

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS E
TECNOLOGIAS

ESTUDO DA CINÉTICA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO DE
LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

CÁTIA ELIANE DA SILVA

CÁTIA ELIANE DA SILVA

**ESTUDO DA CINÉTICA DO TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO
DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientado pela Prof. Dr. Lademir Luiz Beal.

CAXIAS DO SUL, 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

S586e Silva, Cátia Eliane da

Estudo da cinética do tratamento biológico aeróbio de lixiviado de
aterro sanitário / Cátia Eliane da Silva. – 2019.

108 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, 2019.

Orientação: Lademir Luiz Beal.

1. Aterro sanitário. 2. Resíduos sólidos - Tratamento. 3. Movimento.
I. Beal, Lademir Luiz, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 628.4

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Paula Fernanda Fedatto Leal - CRB 10/2291

“Estudo da Cinética do Tratamento Biológico Aeróbio de Lixiviado de Aterro Sanitário.”

Cátia Eliane da Silva

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos e Tecnologias, Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos e Produtos Industriais

Caxias do Sul, 30 de abril de 2019

Orientador:

Prof. Dr. Lademir Luiz Beal
Orientador
Universidade de Caxias do Sul

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Aldo José Pinheiro Dillon
Universidade de Caxias do Sul

Profa. Dra. Eloane Malvessi
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Luís Alcides Schiavo Miranda
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por mais um caminho percorrido.

Aos meus pais Eliane Santos da Silva e José Vanderlei Cezar da Silva pelo incentivo, dedicação e amor ao longo de todas as etapas de minha vida.

Ao meu marido Juliano Pohlmann pelo incentivo, suporte e carinho.

Aos meus amigos e familiares que sempre estavam dispostos a me ajudar.

Ao meu orientador Lademir Luiz Beal, pela orientação, conhecimento e principalmente esforço para a realização das tarefas. Foi gratificante trabalhar com você.

Às técnicas de laboratório Juliane Azevedo e Edinéia Tomazi Stroehrer pelo trabalho, conhecimento e gentileza durante a execução dos resultados.

Aos professores da banca pela correção deste trabalho.

Ao LATAM pela contribuição para realização e análises dos experimentos.

À empresa CODECA, à Prefeitura de Caxias do Sul e aos meus colegas de trabalho pela oportunidade e apoio na realização desta pesquisa.

Serei sempre grata a todos vocês.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	16
3.2	DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERRO SANITÁRIO	17
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO	17
3.4	FORMAS DE TRATAMENTO DO LIXIVIADO	18
3.4.1	Tratamentos físico-químico: coagulação, floculação e decantação	19
3.4.2	Tratamentos Biológicos de efluentes	20
3.4.3	Interferentes no processo de lodos ativados	22
3.4.4	Tratamento de lixiviado com oxidação avançada - reagente de Fenton.....	23
3.4.5	Tratamento de efluentes a partir de separação por membranas	24
3.4.6	Adsorção com carvão ativado.....	25
3.5	RESPIRAÇÃO MICROBIANA.....	25
3.5.1	Ensaio de respirometria.....	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DO ATERRO ESTUDADO	28
4.2	COLETA E ARMAZENAMENTO DO LIXIVIADO E LODO	29
4.3	ANÁLISES E CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO E LODO AERÓBIO	30
4.4	EXPERIMENTOS REALIZADOS	31
4.4.1	Experimento 1	33
4.4.2	Experimentos 2.....	33
4.4.3	Experimento 3	34
4.4.4	Experimento 4	35
4.4.5	Experimento 5	35
4.5	ENSAIOS REALIZADOS	36
4.5.1	Respirometria aeróbia.....	36
4.5.2	Respirometria Endógena.....	37
4.5.3	Teor de lodo e tamanho de partícula	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	ESTUDO DO HISTÓRICO DE ANÁLISES QUÍMICAS	39

5.1.1	Análise do valor apresentado pelos parâmetros DQO, DBO₅, NH₃-N e NTK39	
5.1.2	Interferentes no processo de lodos ativados	42
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO E LODOS UTILIZADO PARA PROCESSOS AERÓBIOS	43
5.3	ESTUDO DA CINÉTICA A PARTIR DO CONSUMO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL (NH ₃ -N).....	45
5.3.1	Experimento 1	45
5.3.2	Experimento 2	46
5.3.3	Experimento 3	49
5.3.4	Experimento 4	51
5.3.5	Experimento 5	53
5.3.6	Eficiência do consumo de NH₃-N durante os experimentos	54
5.4	ESTUDO DA VARIAÇÃO DE PH E CONSUMO DE ALCALINIDADE	56
5.4.1	Ambientação do Experimento 1	56
5.4.2	Experimento 1 e Experimento 2	57
5.4.3	Experimento 3, 4 e 5	58
5.5	ESTUDO DA CINÉTICA DA REDUÇÃO DE DQO	60
5.5.1	Experimento 1	60
5.5.2	Experimento 2	61
5.5.3	Experimento 3	61
5.5.4	Experimento 4	63
5.5.5	Experimento 5	64
5.5.6	Eficiência da redução do parâmetro DQO	65
5.6	ENSAIOS DE RESPIROMETRIA AERÓBIA	67
5.7	TEOR DE LODO E ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO	69
5.8	MEDIDA DO TAMANHO DE PARTÍCULA	71
5.8.1	Experimento 3	71
5.8.2	Experimento 4	71
5.8.3	Experimento 5	72
6	CONCLUSÃO.....	73
7	RECOMENDAÇÕES.....	75
	REFERÊNCIAS	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado de lagoas em séries para o tratamento de lixiviado	22
Tabela 2. Resultados do tratamento com oxidação avançada.....	23
Tabela 3- Concentração de compostos xenobióticos identificados no lixiviado bruto de aterro sanitário.....	43
Tabela 4. Caracterização dos lixiviados brutos utilizado	44
Tabela 5. Características do lodo utilizado.....	44
Tabela 6. Velocidade cinética da reação de nitrificação nos Experimentos 1.....	46
Tabela 7. Cálculo da velocidade cinética da reação de nitrificação no Experimento 2.....	48
Tabela 8. Velocidades máximas de cada experimento	49
Tabela 9. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 3.....	51
Tabela 10. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 4.....	52
Tabela 11. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 5.....	54
Tabela 12. Eficiência de consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$ dos Experimentos 1, 2, 3, 4 e 5	55
Tabela 13. Consumo de alcalinidade por nitrogênio oxidado	58
Tabela 14. Velocidades globais de consumo de substrato.....	62
Tabela 15. Velocidades globais de consumo de substrato.....	63
Tabela 16. Velocidades globais de consumo de substrato.....	64
Tabela 17. Eficiência de redução de DQO durante os Experimentos 3, 4 e 5.....	65
Tabela 18- Teor de lodo durante os processos	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação do lixiviado de aterro sanitário a partir de diferentes características	18
Quadro 2- Análises químicas utilizadas	30
Quadro 3- Características de cada experimento	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases da degradação de resíduos sólidos em aterro sanitário	17
Figura 2. Processo de nitrificação e desnitrificação	21
Figura 3. Tamanho dos poros das membranas e separação dos compostos	24
Figura 4. Variação da concentração de oxigênio por tempo	27
Figura 5. Proposta de tratamento exposta em diagrama de blocos.....	28
Figura 6. Local onde foi retirado amostra de lixiviado bruto.....	30
Figura 7. Reatores de lodos ativados.....	31
Figura 8. Ambientação da biota de lodos ativados.....	32
Figura 9. Fluxograma do Experimento 1.....	33
Figura 10. Fluxograma do Experimento 2.....	34
Figura 11. Fluxograma Experimento 3.....	34
Figura 12. Fluxograma Experimento 4.....	35
Figura 13. Fluxograma Experimento 5.....	36
Figura 14. Ensaio de respirometria aeróbia.....	37
Figura 15. Resultados das análises de DQO e DBO ₅ referentes nos anos de 2015 a 2018.....	39
Figura 16. Estudo do histórico da relação DBO ₅ /DQO do lixiviado de aterro sanitário em função do tempo	40
Figura 17. Resultados das análises de NH ₃ -N e NTK referentes aos anos de 2015 a 2018	41
Figura 18. Estudo do histórico da relação C/N do lixiviado de aterro sanitário	41
Figura 19. Análise sobre o histórico da concentração de metais em 2017 e 2018	42
Figura 20. Avaliação do consumo de NH ₃ -N no Experimento 1	45
Figura 21. Avaliação do consumo de NH ₃ -N no Experimento 2.....	47
Figuras 22. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 3, Reator A.....	49
Figuras 23. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 3, Reator B.....	50
Figuras 24. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 4, Reator A.....	51
Figuras 25. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 4, Reator B.....	52
Figuras 26. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 5, Reator A.....	53
Figuras 27. Consumo de NH ₃ -N, Experimento 5, Reator B.....	53
Figura 28. Variação de pH durante a ambientação do Experimento 1	57
Figura 29. Variação de pH no Experimento 1	57
Figura 30. Variação de pH no Experimento 2	58
Figura 31. Variação de pH no Experimento 3	59

Figura 32. Variação de pH no Experimento 4	59
Figura 33. Variação de pH no Experimento 5	59
Figura 34. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 1.....	60
Figura 35. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 1.....	61
Figura 36. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 2.....	61
Figura 37. Consumo de DQO Experimento 3	62
Figura 38. Consumo de DQO Experimento 4	63
Figura 39. Consumo de DQO Experimento 5	64
Figura 40. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia durante o Experimento 3..	67
Figura 41. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia durante o Experimento 4..	68
Figura 42. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia Exp.5	68
Figura 43. Ensaio de respirometria endógena	69
Figura 44. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 3.	71
Figura 45. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 4.....	72
Figura 46. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 5.....	72
Figura 40. Ensaios de respirometria aeróbia durante o Experimento 3.....	102
Figura 41. Ensaios de respirometria aeróbia, Experimento 4.....	103
Figura 42. Ensaios de respirometria aeróbia, Experimento 4.....	104

RESUMO

Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos geram grandes quantidades de lixiviados, efluentes que apresentam elevadas concentrações de poluentes. Assim torna-se necessário o estudo de processos que tratem este efluente de forma eficaz. Este trabalho propõe o tratamento para lixiviado utilizando biorreator aeróbio.

Como o lixiviado de aterro sanitário é um efluente que sofre muita variação nas concentrações dos parâmetros, foi levantado um histórico de parâmetros do lixiviado em seu estado intermediário. Os valores médios encontrados para os parâmetros DQO, DBO₅, NH₃-N e NTK foram 4.981 mgO₂.L⁻¹, 1.803 mgO₂.L⁻¹, 1.496 mg.L⁻¹ e 1.699 mg.L⁻¹, respectivamente. Os ensaios foram realizados em bancada com o objetivo de analisar a cinética de consumo de nitrogênio amoniacal e redução do parâmetro DQO. Realizou-se cinco experimentos com três amostras diferentes de lixiviado, todas provenientes do aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos de Caxias do Sul (RS/BR). Durante os processos foram realizados ensaios em regime de batelada, com adição de carvão ativado, ensaios de respirometria aeróbia, tamanho de partícula e teor de lodo.

A maior eficiência alcançada no consumo de nitrogênio amoniacal foi 83,4 % com 11 dias de tempo de detenção. Para a redução no parâmetro DQO, a maior eficiência alcançada foi 71,2 %, com 6 dias de tempo de detenção, sendo que 47 % deste consumo ocorreu nas primeiras 12 h do processo. Amostras que apresentaram menor rendimento no consumo de nitrogênio amoniacal possivelmente continham em sua composição compostos orgânicos complexos.

A partir dos resultados pode-se concluir que as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal durante as primeiras doze horas, apresentaram resultados próximos às velocidades encontradas durante seis dias de experimento. As velocidades específicas de redução do parâmetro DQO, durante as primeiras doze horas são maiores que as velocidades encontradas durante os primeiros seis dias de experimento. A ambientação do lodo ativado em lixiviado de aterro sanitário diminuiu o desempenho de bactérias heterotróficas. A adição de carvão ativado ao processo atuou principalmente na redução do parâmetro DQO lentamente biodegradável, não alterou o desempenho das bactérias heterotróficas nem melhorou a sedimentação do lodo.

Palavras- chave: Lixiviado de aterro sanitário, tratamento aeróbio de efluentes, cinética.

ABSTRACT

Sanitary landfills of urban solid waste generate large quantities of leachate, effluents with high concentrations of pollutants. So, it is necessary to study processes to treat this effluent in an effective way. This study proposes leachate treatment process using aerobic bioreactor.

As the landfill leachate is an effluent that is affected by variations of parameters, it was evaluated a historical of leachate parameters in its intermediate state. The mean values found for COD, BOD₅, NH₃-N and TKN presented 4,981 mgO₂.L⁻¹, 1,803 mgO₂.L⁻¹, 1,496 mg.L⁻¹, and 1,699 mg.L⁻¹, respectively. The tests were carried out on a bench scale with the objective of analyzing the kinetics of ammonia nitrogen consumption and reduction of the COD parameter. Five experiments were carried out on three different samples of leachate, all from the municipal solid waste landfill of Caxias do Sul (RS / BR). During the processes were carried out trials in batch system, with addition of activated carbon, aerobic respirometry tests, particle size and sludge content.

The highest efficiency achieved in the consumption of ammoniacal nitrogen was 83.4% in 11 days of detention time. For the reduction in COD, the highest efficiency was 71.2%, in 6 days of detention time, with 47% of this consumption occurring in the first 12 hours of the process. The samples that contained xenobiotic compounds in their composition presented a lower yield in the ammoniacal nitrogen consumption.

From the results it can be concluded that the rates of consumption of ammoniacal nitrogen during the first twelve hours, presented results close to the velocities found during six days of experiment. The specific reduction rates of the COD parameter during the first twelve hours are greater than the velocities encountered during the first six days of the experiment. The environment of activated sludge in landfill leachate decreased the performance of heterotrophic bacteria. The addition of activated carbon to the process mainly led to the reduction of the COD parameter slowly biodegradable, did not alter the performance of the heterotrophic bacteria nor did it improve sedimentation of the sludge.

Keywords: Landfill leachate, aerobic treatment of effluents, kinetics.

1 INTRODUÇÃO

A legislação brasileira estipula que resíduos sólidos urbanos devem ser dispostos em aterros sanitários. Segundo o panorama de resíduos sólidos no Brasil de 2016, dos 71,34 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, 17,4 % têm destinação final em vazadouros a céu aberto, 24,2 % em aterros controlados e 58,4 % em aterros sanitários. Sendo assim, 41,6 % dos resíduos sólidos urbanos brasileiros devem ter a sua disposição adequada à nova realidade (PNRS, 2010; ABRELPE, 2016).

Em aterros sanitários, a massa de resíduo é aterrada e sofre biodegradação anaeróbia. Este processo, auxiliado por lixiviação pela água da chuva, produz biogás (rico em CH_4 e CO_2) e lixiviado de aterro sanitário. O impacto ambiental causado pelo lixiviado de aterro sanitário sem tratamento adequado condicionou autoridades a fixar requisitos cada vez mais rigorosos para o controle de descarte deste efluente (RENOU *et al.*, 2007).

Lixiviado de aterro sanitário é um efluente de coloração escura que apresenta em sua composição elevada concentração de demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio em 5 dias (DBO_5), sais dissolvidos e compostos nitrogenados que se encontram, principalmente, na forma de nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. Sendo assim, este efluente apresenta elevado potencial de contaminação para corpos d'água, podendo vir a contaminar o solo e mananciais subterrâneos. O efluente de aterro sanitário sofre variação de composição e parâmetros com a amostra e idade do resíduo sólido urbano aterrado, temperatura e pluviometria do local. O tratamento deste efluente é um processo complexo, devido à qualidade e quantidade do efluente gerado, que se caracteriza por conter elevada concentração de materiais biodegradáveis e não biodegradáveis (LEITE *et al.*, 2014; LUGOWSKI *et al.*, 2014).

Os processos de tratamento mais comuns em lixiviado de aterro sanitário, encontram-se biodegradação, coagulação, floculação e sedimentação, adsorção com carvão ativado e processos oxidativos avançados. Dentre os novos processos de tratamento, encontra-se, filtração com membranas e osmose reversa. As vantagens e desvantagens das diversas formas de tratamento são amplamente discutidas. Segundo Renou (2007), o processo de osmose reversa é um passo indispensável para o alcance do melhor tratamento do lixiviado de aterro sanitário (COSTA *et al.*, 2014; RENOU *et al.*, 2007).

O tratamento biológico é indicado para a remoção de matéria orgânica e materiais nitrogenados. Maia *et al.* (2014), utilizaram sequencias de tratamentos biológicos para o

lixiviado de aterro sanitário. Os resultados foram positivos, porém não satisfatórios para o atendimento de normas ambientais. Segundo os autores, a presença de materiais recalcitrantes, elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK), interfere no sucesso do tratamento biológico. O tratamento biológico aeróbio é indicado para efluentes com relação DBO_5/DQO entre 1,7 e 2,4. Lixiviados de aterros sanitários apresentam relação DBO_5/DQO em torno de 0,4. Sendo assim, o melhor a ser aplicado é a combinação de métodos. (LUGOWSKI *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2014).

A cidade de Caxias do Sul, RS, Brasil, possui um aterro municipal de resíduos sólidos urbanos. O lixiviado bruto utilizado no estudo foi proveniente deste local denominado Rincão das Flores (latitude: -29,06581638, longitude: -51,06051912). Este aterro está em operação desde março de 2010, recebe diariamente em torno de 350 ton.d^{-1} de resíduo sólidos urbanos (entre resíduos orgânicos e rejeito do material seletivo) e teve geração média de lixiviado de $210 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ no ano de 2018. Assim como em outros locais que possuem aterro sanitário, para Caxias do Sul é relevante estudar as diferentes formas de tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando sequência de tratamentos. Este estudo, além de entrar no contexto da nova política de gestão de resíduos sólidos brasileira, auxilia no tratamento deste efluente analisando o desempenho de cada processo, justificando a realização deste trabalho.

Enfim, neste trabalho de pesquisa foi avaliado o desempenho do tratamento biológico aeróbio de lixiviado de aterro sanitário utilizando processos envolvendo lodo ativado em batelada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em estudar o tratamento de lixiviado de aterro sanitário de idade intermediária (entre 5 e 10 anos), utilizando tratamento biológico aeróbio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Analisar a variação do histórico dos principais parâmetros característicos do lixiviado do aterro sanitário em questão, durante a fase intermediária (5 a 10 anos), além da presença de compostos xenobióticos e concentração de metais.

2) avaliar o tratamento biológico aeróbio do lixiviados em relação ao consumo de nitrogênio amoniacal e redução do parâmetro DQO, sob diferentes condições de tratamento.

3) analisar a cinética de consumo de nitrogênio amoniacal e redução do parâmetro DQO;

4) avaliar a atividade aeróbia heterotrófica da biomassa através de testes de respirometria ao longo do tempo;

5) comparar a eficiência de processos de lodos ativados com e sem a presença de carvão ativado em pó.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os resíduos sólidos gerados podem ser classificados, quanto à sua periculosidade, nas classes I, IIA e IIB. Dependendo de sua classificação, os resíduos necessitam de tratamentos específicos. Os resíduos classificados como classe I, considerados perigosos, apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, a ponto de causar riscos à saúde humana e do meio ambiente, não podendo ser descartados em aterros de resíduos sólidos urbanos. Já os resíduos de classe IIA, não inertes, apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos classe IIB, inertes, quando analisados, não apresentam constituintes solubilizados acima dos parâmetros de legislação (NBR-10004, 2004).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos devem ser classificados pela sua origem e sua periculosidade. Quanto à sua origem, classificam-se como resíduos sólidos urbanos, os oriundos de residências urbanas e de limpeza urbana. Há também, resíduos oriundos de estabelecimentos comerciais, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais gerados nos processos produtivos, de serviços de saúde (conforme definido pelo órgão responsável, analisando toxicidade e patogenicidade do resíduo), da construção civil, resíduo agrossilvopastoris, do serviço de transportes e de mineração (PNRS, 2010).

A mais usual disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil é em aterros sanitários. Este processo deve incluir a coleta seletiva associada a usinas de triagem, para que ocorra a reciclagem do que pode ser reciclado e diminua o volume de resíduos em aterros sanitários, aumentando a sua vida útil. Após ser acondicionado em aterro sanitário, o resíduo sólido passa pelo processo de biodegradação (FELICORI *et al*, 2016).

A estrutura de um aterro sanitário consiste na construção de sucessivas camadas de resíduos compactadas e recobertas com argila. O solo deve ser previamente impermeabilizado com uma manta de polietileno de alta densidade (PEAD). Devem também ser construídos drenos para o escape de biogás e lixiviado gerados a partir da degradação dos resíduos e percolação de água da chuva (FELICORI *et al.*, 2016)

3.2 DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERRO SANITÁRIO

A degradação de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é dividida em fases. A Fase I é uma fase curta e consiste na degradação aeróbia dos resíduos, devido à presença de oxigênio na célula. Na Fase II, ocorre a transição de um ambiente aeróbio (oxidante) para um sistema anaeróbio (reductor), havendo a presença de ácidos graxos voláteis. Já na Fase III, anaeróbia, ocorre a hidrólise dos resíduos e consumo microbiológico de compostos biodegradáveis, produção elevada de ácidos graxos voláteis e diminuição do pH. Durante a Fase IV, os ácidos intermediários são consumidos, gerando metano e dióxido de carbono, o pH aumenta, reduz a carga orgânica do lixiviado e aumenta a produção de gases. Na Fase V, a atividade microbiana diminui, devido à diminuição de carga orgânica, a biodegradação persiste lentamente podendo haver a formação de substâncias húmicas. A Figura 1 representa as fases de um aterro sanitário (MORAVIA, 2007; POHLAND, HARPER, 1986).

