 - Esquema da estrutura interna de uma partícula de carvão ativado.

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY, 2003.

O processo de adsorção ocorre em três estágios: macrotransporte, microtransporte e sorção. Macrotransporte envolve o movimento do material orgânico através da água até a interface líquido-sólido por advecção e difusão. Microtransporte envolve a difusão do material orgânico através do sistema de

macroporos do Carvão Ativado Granular (CAG) até os sítios de adsorção nos microporos e do granulo de CAG. A sorção é o termo usado para descrever a fixação do material orgânico no CAG. Quando a taxa de sorção é igual a taxa de desorção diz-se que o equilíbrio foi alcançado, e que a capacidade de adsorção do carvão foi esgotada (METCALF & EDDY, 2003). A Figura II.3 ilustra as etapas de transferência de massa em uma partícula de carvão ativado.

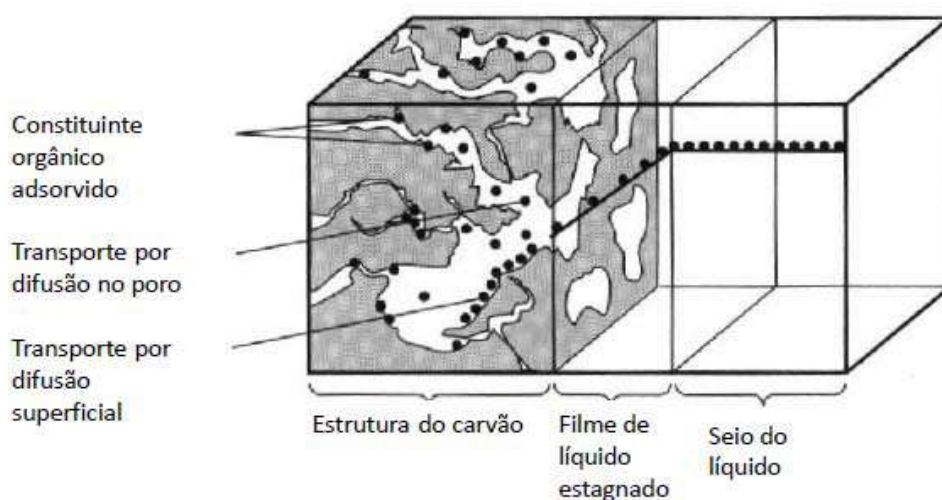


Figura II. 3 - Etapas de transferência de massa em uma partícula de carvão ativado.

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY, 2003.

O carvão ativado é comercializado na forma granulada (CAG) e na forma em pó (CAP) (METCALF & EDDY, 2003). A forma granulada é levemente mais cara do que a em pó, no entanto é de mais fácil manuseio (BENEFIELD *et al.*, 1982 *apud* COSTA, 2003). Porém, o carvão ativado em pó, usado nos sistemas de tratamento melhora o desempenho dos sistemas biológicos, estabilizando-os contra perturbações e choques de carga (SIEMENS, 2006). A Tabela II.2 ilustra uma comparação com o carvão ativado na forma granulada e em pó.

Tabela II. 2– Comparação CAP X CAG

Parâmetro	Unidade	CAG	CAP
Área superficial	m ² /g	700-1300	800-1800

Massa específica	kg/m ³	400-500	360-740
Densidade da partícula úmida	kg/L	1,0-1,5	1,3-1,4
Tamanho de partícula		0,1-2,36mm	5-50 µm
Número de iodo		600-1100	800-1200
Cinzas	%	≤8	≤6

Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

A capacidade de adsorção é a eficiência apresentada pelo carvão em remover constituintes desejados do lixiviado, tais como: DQO, cor, fenóis, etc. Vários testes têm sido empregados para determinar a capacidade de adsorção do carvão. O número de fenol é usado como um índice da habilidade do carvão em remover compostos que conferem sabor e odor. O número de iodo é interpretado como a habilidade que o carvão ativado possui para adsorver compostos de baixo peso molecular, enquanto, o número de melação está relacionado à habilidade do carvão em adsorver substâncias de alto peso molecular (ECKENFELDER, 1989). Esses testes, também chamados de índices (fenol, iodo e melação), são muito importantes para se ter uma idéia da qualidade de carvão que se precisa para um determinado processo (TREJOS, 2001 apud COSTA, 2003).

A adsorção com carvão ativado é mais freqüentemente empregada para a remoção de constituintes orgânicos do efluente. Suas principais aplicações incluem a remoção de substâncias não-biodegradáveis, tais como, compostos que produzem cor e pesticidas, a redução de constituintes orgânicos específicos, como fenóis, e compostos orgânicos presentes em concentrações relativamente pequenas na corrente residuária (ADAMS *et al.*, 1981 apud VALLE, 2008).

Os processos de adsorção são geralmente exotérmicos, e desse modo, uma alta temperatura retarda esse processo. Baixas temperaturas podem incrementar a adsorção, porém, o efeito nas soluções aquosas é pequeno e não justifica a mudança de uma temperatura alta para uma baixa visando à melhora no processo de adsorção (TREJOS, 2001 apud COSTA, 2003).

A Tabela II.3 ilustra as principais pesquisas, em nível internacional, que utilizam o carvão ativado no tratamento de lixiviado nos últimos 15 anos segundo Foo & Hameed (2009). Os autores ressaltam que na maioria dos casos a adsorção no carvão ativado tem revelado proeminência na remoção de compostos orgânicos e nitrogênio amoniacal. É importante observar que a Tabela apresenta dados referentes a lixiviados de diferentes aterros do mundo. Com isso, existe grande variabilidade entre as características das amostras.

Tabela II. 3 – Lista de Pesquisas com tratamento de lixiviado de aterro por processo de carbono ativado durante últimos 15 anos.

Tipo de Carvão ativado	Adsorbato	Tipo de lixiviado	Máxima capacidade de adsorção (mg/g)	Porcentagem de remoção (%)
Desotec	Halogênios orgânicos adsorvíveis (AOX's)	antigo	0,6	-
	DQO		268	
Norit SA 4	DQO	Intermediário	-	38
ICAP comercial	DQO	Sintético	-	87
	Amônia			16
DARCO	DQO	antigo	-	38
	Carbono orgânico dissolvido			40
CAP comercial	Orgânicos hidrofóbicos	Intermediário	-	89,2
	DQO			24,6
CAG comercial	Orgânicos hidrofóbicos			73,4
	DQO			19,1
CAG (type PHO 8/35 LBD)	DQO	antigo	165,46	60
	Amônia		53,58	95
CAP comercial	DQO	Intermediário	-	75
	Amônia			44
	Fosfato			44
"Oil Palm Shell"	DQO	antigo	1460	50
Norit 0.8	DQO	Intermediário	0,253	68
Chemviron AQ40			0,258	55
Picacarb 1240			0,148	48
CAG comercial	Benzeno	Sintético	0,23	-
	Tricloroetileno		0,54	
	1,2-dicloroetano		0,48	
Carbotech	DQO	Intermediário	0,25	75
GAC-40	DQO	antigo	38,12	-
CAP comercial	DQO	Intermediário	-	49
	Amônia			16

CAP comercial	DQO	antigo	4300	38
CAP comercial	Carbono orgânico dissolvido	antigo	50	-
Calgon Filtrasorb 400	DQO	antigo	564	70
CAP comercial	DQO	Jovem	-	49
	Amônia			78
	Cor			50
Rice husk	DQO	Jovem	-	70
	Cor			60
Norit 0.8	DQO	antigo	88,8	90
CAP comercial	DQO	antigo	6,5	-

Fonte: FOO & HAMEED (2009)

II.2.2 Isotermas de Adsorção

A capacidade teórica de adsorção do carvão para um contaminante específico pode ser determinada pelo cálculo da sua isoterma de adsorção nos testes em batelada. A isoterma de Freundlich é usualmente utilizada para descrever o fenômeno de adsorção, apresentando correlação satisfatória. A isoterma de Freundlich (ECKENFELDER, 1989) é descrita conforme a equação 01:

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad 01$$

$\frac{x}{m}$ = massa de adsorvado adsorvida por unidade de massa de adsovente

(g adsorvato/ g carvão)

C_e = concentração de equilíbrio do adsorvato na solução após a adsorção
(mg/L)

K_f = fator de capacidade de Freundlich
(L/g de carvão)

$1/n$ = parâmetro de intensidade de Freundlich – constante empírica
(adimensional)

Normalmente, existe uma diminuição na capacidade de adsorção dos compostos individuais numa solução de vários componentes, mas a capacidade de adsorção total do adsorvente pode ser maior do que a

capacidade de adsorção com apenas um composto. A magnitude da inibição devido à competição dos adsorvatos está relacionada com o tamanho das moléculas sendo adsorvidas, sua afinidade de adsorção, e sua concentração relativa (ECKENFELDER, 1989, METCALF & EDDY, 2003).

II.2.3- O Processo de Carvão ativado com Lodos ativados

Existem diferentes argumentos sobre o mecanismo do CAP intensificar o processo de lodos ativados. Segundo ÇEÇEN (2007), o tratamento do lixiviado com carvão ativado em pó em conjunto com o lodo ativado aumenta a eficiência de remoção, pois adsorve compostos não-biodegradáveis, tóxicos e ou inibidores orgânicos e também alguns metais (METCALF & EDDY, 2003). Acredita-se que exista um sinergismo entre o carvão ativado e os microorganismos. Deste modo o processo PACT poderia remover compostos orgânicos de uma maneira mais eficiente do que seria esperado do processo biológico ou adsorção sozinhos. O carvão ativado proporciona uma superfície de contato para os micro-organismos bioregenerá-lo (SUBLETTE et al., 1982; ORHANSKY and NARKIS, 1997).