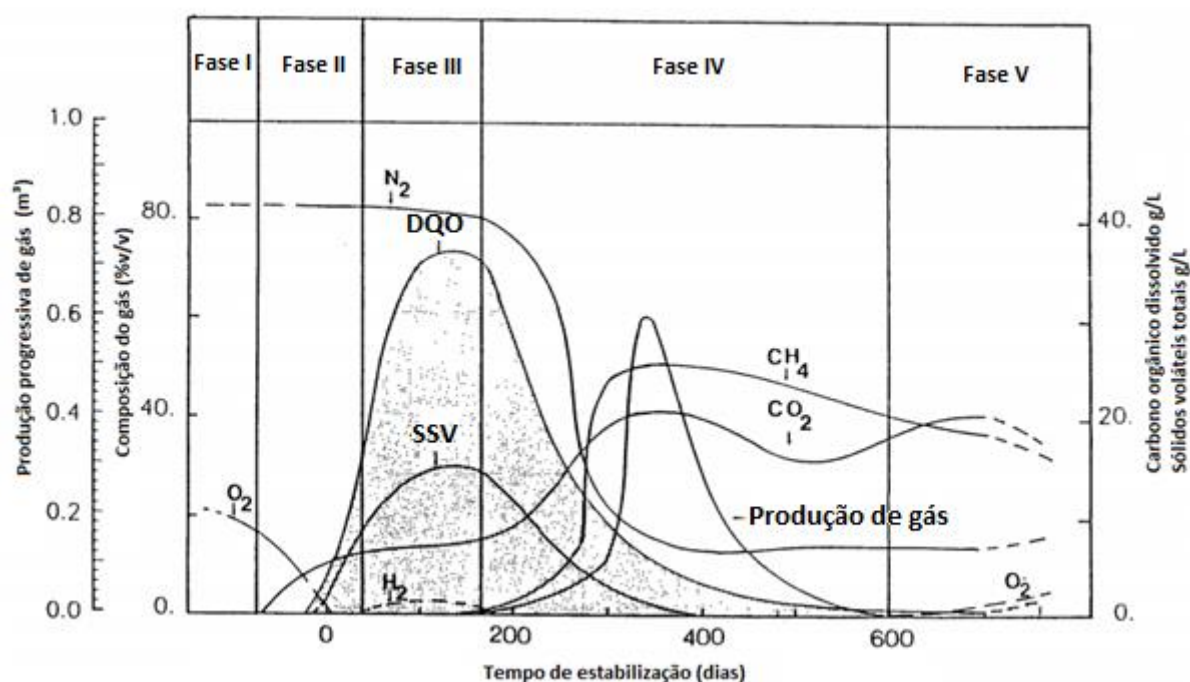


Figura 1. Fases da degradação de resíduos sólidos em aterro sanitário (adaptado de POHLAND; HARPER, 1986)

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Lixiviado de aterro sanitário é um líquido de coloração escura, resultante da degradação de resíduos sólidos aterrados. Apresenta em sua composição alta concentração de

compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que em geral não se têm informações necessárias sobre toxicologia. Entre seus componentes incluem-se compostos orgânicos dissolvidos, compostos orgânicos voláteis, substâncias húmicas, macromoléculas inorgânicas, metais potencialmente tóxicos (como Cd^{+2} , Cr^{+3} , Cu^{+2} , Pb^{+2} , Ni^{+2} , Zn^{+2}), pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos e poliaromáticos, fenóis e fenóis clorados. Muitos desses compostos são considerados persistentes no meio ambiente, podendo ter características carcinogênicas (RIGOBELLO *et al.*, 2015; YAO, 2013). Os microrganismos presentes em processos anaeróbios, característico em aterros sanitários, hidrolisam proteínas em aminoácidos, resultando na lenta liberação do composto solúvel amoníaco. Sendo assim, lixiviados de aterro sanitários são ricos em nitrogênio amoniacal (JOKELA E RINTALA, 2003).

O clima local tem grande influência na produção de lixiviado pois afeta perdas por evaporação e entrada de água da chuva na célula de resíduos. Fatores como composição, idade, umidade e compactação da camada de resíduo enterrada influenciam na vazão volumétrica e composição do lixiviado gerado em aterro sanitário. Os parâmetros utilizados para classificar lixiviados de diferentes aterros sanitários são, usualmente, demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), a relação DBO_5/DQO , pH, nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e metais pesados. No Quadro 1 são comparados os parâmetros de lixiviado com a idade do resíduo sólido enterrado (RENOU *et al.*, 2007; YAO, 2013).

Quadro 1- Classificação do lixiviado de aterro sanitário a partir de diferentes características

Parâmetro	Jovem	Intermediário	Estabilizado
Idade (anos)	<5	5-10	>10
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
Biodegradabilidade	Alta	Médio	Baixa
Nitrogênio Kjeldahl (g/L)	0,1-0,2	-	-
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	<400	-	-
COT/DQO	<0,3	0,3-0,5	>0,5
Metais pesados (mg/L)	Baixo a médio	Baixo	Baixo
DBO_5/DQO	1,0-0,5	0,1-0,5	<0,1
DQO (mg/L)	>10.000	4.000-10.000	<4.000

(Adaptado de Yao, 2013)

3.4 FORMAS DE TRATAMENTO DO LIXIVIADO

Tratamentos de efluentes podem ser classificados como convencionais e avançados. Durante muitos anos, em diversos países, apenas o tratamento convencional foi suficiente

para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário. Porém, com o aumento de componentes químicos presentes nos resíduos sólidos e o envelhecimento dos aterros sanitários, o tratamento deste efluente teve de passar por avanços (RENOU *et al.*, 2007).

Segundo Renou *et. al.*, (2007), tratamentos convencionais de lixiviados de aterros sanitários podem ser classificados como tratamentos biológicos e físico-químicos, adsorção com carvão ativado, processos oxidativos avançados e recirculação na massa de resíduos. Esta recirculação é direcionada a massa de resíduos sem cobertura de argila, aumentando assim a evaporação do efluente e a quantidade de sólidos. O autor classifica tratamentos avançados os que utilizam processos de membranas de filtração.

Os tratamentos biológicos podem ser aeróbios ou anaeróbios, enquanto tratamento físico-químico pode ser a combinação de coagulação, floculação decantação (ou flotação), adsorção com carvão ativado e processos de oxidação avançada. A combinação de processo físico-químico e biológico contribui para uma maior eficácia do tratamento. A tendência é que lixiviados jovens passem primeiramente por processos biológicos e lixiviados estabilizados pelo processo físico-químico (RENOU *et al.*, 2007).

3.4.1 Tratamentos físico-químico: coagulação, floculação e decantação

Uma possibilidade de processo de tratamento para clarificar efluentes é o físico-químico. Tipicamente, este tipo de tratamento consiste em coagulação e floculação, seguida de sedimentação ou flotação. O objetivo principal da coagulação e da floculação é elevar a velocidade de sedimentação do aglomerado de partículas a ser formado devido a adição de um coagulante. Este aglomerado de partículas é conhecido como floco.

Diversos fatores influenciam no processo de coagulação. Dentre os principais, destacam-se o tipo de coagulante e o pH. Os coagulantes mais utilizados são sais, principalmente os de alumínio e ferro. Coagulantes que consomem alcalinidade do efluente durante o processo.

A floculação é constituída por um conjunto de fenômenos físicos, que promove a aglutinação dos coágulos, formados pela adição de coagulante e tem como objetivo a redução do número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida. O processo de floculação é realizado com agitação lenta (baixo gradiente de velocidade). Os fatores que interferem no processo de coagulação também interferem no processo de flotação (METCALF e EDDY, 2016; LIBÂNIO, 2008).

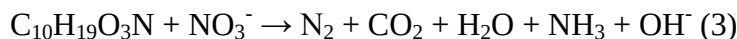
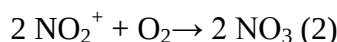
Queiroz *et al.* (2015) realizaram testes com lixiviado proveniente do aterro sanitário de São João, localizado no município de São Paulo. Os testes em escala piloto são oriundos do tratamento de lodos ativados e testes de coagulação, floculação e sedimentação em escala laboratorial realizados com sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulante. Os autores afirmam ser necessária concentrações superiores a 400 mg/L de Fe^{+3} e Al^{+3} para remoções superiores a 90% (QUEIROZ *et al.*, 2011). Segundo os autores, o tratamento físico-químico aplicado a lixiviado de aterro sanitário, exige um pH ideal para a coagulação com FeCl_3 , entre 4 e 5, e para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, entre 5 e 6.

3.4.2 Tratamentos Biológicos de efluentes

Os processos biológicos são muito empregados no tratamento de lixiviados devido à característica de elevada concentração de material orgânico. Todavia, geralmente ocorrem dificuldades ao utilizarem-se tratamentos biológicos para o lixiviado devido à vazão e a carga orgânica variável. Processos biológicos tendem a ser eficientes na remoção de matéria orgânica e nitrogenada em lixiviados imaturos, quando a relação DBO_5/DQO tendem a ser menor que 0,5. Índices entre 0,4 e 0,6 indicam boa biodegradabilidade. Após a estabilização do lixiviado, a relação DBO_5/DQO diminui e compostos refratários comprometem o desempenho de processos biológicos (MAIA *et al.*, 2014; DACANAL, BEAL, 2009).

O processo de degradação da matéria orgânica concorre com o processo de nitrificação. A predominância de um ou outro processo depende da razão carbono/nitrogênio. Razões menores que 16/1 de carbono/nitrogênio favorecem a nitrificação (LUGOWSKI *et al.*, 2014). Bactérias autotróficas apresentam maior sensibilidade em relação às bactérias heterotróficas (AVEZZU *et al.*, 1993).

A nitrificação é um processo aeróbio que envolve consumo de matéria orgânica com bactérias oxidantes de amônio que oxidam amônio a nitrito e, posteriormente, outras bactérias oxidam nitrito a nitrato. A desnitrificação é realizada através de um processo anóxico que ocorre com bactérias desnitrificantes que reduzem nitratos a nitritos e óxido nitroso a N_2 gasoso. Esta reação pode ser realizada em reatores aeróbios, ocorrendo assim, dentro da zona anóxica do floco de lodos ativados. Nas Reações 1 e 2, estão apresentadas as reações aeróbias de nitrificação. A primeira etapa é realizada por bactérias *Nitrosomonas* e a segunda por *Nitrobacter*. A Reação 3 apresenta a reação de desnitrificação (LUGOWSKI *et al.*, 2014; MORAVIA, 2007; METCALF e EDDY, 2016).



A Figura 2 apresenta o processo de nitrificação e desnitrificação.

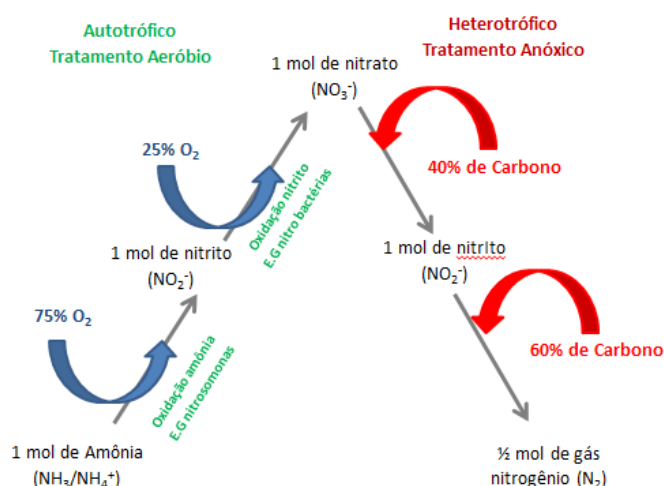


Figura 2. Processo de nitrificação e desnitrificação (adaptado de Lugowski *et al.*, (2014))

O objetivo do tratamento aeróbico é atingir a nitrificação a partir de nitrogênio amoniacal. O processo de lodo ativado é um processo aeróbico que utiliza recirculação de lodo (bactérias ativas e ambientadas ao efluente) para o consumo de matéria orgânica. Apesar de este processo ser eficaz para a remoção de carbono orgânico, algumas características do lixiviado, como elevada carga de nitrogênio amoniacal, influenciam a eficiência do processo, provocando inibição microbiana ao substrato (RENOU *et al.*, 2007).

Para reduzir os custos com o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, por vezes este é adicionado ao tratamento de esgoto doméstico realizando assim, somente tratamento biológico. Porém, devido à presença de compostos orgânicos inibidores, metais pesados e baixa biodegradabilidade, esta adição reduz a eficiência do tratamento de esgoto e aumenta as concentrações de poluentes no efluente tratado (LUGOWSKI *et al.*, 2014, RENOU *et al.*, 2007).

Em comparação ao tratamento aeróbico, o tratamento anaeróbico tem menor geração de biomassa (lodo) e necessita menor quantidade de área e nutrientes. Apresenta grande sensibilidade a mudanças nas condições ambientais com a geração de biogás, onde o metano é

o principal componente. Este biogás pode ser utilizado para aquecer o reator. Para este processo, as taxas de reação são baixas, assim, é necessário elevado tempo de residência no reator e a remoção de contaminantes é relativamente baixa. (AMARAL *et al.*, 2008; YOU, 2013).

Reatores e lagoas em série apresentam resultados favoráveis. Maia *et. al.* (2014) realizaram o tratamento de lixiviado de aterro sanitário em escala real em lagoas em série com recirculação de lixiviado. A Tabela 1 apresenta os valores médios coletados no Estado de Santa Catarina durante o experimento descrito pelos autores (MAIA *et al.*, 2014).

Tabela 1. Resultado de lagoas em séries para o tratamento de lixiviado

Parâmetro	Lixiviado bruto	Saída lagoas anaeróbias	Saída lodos ativados	Saída lagoa facultativa	Eficiência Total
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	3581	2200	1000	1086	69,7%
DBO (mgO ₂ .L ⁻¹)	1683	1200	385	246	85,4%
NH ₃ -N (mg.L ⁻¹)	1419	550	350	240	83,1%
NTK (mg.L ⁻¹)	1681	620	300	300	82,2%

(Adaptado de Maia, *et. al.*, 2014)

3.4.3 Interferentes no processo de lodos ativados

Muitos resíduos inadequados acabam em aterros sanitários devido à falta de fiscalização, colaboração ou informação da comunidade. Devido a isto, compostos xenobióticos provenientes de fármacos, pesticidas e materiais eletrônicos podem estar presentes no lixiviado de aterro sanitário (FELICORI *et al.*, 2016).

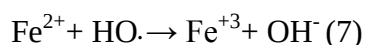
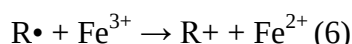
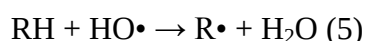
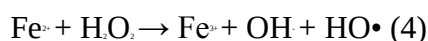
Compostos denominados como xenobióticos são aqueles não produzidos através de meios biológicos. Estes apresentam elevada toxicidade e resistência à biodegradação. Podem ser derivados de petróleo (benzeno, tolueno, xileno, dentre outros) solventes halogenados e não halogenados (metanoclorados, cloreto de metila, clorofórmio, dentre outros), transformadores elétricos e fluidos hidráulicos (por exemplo bifenilas bicloradas). Também são considerados compostos persistentes ou seja, compostos que se acumulam em organismos vivos. Compostos de difícil degradação biológica são denominados refratários. Tratamentos biológicos ambientados que apresentam baixas concentrações e condições específicas podem degradar compostos xenobióticos (METCAF e EDDY, 2016).

Metais pesados interferem no processo de lodos ativados, pois interagem com a biomassa através de dois fenômenos físico-químicos, biofloculação para a fase particulada e

adsorção para a fase solúvel. A toxicidade está relacionada com a presença de metais na fase solúvel. Assim como os compostos xenobióticos, é possível a ambientação da biota de lodos ativados para efluentes ricos em metais pesados a partir do desenvolvimento de mecanismos de resistência (AVEZZU *et al.*, 1993).

3.4.4 Tratamento de lixiviado com oxidação avançada - reagente de Fenton

O reagente de Fenton é a mistura de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e sais ferrosos. Os processos oxidativos avançados baseiam-se na formação do radical hidroxila livre ($HO\cdot$), um radical com alto poder de oxidação e capacidade de destruição de muitos poluentes orgânicos. Os radicais hidroxilas, formados por H_2O_2 ativado com sais ferrosos e luz ultravioleta, reagem com compostos orgânicos oxidando-os total ou parcialmente. Quando a oxidação de compostos orgânicos não é completa, pode gerar novos compostos, os quais podem ser mais biodegradáveis ou podem aumentar a toxicidade aos processos microbiológicos. Outra possibilidade é o surgimento de compostos recalcitrantes, os quais mesmo não apresentando toxicidade não são biodegradáveis. Para obtenção do caráter oxidativos, o H_2O_2 deve ser adicionado em maior quantidade, podendo ter relação de até 25:1, dependendo do efluente. As Reações 4 a 7 apresentam de forma simplificada o mecanismo de reação com reagente de Fenton (NOGUEIRA, 2007; LANGE, 2006; MORAVIA, LANGE, AMARAL, 2011).



Moravia, Lange e Amaral (2007) realizaram o tratamento de lixiviado de aterro sanitário com reagente de Fenton. Como era esperado, o experimento citado não obteve redução nos parâmetros relacionados ao nitrogênio. Os dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do tratamento com oxidação avançada

Parâmetro	Lixiviado bruto	Após tratamento com oxidação avançada	Eficiência
DQO ($mgO_2.L^{-1}$)	2354	548	76,7%
DBO ($mgO_2.L^{-1}$)	68	111	-
NH_4-N ($mg.L^{-1}$)	1055	1042	1,2%
NTK ($mg.L^{-1}$)	1105	1085	1,8%

(Adaptado de Moravia, Lange e Amaral, 2007)

3.4.5 Tratamento de efluentes a partir de separação por membranas

Tratamentos com membranas dependem do tamanho do poro utilizado, dividindo-se em microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. O tamanho do poro da membrana é definido através da retenção de 95% do menor componente (*cut-off* ou massa de corte). A Figura 3 apresenta a relação do tamanho de poro com algumas moléculas retidas. A massa molecular do hidrogênio é utilizada como uma das unidades utilizadas para *cut-off* que é o Dalton (Da). As moléculas de tamanho inferior ao poro da membrana atravessam a membrana e compõem a corrente de material filtrado ou permeado. Já as moléculas de tamanho maior que o poro da membrana, que não conseguem atravessá-la, compõem a corrente de material concentrado. A seletividade da membrana também é influenciada pela difusividade do soluto e cargas elétricas associadas (MORAVIA, LANGE, AMARAL, 2011; MORAVIA, 2007; BAKER, 2004).

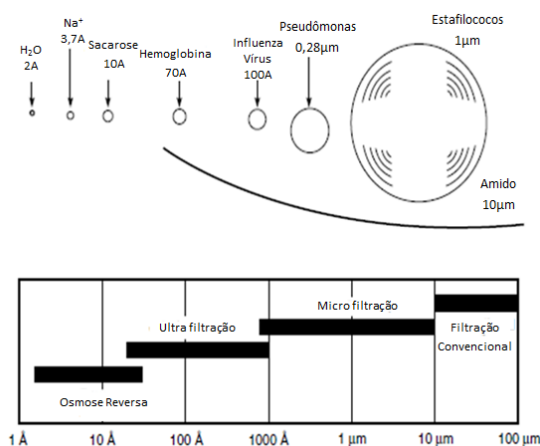


Figura 3. Tamanho dos poros das membranas e separação dos compostos (adaptado de Baker, 2004)

Perda de vazão com o tempo de operação é característico em membranas devido às incrustações. Para melhorar o desempenho do processo, deve-se adequar o efluente de alimentação e a realização de limpezas programadas ameniza este problema. Um desempenho abaixo do esperado gera maiores quantidades de fluxo de concentrado (parcela da vazão que não ultrapassa os poros da membrana) e um menor fluxo de permeado (parcela da vazão que ultrapassa os poros da membrana) (MORAVIA, LANGE, AMARAL, 2011).

3.4.6 Adsorção com carvão ativado

A adsorção a partir de carvão ativado é possível devido à estrutura do material ser porosa, assim, carvão ativado é considerado um excelente adsorvente. Adsorção consiste em uma operação de transferência de massa onde um composto solúvel é transferido para a fase sólida através de afinidades que o composto adsorvido apresenta com o seu adsorvente. Carvão ativado pode ser processado na forma granular ou em pó. Este último apresenta diâmetros de partículas menores que 0,017 mm e são comumente adicionados a tanques de lodos ativados. Compostos xenobióticos apresentam elevada afinidade com carvão ativado (METCALF e EDDY, 2016).

Azis *et. al.* (2010) utilizaram lixiviado estabilizado no processo de lodos ativados, onde, adicionando 10% do volume de lixiviado, 90% do volume de lodo e 1,0 g.L⁻¹ de carvão ativado em pó e variaram tempos de detenção e temperatura. Com estes experimentos, os pesquisadores obtiveram, com 5,5 h de tempo de detenção, 64,1% de eficiência na remoção de DQO e 81,4 % na remoção de nitrogênio amoniacal. Os autores relatam que, o uso de carvão ativado em lodos ativados apresentou melhores resultados que o processo de lodos ativados sem a presença de carvão ativado. Esse resultado pode ser creditado também à adsorção de compostos com baixa biodegradabilidade.

3.5 RESPIRAÇÃO MICROBIANA

Em tratamentos aeróbios de efluentes, é necessário controlar o consumo de oxigênio dissolvido em meios líquidos devido a respiração microbiana. Sistemas de lodos ativados necessitam de oxigênio dissolvido para crescimento e manutenção de microrganismos heterotróficos e autotróficos, sendo que sistemas autotróficos consomem aproximadamente 40 % da demanda de oxigênio total do meio. A determinação da velocidade específica de consumo de oxigênio é característica do sistema em estudo, pois o valor depende do microrganismo empregado, substrato consumido, pH e temperatura. A Equação 1 apresenta o cálculo da velocidade específica de consumo de oxigênio (QO₂) a partir da velocidade de consumo de oxigênio (dO₂/dt).

$$QO_2 = \frac{1}{X} \cdot \frac{dO_2}{dt}$$

Equação 1

Onde: QO_2 = velocidade específica de respiração ($gO_2 \cdot (gSSV \cdot h)^{-1}$)

X = concentração celular ($gSSV \cdot m^{-3}$)

dO_2/dt = velocidade de consumo de O_2 ($gO_2 \cdot (m^3 \cdot h)^{-1}$)

A partir dos valores de QO_2 é possível identificar efeitos de inibição da biomassa devido a um composto específico, estudo de variáveis, tempo total de oxidação de substrato. A relação entre a QO_2 e velocidade específica de crescimento é apresentada na Equação 2 (SPANJERS *et al.*, 1996; SCHMIDELL *et al.* 2001).

$$QO_2 = m_0 + \frac{1}{Y_0} \cdot \mu \quad \text{Equação 2}$$

Onde: m_0 = coeficiente de manutenção para o O_2 ($gO_2 \cdot (gSSV \cdot h)^{-1}$)

Y_0 = fator de conversão de O_2 para células ($gSSV \cdot (gO_2)^{-1}$)

$\mu = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt}$ = velocidade específica de crescimento (h^{-1})

A velocidade de consumo de O_2 é uma variável facilmente monitorada através de eletrodos que medem a concentração percentual de oxigênio no meio, porém, algumas variáveis importantes como concentração de biomassa ativa não é uma variável medida com facilidade. Por esta razão, ensaios de respirometria são importantes ferramentas para o controle de processos aeróbios, sendo possível estudar diferentes aspectos do comportamento do sistema como taxa de crescimento de biomassa e taxa de decaimento, taxa de nitrificação e hidrólise (SPANJERS *et al.*, 1996).