Por outro lado, algumas pesquisas defendem que o incremento observado resulta basicamente da combinação da degradação biológica causada pelo lodo ativado e a adsorção física pelo carvão ativado. A bioregeneração pode ser definida como a renovação da capacidade de adsorção do carvão ativado pela ação de microorganismos. O mecanismo para explicar o incremento na atividade biológica inclui a alteração da população microbiana e/ou a proteção dos microorganismos pela adsorção de compostos tóxicos (SHER *et al*, 2000 *apud* COSTA *et al*, 2003).

A adição de carvão ativado em pó no co-tratamento do lixiviado com lodo ativado resulta em uma melhora no tratamento biológico e na remoção de compostos orgânicos refratários (AKTAS and ÇEÇEN, 2001; ÇEÇEN *apud* AKTAS , 2001).

O processo “PACT” (POWDERED ACTIVATED CARBON TREATMENT) foi desenvolvido pela DuPont no princípio dos anos 70. Esse processo combina o uso do CAP com o processo de lodos ativados, onde o CAP é adicionado

diretamente ao tanque de aeração, e a oxidação biológica e a adsorção física ocorrem simultaneamente. Uma vantagem desse processo é que o mesmo pode ser integrado ao sistema de lodos ativados já existente, com um custo relativamente baixo (ECKENFELDER, 1989).

Quando um processo com carvão ativado em pó e lodo ativado opera, há, simultaneamente, oxidação biológica (biodegradação) e adsorção física (COSTA, *et al*, 2003).

A adição de CAP confere várias vantagens ao processo, tais como:

- ✓ estabilidade do sistema durante choques de carga;
- ✓ redução dos poluentes recalcitrantes prioritários;
- ✓ remoção de cor e amônia;
- ✓ melhoria da sedimentabilidade do lodo;
- ✓ redução ou eliminação dessa inibição biológica (ECKENFELDER, 1989, METCALF, & EDDY, 2003, SHER *et al*, 2000).

Algumas razões citadas para essas vantagens apresentadas pelo processo PACT® incluem a biodegradação adicional de orgânicos devido à diminuição da toxicidade ou da inibição devido à adsorção pelo carvão; à degradação de substâncias normalmente não biodegradáveis devido ao aumento do tempo de exposição à biomassa pela adsorção no carvão. O carvão com a substância adsorvida permanece no sistema o tempo relativo à idade do lodo, enquanto na ausência do CAP, a substância permanece no sistema por apenas o TRH (Tempo de Retenção Hidráulica). Desse modo, a idade do lodo afeta a eficiência do CAP, sendo que para lodos de maior idade, a remoção de orgânicos por unidade de carvão é aumentada. (ECKENFELDER 1989, METCALF & EDDY, 2003), conforme pode ser visto na equação 03.

$$X_p = \frac{X_i \theta_c}{TRH} \quad 03$$

X_p= concentração de carvão ativado no tanque de aeração (massa carvão/volume de reator)

X_i = dosagem de reposição de carvão ativado (massa de carvão/ volume de efluente /dia)

TRH= tempo de retenção hidráulica (dia)

θ_c = idade do lodo (dia)

Capítulo III – MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido com amostras de lixiviado gerado no Aterro Metropolitano de Gramacho. Para os ensaios de PACT®, foi utilizada amostra bruta e para o processo com CAG, simulando tratamento terciário, foi utilizada amostra oriunda do tratamento biológico da Estação de Tratamento de Chorume (ETC) de Gramacho. Todas as amostras foram coletadas pela COMLURB. As amostras foram acondicionadas em bombonas de 10 litros e mantidas sob refrigeração a temperatura de 4°C.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ-UFRJ).

III.1 – USO DO CARVÃO ATIVADO EM PÓ NO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS

III.1.1 – Levantamento de isotermas para escolha do carvão ativado em pó

Foram utilizadas duas marcas nacionais para os ensaios com carvão ativado em pó: Brasilac (Tipo: Carbonado Kapa L) e Carbomafra (Tipo: 118 CB AS nº170). Os carvões utilizados têm origem vegetal. Em trabalhos anteriores com efluente industrial (VALLE, 2008), essas marcas apresentaram bons resultados na adsorção de contaminantes.

Para os ensaios para levantamento das isotermas, que seguiram recomendações da ASTM 3860, amostras de lixiviado foram postas em contato com carvão em pó em diferentes concentrações: 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 3,0 e 5,0 g/L. Os ensaios duraram duas horas em mesa agitadora (marca Quimis) com velocidade de 300rpm. Cada uma das doze amostras apresentava o volume final de 150mL. Após a agitação as amostras foram filtradas com membranas extra-celulose de 0,45µm em kitassato com bomba a vácuo para remoção do

carvão ativado em pó. Em seguida mediu-se a DQO das amostras e do lixiviado bruto. A Figura III.1 ilustra uma foto dos ensaios realizados.



Figura III. 1 – Mesa agitadora com amostras do lixiviado com diferentes concentrações de CAP

III.1.2 – Ensaio em batelada simulando o processo de lodos ativados com carvão ativado em pó

Foram montados três sistemas de tratamento biológico do lixiviado. O primeiro, considerado controle, reproduzia o sistema de lodos ativados convencional. O segundo e o terceiro reproduziram o sistema PACT®, com dosagens de 5g/L e 10g/L de carvão, respectivamente. Na Figura III.2, pode-se observar da esquerda para direita, os reatores controle, lodo com 5g/L de CAP e lodo com 10g/L de CAP.



Figura III. 2 – Reatores simulando o processo PACT®

O primeiro consistia de 750mL de lixiviado com 250mL de lodo decantado proveniente da ETC de Gramacho, esse lodo foi utilizado pois já estava aclimatado ao lixiviado.. O segundo sistema continha 750mL de lixiviado, 250mL de lodo decantado e 5g de carvão ativado em pó Carbomafra. O terceiro sistema, 750mL de lixiviado, 250mL de lodo decantado e 10g de carvão ativado em pó.

Os sistemas foram montados em provetas de 1L e submetidos a aeração e agitação por borbulhamento de ar através de difusor poroso colocado no fundo do recipiente. Foi realizado controle do pH para operar na faixa de 6,5-7,0.

Nos tempos de operação de 0, 2, 4, 6, 24 e 48h; foram retiradas amostras de cada um dos três sistemas. As amostras para análise de DQO e nitrogênio amoniacal foram filtradas com membranas extra-celulose de 0,45 μ m em kitassato com bomba a vácuo para remoção do carvão ativado em pó e separação do lodo. Foram medidos nitrogênio amoniacal, DQO e turbidez das amostras e do lixiviado bruto. As amostras de turbidez foram deixadas por 30

minutos em repouso para decantação do lodo, então mediu-se a turbidez do sobrenadante.

III.2 – USO DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR COMO ETAPA TERCIÁRIA DE TRATAMENTO

III.2.1 – Levantamento de isotermas para avaliação de diferentes marcas de carvão ativado granular

Nesta etapa, as amostras utilizadas eram de lixiviado proveniente do tratamento secundário da ETC do Aterro Metropolitano de Gramacho. Foram utilizadas amostras das marcas de carvão ativado granular Brasilac (Tipo: Carbonado Beta TCBT 12X25) e Carbomafra (Tipo: 141-S 12X40 SA nº198) com concentrações de 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 3,0 e 5,0 g/L de carvão.

Segue abaixo a figura onde apresenta a diferença entre os dois tipos de carvão ativado utilizados no presente trabalho:



Figura III. 3 – Carvão ativado granular e em pó utilizados no presente trabalho

Estas doze amostras foram agitadas durante duas horas na mesa agitadora da marca Quimis com velocidade de 300rpm. Cada uma das doze amostras apresentava o volume final de 150mL. Após a agitação, as amostras foram filtradas em kitassato com bomba a vácuo para remoção do carvão ativado granular. Em seguida, mediu-se DQO e N-NH₃ das amostras e do lixiviado bruto.

III.3 – METODOLOGIA ANALÍTICA

Os seguintes parâmetros são importantes para a operação do processo de lodos ativados com carvão ativado:

III.3.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O método baseia-se na oxidação de matéria orgânica por uma mistura em ebulição de ácido crômico e ácido sulfúrico (dicromato de potássio em meio ácido), de acordo com o método de refluxo fechado descrito na seção 5220 D recomendado pela AWWA (APHA,2005)

Os compostos orgânicos de massa molar baixa e os ácidos graxos só são oxidados em presença de sulfato de prata que é catalisador. Como interferentes podemos destacar os cloretos que são oxidados, quantitativamente, pelo dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) dando interferência positiva nos resultados obtidos. O uso de sulfato de mercúrio (Hg₂SO₄) proporcionalmente à concentração de cloreto na amostra minimiza os erros causados por esse interferente.

A reação foi conduzida no bloco digestor da marca HACH e sua leitura foi realizada no espectrofotômetro HACH.

III.3.2 – Nitrogênio Amoniacal

Para análise de amônia foi utilizado o método do Eletrodo Íon Seletivo. Este método utiliza uma membrana de gás permeável hidrofóbica para separar a solução de amostra de uma solução de cloreto de amônio do eletrodo interno.