3.5.1 Ensaios de respirometria

Ensaios de respirometria são realizados para interpretação da velocidade de consumo de O_2 em lodos ativados. A importância deste ensaio está ligada ao controle de crescimento de biomassa e controle de consumo de substrato. O valor da velocidade de consumo de O_2 é calculado através do gráfico de consumo de oxigênio por tempo. Os respirômetros em operação variam desde uma garrafa operada manualmente até instrumentos automáticos e sofisticados. Nos dois casos, são reatores separados do tanque de lodos ativados, onde variáveis como biomassa, substrato, volume e concentração de oxigênio são controladas

(SPANJERS *et al.*, 1996).

Durante o ensaio é empregado uma sonda de oxigênio para monitorar a concentração de O_2 dissolvido ao longo do tempo. Após o oxigênio alcançar a concentração de saturação, interrompe-se o fornecimento deste e monitora-se o consumo ao longo do tempo. Após o início dos experimentos, recomenda-se reduzir a agitação do sistema para reduzir ao máximo a transferência de oxigênio na superfície do líquido. O tempo de experimento não deve ultrapassar alguns minutos, para que a concentração celular se mantenha constante. No início do experimento também deve ser levado em consideração à existência de bolhas de ar misturadas ao meio, impedindo assim, que o experimento apresente um relação de linearidade. A Figura 4 representa a variação de oxigênio por tempo durante um ensaio aleatório de respirometria aeróbia. (SCHMIDELL *et al.* 2001).

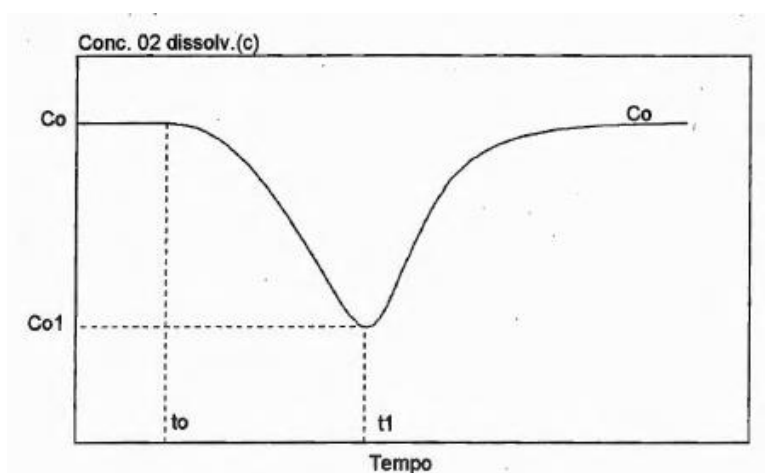


Figura 4. Variação da concentração de oxigênio por tempo

A partir do estudo de experimentos respirométricos, concluiu-se que lodos ativados adaptados a nitrogênio amoniacal quando expostos a substratos ricos neste composto, aumentam sua velocidade de consumo de O_2 e ocorre absorção de nitrogênio (NING, PATRY, SPANEJERS, 1999). Segundo a Equação 2, quando o valor da velocidade específica de crescimento zera, a QO_2 apresenta o mesmo valor do coeficiente de manutenção, ou seja, apresenta QO_2 para manutenção, sem apresentar crescimento (SCHMIDELL, *et al.*, 2001).

A respirometria pode ser definida através de três níveis insignificantes: intermediários e excessivos de substrato, sendo que, níveis insignificantes são obtidos quando não é adicionado substrato ou realiza-se a remoção intencional deste. No ensaio de respirometria endógena, remove-se o substrato para que este não tenha efeito sobre o valor da velocidade de consumo de O_2 (SPANJERS *et al.*, 1996).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e os procedimentos utilizados no processo proposto de tratamento do lixiviado proveniente do aterro de resíduos sólidos urbanos de Caxias do Sul. Este aterro está em operação desde março de 2010, o que caracteriza o lixiviado gerado como intermediário.

O aterro em questão conta com cinco células construídas que juntas compõem a fase 1 de implantação composta no estudo de impacto ambiental do empreendimento. As cinco células são ligadas a um dreno horizontal inferior no formato espinha de peixe, sendo assim, o lixiviado gerado é direcionado por um único duto para lagoas de estabilização aeradas.

Os experimentos e análises foram realizados no Laboratório de Tecnologia Ambiental-LATAM na Universidade de Caxias do Sul (UCS). O processo global visando o tratamento proposto para o lixiviado está descrito na Figura 5.

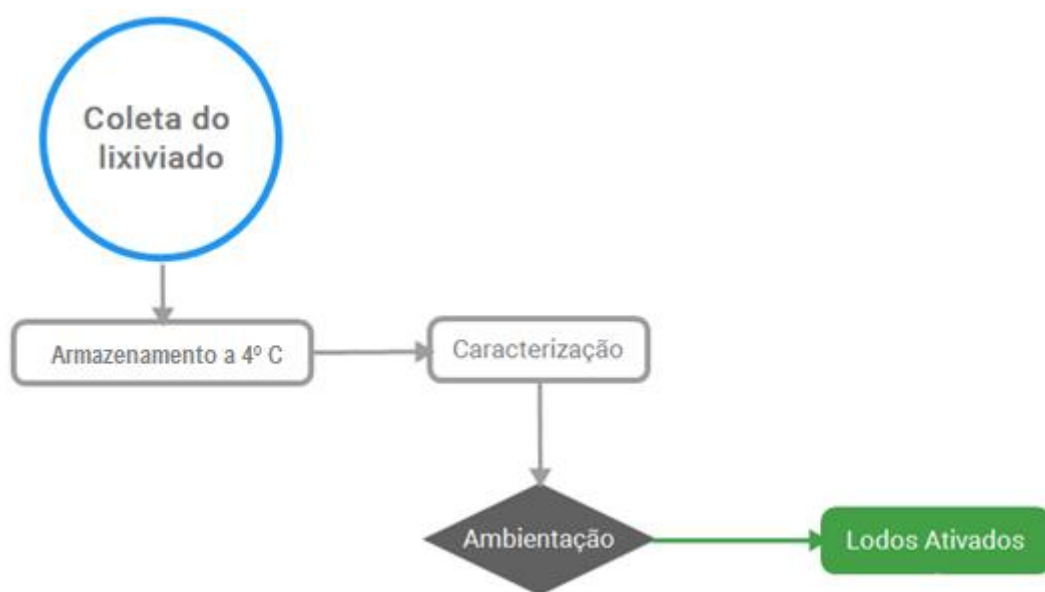


Figura 5. Proposta de tratamento exposta em diagrama de blocos

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO DO ATERRO ESTUDADO

Devido às mudanças constantes na composição de lixiviado de aterro sanitário, foi realizada uma análise do histórico de análises químicas do lixiviado do aterro sanitário. No período de 2015 a 2018.

Processos de lodos ativados podem ser afetados por presença de compostos orgânicos

tóxicos e metais pesados. Foram realizadas análises dos principais parâmetros (DBO_5 , DQO, $\text{NH}_3\text{-N}$ e NTK), de compostos tóxicos, um histórico dos metais e a relação C/N e DBO_5/DQO encontrados no lixiviado do aterro sanitário durante os anos de 2015 a 2018. Os laudos utilizados para este estudo foram gentilmente cedidos pela prefeitura de Caxias do Sul.

O histórico dos principais parâmetros contou com cinco análises em 2015, sete análises em 2016, quatro análises em 2017 e cinco análises em 2018. O estudo do histórico de metais levou em consideração o valor de quatro análises realizadas no ano de 2017 e três análises realizadas em 2018.

As análises referentes ao histórico da presença de compostos xenobióticos no lixiviado deste aterro sanitário, ocorreram em 06/09/2018, 05/11/2018 e 23/01/2019. Durante o intervalo destas análises, foram coletados duas amostras de lixiviado (Lixiviado 2 e 3) utilizados no processo de lodos ativados estudado. Como a célula de aterro possui um único dreno principal, e a massa de resíduo enterrada sofre degradação por longo período, admite-se que, a presença ou ausência de compostos xenobióticos foi constante durante o período estudado. Como a primeira amostras de lixiviado utilizada no estudo não apresentava histórico de compostos xenobióticos, foi realizada uma análise específica da amostra de Lixiviado 1. Os laudos utilizados para análises de compostos xenobióticos encontram-se no Anexo 1.

4.2 COLETA E ARMAZENAMENTO DO LIXIVIADO E LODO

O lixiviado foi coletado em três momentos no aterro sanitário Rincão das Flores (Caxias do Sul, RS) no dia 15 de setembro de 2017, no dia 08 de setembro de 2018 e no dia 04 de dezembro de 2018. Nas três coletas, foram armazenados 200 L, quantidade suficiente para realização dos experimentos. O ponto de coleta dos efluentes foi na calha Parshall, antes de entrar na primeira lagoa de estabilização. O duto onde foi coletado é ligado diretamente no dreno principal de todas as células do aterro. Este lixiviado será mencionado no trabalho como lixiviado bruto e foram denominados como Lixiviado 1 (coletado em 2017) e Lixiviado 2 (coletado em setembro de 2018) e Lixiviado 3 (coletado em dezembro de 2018). A Figura 6 apresenta o local de coleta das amostras.



Figura 6. Local onde foi retirado amostra de lixiviado bruto

As três amostras de lixiviado foram acondicionadas em bombonas de 30 L e mantidas em refrigeração, a 4 °C. O intervalo de tempo entre a coleta e o armazenamento foi de 4 h.

O lodo aeróbio com elevada capacidade de nitrificação pertencente à empresa Trombini Embalagens S/A localizada em Farroupilha, RS foi gentilmente cedido no dia 29/09/2017 (Lodo 1) e no dia 18/09/2018 (Lodo 2).

4.3 ANÁLISES E CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO E LODO AERÓBIO

Os efluentes foram submetidos a análises de demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH_3), alcalinidade, sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total e demanda biológica de oxigênio (DBO_5), sendo que as quatro últimas análises foram realizadas no Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPAM). As análises foram realizadas no início dos processos, para caracterização do lixiviado bruto, ao final e durante cada processo. Análises e métodos estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2- Análises químicas utilizadas

Análise	Método
DQO ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	5220 (APHA, 2012)
DBO ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$)	SMEWW-Método 5210-B
Nitrogênio amoniacal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	4500 C (APHA, 2012)
NTK ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SMEWW-Método 4500-Norg-B
Fosforo total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SMEWW-Método 4500-P B e E
Alcalinidade ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2320 C (APHA, 2005)
Sólidos Suspensos Voláteis ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2540 E (APHA, 2005)
Sólidos Suspensos Totais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2540 E (APHA, 2005)

O pH foi monitorado a partir de um pHmetro marca Icel Manaus 2100 e concentração

de O_2 com um oxímetro Alfakit AT150/155/160/170.

As análises de sólidos foram realizadas sempre que necessário para o estudo de cinética de lodos ativados sendo que sólidos suspensos totais (SST) é a soma de sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV), sendo este último considerado como matéria orgânica ou a massa de lodo que consome matéria orgânica.

4.4 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Durante os testes, foram realizados cinco experimentos distintos, denominados Experimentos 1, 2, 3, 4 e 5. Os Experimentos contavam com dois reatores de 40 L em operação, sendo um confeccionado em acrílico transparente, denominado Reator A, e outro em polipropileno branco, denominado Reator B. A Figura 7 apresenta a imagem dos reatores instalados.



Figura 7. Reatores de lodos ativados

O suprimento de ar dos reatores foi suficiente para manter uma concentração de oxigênio dissolvido em um intervalo de 2 a 5 $mg.L^{-1}$ de O_2 . Esta aeração foi desenvolvida com o auxílio de um compressor e um dispersor de ar acoplado no fundo do reator. A operação foi realizada em regime descontínuo de batelada.

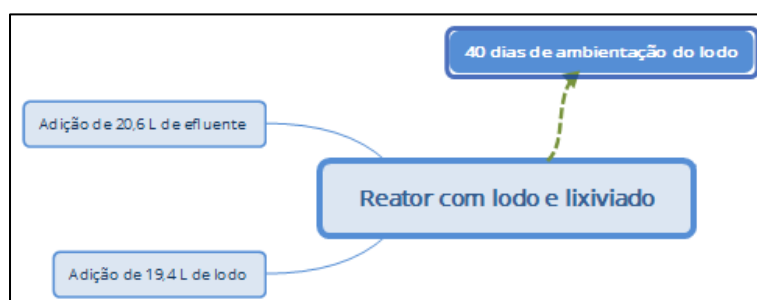
Nos reatores de lodos ativados foi monitorado o pH duas vezes ao dia. A faixa de pH requerida nos ensaios foi de 7,5 a 8,0. As soluções utilizadas para o ajuste de pH foram HCl concentrado e NaOH 50% m/m. O Quadro 3 apresenta as principais características de cada experimento.

Quadro 3- Características de cada experimento

Experimento	Data de início	Lixiviado utilizado	Lodo utilizado	Duplicata	Ambientação anterior ao início do experimento
Experimento 1	06/11/17	Lixiviado1	Lodo 1	Sim	Sim
Experimento 2	20/11/17	Lixiviado 1	Lodo 1	Sim	Sim
Experimento 3	27/09/18	Lixiviado 2	Lodo 2	Não	Não
Experimento 4	24/11/18	Lixiviado 2	Lodo 2	Não	Sim
Experimento 5	09/12/18	Lixiviado 3	Lodo 2	Não	Sim

Os experimentos iniciaram no dia 29 de setembro de 2017 com o Lixiviado 1. Foi adicionado aos reatores lixiviado de aterro sanitário e lodo em proporções que alcançassem uma DQO inicial em torno de 2.000 mg.L^{-1} .

Após o início da operação, os reatores passaram por um processo de ambientação da biota ao meio. Esta ambientação ocorreu com 40 dias de antecedência ao início do Experimento 1. A Figura 8 apresenta o processo de ambientação.

**Figura 8.** Ambientação da biota de lodos ativados

O objetivo da ambientação é adequar à atividade microbiológica a um novo substrato. Após a ambientação, o lodo original muda suas características preponderando às espécies que tem maior adaptação ao novo meio.

Durante o período de ambientação ocorreu nos reatores o ajuste de pH duas vezes ao dia e remoção semanal de 2 L da mistura do reator com posterior adição de lixiviado. Durante os primeiros 10 dias de ambientação, o pH do meio tendeu a ficar na faixa ente 8,5 a 9,2, necessitando ser ajustado com HCl. Com a maior atuação de bactérias nitrificantes, a partir do décimo dia, o pH mantinha-se entre 6,0 e 8,0 e ajustado quando necessário com NaOH. O início dos Experimentos 1 e 2 ocorreu um mês após a ambientação das bactérias nitrificantes.

4.4.1 Experimento 1

O Experimento 1 iniciou no dia 06/11/2017 com a remoção de 10 L da mistura ambientada do reator e adição de 10 L de lixiviado, quantidade suficiente para manter a DQO inicial do reator em 2.000 mg.L^{-1} . Nos 4 dias posteriores à adição do lixiviado, o pH continuou sendo ajustado duas vezes ao dia e, para coleta de amostras, a aeração era desligada durante 2 h para que a biomassa sedimentasse no reator e o sobrenadante pudesse ser coletado. O volume de amostra retirado do reator por dia era 50 mL, volume suficiente para a realização de testes de N-NH_3 , DQO e alcalinidade. O Experimento 1 ocorreu com 4 dias de tempo de detenção. O processo de ambientação e o Experimento 1 são apresentados na Figura 9.

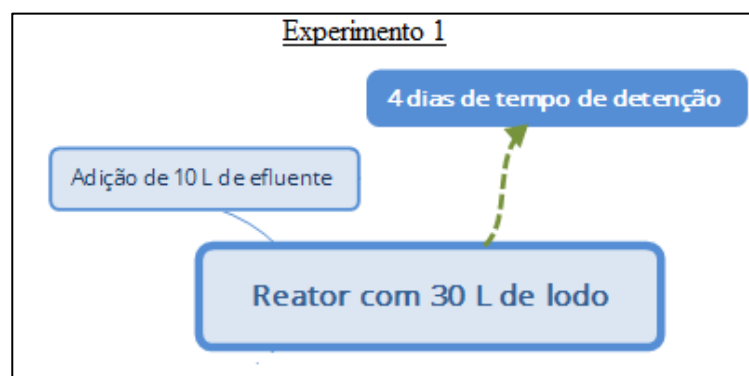


Figura 9. Fluxograma do Experimento 1

4.4.2 Experimentos 2

Durante o período entre o Experimento 1 e 2 o pH continuou sendo ajustado e foram adicionados 5 L de Lixiviado Bruto 1 ao processo. O Experimento 2 iniciou em 20/11/2018, também com o Lixiviado 1. Este experimento contava com a operação dos dois reatores disponíveis que operaram igualmente, em duplicata. O Experimento 2 ocorreu com 11 dias de tempo de detenção e os processos de ajuste de pH e coleta de amostras procederam com a mesma metodologia do Experimento 1. Como o Experimento 2 passou por mais tempo de aeração, este processo sofreu evaporação e arraste. Devido ao fenômeno de evaporação, o volume era anotado todos os dias e a concentração dos parâmetros analisados era ajustada para 40 L. Os flocos arrastados nas paredes do reator eram devolvidos a mistura com o auxílio de um bastão de vidro. O Experimento 2 é apresentado na Figura 10.

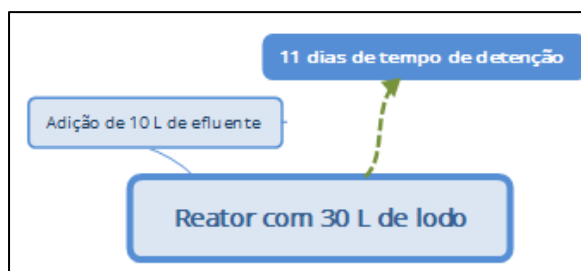


Figura 10. Fluxograma do Experimento 2

4.4.3 Experimento 3

O Experimento 3 teve início nos dois reatores em 27 de setembro de 2018 com o Lixiviado 2 e uma nova biota (Lodo 2). Este experimento contou com a operação dos dois reatores disponíveis; porém, os experimentos não foram realizados em duplicata pois ao Reator A foi adicionado $1,2 \text{ g.L}^{-1}$ de carvão ativado em pó. É importante ressaltar que o Experimento 3 não passou pela fase de ambientação da biota. Após a adição de 23 L de lodo e 17 L de lixiviado em cada reator, ao Reator A foi adicionado 48 g de carvão ativado. O controle de pH e a retirada de amostras para o estudo da cinética iniciaram no início do experimento. O Experimento 3 ocorreu durante os primeiros 6 dias após a adição de lodo e lixiviado.

Durante este experimento, realizaram-se três testes de respirometria aeróbia para avaliar o comportamento da biomassa. Ensaios de tamanho de partículas também foram realizados, sendo feitos ensaios no início e no final do processo, e durante as primeiras 12 h de processo, com intervalos de 4 h. A Figura 11 apresenta um fluxograma do Experimento 3.

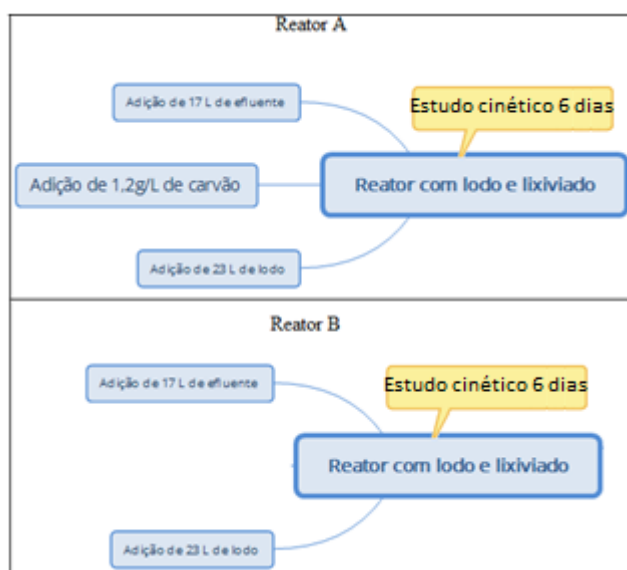


Figura 11. Fluxograma Experimento 3

Durante as primeiras 12 h do Experimento 3 o pH foi ajustado a cada 2 h. Após este período, o pH foi ajustado duas vezes ao dia. Durante as primeiras doze horas, a retirada de amostra ocorreu a cada 2 h, retirando 50 mL do conteúdo total de cada reator. Após a coleta as amostras eram filtradas e acondicionadas para posteriores análises.

Após o final do experimento 3, os reatores foram alimentados com lixiviado semanalmente e houve ajuste diários de pH.

4.4.4 Experimento 4

O Experimento 4 iniciou no dia 24/11/18 com o Lixiviado 2. O processo de ambientação deste experimento ocorreu durante a execução do Experimento 3 e o tempo que transcendeu até o início do Experimento 4. O procedimento de coleta de amostras, ajuste de pH e ensaios desenvolvidos ocorreram com a mesma metodologia utilizada no Experimento 3. Os reatores utilizados não operaram em duplicata pois o Reator A contava com nova adição de $1,2 \text{ g.L}^{-1}$ de carvão ativado. O Experimento 4 teve conclusão no dia 30/11/2018 contando com 6 dias de tempo de detenção.

Durante o início do Experimento 4 foi adicionado em cada reator, 23,5 L de lixiviado, 62,5 % do volume total do reator. O fluxograma do Experimento 4 é apresentado na Figura 12.

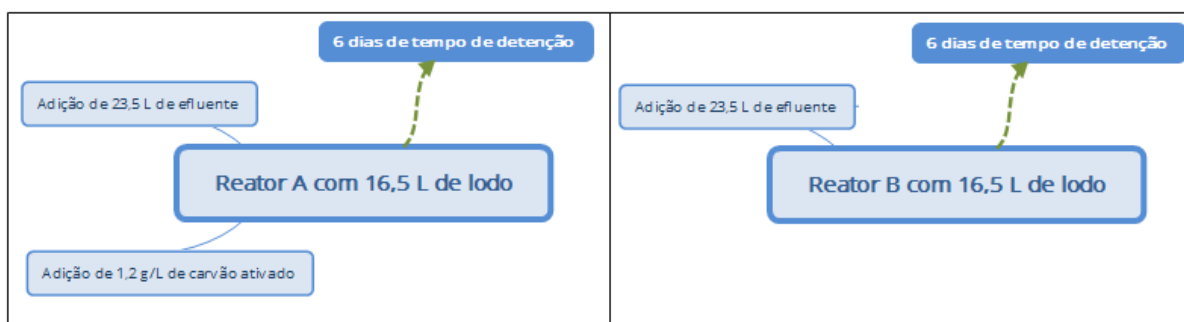


Figura 12. Fluxograma Experimento 4

4.4.5 Experimento 5

O Experimento 5 iniciou no dia 09/12/18, com a adição do Lixiviado 3. O lodo ativado utilizado foi o ambientado durante os Experimento 3 e 4, sendo assim, a microbiota já estava ambientada com o novo substrato, lixiviado de aterro sanitário. O procedimento de coleta de

amostras, ajuste de pH e ensaios desenvolvidos ocorreram com a mesma metodologia utilizada nos Experimento 3 e 4. Os reatores utilizados não operaram em duplicata pois o Reator A contava com nova adição de $1,2 \text{ g.L}^{-1}$ de carvão ativado. O Experimento 5 teve conclusão no dia 14/12/2018 contando com 5 dias de tempo de detenção.

Durante o início do Experimento 5 foi adicionado em cada reator, 35 L de lixiviado, 87,5 % do volume do reator. Na Figura 13 é apresentado o fluxograma do Experimento 5.

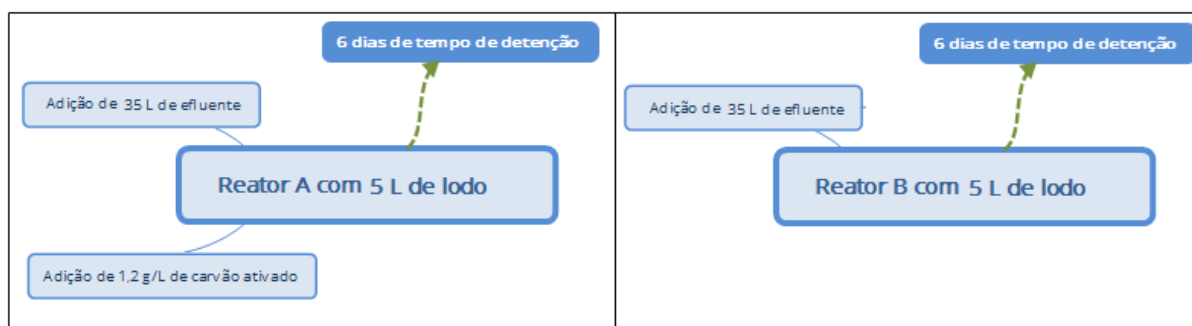


Figura 13. Fluxograma Experimento 5

4.5 ENSAIOS REALIZADOS

4.5.1 Respirometria aeróbia

Os ensaios de respirometria aeróbia foram feitos baseando-se na metodologia descrita por Schmidell (2001). O ensaio ocorreu com SSV fixado em 4.000 mg.L^{-1} . Os testes foram realizados em frascos com abertura suficiente para introdução do sensor do oxímetro e o tubo de aeração; o conteúdo do frasco foi agitado com um agitador magnético. O volume total utilizado neste ensaio era de 580 mL. Este volume foi escolhido de forma que o frasco ficasse o mais preenchido possível (para evitar transferência de oxigênio com o meio) e evitasse o transbordamento do líquido devido à aeração do sistema. No frasco eram adicionados $4.000 \text{ mgSSV.L}^{-1}$ e acetato de sódio suficiente para a DQO alcançar $400 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$; o volume era completado com água. Após, iniciava-se a aeração do sistema; quando se alcançava a saturação de oxigênio no meio, adicionava-se acetato de sódio, desligava-se a aeração e monitorava-se a concentração de oxigênio consumida a cada meio minuto. A solução de acetato de sódio utilizado tinha concentração de DQO conhecida e o volume de acetato a ser utilizado foi calculado para que a relação inicial de DQO/SSV se mantivesse em torno de 0,1. A Equação 3 apresenta o cálculo de volume de acetato e Figura 14 demonstra o experimento.

$$\frac{DQO}{SSV} = \frac{V_{\text{acetato}} \cdot S_{\text{acetato}}}{m_{SSV}}$$

Equação 3

Onde: DQO/SSV= DQO do ensaio sobre SSV do ensaio

V_{acetato} = volume utilizado no ensaio

S_{acetato} = DQO previamente analisada de acetato

m_{SSV} = massa de SSV presente no ensaio



Figura 14. Ensaio de respirometria aeróbia

4.5.2 Respirometria Endógena

O ensaio de respirometria endógena foi realizado utilizando o método descrito por Spanjers *et al.*(1996). Para retirar o máximo de substrato misturado a biomassa, foi realizado um filtração a vácuo de 4000 mg.L⁻¹ de biomassa (SSV para o volume de 580 mL). Após a filtração, lavou-se três vezes a biomassa com 1 L de água deionizada. A esta biomassa livre de substrato foi adicionado água deionizada até volume que completasse 580 mL (quantidade suficiente para completar a garrafa de ensaio respirométrico), atingiu-se a saturação de oxigênio do meio, desligou-se a aeração e monitorou-se a concentração de oxigênio consumida a cada meio minuto.

4.5.3 Teor de lodo e tamanho de partícula

Durante o Experimento 3, 4 e 5 foram realizados ensaios de Teor de Lodo, sendo este a quantidade de lodo que sedimenta em um cone de Imhoff durante 30 min. Durante as primeiras 12 h do Experimento 3, mediu-se o teor de lodo a cada 4 h. Já durante os 6 dias de experimento mediu-se a o valor do teor de lodo no segundo e no último dia de experimento. O teste de teor de lodo verifica a quantidade de sólidos que sedimenta no cone em mL.L⁻¹ em 30

minutos.

Para medir o tamanho de partícula no sistema de lodos ativados, utilizou-se um medidor de partículas (marca HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950). O monitoramento do tamanho das partículas de um lodo ativado é realizado para verificar se a natureza do efluente influenciaria no tamanho do floco. O equipamento utilizado não destrói as partículas a serem analisadas. Na contagem eletrônica do equipamento as partículas são diluídas e passam por um feixe de laser. A contagem e o tamanho de partículas é realizado através da perda de intensidade do raio laser, devida à reflexão nas partículas (METCAL E EDDY, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante os experimentos com biodegradação aeróbia de lixiviado de aterro sanitário realizados no Laboratório de Tecnologias Ambientais (LATAM), além do estudo do histórico de análises químicas que o lixiviado do aterro sanitário utilizado apresentava.

5.1 ESTUDO DO HISTÓRICO DE ANÁLISES QUÍMICAS

Como lixiviado de aterro sanitário é um efluente caracterizado por suas mudanças repentinas de parâmetros, realizou-se um estudo do histórico de análises químicas do lixiviado do aterro sanitário estudado. A variação de parâmetros neste efluente influencia no sucesso do processo de lodos ativados.

5.1.1 Análise do valor apresentado pelos parâmetros DQO, DBO₅, NH₃-N e NTK

Neste estudo avaliaram-se os resultados dos parâmetros DQO, DBO₅, NH₃-N e NTK do ano de 2015 até 2018, que compreenderam entre cinco a nove anos de operação das células do aterro sanitário, tempo de operação que corresponde ao lixiviado caracterizado como intermediário. A Figura 15 apresenta a variação dos parâmetros DQO e DBO₅ neste período.

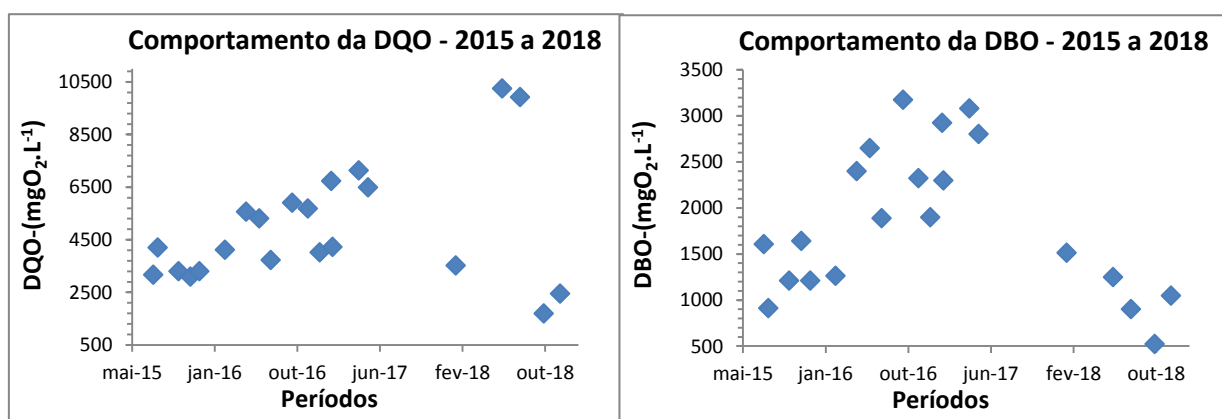


Figura 15. Resultados das análises de DQO e DBO₅ referentes nos anos de 2015 a 2018

Os valores máximos e mínimos para o parâmetro DQO foram 10.251 mgO₂.L⁻¹ e 1.700 mgO₂.L⁻¹ respectivamente. O valor médio para o parâmetros DQO foi 4.985 mgO₂.L⁻¹. Para o parâmetro DBO os valores máximos e mínimos foram respectivamente, 3.175 mgO₂.L⁻¹ e 526

$\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, sendo que o valor médio encontrado para este parâmetro foi de $1.803 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. A Figura 16 apresenta variações da relação DBO_5/DQO do lixiviado.

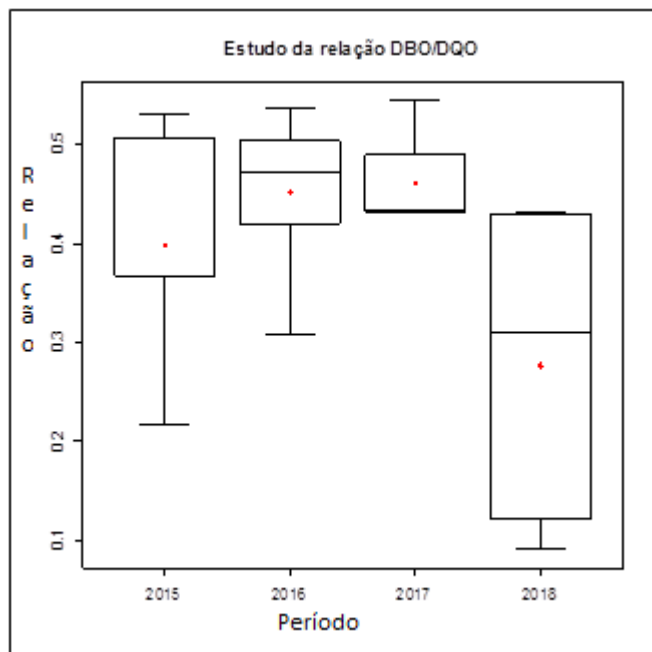


Figura 16. Estudo do histórico da relação DBO_5/DQO do lixiviado de aterro sanitário em função do tempo

Analisando a Figura 16, percebe-se que a média da relação DBO_5/DQO para os anos de 2015, 2016 e 2017 foram respectivamente 0,4, 0,45 e 0,46 valores próximos entre si. No ano de 2018, o valor da relação DBO_5/DQO baixou para 0,28, provavelmente devido ao envelhecimento das células do aterro. Considerando as médias encontradas nos valores de DBO_5 e DQO , o valor encontrado para a razão DBO_5/DQO é 0,36. Os valores máximos e mínimos encontrados para a relação DBO_5/DQO foram respectivamente, 0,54 a 0,09. A média encontrada para esta relação foi 0,4 a mesma entrada no estudo de Maia *et al.* (2015). As relações encontradas apresentam características de baixa biodegradabilidade.

Os valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ e NTK encontrados durante os anos de 2015 a 2018 foram semelhantes, sendo que NTK é a soma dos valores de nitrato, nitrito, $\text{NH}_3\text{-N}$ e nitrogênio orgânico. A maior parcela do parâmetro NTK correspondeu ao $\text{NH}_3\text{-N}$ e uma mínima parcela corresponde aos outros parâmetros. Os valores máximos e mínimos determinados para o parâmetro $\text{NH}_3\text{-N}$ foram $2.722 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $511 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente. O valor médio foi $1.496 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Considerando o parâmetro NTK , valores máximos e mínimos foram respectivamente, de $2.800 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $776 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, sendo valor médio de $1.699 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. A Figura 17 apresenta o perfil de valores dos parâmetros $\text{NH}_3\text{-N}$ e NTK neste período.

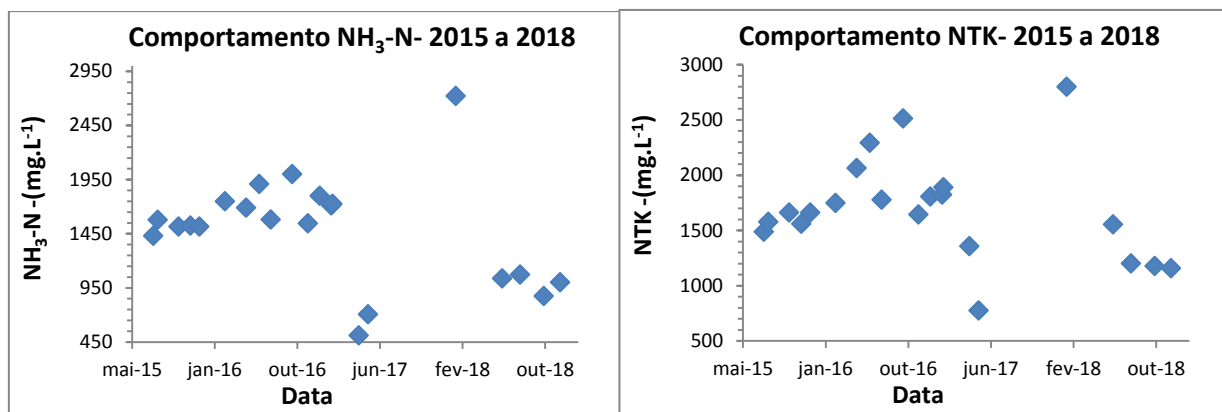


Figura 17. Resultados das análises de $\text{NH}_3\text{-N}$ e NTK referentes aos anos de 2015 a 2018

A Figura 18 apresenta o estudo da relação C/N dos anos de 2015 a 2018. As médias apresentadas nesta figura foram próximas nos anos de 2015, 2016 e 2018, teve um aumento no ano de 2017. Os valores máximos e mínimos encontrados para a relação C/N foram respectivamente, 3,14 e 0,47. A média encontrada foi 1,2.

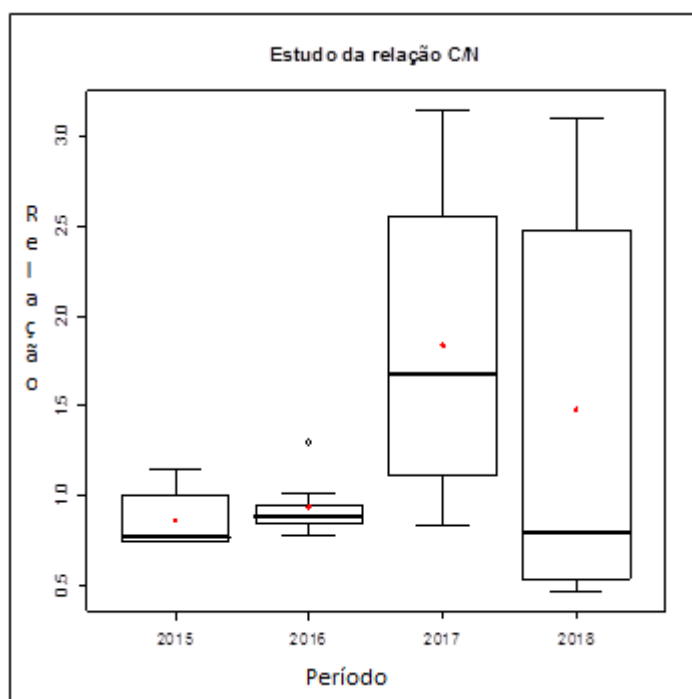


Figura 18. Estudo do histórico da relação C/N do lixiviado de aterro sanitário

5.1.2 Interferentes no processo de lodos ativados

5.1.2.1 Concentração de metais

Os metais analisados no estudo foram: mercúrio, cromo, cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo, vanádio, ferro e manganês durante os anos 2017 e 2018. A Figura 19 apresenta os resultados da concentração de metais no lixiviado do aterro estudado.

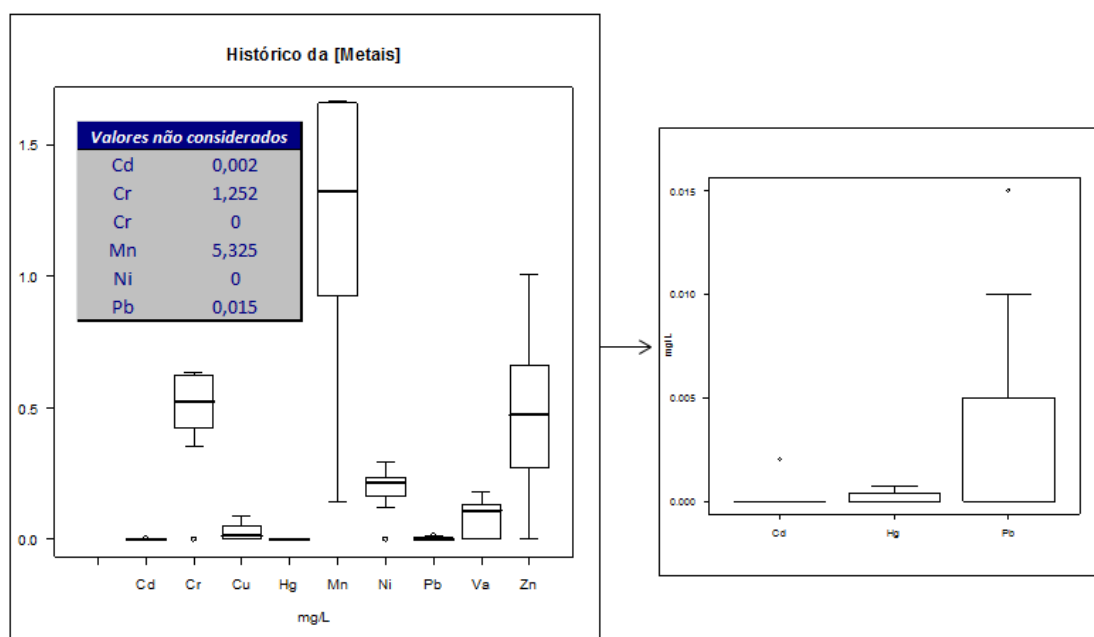


Figura 19. Análise sobre o histórico da concentração de metais em 2017 e 2018

O estudo levou em consideração o valor de cinco análises realizadas no ano de 2017 e três análises realizadas no ano de 2018. A Figura 19 apresenta nulas concentrações para os metais cádmio, mercúrio e chumbo. Porém, apresentou resultados desfavoráveis para processo de lodos ativados os metais cromo, cobre, manganês, níquel, vanádio e zinco. A presença dos metais presentes, pode afetar o desempenho de bactérias heterotróficas no processo.

5.1.2.2 Concentração de compostos xenobióticos

Muitas bibliografias como Renou (2007), Yao (2013) e Rigobello et al. (2015) apresentam compostos xenobióticos como componentes presentes no lixiviado de aterro sanitário. As análises do Lixiviado 1 utilizado no estudo não apontaram a presença destes compostos. Os laudos referentes às análises do Lixiviado 1 encontram-se no Anexo 1.

Também foram realizadas análises de compostos xenobióticos no aterro sanitário estudado durante o segundo semestre de 2018 e início de 2019. As análises de compostos xenobióticos ocorreram dentro do intervalo onde foi realizada a coleta de amostra do Lixiviado 2 e Lixiviado 3.

Como resultados destas análises, foram identificados alguns compostos não esperados em resíduos sólidos urbanos. Os resultados encontram-se na Tabela 3 e os laudos referentes a estas análises encontram-se no Anexo 1.

Tabela 3- Concentração de compostos xenobióticos identificados no lixiviado bruto de aterro sanitário

	Etilbenzeno ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fenóis totais ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Tolueno ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Xileno ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Setembro/2018	10,8	0,15	36,77	13,46
Novembro/2018	3,2	0,28	9,9	5,7
Janeiro/2019	2,2	0,058	7,95	Não detectado

A partir destes dados, pode-se considerar que há a presença destes compostos nas amostras de Lixiviado 2 e 3, sendo que as estas amostras foram coletadas na mesma célula de aterro e dentro do mesmo intervalo que as amostras que apresentaram compostos xenobióticos (datas de coletas de amostras de lixiviado para lodos ativados apresentadas no item 4.2). A Tabela 3 apresenta concentrações decrescentes para os compostos, com exceção do fenol. Este fato pode representar uma única carga indevida dentro da célula de aterro.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO E LODOS UTILIZADO PARA PROCESSOS AERÓBIOS

As amostras de lixiviado bruto coletadas para ensaios de lodos ativados foram caracterizados. Os resultados da caracterização destas amostras de lixiviado coletadas em três momentos distintos são apresentados na Tabela 4.

As coletas foram realizadas sempre no mesmo local (entrada da lagoa de estabilização) e é uma mistura do lixiviado de quatro células encerradas e uma em operação. As divergências dos valores dos parâmetros analisados, entre os lixiviados, são variações características devido à influência climatológica, principalmente da temperatura e precipitação pluviométrica. Os laudos destas análises que foram realizados no LAPAM/ UCS encontram-se no Anexo 2.

Tabela 4. Caracterização dos lixiviados brutos utilizado

Parâmetro	Unidade	Lixiviado 1 (mg.L ⁻¹) 15/09/2017	Lixiviado 2 (mg.L ⁻¹) 08/09/2018	Lixiviado 3 (mg.L ⁻¹) 04/12/2018
DQO (dissolvida)	mgO ₂ .L ⁻¹	3.712,1	4.346,6	2.642,8
DBO ₅	mgO ₂ .L ⁻¹	779,5	2.601,7	2003,9
Alcalinidade	mg.L ⁻¹	8.818,5	15.801,0	8501,0
NH ₃ -N	mgN-NH ₃ .L ⁻¹	1.138,0	1.393,3	1352,3
NTK	mgN.L ⁻¹	1.642,5	1.404,1	1379,3
DBO ₅ /DQO	-	0,2	0,6	0,8
C/N	mgC/mgN	0,9	1,2	0,7
Fosforo Total	mgP.L ⁻¹	5,6	11,3	11,4
pH	-	8,1	8,5	8,0
SST	mg.L ⁻¹	710,0	482,5	88,0
SSV	mg.L ⁻¹	450,0	355,0	62,0

Apesar das amostras de lixiviado proverem do mesmo local, diferenças em suas composições acabam alterando o tratamento em lodos ativados. Os valores encontrados de DQO, DBO₅, NH₃-N e NTK, DBO₅/DQO e C/N encontram-se dentro do intervalo estudado no item 5.1.