A amônia dissolvida ($\text{NH}_{3(\text{aq})}$ e NH_4^+) é convertida a $\text{NH}_{3(\text{aq})}$ através do aumento do pH para valores maiores do que 11 com uma base forte. A $\text{NH}_{3(\text{aq})}$ difunde através da membrana e modifica o pH da solução interna, o qual é medido por um eletrodo de pH. O nível fixo de cloreto na solução interna é medido por um eletrodo íon seletivo de cloreto que atua como eletrodo de referência. Medidas potenciométricas são feitas com um medidor de pH com uma escala em milivolts expandida ou com um medidor de íon específico (AWWA, 2005).

Antes de começar a medir as amostras é necessário construir uma curva de calibração de amônia. Para construir essa curva padrão é necessário uma solução de 1400 mg/L de cloreto de amônio (NH_4Cl) e a partir desta solução faz-se as diluições necessárias para obter soluções de 140 e 14 mg/L e mede-se o potencial destas soluções no eletrodo. Uma vez com os dados do potencial em mV e das concentrações de amônia (em mg/L), a curva de calibração é construída. Para a análise das amostras, mede-se o potencial e com a curva de calibração converte-se a medida de potencial das amostras em mV para concentração de amônia em mg/L de N- NH_3 .

III.3.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O conhecimento do potencial hidrogeniônico de uma água permite o monitoramento do crescimento dos microorganismos. Para a determinação do pH das amostras, utilizou-se medidor de pH Digimed.

III.3.4 – Turbidez (NTU)

O Método Nefelométrico foi usado. Este método consiste basicamente da emissão de luz através da amostra e leitura do desvio apresentado posteriormente.

Capítulo IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

IV.1 – USO DO CARVÃO ATIVADO EM PÓ NO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS

IV.1.1 – Levantamento de isotermas para escolha do carvão ativado em pó

Nesta etapa, foram plotadas isotermas com dados de experimentos realizados com as marcas de CAP Brasilac e Carbomafra em diferentes concentrações com lixiviado bruto do Aterro de Metropolitano Gramacho. A isoterma de adsorção avaliada foi Isoterma de Freundlich. O Anexo IV contém as tabelas com os pontos usados na construção do gráfico da Figura IV.1.

A Tabela IV.1 apresenta resultados do lixiviado bruto utilizado nos ensaios. As Tabelas IV.2 e IV.3 apresentam os parâmetros obtidos na isoterma de Freundlich. Para obtenção dos parâmetros, linearizou-se a isotermas em questão. Conforme Anexos I e II, da Linearização das Isotermas de Freundlich e Langmuir, respectivamente. A isoterma de Freundlich apresentou bons resultados para o Carbomafra e Brasilac.

A Figura IV.1 apresenta os dados das isotermas adquiridos nas equações e nos dados experimentais.

Tabela IV. 2 – Propriedades do lixiviado bruto utilizado

Parâmetros	Valores
DQO (mg O₂/L)	3580
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH₃/L)	1542
pH	7,95
Cloreto (mg/L)	4831
Fósforo (mg/L)	0,59

Turbidez (NTU)	90,6
----------------	------

Tabela IV. 3 – Parâmetros de Freundlich da Isoterma com Carvão em Pó

	Carbomafra	Brasilac
Kf (L/g carvão)	$1,5 \times 10^{-16}$	$7,1 \times 10^{-39}$
1/n	4,846	11,428

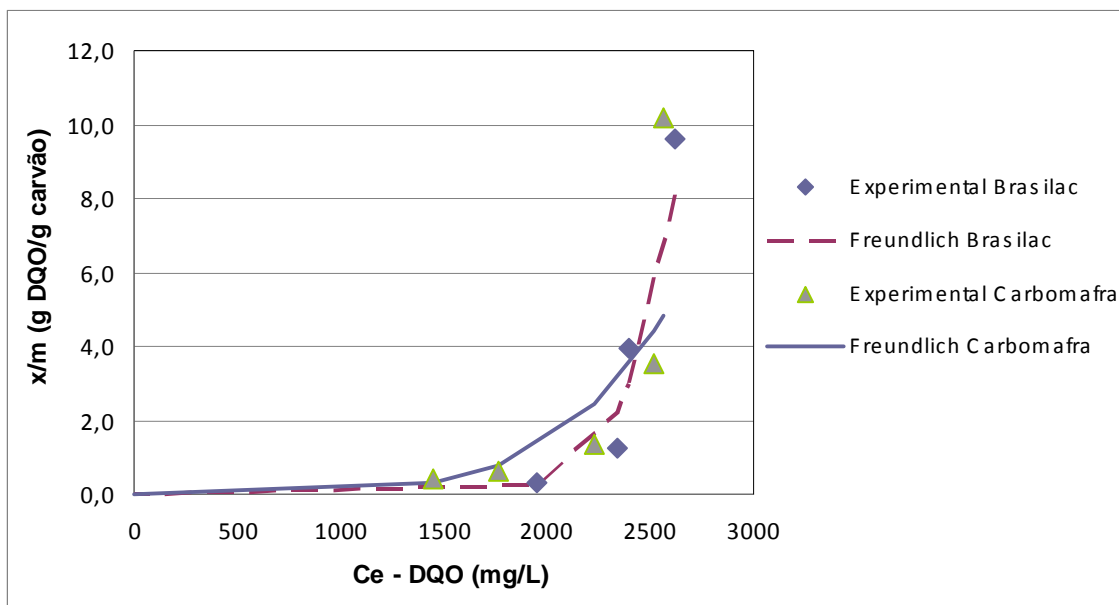


Figura IV. 1 - Isotermas de Freundlich com Carvão Ativado Pó

Analisando os resultados, é possível concluir que para uma mesma concentração de equilíbrio de adsorvato na solução após adsorção, a relação massa de DQO adsorvida por massa de carvão é maior para a marca Carbomafra de CAP. Mostrando que o carvão Carbomafra remove mais DQO que a mesma quantidade de carvão Brasilac. Também pode ser observado que os valores para o fator de capacidade de Freundlich (Kf), observado na Tabela IV.2, encontrado para ambas as marcas é muito pequeno, sendo o Carbomafra o maior. Logo, devido a estes motivos, o carvão ativado em pó Carbomafra foi escolhido para uso na etapa posterior.

IV.1.2 – Ensaios em batelada simulando o processo de lodos ativados com carvão ativado em pó

Tabela IV. 4 - Propriedades da amostra de lixiviado usada nos ensaios em batelada

Parâmetros	Valores
DQO (mg O ₂ /L)	2580
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH ₃ /L)	1506
Turbidez (NTU)	90,6

Nesta etapa, utilizamos amostra de lixiviado bruto caracterizada na Tabela IV.3. O Anexo V contém as tabelas com os pontos usados na construção dos gráficos das Figuras IV.2 a IV.7.

Foram realizados experimentos com sistemas utilizando lodo, lixiviado e carvão ativado em pó da marca Carbomafra em diferentes concentrações. Em cada sistema utilizou-se: lodo e lixiviado (reator controle); lodo, lixiviado e 5g/L de CAP; lodo, lixiviado e 10g/L de CAP. As Figuras IV.2 e IV.3 ilustram os resultados obtidos de monitoramento de DQO e eficiência de remoção de DQO, respectivamente.

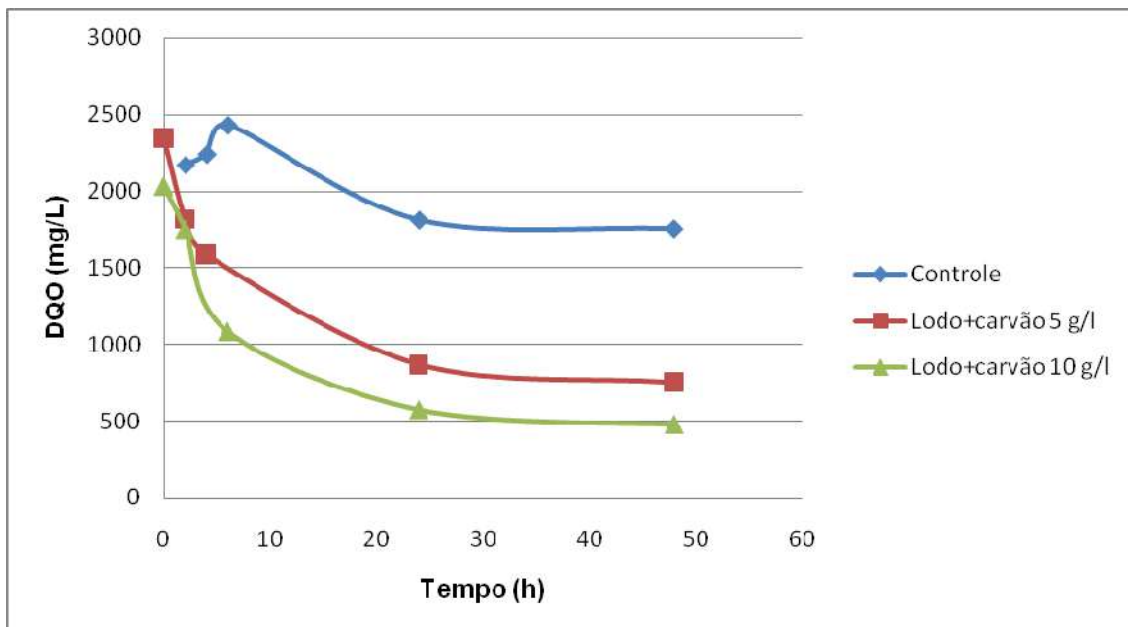


Figura IV. 2 - Resultados de monitoramento de DQO (mg/L) das soluções versus tempo de operação (h)

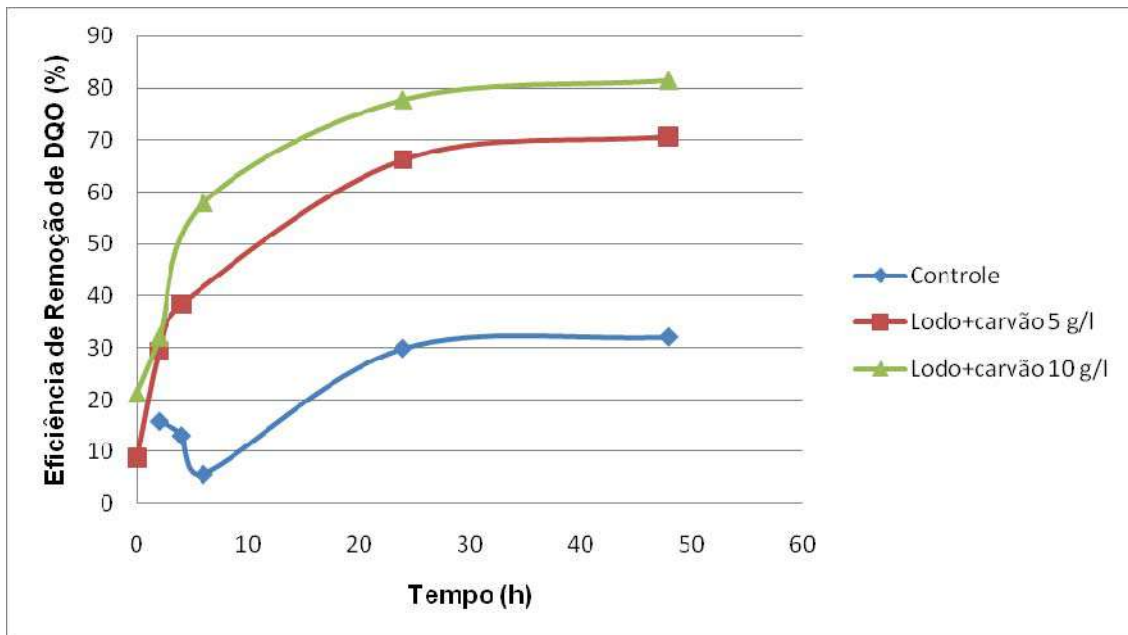


Figura IV. 3 – Resultados de eficiência de remoção de DQO(%) versus tempo de operação (h)

Pelos resultados obtidos, observa-se que os reatores contendo carvão mostram eficiências de remoção de DQO superiores ao reator controle. Enquanto no reator controle a remoção máxima obtida foi de em torno 30% de DQO, para os reatores contendo carvão foram alcançados valores de 70% (5g/L) e 80% (10 g/L), mostrando que houve um efeito sinérgico de tratamento biológico e adsorção. Nota-se ainda que de 5 para 10 g/L o incremento da remoção não foi muito elevado (~10%). Cabe ressaltar que durante o período de ensaio não foi realizada purga de lodo nem reposição de carvão. Também é possível notar que a partir de 24h de operação, a DQO removida não apresenta melhora significativa, o que sugere que o tempo de retenção hidráulica ideal deve ser menor que 24h.

As Figura IV.4 e IV.5 mostram os resultados de nitrogênio amoniacal obtidos durante o monitoramento dos sistemas.

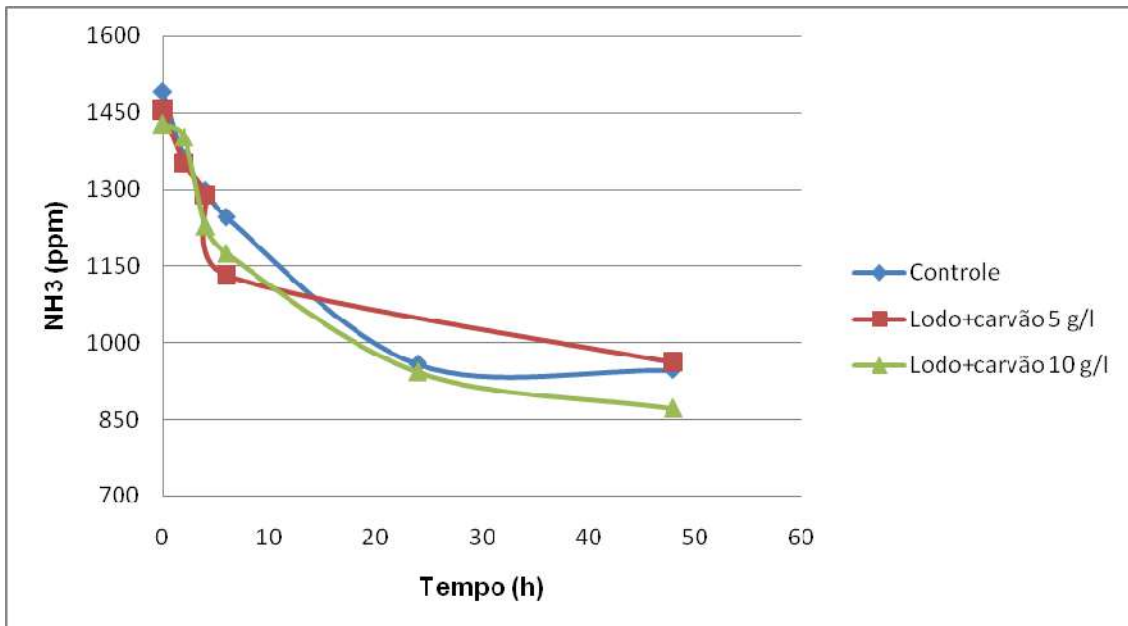


Figura IV. 4 – Resultados de N-NH₃ (mg/L) dos reatores versus tempo de operação (h)

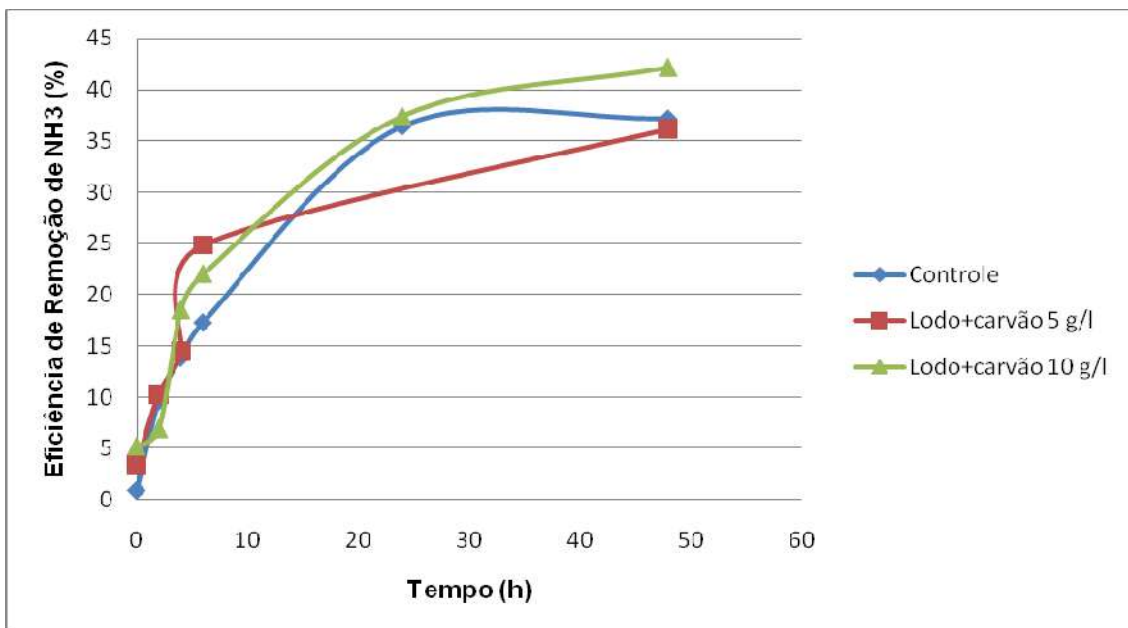


Figura IV. 5 – Resultados de eficiência de remoção de N-NH₃ (mg/L) versus tempo de operação (h)

Pelos resultados apresentados, nota-se que não houve diferença significativa entre os valores encontrados para o reator controle e os reatores contendo carvão. Nota-se também que as remoções foram significativas em torno de 6 horas de operação. Esse fato leva a crer que a remoção alcançada não foi por via biológica, pois é um tempo muito curto para haver nitrificação, além disso, nesse instante ainda há elevada concentração de matéria orgânica,

o que dificulta a nitrificação. Provavelmente, ocorreu arraste da amônia via aeração e adsorção da mesma no lodo biológico e/ou carvão.

As Figuras IV.6 e IV.7 mostram resultados de turbidez obtido. As amostras para esta análise foram retiradas dos sistemas após os tempos de 0, 2, 4, 6 e 24h e antes da leitura da turbidez, deixadas em repouso por 30 minutos para sedimentação do lodo. Foi medida a turbidez do sobrenadante.