Na Tabela 4 pode-se verificar a elevada variação nas relações DBO₅/DQO e C/N. Para processos aeróbios de tratamento de efluentes, a relação DBO₅/DQO indica a biodegradabilidade da matéria orgânica presente, ou seja, efluentes que apresentam maiores relações de DBO₅/DQO apresentam maior biodegradabilidade. Uma parcela da DQO apresentada na Tabela 4 é a matéria orgânica recalcitrante (lentamente biodegradável), substâncias comuns em lixiviado de aterro sanitário. A relação C/N é um valor que representa a competitividade entre as bactérias heterotróficas e autotróficas. Em relações mais elevadas de C/N bactérias heterotróficas obtêm vantagem, pois possuem capacidade de reprodução cinco vezes maior que bactérias autotróficas. Em relações C/N baixas as bactérias autotróficas têm seu desenvolvimento facilitado. (ZHU e CHEN, 2001; REGINATTO *et. al*, 2007).

As características do lodo utilizado no processo são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Características do lodo utilizado

Paramêtro	Unidade	Lodo 1 29/09/2017	Lodo 2 18/09/2018
DQO	mg.L ⁻¹	178,6	300,79
SST	mg.L ⁻¹	15.275	12.568,06
SSV	mg.L ⁻¹	8.405	8.763,89

Os lodos utilizados apresentavam elevadas concentrações de SSV e baixas

concentrações de DQO. Os valores de DQO apresentados equivaliam a 4,8 % e 11,4 % dos valores apresentados pelos efluentes, o que não implicou na alteração considerável dos valores iniciais de DQO.

5.3 ESTUDO DA CINÉTICA A PARTIR DO CONSUMO DE NITROGÊNIO AMONIAL (NH₃-N)

A nitrificação biológica é um processo que ocorre em lodos ativados devido à ação de bactérias autotróficas. Estas bactérias utilizam o carbono inorgânico dissolvido no meio líquido e o utilizam em sua estrutura. Como o nitrogênio amoniacal pode ser utilizado tanto na rota assimilativa como na desassimilativa, ao invés de avaliar a nitrificação, será avaliada a remoção de nitrogênio amoniacal.

Foram realizados cinco experimentos onde, além de DQO, pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, foi monitorado o perfil de variação do nitrogênio amoniacal.

5.3.1 Experimento 1

Os resultados de nitrogênio amoniacal obtidos durante o Experimento 1 estão apresentados na Figura 20. Neste experimento, o nitrogênio amoniacal foi monitorado por cinco dias, após uma ambientação do lodo por 40 dias.

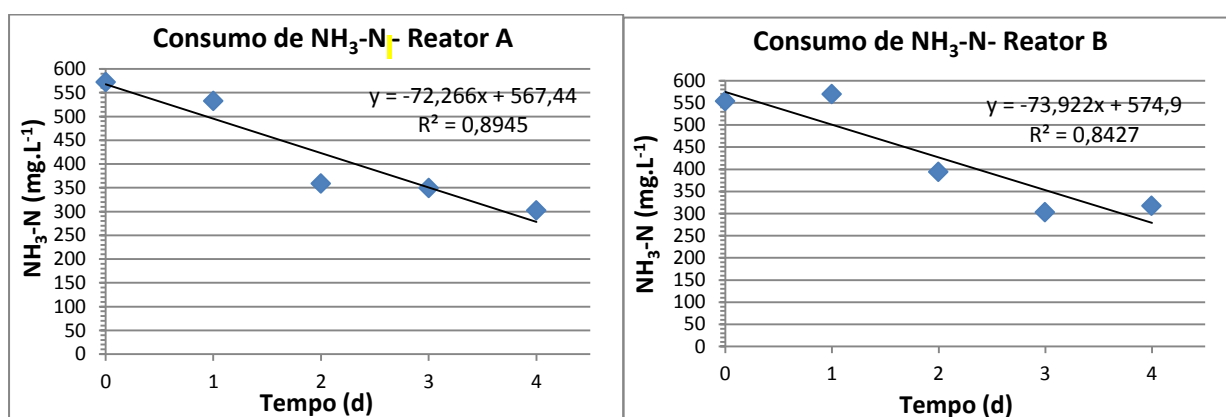


Figura 20. Avaliação do consumo de NH₃-N no Experimento 1

O coeficiente angular das funções lineares que modelam o comportamento da concentração de nitrogênio amoniacal nestes reatores representa a velocidade de consumo de NH₃-N (a). Dividindo-se os coeficientes angulares pelas concentrações de SSV nos reatores

(Equação 4), obtém-se a velocidade específica de consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$ (μ_N).

$$\text{vel. esp. de consumo de nitrogênio } (\mu_N) = \frac{\text{velocidade de consumo de } \text{NH}_3\text{-N}}{\text{SSV analisado no dia}} \quad \text{Equação 4}$$

Na Tabela 6 são apresentadas as velocidades de consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$ e as velocidades específicas de consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$ do Experimento 1. A partir dos resultados da Tabela 6, conclui-se que as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal dos dois reatores, apresentaram resultados muito próximos entre eles. Apesar dos reatores estarem operando em duplicata, as velocidades específicas de consumo de nitrogênio amoniacal divergiram entre o Reator A e o Reator B. Sugere-se que esta diferença seja devido aos diferentes desenvolvimento da microbiota, mesmo o substrato sendo o mesmo. Essa afirmação pode ser comprovada pela diferença na concentração de biomassa ao longo do experimento. Enquanto que no Reator A houve aumento de biomassa (SSV) durante o período experimental, no Reator B houve decréscimo.

Tabela 6. Velocidade cinética da reação de nitrificação nos Experimentos 1

Experimento 1- Reator A	ETAPA 1	
	06/nov	10/nov
a ($\text{mg NH}_3\text{-N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$)	72,3	72,3
SSV ($\text{g SSV} \cdot \text{L}^{-1}$)	5,3	5,6
μ_N ($\text{mg NH}_3\text{-N} \cdot \text{g SSV}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	13,5	12,8
Experimento 1- Reator B	ETAPA 1	
	06/nov	10/nov
a ($\text{mg NH}_3\text{-N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$)	73,9	73,9
SSV ($\text{g SSV} \cdot \text{L}^{-1}$)	4,1	3,5
μ_N ($\text{mg NH}_3\text{-N} \cdot \text{g SSV}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	18,0	21,4

As velocidades não variaram consideravelmente em relação ao início e ao final do experimento. Reginatto *et al.*, (2007), encontraram velocidades específicas de consumo de nitrogênio amoniacal para efluentes de frigorífico igual a $28,8 \text{ mg N-NH}_3 \cdot \text{g SSV}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

5.3.2 Experimento 2

No Experimento 2, o lixiviado utilizado também foi o Lixiviado 1. Os resultados do consumo de nitrogênio amoniacal por tempo neste experimento estão apresentados na Figura 21. O tempo de experimento foi de 11 dias.

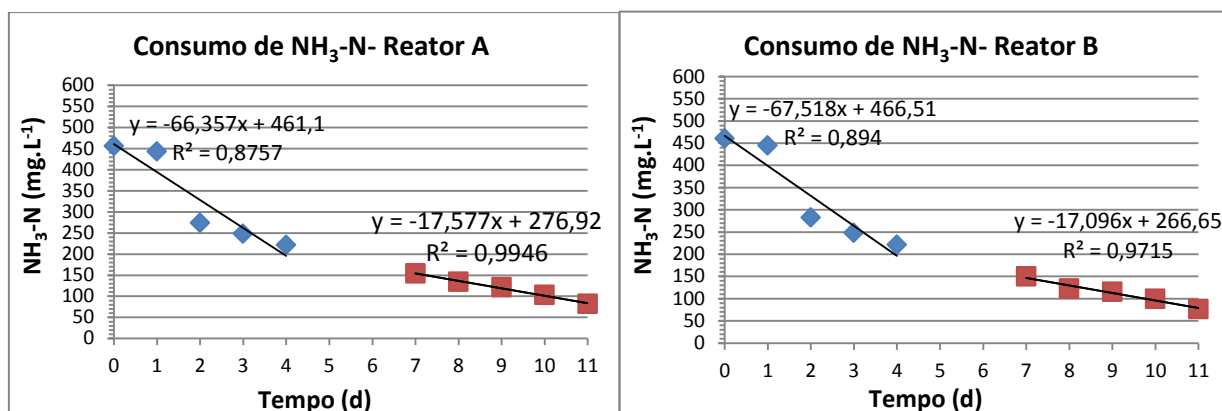


Figura 21. Avaliação do consumo de NH₃-N no Experimento 2

Como o Experimento 2 foi realizado em um período maior de tempo, foi possível observar dois comportamentos distintos em relação à velocidade de redução da concentração de nitrogênio amoniacal, a qual pode ser associada à nitrificação e a síntese de novas células. Dessa forma, realizou-se o estudo dividindo esse processo em duas etapas.

De acordo com Yusof *et al.*, (2009), bactérias oxidantes de amônia sofrem inibição pelo íon nitrito (produto formado na oxidação da amônia) e, para que esta inibição não ocorra, bactérias oxidantes de nitritos devem associar-se as oxidantes de amônia, além disto, o pH deve ser mantido na neutralidade para evitar a formação de ácido nitroso durante o processo. O ácido nitroso é um dos principais responsáveis pela inibição de bactérias oxidantes de amônia e nitrito. O ácido nitroso livre apresenta concentrações inversamente proporcionais ao valor de pH. A Equação 5 apresenta a variação de concentração de ácido nitroso livre.

$$FNA = \frac{46}{14} x \frac{[N-NO_2]^-}{KA.10^{pH}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: FNA= concentração de ácido nitroso livre

$[N - NNO_2]^-$ = concentração de N-NO₂ livre

KA= constante de equilíbrio

Como o pH do processo foi ajustado duas vezes ao dia, uma possível explicação para duas etapas durante processos mais longos neste experimento é o acúmulo de íons nitritos no sistema e a formação de ácido nitroso, gerando inibição às bactérias oxidantes de amônia e nitrito, afetando a taxa de crescimento microbiano.

A partir do coeficiente angular destes gráficos, obteve-se o valor da velocidade de

reação, a partir da Equação 4. O Experimento 2 gerou dois coeficientes angulares distintos para cada reator. O coeficiente angular do gráfico consumo de nitrogênio amoniacal em função do tempo representa a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos durante o início das etapas 1 e 2. Apesar do Reator A e do Reator B estarem operando em duplicata durante o Experimento 2, as culturas de microrganismos do Reator B tiveram maior desempenho no consumo de nitrogênio amoniacal.

Tabela 7. Cálculo da velocidade cinética da reação de nitrificação no Experimento 2

Experimento 2- Reator A	Etapa 1	
	20/nov	24/nov
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	66,4	66,4
SSV (g SSV.L ⁻¹)	4,8	5,1
μ _N (mg NH ₃ -N. g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	13,8	13,0
Experimento 2- Reator B	Etapa 1	
	20/nov	24/nov
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	67,5	67,5
SSV (g SSV.L ⁻¹)	3,7	3,9
μ _N (mg NH ₃ -N. g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	18,5	17,5
Experimento 2- Reator A	Etapa 2	
	27/nov	01/dez
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	17,6	17,6
SSV (g SSV.L ⁻¹)	3,6	1,5
μ _N (mg NH ₃ -N. g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	4,9	11,8
Experimento 2- Reator B	Etapa 2	
	27/nov	01/dez
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	17,1	17,1
SSV (g SSV.L ⁻¹)	2,7	1,0
μ _N (mg NH ₃ -N. g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	6,4	16,4

Comparando as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal dos dois reatores, estas apresentaram valores muito próximos entre si, apresentando valores iguais a 66,4 mg NH₃-N.d⁻¹.L⁻¹ para o Reator A e 67,5 mg NH₃-N.d⁻¹.L⁻¹ para o Reator B na etapa 1. Na etapa 2 observou-se a redução para 17,6 mg NH₃-N.d⁻¹.L⁻¹ para o Reator A e 16,4 mg NH₃-N.d⁻¹.L⁻¹ para o Reator B. O decréscimo na concentração de SSV pode estar associado a falta de carbono orgânico. Dessa forma, as bactérias heterotróficas, após o consumo de substrato entraram em respiração endógena, reduzindo a sua parcela na concentração total de biomassa.

A partir dos valores encontrados na Tabela 5 e 6, pode-se calcular os valores de

velocidade máxima. Estes valores são apresentados na Tabela 8.

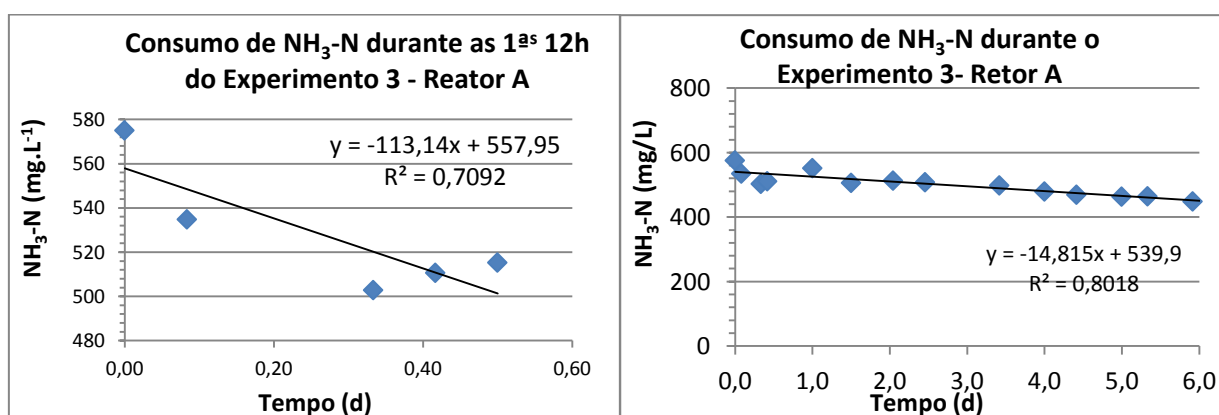
Tabela 8. Velocidades máximas de cada experimento

Experimento	$\mu_{\text{máx}}$ (mg NH ₃ -N.g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)
Experimento 1 – Reator A	13,5
Experimento 1 – Reator B	21,4
Experimento 2 – Reator A Etapa 1	13,7
Experimento 2 – Reator B Etapa 1	18,5
Experimento 2 – Reator A Etapa 2	11,8
Experimento 2 – Reator B Etapa 2	16,4

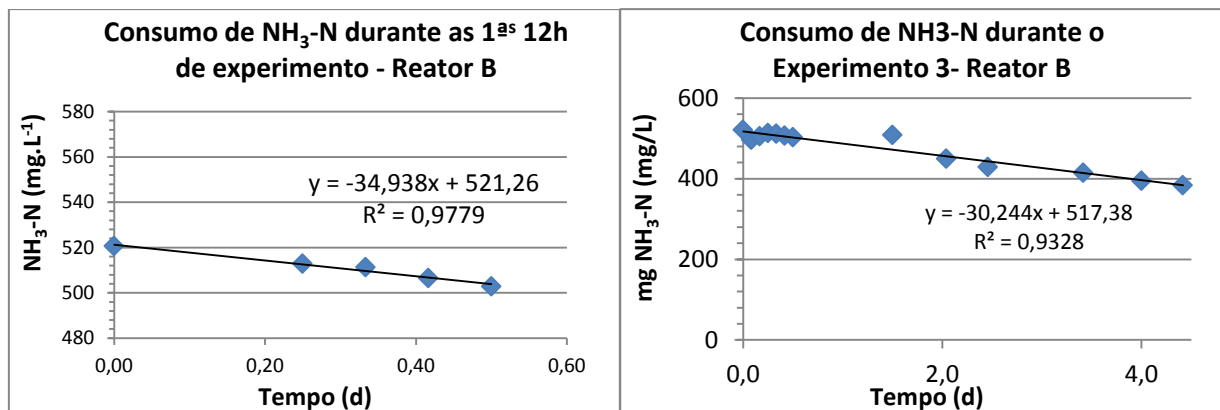
Comparando as velocidades apresentadas no Experimento 1 e a primeira etapa do Experimento 2 percebe-se que as velocidades máximas de consumo de nitrogênio amoniacal obtiveram resultados próximos. Comparando os valores encontrados na Tabela 8, conclui-se que as velocidades específicas máximas de consumo de nitrogênio amoniacal no Experimento 2, não tiveram redução considerável entre as etapas 1 e 2.

5.3.3 Experimento 3

Durante o Experimento 3 houve menor consumo de nitrogênio amoniacal que o Experimento 1 e 2. Uma possível explicação para este resultado é a competição de bactérias heterotróficas e autotróficas. Nas Figuras 22 e 23 são apresentados os gráficos de consumo de nitrogênio amoniacal em função de tempo de detenção hidráulica do reator.



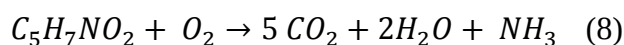
Figuras 22. Consumo de NH₃-N, Experimento 3, Reator A



Figuras 23. Consumo de NH₃-N, Experimento 3, Reator B

Durante as primeiras doze horas do Experimento 3, o Reator A apresentou velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal 83,4 % maior que a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal dos seis dias de tempo de detenção. A velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal do Reator B manteve-se durante as primeiras doze horas e durante o tempo total do experimento. Este aumento de velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal durante as primeiras doze horas se deve, provavelmente a adição de carvão ativado em pó no Reator A. O Reator B apresenta resultados sem interferentes, pois não há a adição de carvão ativado.

Como o Experimento 3 apresentou consumo de substrato tanto por bactérias autotróficas quanto de bactérias heterotróficas, a quantidade de SSV referente a cada cultura teve de ser estimada. A Reação 8 apresenta a reação de oxidação da fórmula mínima de uma célula.



Segundo Spanejers *et. al.* (1996), microrganismos autotróficos consomem em média 40 % da demanda de oxigênio do meio. Se reduzirmos a concentração de oxigênio para 40 % do total consumido, a massa de SSV consequentemente também reduzirá para 40 % do total analisado. Sendo assim, considerou-se 40 % do total do SSV analisado como organismos autotróficos. A partir desta afirmação e do cálculo estequiométrico da Reação 8, conclui-se que 40 % do total de SSV analisado, representava a massa de microrganismos autotróficos.

A Tabela 9 apresenta as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal e as velocidades específicas de consumo de nitrogênio amoniacal para o Experimento 3.

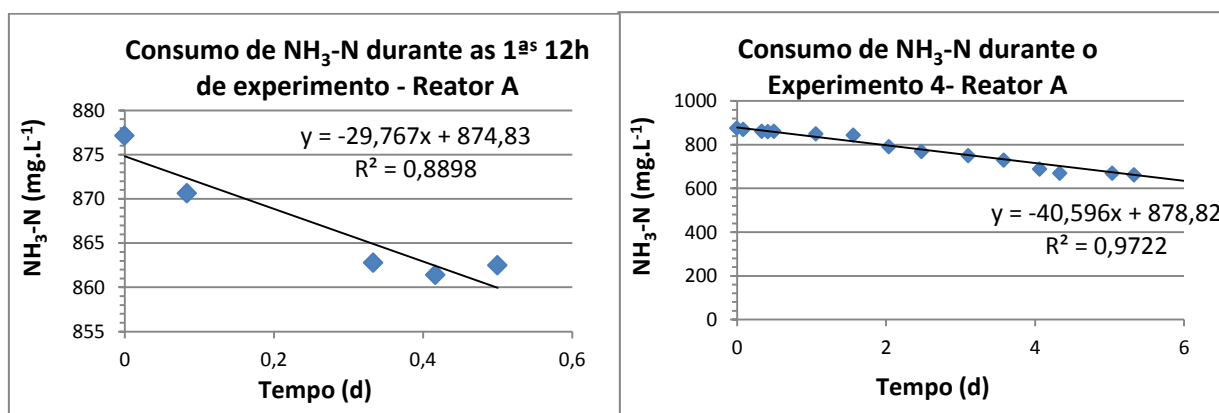
Tabela 9. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 3

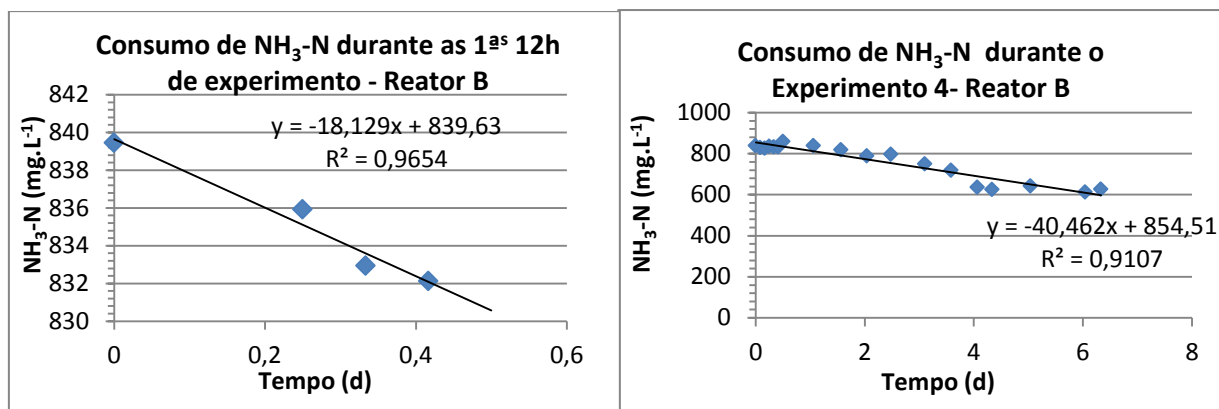
	Dia zero do Experimento 3		Dia 6 do Experimento 3	
	Reator A	Reator B	Reator A	Reator B
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	113,14	34,94	14,82	30,24
SSV (g SSV.L ⁻¹)	3,18	2,94	3,28	3,2
μ _N (mg NH ₃ -N.g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	35,57	11,88	4,52	9,45

As velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal e velocidades específicas de consumo de nitrogênio amoniacal determinados no Experimento 3 foram mais baixas que as encontradas nos Experimentos 1 e 2. Apesar do Reator A apresentar carvão ativado em pó, a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal após as primeiras 12 h, apresentaram menor valor em relação às velocidades encontradas no Reator B. Uma possível explicação para este fato é a adsorção, pelo carvão ativado, de substâncias tóxicas as bactérias autotróficas. Cabe ressaltar que o Experimento 3 foi realizado com lodo sem ambientação, sendo assim, a atividade das bactérias autotróficas pode ter sido comprometido devido a mudança do efluente no meio.