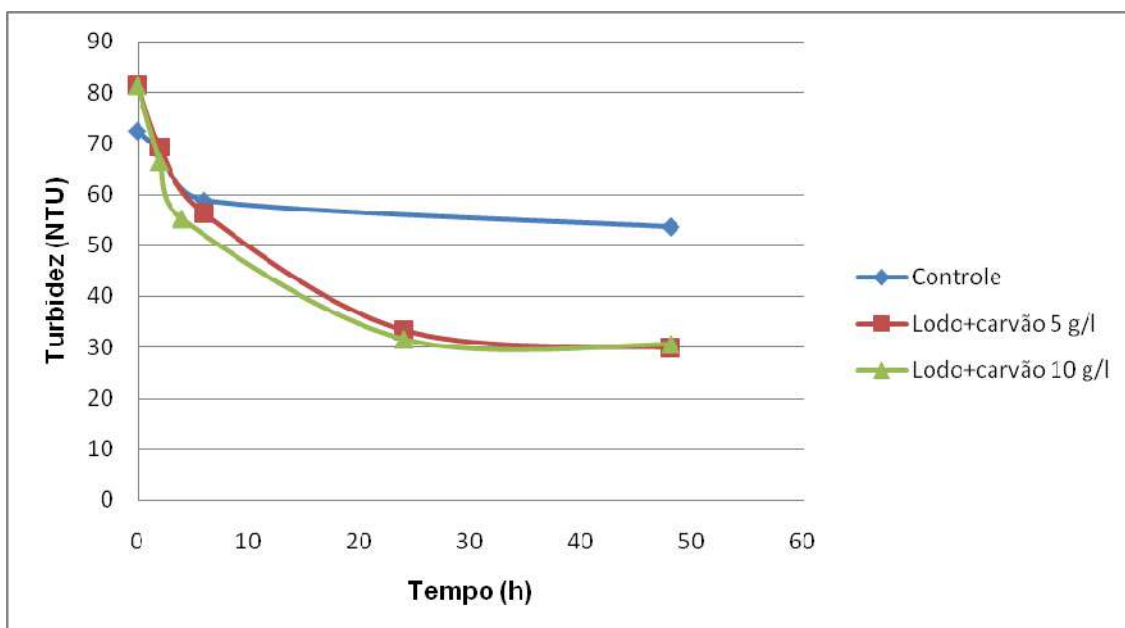


Figura IV. 6 – Turbidez (NTU) das soluções versus tempo de operação (h)

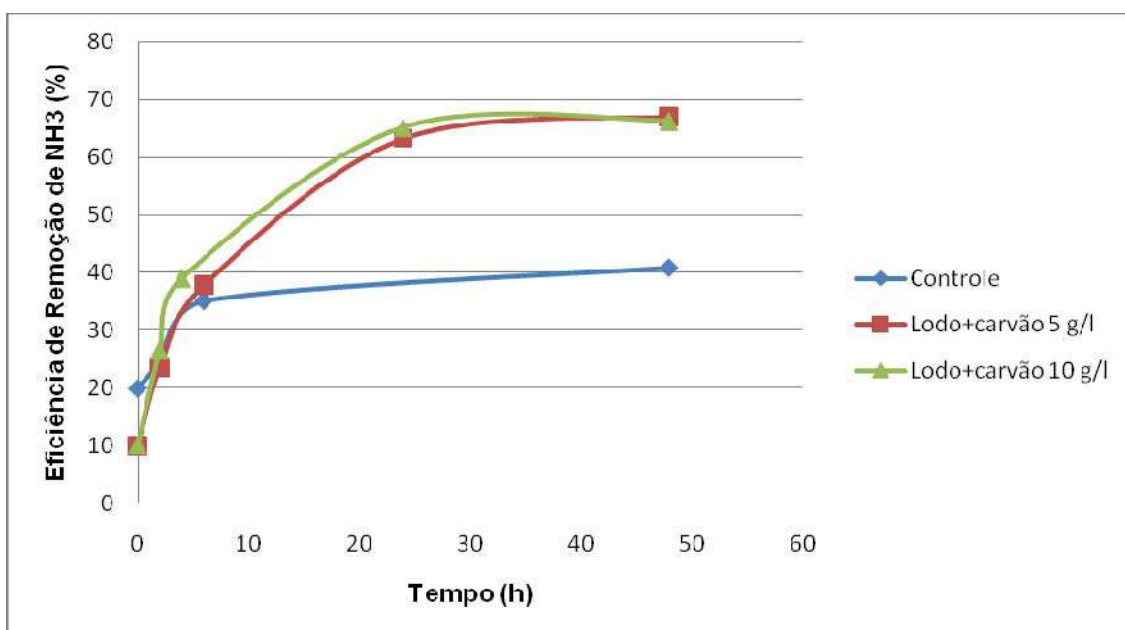


Figura IV. 7 – Eficiência de remoção de Turbidez (NTU) versus tempo de operação (h)

É possível analisar nas Figuras IV.6 e IV.7 que as concentrações de carvão 5g/L e 10g/L apresentaram elevada eficiência na remoção de Turbidez. Contudo, os resultados mostram que não houve diferença na remoção da turbidez entre as duas concentrações de CAP. Isso leva a conclusão de que a concentração adequada de CAP para remoção de turbidez é menor que 5g/L. Também é possível notar que a partir de 24h de operação, a Turbidez removida não apresenta melhora significativa, o que sugere que o tempo de operação ideal deve ser menor que 24h. O sistema controle apresentou pior desempenho mostrando que o carvão ativado foi eficiente para gerar um líquido biotratado mais límpido. Conforme apresentado na Figura IV.8:



Figura IV. 8 – Foto comparativa entre lixiviado bruto e lixiviado após tratamento com lodo ativado e CAP a 10g/L

Ressalta-se que em um sistema contínuo, o fator de importância econômica é a dosagem de reposição de carvão no reator (X_i) e não o teor de carvão dentro do reator (X_p), conforme descrito na Equação 03. A dosagem de reposição é obtida através do balanço entre o TRH, a idade do lodo e X_p e depende da vazão de efluente a ser tratada. Desta forma, como nos

experimentos realizados não houve a reposição de lodo, espera-se que em um sistema contínuo, com reposição diária de carvão, a eficiência de remoção seja maior.

IV.2 – USO DO CARVÃO ATIVADO GRANULAR COMO ETAPA TERCIÁRIA DE TRATAMENTO

IV.2.1 – Levantamento de isoterms para avaliação de diferentes marcas de carvão ativado granular

Nesta etapa foi avaliado o tratamento de lixiviado proveniente do tratamento secundário da ETC do Aterro de Metropolitano de Gramacho com carvão ativado granular (CAG). Para analisar a viabilidade técnica de seu uso, foram levantadas isoterms de adsorção. Foram avaliadas as marcas de CAG Brasilac e Carbomafra. Mediram-se os seguintes parâmetros: DQO e N-NH₃. Na Tabela IV.4 são apresentados resultados de caracterização do lixiviado biotratado que foi utilizado para levantamento das isoterms. A Tabela IV.5 apresenta os valores dos parâmetros ajustados pelas isoterms. Os gráficos de linearização das Isoterms de DQO de Freundlich estão no Anexo II. O Anexo VI contem as tabelas com os pontos usados na construção dos gráficos das Figuras IV.9 e IV.10.

Tabela IV. 5 – Propriedades do lixiviado proveniente do tratamento secundário

Parâmetros	Valores
DQO (mg O ₂ /L)	1010
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH ₃ /L)	1686

Tabela IV. 6 - Parâmetros de Freundlich referente a DQO da Terceira Etapa

	Carbomafra	Brasilac
Kf (L/g carvão)	2,1x10 ⁻³¹	9,9x10 ⁻³⁰
1/n	10,062	9,520

A Figura IV.9 apresenta os dados das isotermas adquiridos nas equações e nos dados experimentais para a DQO e a Figuras IV.12 para o nitrogênio amoniacal.

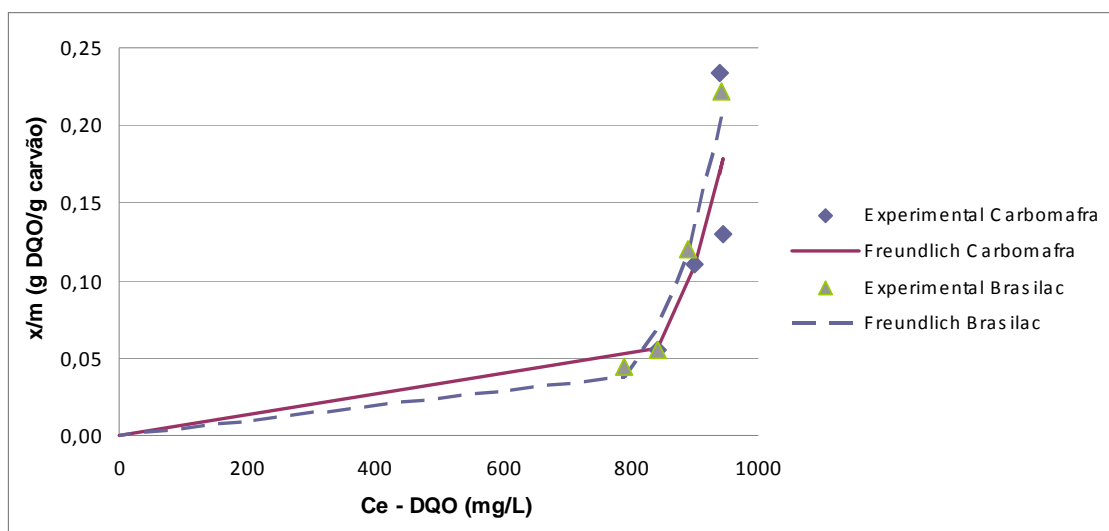


Figura IV. 9 - Isotermas de Freundlich referente a DQO do processo simulando a etapa terciária de tratamento.