5.3.4 Experimento 4

O Experimento 4 consiste na continuidade do Experimento 3, utilizando a mesma amostra de lixiviado (Lixiviado 2). Nas Figuras 24 e 25 são apresentados os gráficos de consumo de nitrogênio amoniacal em função de tempo de detenção hidráulica do reator.

**Figuras 24.** Consumo de NH₃-N, Experimento 4, Reator A



Figuras 25. Consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$, Experimento 4, Reator B

Durante as primeiras doze horas do Experimento 4, as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal dos Reatores A e B apresentaram valores menores que as velocidades encontradas durante o experimento. Se comparar a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal nos Reatores A e B, conclui-se que a adição de $1,2 \text{ g.L}^{-1}$ de carvão ativado no Reator A aumentou a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal durante as primeiras 12 horas de experimento, porém durante os seis dias de experimento as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal apresentaram valores próximos.

Considerando 40 % do total de SSV como organismos autotróficos, a Tabela 10 apresenta as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal para o Experimento 4.

A velocidade de consumo de substrato do Experimento 4 aumentou em relação as velocidades encontradas no Experimento 3. Apesar desta afirmação não podemos caracterizar sucesso das bactérias autotróficas durante o processo de ambientação. Apesar da adição de carvão ativado no Reator A, as velocidades de consumo de substrato dos Reatores ficaram muito próximas.

Tabela 10. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 4

	Dia zero do Experimento 4		Dia 6 do Experimento 4	
	Reator A	Reator B	Reator A	Reator B
a (mg $\text{NH}_3\text{-N} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$)	29,8	18,13	40,6	40,46
SSV (g SSV.L ⁻¹)	2,45	1,88	2,29	1,92
μ_N (mg $\text{NH}_3\text{-N}$ g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	12,16	9,64	17,73	21,07

Ainda que tenha sido observado aumento das velocidades em relação ao Experimento 3, estas velocidades apresentaram valores mais baixos do que as velocidades encontradas nos

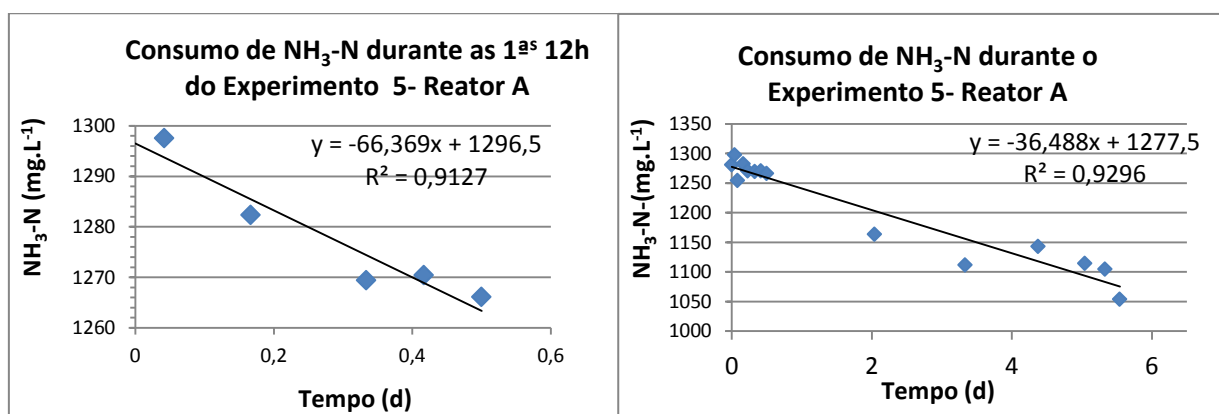
Experimentos 1 e 2.

5.3.5 Experimento 5

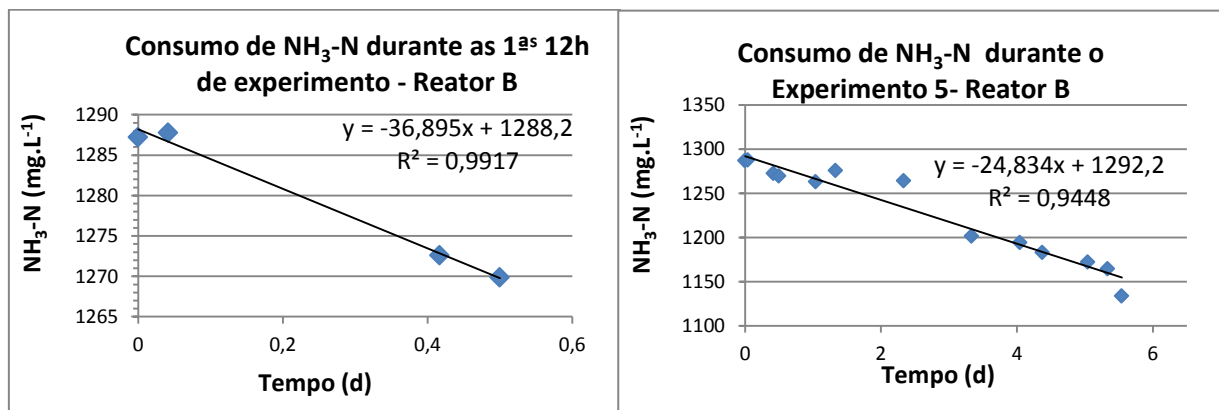
Durante o Experimento 5, utilizou-se uma terceira amostra de lixiviado, Lixiviado 3. Apesar da troca da amostra de lixiviado, o Experimento 5 dá continuidade ao Experimento 4, utilizando a mesma cultura de bactérias já ambientadas nos reatores.

Nas Figuras 26 e 27 são apresentados os gráficos de consumo de nitrogênio amoniacal em função de tempo de detenção hidráulico do reator.

Durante as primeiras doze horas do Experimento 5, as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal nos dois reatores foram maiores que as velocidades durante os cinco dias de experimento, sendo 45 % superior para o Reator A e 31,5 % maior para o Reator B. Durante as primeiras 12 horas, a velocidade do Reator A apresentou maior resultado provavelmente devido a adição de carvão ativado.



Figuras 26. Consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$, Experimento 5, Reator A



Figuras 27. Consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$, Experimento 5, Reator B

Considerando 40 % do total de SSV como organismos autotróficos, a Tabela 11 apresenta as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal para o Experimento 5.

Tabela 11. Velocidades globais de consumo de substrato- Experimento 5

	Dia zero do Experimento 5		Dia 6 do Experimento 5	
	Reator A	Reator B	Reator A	Reator B
a (mg NH ₃ -N.d ⁻¹ .L ⁻¹)	66,37	36,9	36,49	25,27
SSV (g SSV.L ⁻¹)	2,1	1,9	1,7	1,2
μ _N (mg NH ₃ -N g SSV. ⁻¹ .d ⁻¹)	31,60	19,42	21,47	21,06

Durante o Experimento 5, as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal entre o Reator A e Reator B, nos 5 dias de experimento, apresentaram pouca diferença nos valores encontrados, isto provavelmente se deve à saturação do carvão. A maior velocidade do Reator A, encontrada durante as primeiras 12 h, deve-se a adição de carvão ativado neste reator.

5.3.6 Eficiência do consumo de NH₃-N durante os experimentos

A Tabela 12 apresenta a eficiência e velocidades de todos os processos estudados. O Experimento 1 apresentou melhores resultados de eficiência, obtendo maiores velocidades de consumo de substrato e maiores velocidades específicas de consumo de nitrogênio amoniacal. Como a amostra de lixiviado do Experimento 1 e 2 era a mesma, os resultados de velocidade de consumo de nitrogênio e velocidades específicas de consumo de nitrogênio apresentaram valores muito próximos durante a primeira fase do Experimento 2.

O experimento com tempo de detenção mais longo (11 dias) apresenta resultados de eficiência maior, porém, a velocidade de consumo de nitrogênio amoniacal diminui consideravelmente, diminuindo também a concentração de SSV no reator. Neste Experimento a concentração final de NH₃-N para o Reator A e Reator B apresentaram resultados respectivamente 81,7 mg.L⁻¹ e 76,5 mg.L⁻¹.

O Experimento 3, apresentou eficiência de consumo de nitrogênio amoniacal menor que os Experimentos 1 e 2. Uma possível explicação para este acontecido é a amostra de lixiviado utilizada. Esta apresentava relações DBO₅/DQO e C/N respectivamente 0,6 e 1,16, mais altas para o Lixiviado 2 que as apresentadas pelo Lixiido 1 que eram respectivamente 0,21 e 0,85. Apresentar relação DBO₅/DQO mais alta significa que a parcela de matéria orgânica rapidamente biodegradável aumentou e maior relação C/N significa que há maior

concentração de substrato para bactérias heterotróficas e menor concentração para bactérias autotróficas, além do que as bactérias heterotróficas se reproduzem com maior facilidade.

Tabela 12. Eficiência de consumo de $\text{NH}_3\text{-N}$ dos Experimentos 1, 2, 3, 4 e 5

Experimento	Tempo de Detenção	Eficiência (%)	a ($\text{mg NH}_3\text{-N.d}^{-1}.\text{L}^{-1}$)	$\mu_{\text{N(MAX)}}$ ($\text{mgNH}_3\text{-Ng SSV}^{-1}.\text{d}^{-1}$)
Experimento 1- Reator A	4 dias	47,41	72,3	13,5
Experimento 1- Reator B	4 dias	42,71	73,9	21,4
Experimento 2- Reator A	5 dias	51,36	66,4	13,8
Experimento 2- Reator B	5 dias	51,92	67,5	18,5
Experimento 2- Reator A	11 dias	82,08	17,6	11,8
Experimento 2- Reator B	11 dias	83,39	17,1	16,4
Experimento 3- Reator A	6 dias	18,32	14,82	4,52
Experimento 3- Reator B	6 dias	26,34	30,24	9,45
Experimento 3- Reator A	12 horas	10,40	113,14	35,57
Experimento 3- Reator B	12 horas	3,42	34,94	11,88
Experimento 4- Reator A	6 dias	26,84	40,60	17,73
Experimento 4- Reator B	6 dias	25,46	40,46	21,07
Experimento 4- Reator A	12 horas	1,67	29,77	12,16
Experimento 4- Reator B	12 horas	0,87	18,13	9,64
Experimento 5- Reator A	6 dias	17,70	36,5	21,7
Experimento 5- Reator B	6 dias	11,93	25,27	18,5
Experimento 5- Reator A	12 horas	1,14	66,37	31,6
Experimento 5- Reator B	12 horas	1,35	36,9	19,42

Durante o Experimento 3 a adição de carvão ativado foi percebida principalmente durante as primeiras doze horas de processo. Apesar da adição de carvão ativado no Reator A, o Reator B alcançou maior eficiência que o Reator A durante os 6 dias de tempo de detenção do experimento. Uma possível causa para este ocorrido seria a adsorção de substâncias tóxicas às bactérias autotróficas pelo carvão ativado.

Na execução do Experimento 4, a amostra de lixiviado utilizada era a mesma do Experimento 3, nestes experimentos valores de eficiências de consumo de nitrogênio muito próximos foram determinados durante os 6 dias de tempo de detenção. Apesar das velocidades de consumo de substrato e velocidades específicas de consumo de substrato apresentarem resultados maiores, não se pode considerar que o processo de ambientação que ocorreu entre o Experimento 3 e 4 fortaleceu as culturas de bactérias autotróficas.

O Experimento 5 apresentou menor eficiência de todos os processos, porém, as velocidades de consumo de substrato e velocidades específicas de consumo de substrato, durante os 6 dias de tempo de detenção, apresentaram valores muito próximos as encontradas no Experimento 4. Apesar da amostra de lixiviado do Experimento 5 ter relações diferentes de

DBO₅/DQO e C/N que a amostra utilizada no Experimento 3 e 4, não houve diferenças consideráveis na eficiência e velocidades. Estas relações apresentavam valores respectivamente 0,76 e 0,72 favoráveis ao consumo de substrato por bactérias heterotróficas.

A baixa eficiência no consumo de nitrogênio amoniacal nos Experimentos 3, 4 e 5, podem estar relacionadas à possível presença de compostos xenobióticos na amostra de lixiviado utilizada. Considerando que na amostra de Lixiviado 3 havia presença de compostos xenobióticos, pois foi realizadas análises por períodos de tempos específicos e dentro deste período em que o lixiviado foi analisado, havia presença de compostos xenobióticos.

5.4 ESTUDO DA VARIAÇÃO DE pH E CONSUMO DE ALCALINIDADE

A variação de pH é relacionada diretamente à alcalinidade do reator. A variação de pH durante a ambientação do Experimento 1 e o pH dos reatores durante os experimentos, encontra-se no Anexo 3.

O parâmetro alcalinidade deve ser monitorado durante um processo de lodos ativados, pois necessita de uma concentração mínima para que haja a nitrificação completa. Segundo a estequiometria da reação, 7,14g de alcalinidade como CaCO₃ é necessária para oxidar 1g de nitrogênio amoniacal (METCALF e EDDY, 2016). Durante o Experimento 1, a alcalinidade foi monitorada a partir de análises diárias e o controle desta ocorria a partir do controle de pH com solução 50% m/m de NaOH. Cada mL de solução de NaOH correspondia a 23,44 mg de CaCO₃. L⁻¹ de alcalinidade adicionado no reator. Foi realizado a cálculo de consumo de alcalinidade por nitrogênio oxidado.

5.4.1 Ambientação do Experimento 1

Durante a ambientação do Experimento 1, o pH inicial do processo alcançava valores superiores a 9,0, sendo que o pH inicial da mistura era 8,0. Durante os primeiros dias de experimento o pH foi ajustado com HCl pois, devido a ação dos microrganismos no lodo ativado o pH aumentava para valores acima de 9,0 causando um forte tamponamento nesta faixa. O último dia em que foi adicionado HCl foi no sétimo dia de aeração. Após o sétimo dia, o pH manteve-se constante, em torno de 8,0, até começar a baixar e ter de ser ajustado com NaOH. A redução no pH caracteriza a atuação de bactérias autotróficas, pois neste processo ocorre o consumo de alcalinidade. A variação de pH durante a ambientação do

Experimento 1 encontra-se na Figura 28.

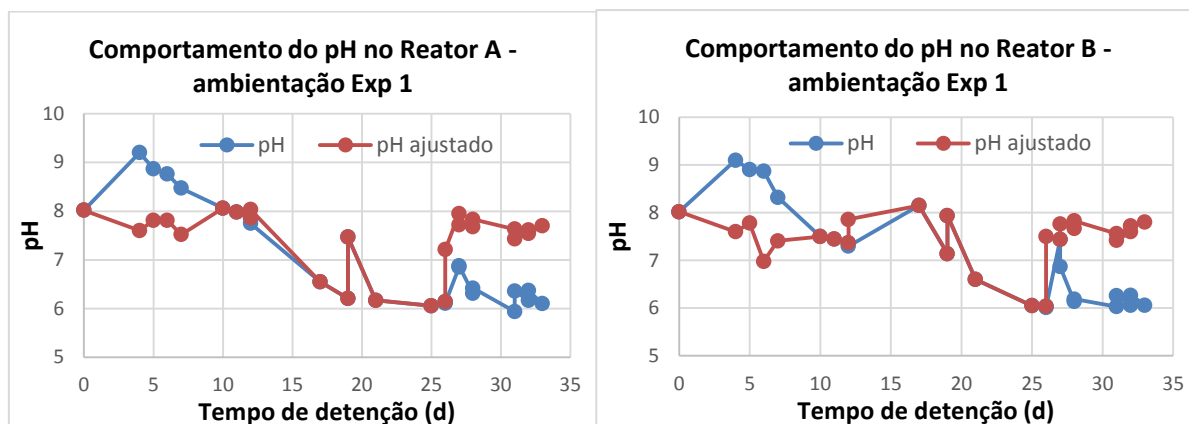


Figura 28. Variação de pH durante a ambientação do Experimento 1

5.4.2 Experimento 1 e Experimento 2

A variação do pH durante os Experimentos 1 e 2 são apresentadas na Figura 29 e 30. Analisando as figuras, percebe-se que o pH inicial aumenta após 1 dia de aeração.

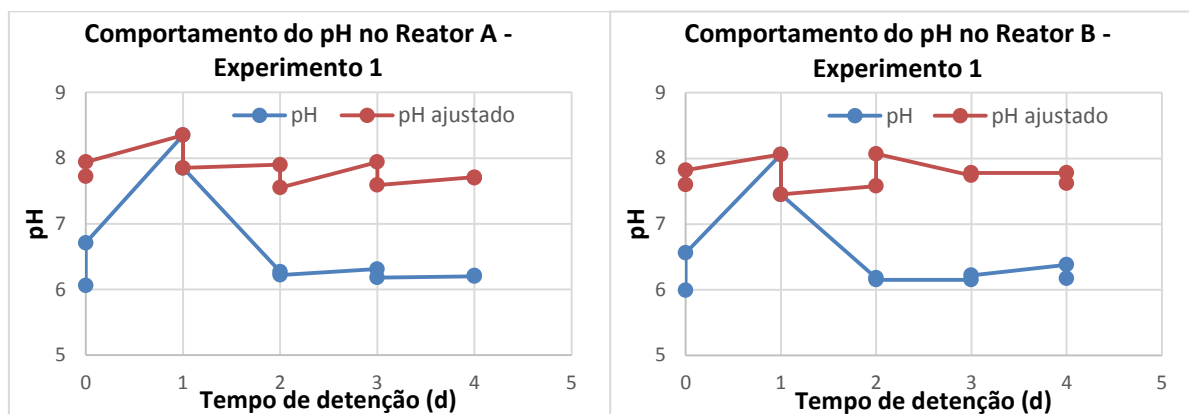


Figura 29. Variação de pH no Experimento 1

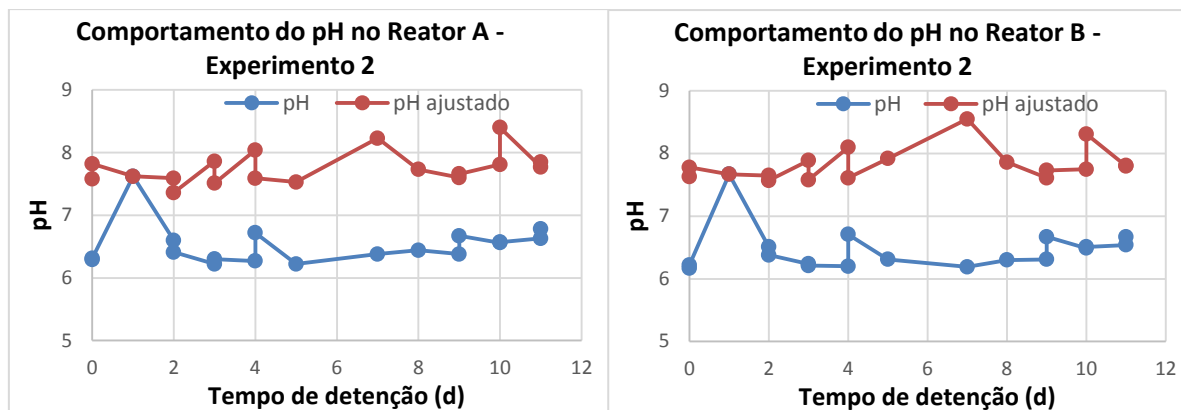


Figura 30. Variação de pH no Experimento 2

Assim como já citado anteriormente, os valores de pH estão relacionados diretamente com a alcalinidade presente no sistema. Os valores de alcalinidade para o Experimento 1 e 2 encontram-se na Tabela 13. O cálculo foi realizado do primeiro ao terceiro dia, nos dois experimentos, pois no terceiro dia houve um decréscimo considerável no pH. Os valores da Tabela 13 só apresentam coerência com a bibliografia no Experimento 1, Reator A.

Tabela 13. Consumo de alcalinidade por nitrogênio oxidado

Experimento	Consumo de alcalinidade (mg de CaCO_3 / mg de N oxidado)
Experimento 1- Reator A	7,34
Experimento 1- Reator B	13,11
Experimento 2- Reator A	10,49
Experimento 2- Reator B	11,02

5.4.3 Experimento 3, 4 e 5

O estudo do consumo de alcalinidade não foi monitorado nos Experimentos 3, 4 e 5. Durante o início do Experimento 3, o valor do pH inicial nos dois reatores se elevou acima de 9,0, assim como a ambientação do Experimento 1, devido ao forte tamponamento gerado nos reatores.

No Experimento 3 foi adicionado 42,5 % de efluente e 57,5 % de lodo. No Reator A houve ajustes diários de pH, enquanto o Reator B, a partir do terceiro dia manteve seu pH na faixa desejada sem precisar ajustes. Devido à adição de carvão ativado no Reator A, as biotas de lodo ativado, apresaram comportamento distintos entre os reatores.

A variação de pH nos reatores está apresentada na Figura 31.

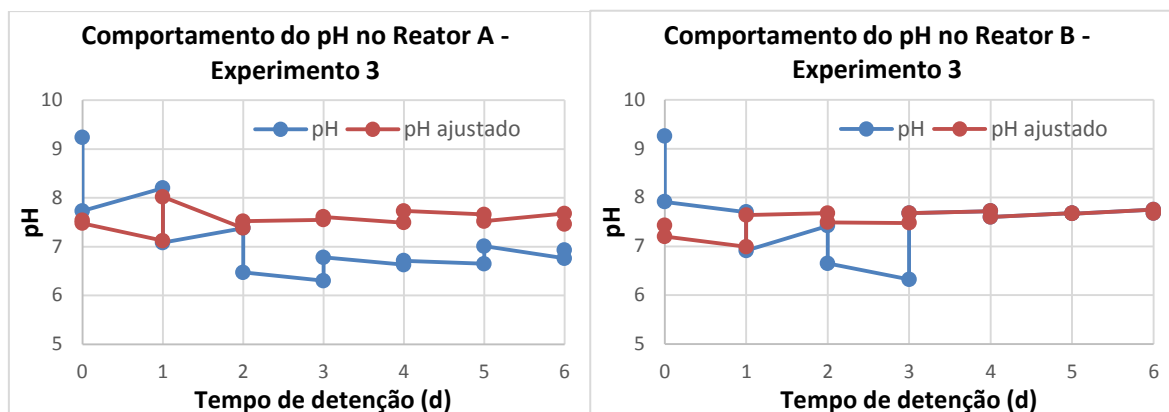


Figura 31. Variação de pH no Experimento 3

A variação de pH durante o Experimento 4 é apresentada na Figura 32. O aumento de pH ocorreu da mesma forma que os Experimentos 1 e 2, que já estavam ambientados. Neste Experimento o pH tendia a ficar mais baixo, devido a amostra de lixiviado que mudou.