A análise da Figura IV.9 permite concluir que há pouca diferença na remoção de DQO entre as duas marcas de carvão ativado granular. Também é possível observar que o aumento da concentração de carvão não acarreta em redução significativa da DQO da solução. O valor máximo de remoção foi alcançado para a maior dosagem de carvão, obtendo-se 800 mg/L (em trono de 20% de remoção). Da Tabela IV.5 é possível observa que o valor encontrado para o fator de capacidade de Freundlich (Kf) tanto para o carvão ativado granular Carbomafra quanto para o Brasilac é muito pequeno, não tendo muito diferença entre os dois tipos. Isso explica a baixa remoção de DQO nas duas marcas.

A Tabela IV.6 apresenta os valores dos parâmetros ajustados pelas isotermas para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os gráficos de linearização das Isotermas de N-NH₃ de Freundlich estão no Anexo III.

Tabela IV. 6 - Parâmetros de Freundlich referente ao N-NH₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento.

	Carbomafra	Brasilac
Kf (L/g carvão)	$3,5 \times 10^{-83}$	$4,2 \times 10^{-137}$
1/n	25,725	43,179

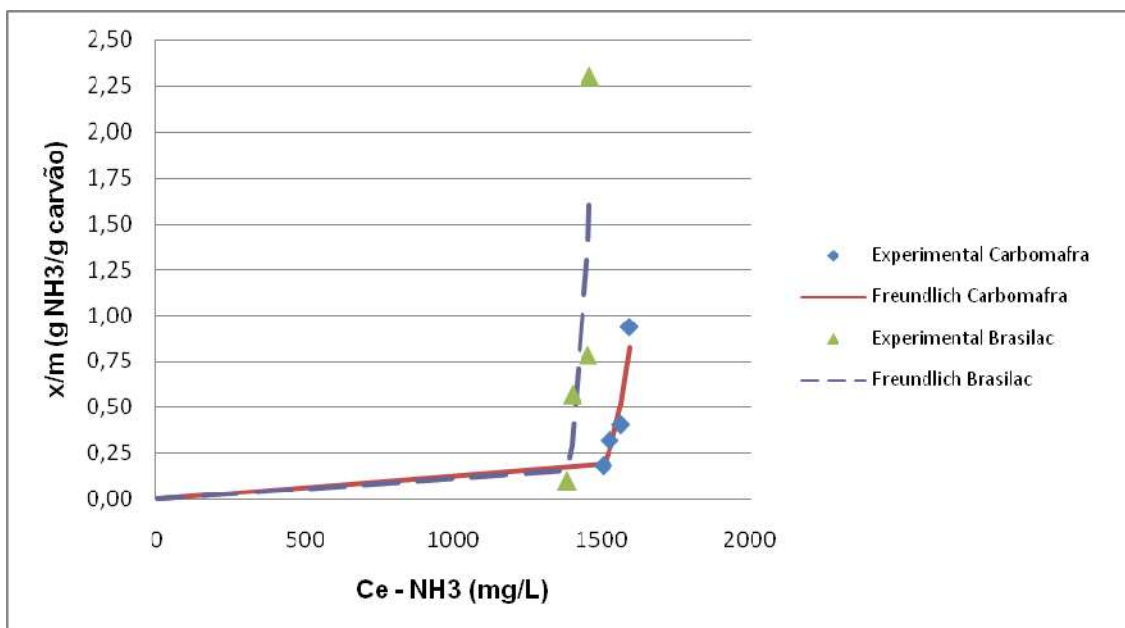


Figura IV. 10 - Isotermas de Freundlich referente ao N-NH₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento.

A análise da Figura IV.10 permite concluir que tanto a marca de carbão ativado granular Carbomafra quanto a Brasilac apresentaram comportamentos muito semelhantes para a adsorção de N-NH₃. Também pode-se observar que o aumento da concentração de carbão não acarreta em redução significativa da N-NH₃ das amostras.

Da tabela IV.6 pode-se observar que ambas as marcas de CAG analisadas apresentam resultados muito baixos para o fator de capacidade de Freundlich.

Diante destes resultados, observa-se que o processo de tratamento terciário utilizando adsorção em carbão ativado granular (com as marcas Brasilac e Carbomafra) não foi efetivo para as condições analisadas.

Capítulo V – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente estudo avaliou o uso do carvão ativado no tratamento de lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho. A partir do estudo realizado, pode-se enumerar as seguintes conclusões:

- A marca de carvão ativado em pó Carbomafra apresentou melhor poder de adsorção de contaminantes que a Brasilac no tratamento do lixiviado bruto;
- O uso de lodo ativado combinado com carvão ativado em pó a 10g/L no tratamento de lixiviado apresentou em média o dobro da eficiência obtida apenas com lodo ativado. Indicando alta sinergia do uso de lodo ativado com CAP;
- Apesar dos resultados de CAP com lodo ativado a 10g/L apresentarem maior eficiência que CAP com lodo ativado a 5g/L, esta diferença não superou 10%;
- O uso de lodo ativado combinado com CAP na concentração de 10g/L removeu 43% do nitrogênio amoniacal, 70% da turbidez e 80% da DQO do lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho. Na concentração de 5g/L removeu 37% do N-NH₃, 70% da turbidez e 70% da DQO;
- O carvão ativado granular não apresentou eficiência satisfatória como tratamento terciário do lixiviado.

Como conclusão geral, notou-se que o tratamento de lixiviado de aterro sanitário tratado com lodo ativado e carvão ativado em pó apresenta boas perspectivas.

Sugestões

Como sugestões para seqüência do trabalho, é possível apontar o uso de carvão ativado com lodo ativado em reator contínuo, a reposição de carvão no sistema e estudo de viabilidade econômica.

Em relação à análise do carvão ativado granular como tratamento terciário do lixiviado, sugere-se teste em coluna para verificar reprodutibilidade dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKTAS, O. ÇEÇEN, F. Activated carbon addition to batch activated sludge reactors in the treatment of landfill leachate. Chem. Technol. Biotechnol. 76, 793–802 (2001).

APHA / AWWA / WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed. USA, APHA, 2005.

BILA, D.M.; MONTALVÃO, A. F.; SILVA, A.C.; DEZOTTI, M.. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. Journal of Hazardous Materials B117, 235–242 (2005).

CAMPOS, J.C. Notas de aula: Química Ambiental. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. (2009)

CASTILHO Jr, A.B., org. "Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na Proteção dos Corpos d'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários", PROSAB/FINEP, vol. 3, Ed. Sermograf, Rio de Janeiro, (2006).

ÇEÇEN, F., AKTAS, O.,. Effect of PAC addition in combined treatment of landfill leachate and domestic wastewater in semi-continuously fed batch and continuous-flow reactors. Water SA 27 (2), 177–188 (2001).

COSTA, F.C, *et al.*, M. Aplicação de Carvão Ativado em Pó (CAP) ao Processo Biológico de Tratamento de um Efluente da Indústria Química. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 2, p. 170-176. (2003).

ECKENFELDER Jr., W. W., 1989, Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill Book Company, New York.

FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. The Journal of Hazardous Materials. Disponível online em 18/06/2009 <[doi:10.1016/j.jhazmat.2009.06.038](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.038)> (2009)

GIORDANO, G.; FERREIRA, J.A.; PIRES, J.C.A.; RITTER, E.; CAMPOS, J.C.; ROSSO, T.C.A. Tratamento do Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho – Rio de Janeiro. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México. (2002).

KULIKOWSA D., KLIMIUK E., 2008, The effect of landfill age on municipal leachate composition, Bioresource Technology 99, 5981–5985.

MANNARINO, C.F. Uso de Wetland Sub-Superficial no Tratamento de Efluente de Estação de Tratamento de Chorume Por Lodos Ativados. xiv, 87 p. 29,7 cm. Dissertação de Mestrado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (2003).

METCALF & EDDY, 2003. Wastewater Engineering, 4 ed. Mc Graw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering New York, USA.

NASCIMENTO, I, MUHLEN, C.V., CAMARÃO, E.B.. Estudo de compostos orgânicos em lixiviado de aterros sanitários por EFS e CG/M. Química Nova 24 (4), 554-556 (2001).

NASCIMENTO, V. B. do. Análise da Remediação Ambiental do Aterro Metropolitano de Gramacho. Dissertação de Mestrado – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. (2002)

ORHANSKY, F., NARKIS, N.. Characteristics of organics removal by PACT simultaneous adsorption and biodegradation. Water Res. 31, 391–398 (1997).

Portal da COMLURB. Disponível em

<http://comlurb.rio.rj.gov.br/serv_atgramacho.htm>. Acesso em 03/09/2009.

Portal “O Globo Online”. Disponível em
<<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2009/05/04/comlurb-inaugura-primeira-fase-da-estacao-de-tratamento-de-chorume-de-gramacho-755681789.asp>>. Acesso em 03/09/2009.

Portal da Siemens. Disponível em
<http://www.water.siemens.com/en/products/biological_treatment/integrated_advanced_wastewater_systems/Pages/zimpro_pact_system.aspx>. Acesso em 04/09/09.

Portal da TECMA. Disponível em
http://tecma-tecnologia.com.br/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=14&Itemid=32>.

RAMALHO, R. S., 1991. Tratamento de Aguas Residuales, Editorial Reverté, S.A., Barcelona.