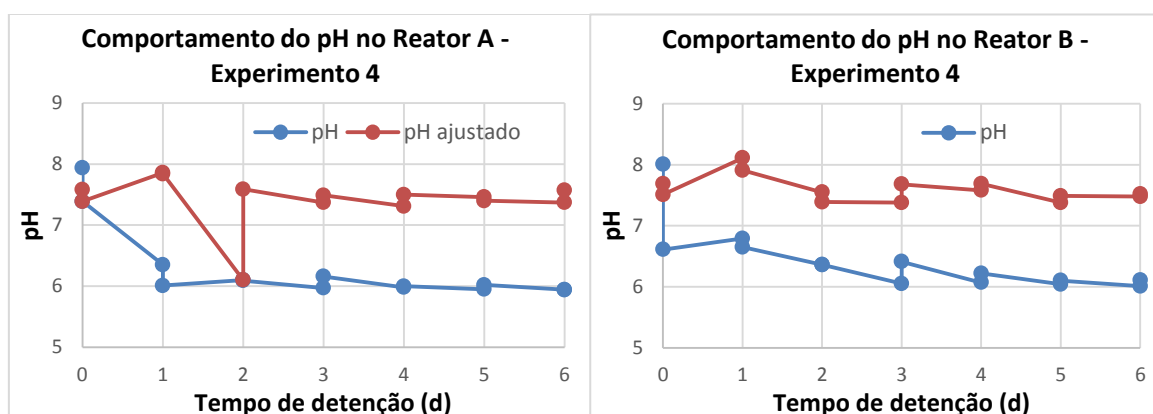


Figura 32. Variação de pH no Experimento 4

A variação durante o Experimento 5 é apresentado na Figura 33.

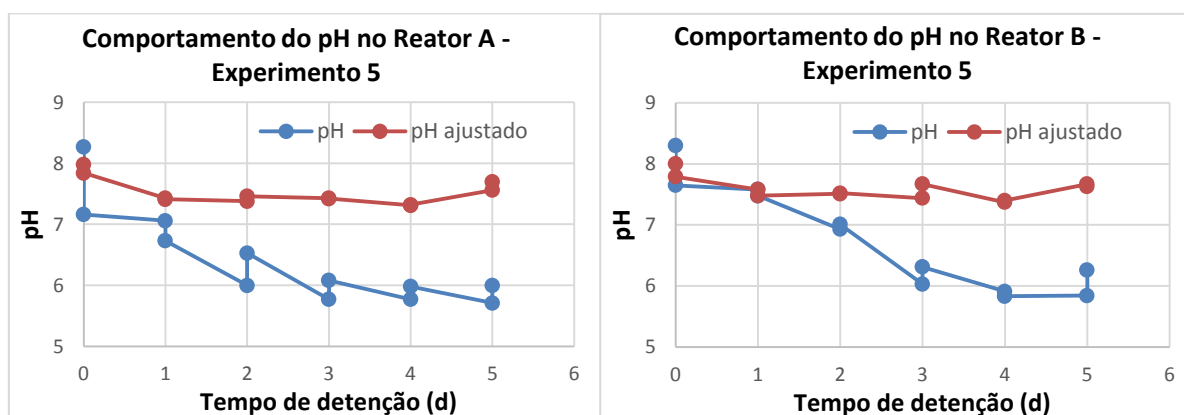


Figura 33. Variação de pH no Experimento 5

A variação de pH inicial no Experimento 5 ocorreu de forma similar ao Experimento 4, chegando ao seu máximo em 8,3 nos dois reatores. Assim como no Experimento 4, o pH tendia a baixar abaixo de 6, tendo de ser ajustado. A baixa eficiência do Experimento 5 pode estar relacionada ao baixo pH e possível formação de ácido nitroso.

5.5 ESTUDO DA CINÉTICA DA REDUÇÃO DE DQO

A redução da matéria orgânica analisada como DQO ocorre devido à ação de bactérias heterotróficas.

5.5.1 Experimento 1

O consumo de matéria orgânica carbonácea não foi detectado durante o Experimento 1, ou seja, a DQO manteve-se constante durante este experimento. É importante ressaltar que a relação DBO_5/DQO neste lixiviado foi respectivamente 0,21, o que significa que a matéria orgânica presente no efluente era de baixa biodegradabilidade. A relação C/N neste lixiviado era 0,85, significando um favorecimento das bactérias autotróficas, pois quanto menor este valor, maior a possibilidade destas bactérias metabolizarem o nitrogênio. A inexistência de redução de DQO também pode ser explicada pela presença de substâncias recalcitrantes, devido à idade das células do aterro sanitário. O resultado das análises de DQO realizadas durante os experimentos encontram-se na Figura 34.

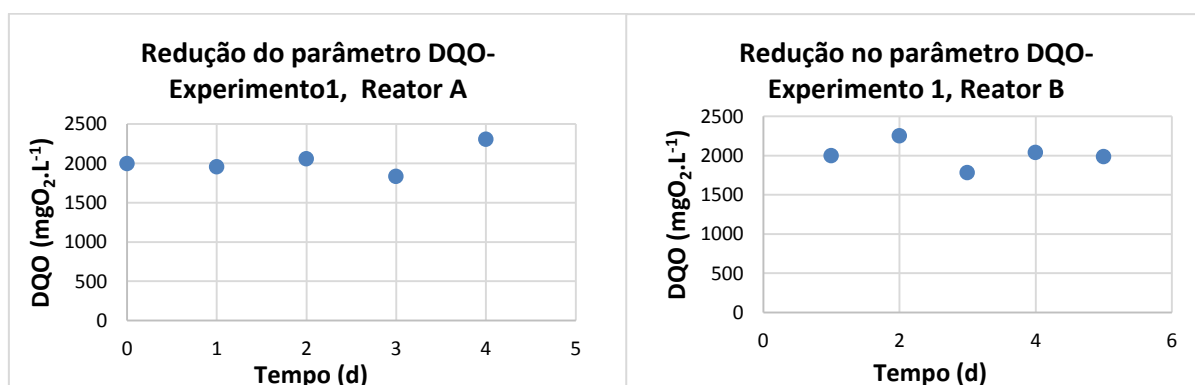


Figura 34. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 1

Como já citado anteriormente, o consumo de DQO não apresentou resultados favoráveis durante o Experimento 1, porém, durante a ambientação deste experimento, houve consumo de DQO. O consumo de DQO durante a ambientação dos Experimentos 1 é

apresentado na Figura 35.

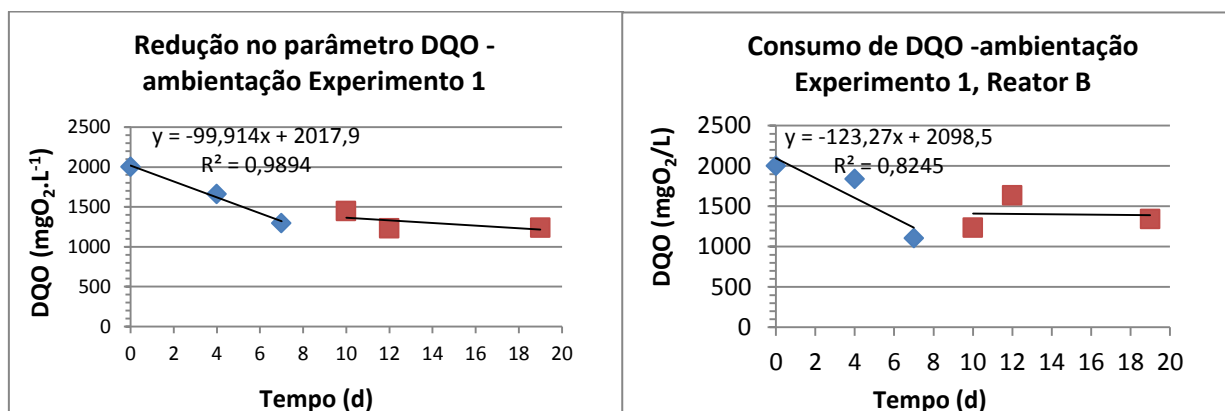


Figura 35. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 1

Na Figura 30, percebe-se um decréscimo acentuado no parâmetro DQO até o sétimo dia de aeração, data em que iniciou o decréscimo de pH (Figura 28). Quanto maior a oxidação de nitrogênio amoniacal, maior a formação de íons H^+ (conforme Reação 1).

5.5.2 Experimento 2

Assim como o Experimento 1, o consumo de DQO não apresentou resultados favoráveis durante o Experimento 2. Estes resultados encontram-se na Figura 36.

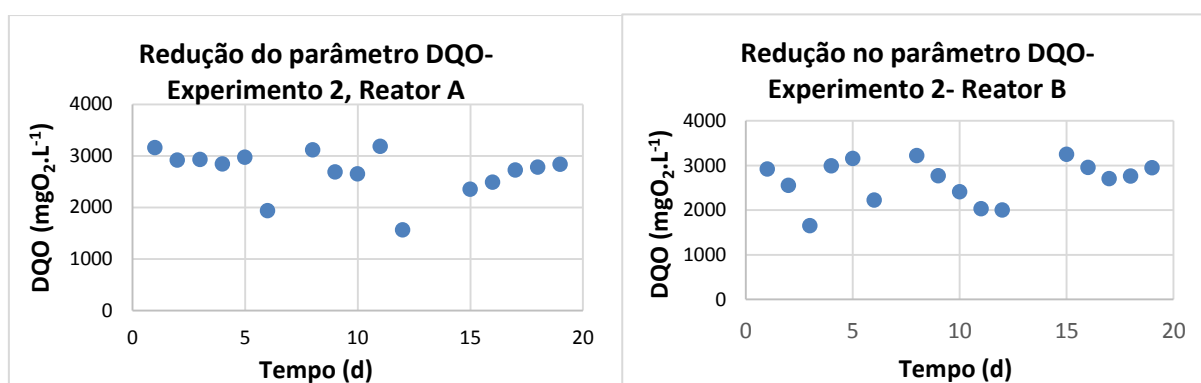


Figura 36. Consumo de DQO, ambientação dos Experimentos 2

5.5.3 Experimento 3

Durante o Experimento 3, que assim como a ambientação do Experimento 1, iniciou com o lodo ambientado em outro substrato, houve decréscimo no parâmetro DQO.

Durante o processo que durou 6 dias, dividiu-se a DQO consumida em DQO

rapidamente biodegradável (DQO_{rb}) e DQO lentamente biodegradável (DQO_{lb}). Considerou-se DQO_{rb} aquela consumida durante as primeiras doze horas de experimento. Sendo assim, no Reator A a DQO_{rb} foi 52,1 % da DQO total e no Reator B a DQO_{rb} foi 47,3% da DQO total. Embora os percentuais sejam similares, a DQO_{rb} no Reator A foi de 884,5 mg $O_2.L^{-1}$ e, no Reator B foi de 787 mg $O_2.L^{-1}$. A Figura 37 apresenta o consumo de DQO durante o Experimento 3.

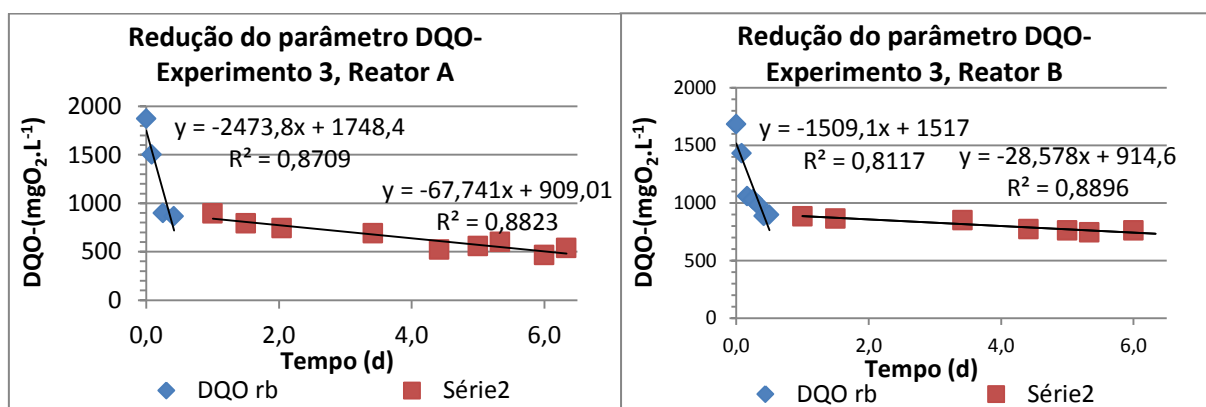


Figura 37. Consumo de DQO Experimento 3

As velocidades globais de consumo de substrato calculadas para o Experimento 3 são apresentadas no Tabela 14. O valor de SSV (microrganismos heterotróficos) utilizado para o cálculo da velocidade foi 60 % do valor total de SSV.

Tabela 14. Velocidades globais de consumo de substrato

	Dia zero do Experimento 3		Dia 6 do Experimento 3	
	Reator A DQO rb	Reator B DQO rb	Reator A DQO lb	Reator B DQO lb
a (mg DQO.d ⁻¹ .L ⁻¹)	2473,8	1509,1	67,74	28,58
SSV (g SSV.L ⁻¹)	4,78	4,40	4,91	4,8
μ (mg DQO.g SSV. ⁻¹ .d ⁻¹)	517,53	342,98	13,8	5,95

As velocidades apresentam resultados maiores para o Reator A em relação ao Reator B durante a redução do parâmetro DQO_{rb} . Já durante a redução do parâmetro DQO_{lb} a velocidade global de consumo de substrato (DQO_{lb}) do Reator A, apresentou resultado 2,4 vezes maior que a velocidade do Reator B. Esta diferença deve-se a adição de carvão ativado no Reator A, o qual pode ter contribuído com a adsorção de matéria orgânica principalmente lentamente biodegradável.

5.5.4 Experimento 4

A Figura 38 apresenta o consumo de DQO durante o Experimento 4. Dividindo o processo em DQO_{rb} e DQO_{lb} , no Reator A, que continha carvão ativado, 25,3 % foi considerada DQO rapidamente biodegradável e no Reator B 19,1 % foi considerada DQO rapidamente biodegradável.

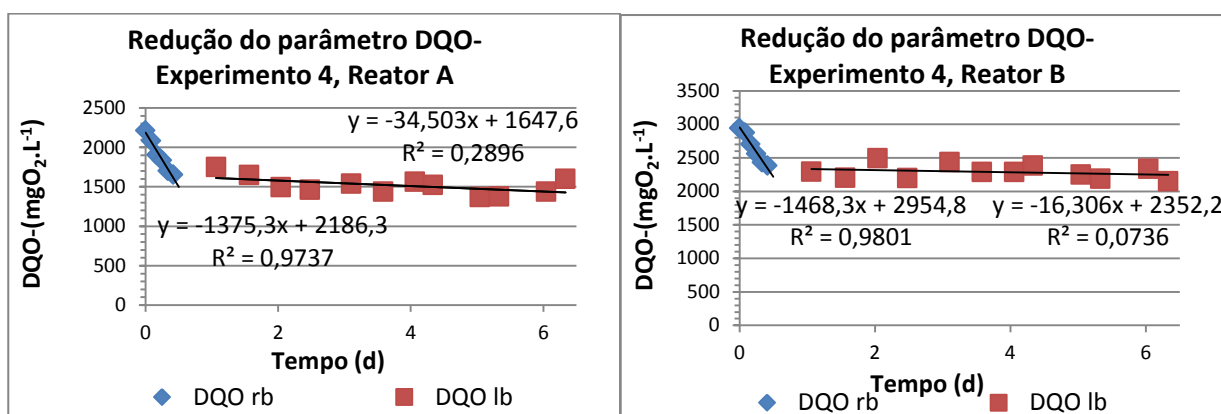


Figura 38. Consumo de DQO Experimento 4

As velocidades globais de consumo de substrato calculadas para o Experimento 4, considerando 60 % como SSV, são apresentadas no Tabela 15. Como o consumo de DQO_{lb} foi pequeno durante o Experimento 4, calculou-se somente a μ de consumo da DQO_{rb} .

Tabela 15. Velocidades globais de consumo de substrato

	Dia zero do Experimento 4	
	Reator A DQO rb	Reator B DQO rb
a (mg DQO.L ⁻¹ .d ⁻¹)	1375,3	1468,3
SSV (g SSV.L ⁻¹)	3,71	2,83
μ (mg DQO.g SSV. ⁻¹ .d ⁻¹)	370,7	518,83

Apesar da adição de carvão ativado ao Reator A, durante a redução do parâmetro DQO_{rb} , a μ do Reator A não apresentou resultados maiores que a μ do Reator B. A similaridade nos valores de velocidade de consumo de substrato, provavelmente deve-se a pouca adsorção da DQO_{rb} pelo carvão ativado. Apesar da adição de carvão ativado a remoção em termos absolutos foi muito similar nas primeiras 12 h.

5.5.5 Experimento 5

. A Figura 39 apresenta o consumo de DQO durante o Experimento 5.

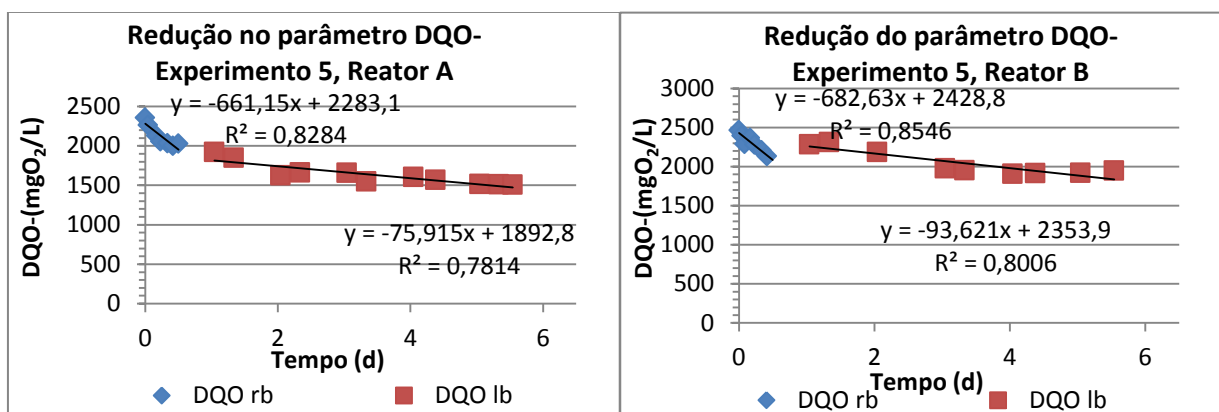


Figura 39. Consumo de DQO Experimento 5

No Reator A 13,95 % foi considerada DQO rapidamente biodegradável e no Reator B 13,46 % foi considerada DQO rapidamente biodegradável. As velocidades globais de consumo de substrato calculadas para o Experimento 4, considerando 60 % como SSV, são apresentadas na Tabela 16. A similaridade nos valores de velocidade de consumo de substrato, entre os reatores, se deve provavelmente a pouca adsorção de substrato pelo carvão ativado.

Tabela 16. Velocidades globais de consumo de substrato

	Dia zero do Experimento 5		Dia 6 do Experimento 5	
	Reator A DQO rb	Reator B DQO rb	Reator A DQO lb	Reator B DQO lb
a (mg DQO.L ⁻¹ .d ⁻¹)	661,15	682,63	75,92	93,62
SSV (g SSV.L ⁻¹)	3,17	2,88	2,55	1,80
μ (mg DQO.g SSV. ⁻¹ d ⁻¹)	208,56	237,02	29,77	52,01

Durante a redução do parâmetro DQO, a velocidade de consumo específica do Reator A não apresentou resultados maiores que a velocidade de consumo específica do Reator B, apesar da adição de carvão ativado. Os valores de velocidade do Reator B são mais confiáveis que as velocidades do Reator A, pois, o Reator A contém carvão ativado. Seria possível comparar a eficiência do carvão ativado somente se as concentrações de SSV fossem mais próximas.

5.5.6 Eficiência da redução do parâmetro DQO

De acordo com a Tabela 17, em todos os experimentos a redução obtida na DQO_{rb} foi 47,22 % no Reator A e 46,72 % no Reator B, o Experimento 4 apresentou 20,31 % no Reator A e 19,87 % no Reator B, já o Experimento 5 apresentou 13,95 % para o Reator A e 13,46 % para o Reator B. A partir destes dados, pode-se afirmar que o carvão ativado adsorveu principalmente a DQO_{lb} , apresentando baixo desempenho para a adsorção nas primeiras 12 h.

As eficiências do consumo de substrato e redução do parâmetro DQO durante os experimentos apresentaram resultados positivos para tempos de detenção de 12 h, consumindo primeiramente a DQO_{rb} . A Tabela 17 apresenta as eficiências dos Experimentos 3, 4 e 5.

Tabela 17. Eficiência de redução de DQO durante os Experimentos 3, 4 e 5

Experimento	Tempo de Detenção do Reator	Eficiência (%)	a ($mgO_2 \cdot d^{-1} \cdot L^{-1}$)	$\mu_{N(MAX)}$ ($mg O_2 \cdot gSSV^{-1} \cdot d^{-1}$)
Ambientação Exp. 1, Reator A	7 dias	35,27	-	-
Ambientação Exp. 1 Reator B	7 dias	44,79	-	-
Experimento 3- Reator A	6 dias	71,25	67,74	13,8
Experimento 3- Reator B	6 dias	53,44	28,59	5,96
Experimento 3- Reator A	12 horas	53,82	2473,8	517,53
Experimento 3- Reator B	12 horas	46,72	1509,1	342,98
Experimento 4- Reator A	6 dias	27,65	-	-
Experimento 4- Reator B	6 dias	27,06	-	-
Experimento 4- Reator A	12 horas	20,31	1375,3	370,07
Experimento 4- Reator B	12 horas	19,87	1468,3	518,83
Experimento 5- Reator A	6 dias	35,96	75,92	29,77
Experimento 5- Reator B	6 dias	21,03	93,62	52,01
Experimento 5- Reator A	12 horas	13,95	661,15	208,56
Experimento 5- Reator B	12 horas	13,46	682,63	237,02

Apesar da relação DBO_5/DQO e C/N desfavorecerem o desempenho de bactérias heterotróficas nos Experimentos 1 e 2, durante a ambientação do Experimento 1 houve redução do parâmetro DQO até o sétimo dia. A partir do sétimo dia a DQO deste reator manteve-se praticamente constante. A eficiência de consumo de DQO durante sete dias na ambientação do Experimento 1 foi 35,27 % para o Reator A e 44,79 % para o Reator B. O lixiviado utilizado durante a ambientação do Experimento 1 apresentava relações DBO_5/DQO e C/N respectivamente 0,21 e 0,85, mais favoráveis para o desempenho de bactérias

autotróficas. Sendo assim, após a ambientação deste lixiviado, não houve consumo de DQO.