SIEMENS, 2006. Landfill Leachate Treatment Using the PACT® System. SiemensWater Technologies301 West Military Road Rothschild, WI 54474
www.siemens.com/water.

SILVA, A.C.. Tratamento do percolato de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto tratado. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil (2002).

SUBLETTE, K.L., SNIDER, E.H., SYLVESTER, N.D.. A review of the mechanism of powdered activated carbon enhancement of activated sludge treatment. Water Res. 16, 1075–1082 (1982).

VALLE, A.O. Avaliação Preliminar do Processo PACT® no Tratamento de Efluente de Refinaria. XI, 52p. 29,7 cm (Projeto final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola de Química. (2008).

ANEXOS

Anexo I – Linearização da Isoterma de DQO de Freundlich referente à primeira etapa do trabalho

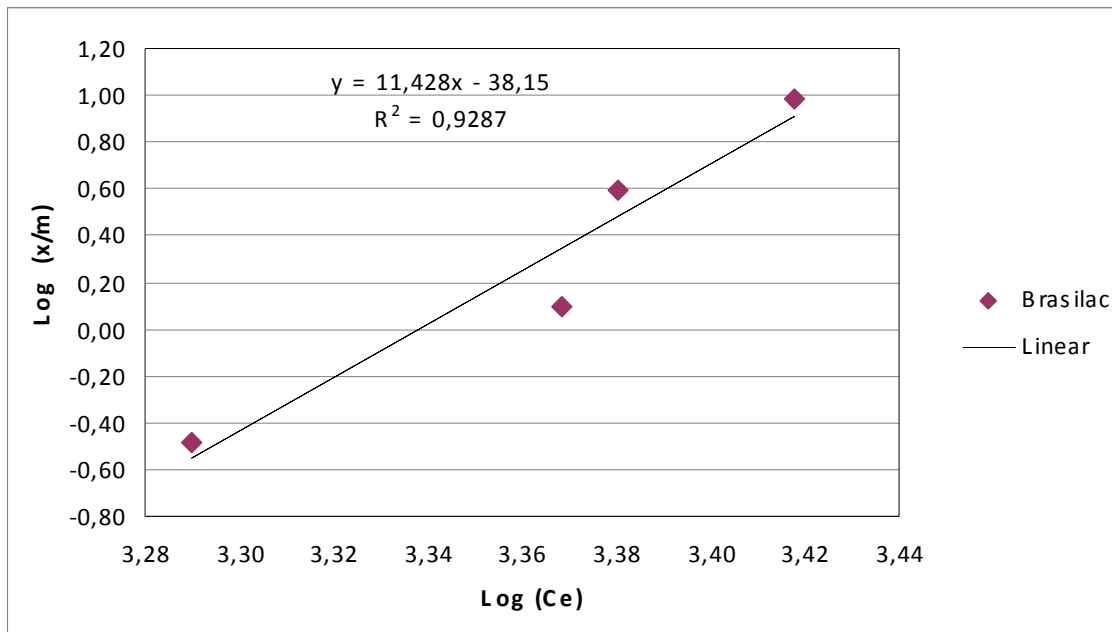


Gráfico Anexo 1 – Linearização da Isoterma de DQO de Freundlich referente à primeira etapa do trabalho da marca Brasilac

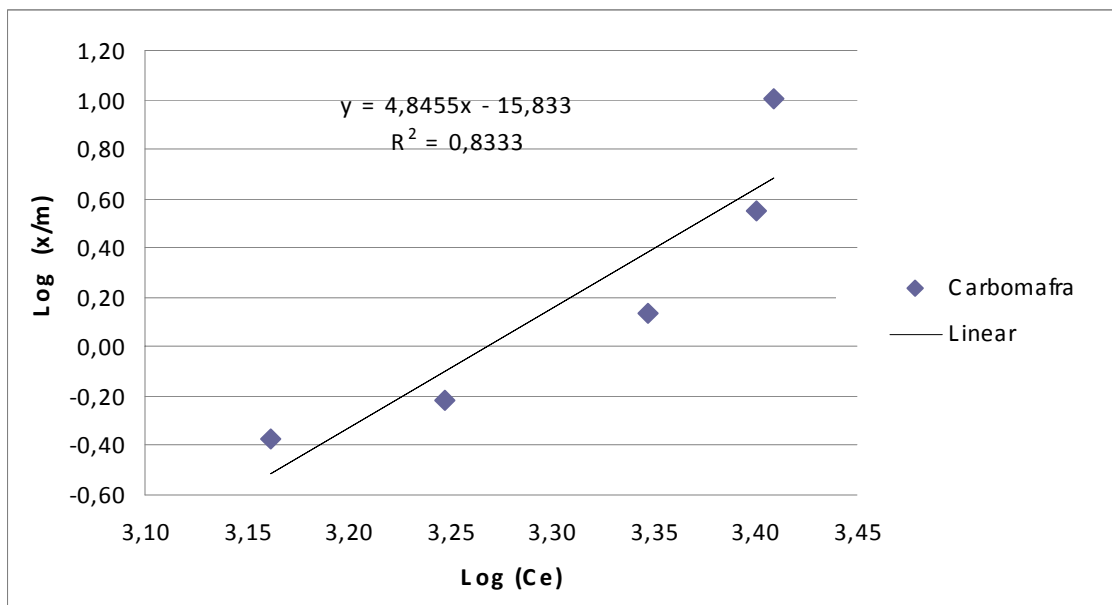


Gráfico Anexo 2 – Linearização da Isoterma de DQO de Freundlich referente à primeira etapa do trabalho de marca Carbomafra

Anexo II – Linearização da Isoterma de Freundlich referente a DQO do processo simulando a etapa terciária de tratamento.

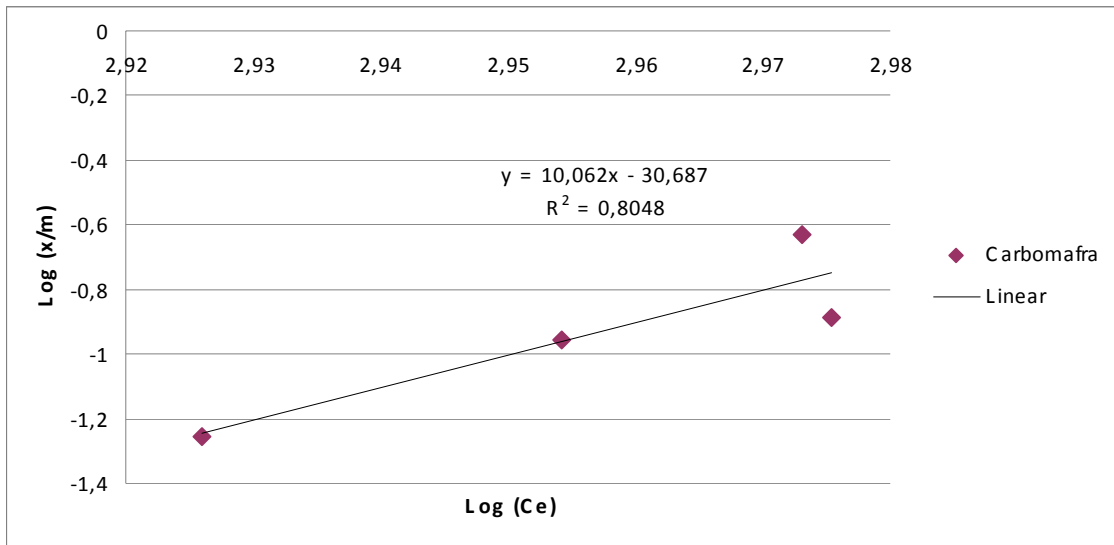


Gráfico Anexo 3 – Linearização da Isoterma de Freundlich referente a DQO do processo simulando a etapa terciária de tratamento da marca Carbomafra

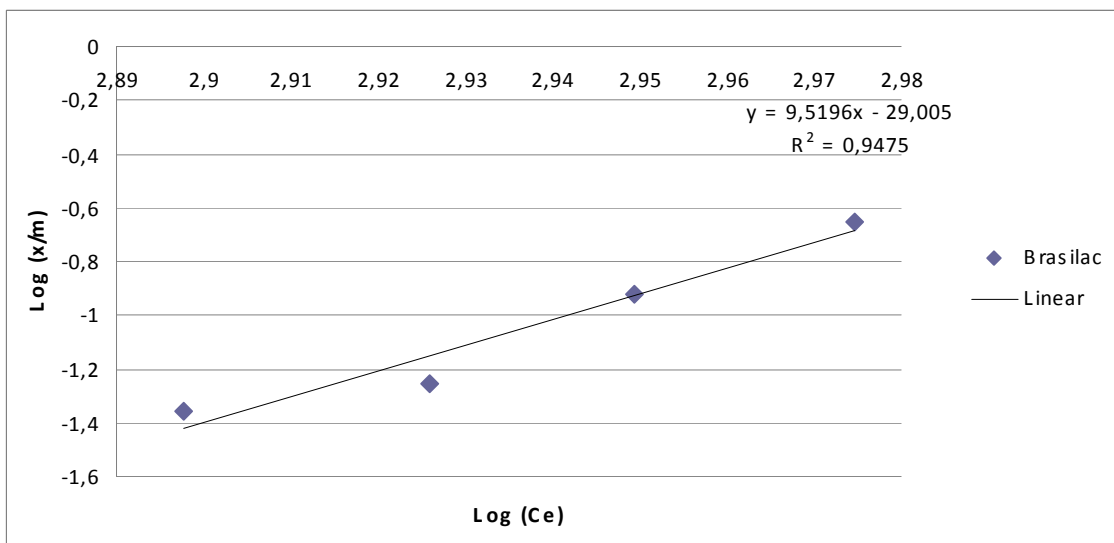


Gráfico Anexo 4 – Linearização da Isoterma de Freundlich referente a DQO do processo simulando a etapa terciária de tratamento da marca Brasilac

Anexo III – Linearização da Isoterma de Freundlich referente ao N-NH₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento.

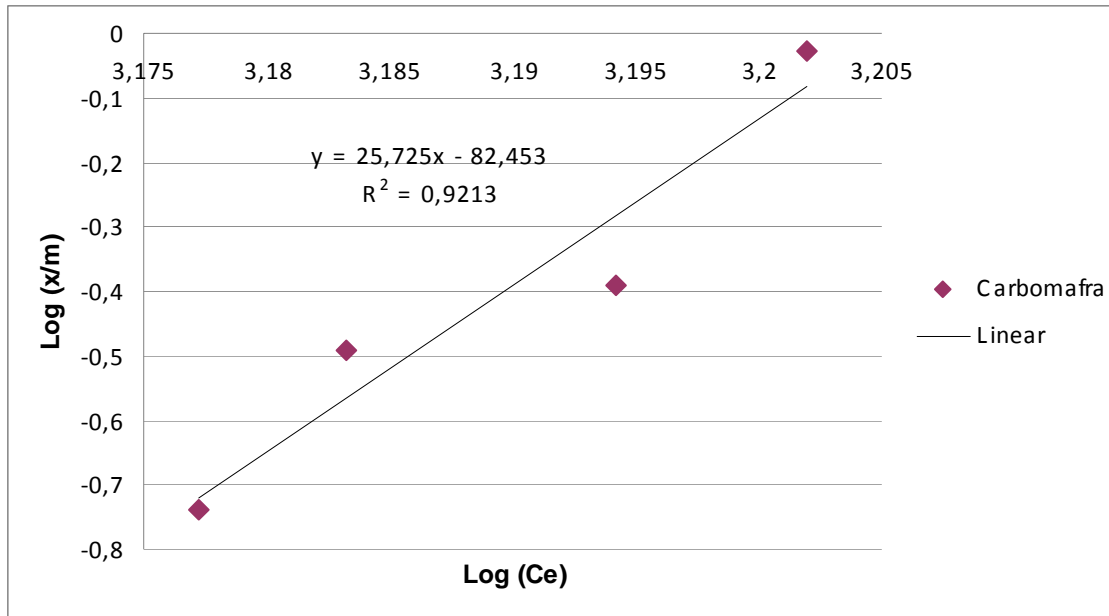


Gráfico Anexo 5 - Linearização da Isoterma de Freundlich referente ao N-NH₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento da marca Carbomafra

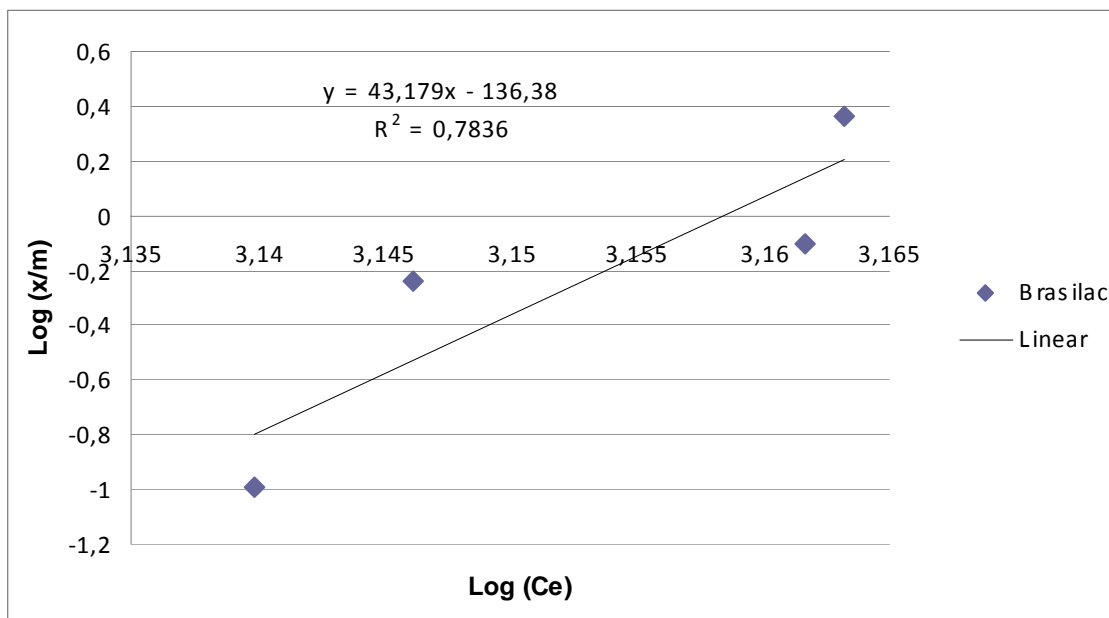


Gráfico Anexo 6 - Linearização da Isoterma de Freundlich referente ao N-NH₃ do processo simulando a etapa terciária de tratamento da marca Brasilac

Anexo IV – Tabela com dados da análise de DQO referentes ao item IV.1.1 (Levantamento de isotermas para escolha do carvão ativado em pó)

Os pontos considerados para plotagem dos gráficos estão marcados em cinza. Apesar da repetição das análises, alguns pontos apresentaram incoerência e por isso foram descartados.

Tabela Anexo 1 – Análise de DQO para primeira etapa do trabalho (Item IV.1.1)

g carvão / L	DQO Brasilac (mg/L)	DQO Carbomafra (mg/L)
0,1	2616,7	2563,3
0,3	2400,0	2515,0
0,5	2875,0	3000,0
1,0	2336,7	2225,0
3,0	2493,3	1766,7
5,0	1950,0	1450,0

Anexo V – Tabela com dados da análise de DQO, N-NH₃ e turbidez referentes ao item IV.1.2 (Ensaio em batelada simulando o processo de lodos ativados com carvão ativado em pó)

Os pontos considerados para plotagem dos gráficos estão marcados em cinza. Apesar da repetição das análises, alguns pontos apresentaram incoerência e por isso foram descartados.

Tabela Anexo 2 – Análise de DQO para segunda etapa do trabalho (Item IV.1.2)

controle		lodo+carvao 5g/l		lodo+carvao 10g/l	
tempo	DQO [mg/l]	tempo	DQO [mg/l]	tempo	DQO [mg/l]
0	8316,7	0	2350,0	0	2030,0
2	2170,0	2	1820,0	2	1750,0
4	2240,0	4	1586,7	4	1770,0
6	2430,0	6	1770,0	6	1085,0
24	1810,0	24	870,0	24	575,0
48	1753,3	48	753,3	48	480,0

Tabela Anexo 3 – Análise de N-NH₃ para segunda etapa do trabalho (Item IV.1.2)

controle		lodo+carvao 5g/l		lodo+carvao 10g/l	
tempo	[ppm]	tempo	[ppm]	tempo	[ppm]
0	1492,4	0	1454,3	0	1427,8
2	1361,0	2	1351,0	2	1401,7
4	1297,3	4	1287,8	4	1227,5
6	1245,8	6	1131,9	6	1174,4
24	957,6	24	931,7	24	942,7
48	946,4	48	961,3	48	871,7

Tabela Anexo 4 – Análise de turbidez para segunda etapa do trabalho (Item IV.1.2)

controle		lodo+carvao 5g/l		lodo+carvao 10g/l	
tempo	NTU	tempo	NTU	tempo	NTU
0	72,5	0	81,6	0	81,4
2	68,4	2	69,3	2	66,5
4	75,5	4	74,3	4	55,2
6	58,8	6	56,3	6	64,8
24	41,4	24	33,3	24	31,5
48	53,6	48	29,9	48	30,5

Anexo VI – Tabela com dados da análise de DQO e N-NH₃ referentes ao item Uso do CAG como etapa Terciária de Tratamento (IV.2.1 Levantamento de isotermas para avaliação de diferentes marcas de carvão ativado granular)

Os pontos considerados para plotagem dos gráficos estão marcados em cinza. Apesar da repetição das análises, alguns pontos apresentaram incoerência e por isso foram descartados.

Tabela Anexo 4 – Análise de DQO para terceira etapa do trabalho (Item IV.1.2)

CARBOMAFRA		BRASILAC	
Conc. Carvão [g/L]	DQO [mg/l]	Conc. Carvão [g/l]	DQO [mg/L]
0,1	883,3	0,1	853,3
0,3	940,0	0,3	943,3
0,5	945,0	0,5	893,3
1,0	900,0	1,0	890,0
3,0	843,3	3,0	843,3
5,0	883,3	5,0	790,0

Tabela Anexo 5 – Análise de N-NH₃ para terceira etapa do trabalho (Item IV.1.2)

CARBOMAFRA		BRASILAC	
Conc. Carvão [g/l]	N-NH ₃ [ppm]	Conc. Carvão [g/l]	N-NH ₃ [ppm]
0,1	1592,0	0,1	1456,1
0,3	1564,0	0,3	1450,9
0,5	1525,0	0,5	1400,0
1,0	1504,0	1,0	1456,1
3,0	1570,0	3,0	1380,1
5,0	1686,0	5,0	1109,8