A eficiência de redução do parâmetro DQO no Experimento 3 apresentou resultados positivos alcançando 71,25 % de remoção no Reator A e 53,44 % no Reator B, nos 6 dias de tempo de detenção. A relação DBO_5/DQO e C/N no lixiviado usado neste experimento (Lixiviado 2) eram respectivamente 0,6 e 1,16. Apesar da baixa relação DBO_5/DQO , a relação C/N apresenta-se razoavelmente favorável ao desenvolvimento de bactérias heterotróficas. Sendo assim, o Experimento 3 obteve maior rendimento quando comparado aos resultados da ambientação do Experimento 1. A diferença de efetividade no Reator A e B durante 6 dias de tempo de detenção se deve a adição de 1,2 g/L de carvão ativado em pó no Reator A. Segundo Aziz *et al.* (2010), o carvão ativado em pó em processos de lodos ativados de lixiviado de aterro adsorve principalmente substâncias recalcitrantes presente no efluente.

A eficiência de consumo de DQO durante o Experimento 4 foi menor do que a eficiência alcançada durante o Experimento 3, lembrando que a amostra de lixiviado utilizada nos dois experimentos era a mesma. Sendo assim, pode-se concluir que durante a ambientação do Experimento 4, microrganismos heterotróficos foram afetados com o substrato presente no meio.

Durante o Experimento 4, o consumo de DQO ocorreu principalmente durante as primeiras 12 horas de experimento. Do dia 1 ao dia 6 de experimento a DQO manteve-se praticamente constante. Sendo assim, a presença de carvão ativado no Reator A, não foi percebida durante o Experimento 4, alcançando maior velocidade específica de consumo de substrato no reator que não continha carvão ativado.

A redução do parâmetro DQO durante o Experimento 5 ocorreu de forma menos eficiente que os outros experimentos. A amostra de lixiviado utilizado durante este experimento era o Lixiviado 3, este apresentava relação DBO_5/DQO e C/N respectivamente 0,76 e 0,72, razões que favorecem a atividade microbiana de bactérias heterotróficas. Durante as primeiras 12 h, o consumo de DQO_{rb} apresentou resultados muito próximos entre o Reator A e Reator B. As velocidades específicas de consumo de substrato também apresentaram resultados parecidos. Neste experimento, a adição de carvão ativado no Reator A foi percebida, pois eficiência de redução do parâmetro DQO_{lb} no Reator A foi maior que a redução no Reator B, porém as velocidades de consumo de substrato são menores para o Reator A.

Como era esperado, as velocidades específicas de consumo de substrato referente a DQO_{lb} foram menores que as velocidades de consumo de substrato da DQO_{rb} .

5.6 ENSAIOS DE RESPIROMETRIA AERÓBIA

Durante o Experimento 3, 4 e 5 realizaram-se os ensaios de respirometria aeróbia, com o objetivo de verificar o efeito de possíveis substâncias tóxicas, presentes no lixiviado, sobre a atividade metabólica dos microrganismos heterotróficos envolvidos no processo de biodegradação da matéria orgânica. O consumo da matéria orgânica está diretamente relacionado ao consumo de oxigênio dissolvido. Dessa forma, pode-se verificar efeito tóxicos pela redução da velocidade de consumo de oxigênio dissolvido. Os valores da velocidade de consumo de O_2 foram determinados a partir do coeficiente angular do gráfico de consumo de O_2 em função de tempo.

A velocidade específica de consumo de O_2 sofre influência da velocidade específica de crescimento, sendo assim, o decréscimo do valor desta velocidade representa menor crescimento celular e menor desempenho dos microrganismos no consumo de substrato (SCHMIDELL *et al*, 2001). Os gráficos dos Experimentos 3, 4 e 5 encontram-se no Anexo 4.

A Figura 40 apresenta os valores da velocidade específica de consumo de O_2 em função do tempo de detenção no reator. A figura apresenta o desempenho de bactérias heterotróficas e a redução do consumo de O_2 durante o Experimento 3. Este acontecimento pode ser justificado pela inibição dos microrganismos por substâncias tóxicas presentes no lixiviado, pois fatores como pH, temperatura e concentração de O_2 eram variáveis controladas nos reatores.

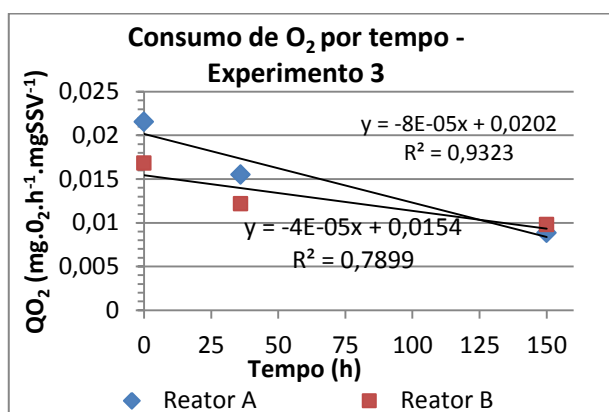


Figura 40. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia durante o Experimento 3

O valor de velocidade específica de consumo de O_2 em função de tempo durante o Experimento 4, encontra-se na Figura 41.

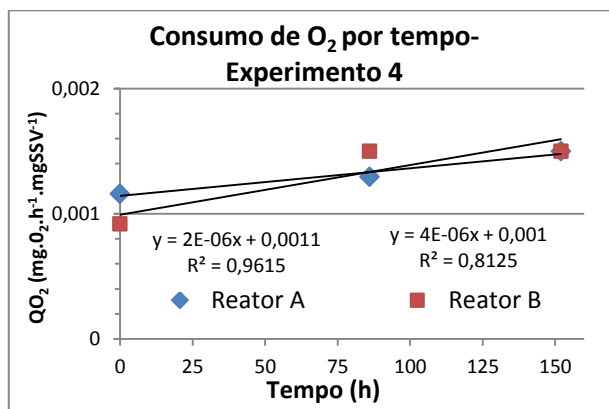


Figura 41. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia durante o Experimento 4

A velocidade específica de consumo de O_2 início do Experimento 4 diminuiu 46,18 % no Reator A e 94,53 % no Reator B em relação ao início do Experimento 3. Esta redução considerável deve-se a ambientação e as características do lixiviado de aterro sanitário. O início do Experimento 4 iniciou com DQO maior que a presente no Experimento 3, iniciando com $2.216 \text{ mg } O_2.L^{-1}$ no Reator A (15,5 % maior que o Experimento 3) e $2.944 \text{ mg } O_2.L^{-1}$ no Reator B (42,8 % maior que o Experimento 3). Apesar do aumento de DQO inicial o valor da velocidade específica de consumo de O_2 apresentou pouca variação durante o Experimento 4.

A Figura 42, apresenta o resultado da velocidade específica de consumo de O_2 durante o Experimento 5. Neste experimento, a velocidade específica de consumo de O_2 aumentou no Reator A, já a velocidade do Reator B manteve-se praticamente constante. O aumento na velocidade específica de consumo de O_2 no Reator A pode estar relacionado à menor concentração de compostos tóxicos aos lodos ativados presente no Lixiviado 3.

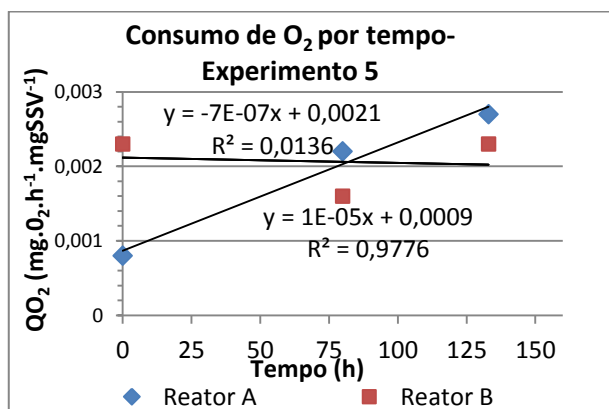


Figura 42. Resultado dos experimentos de respirometria aeróbia Exp.5

A partir dos dados de respirometria aeróbia conclui-se que, apesar da adição de carvão

ativado e adsorção de substâncias recalcitrantes, as bactérias heterotróficas do Reator A não alteraram seu desempenho, apresentando velocidades de consumo de O_2 maiores ou muito próximas a biota presente no reator que não continha carvão ativado. Enfim, pode-se concluir que no Reator A, a adsorção de substâncias tóxicas ao lodo adsorvidas pelo carvão ativado não diminuiu a eficiência neste reator.

5.6.1.1 Respirometria endógena

Durante o último dia do Experimento 5 foi realizado o ensaio de respirometria endógena para o cálculo do valor de velocidade específica de consumo de oxigênio utilizada para manutenção das células, este ensaio foi realizado no dia 14/12/2018. O ensaio foi também fixado em 4000 mg.L^{-1} de SSV obtendo assim uma velocidade específica de consumo de O_2 igual a $0,001 \text{ mg.O}_2.\text{h}^{-1}.\text{mgSSV}^{-1}$ para o Reator A e $0,0015 \text{ mg.O}_2.\text{h}^{-1}.\text{mgSSV}^{-1}$ para o Reator B. Comparando o valor de respirometria aeróbia realizada no mesmo dia, 37 % no Reator A e 60 % no Reator B da velocidade de consumo de oxigênio era utilizada para manutenção das células. Lembrando que os dois lodos tinham características diferentes devido a adição de carvão ativado no Reator A. Os gráficos do ensaio encontram-se na Figura 43.

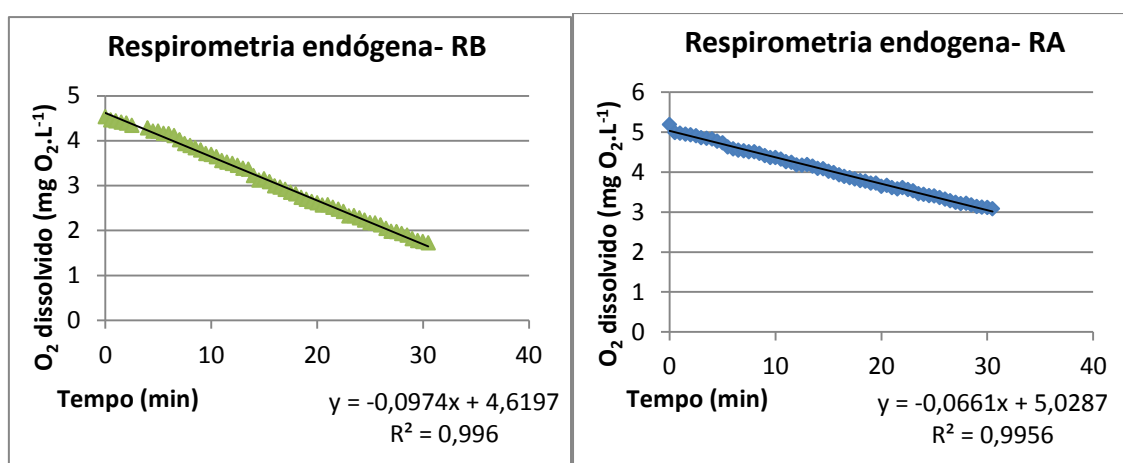


Figura 43. Ensaio de respirometria endógena

5.7 TEOR DE LODO E ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO

A partir do valor de teor de lodo e concentração de SST dos reatores, calculou-se o valor de lodo índice volumétrico de lodo (IVL). Quanto menor o IVL, maior a capacidade do

lodo de armazenar uma grande quantidade de SSV em um menor volume. A Equação 6 apresenta o cálculo do IVL.

$$IVL = \frac{\text{teor de lodo}}{SST} \quad \text{Equação 7}$$

Apesar do alto teor de lodo apresentado no Experimento 3, segundo Von Sperling (2012), uma boa sedimentação de lodos ativados apresenta IVL entre 50 a 100 mL.L⁻¹. Durante a evolução dos experimentos, o lodo ficou mais compactado, porém nenhuma eficiência de compactação pode ser percebida devido a adição de carvão ativado.

Os valores referentes ao IVL e o valor do teor de lodo de todos os experimentos encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18- Teor de lodo durante os processos

Experimento 3	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B
0 h	975	76,5	950	75,6
4 h	950	74,5	900	71,6
8 h	925	72,6	950	75,6
12 h	900	70,6	925	73,6
36 h	950	74,5	950	75,6
150 h	985	77,3	985	78,4
Experimento 4	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B
0 h	500	53,4	425	52,3
4 h	475	50,7	375	46,2
8 h	475	50,7	375	46,2
12 h	440	47,0	340	41,8
86 h	450	49,4	390	47,7
152 h	430	48,6	350	42,6
Experimento 5	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B	Teor de lodo (mL.L ⁻¹) Reator A	IVL (mL.gSST) Reator B
0 h	150	20,3	150	29,3
4 h	210	28,5	150	29,3
8 h	210	28,5	150	29,3
12 h	200	27,1	180	35,1
80 h	250	36,2	250	53,1
133 h	250	41,6	250	52,2

5.8 MEDIDA DO TAMANHO DE PARTÍCULA

5.8.1 Experimento 3

Os tamanhos médios de partículas estão apresentados na Figura 44.

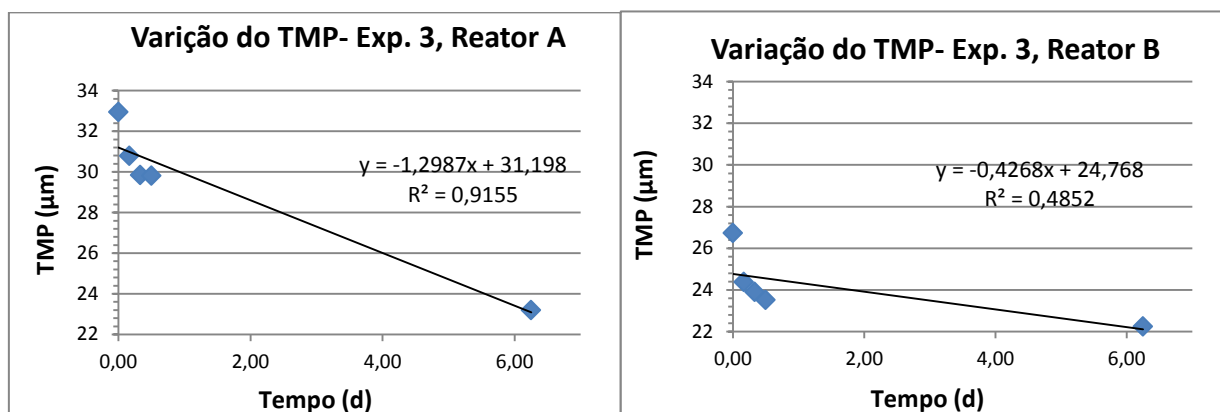


Figura 44. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 3. OBS: TMP – Tamanho Médio de Partícula

Perda no tamanho de grânulo de lodos ativados significa perda nas associações de microrganismos. Durante os 6 dias de processo a média de tamanho de partícula caiu em 29,59 % no Reator A e 16,83% no Reator B. Estes resultados também não apresentaram aumento no tamanho médio de partícula devido à adição de carvão ativado. No Anexo 5 encontram-se os gráficos exibidos pelo equipamento.

5.8.2 Experimento 4

Os tamanhos médios de partículas do Experimento 4 estão apresentados na Figura 45.

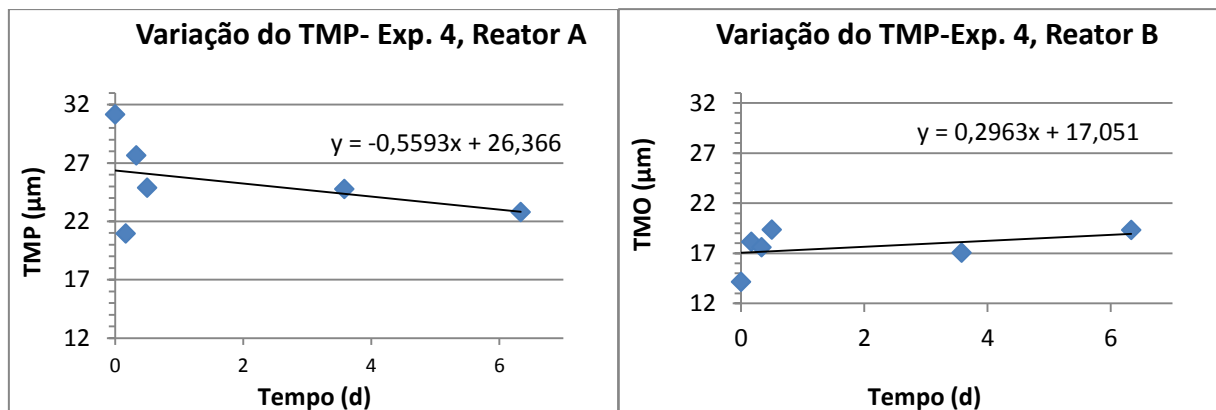


Figura 45. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 4

Durante o Experimento 4, o tamanho médio de partícula manteve-se constante no Reator A. O Reator B neste experimento foi o único apresentou elevação do tamanho médio de partícula. Os tamanhos médios de partículas, mantiveram-se do final do Experimento 3 ao início do Experimento 4, sendo que foi utilizada a mesma amostra de lixiviado

5.8.3 Experimento 5

Os tamanhos médios de partículas do Experimento 5 estão apresentados na Figura 46.

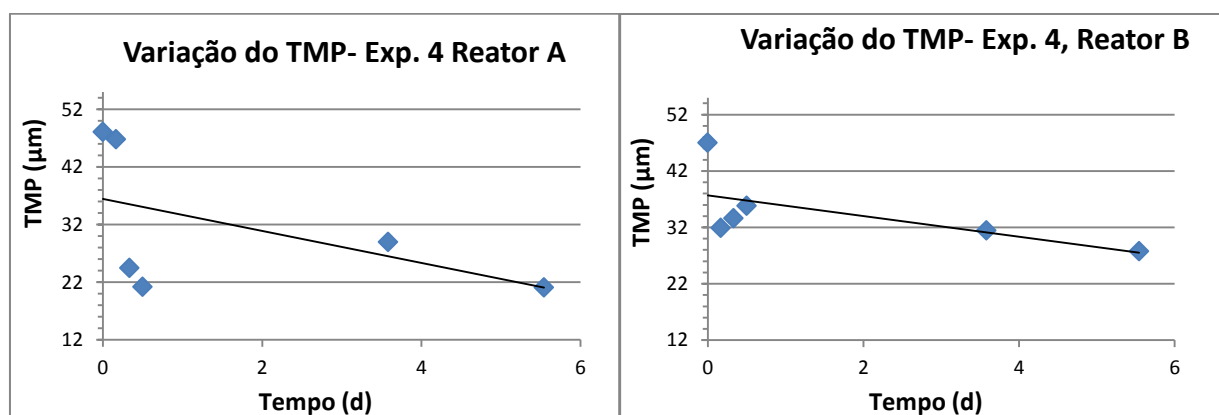


Figura 46. Variação do tamanho médio de partículas- Experimento 5

O tamanho médio de partícula aumentou no intervalo de tempo entre o Experimento 4 e 5. Durante o Experimento 5 o tamanho de partícula diminui. Isto provavelmente se deve as diferentes características da amostra de efluente utilizado no Experimento 5, que era diferente do Experimento 4.

6 CONCLUSÃO

Com o resultado dos experimentos, é possível concluir:

1) Durante os primeiros cinco anos de operação do aterro sanitário o lixiviado apresentou 4.985 mgO₂/L (intervalos:10.251-1700 mgO₂/L) de média no parâmetro DQO. O lixiviado apresentou concentrações dos metais cromo, manganês, níquel e zinco. A presença destes metais pode influenciar negativamente no processo de lodos ativados. Os compostos xenobióticos etilbenzeno, fenóis totais, tolueno e xileno, foram detectados no lixiviado estudado. A caracterização das amostras de lixiviado analisadas durante os experimentos atuais apresentaram coerência com o histórico de parâmetros.

2) O consumo de nitrogênio amoniacal apresentou melhor desempenho em sistemas ambientados com relação C/N menor e relações DBO₅/DQO menores. A ambientação do lodo ativado em lixiviado de aterro sanitário aparentemente não alterou o desempenho de bactérias autotróficas. O Experimento 3 alcançou a maior eficiência durante os experimentos no consumo de nitrogênio amoniacal alcançando 83,4 % de eficiência com tempos de detenção mais longos (11 dias), porém nos últimos sete dias o processo sofreu menor rendimento. O Experimento 5 tendia a manter seu pH abaixo de 6, dentre os experimentos foi o que apresentou menor pH e menor eficiência no consumo de nitrogênio amoniacal. O baixo pH pode estar relacionado a baixa eficiência devido a possível formação de ácido nitroso, substância tóxica as bactérias que consomem nitrogênio amoniacal.

Os valores consumidos de DQO_{rt} durante os experimentos apresentaram valores maiores que a DQO_{lb} consumida. O valor de eficiência máxima de redução do parâmetro DQO atingiu 71,24 % com 6 dias de tempo de detenção e adição de carvão ativado, sendo que em torno de 47 % do total de matéria orgânica foram consumidas nas primeiras 12 horas de processo. O lodo ativado apresentou boa sedimentabilidade durante todos os experimentos. A adição de carvão ativado não melhorou a sedimentação do lodo nem no aumento de tamanho de partícula.

A presença de compostos xenobióticos nos lixiviados caracterizados como 2 e 3 pode ser responsável pela baixa eficiência do consumo de nitrogênio amoniacal e redução do parâmetro DQO, nos experimentos que usaram estes lixiviados. Os melhores desempenhos do processo de lodos ativados ocorreram com DQO inicial de 2.000 mgO₂/L.

3) Durante todos os Experimentos, as velocidades específicas de redução do parâmetro

DQO, durante as primeiras doze horas são maiores que as velocidades encontradas durante os primeiros seis dias de experimento. Este comportamento não foi observado para as velocidades de consumo de nitrogênio amoniacal.

4) A adsorção de substâncias tóxicas às bactérias autotróficas não alterou o desempenho destas no reator que continha carvão ativado. No reator que continha carvão ativado, o consumo de nitrogênio amoniacal ocorreu principalmente durante as primeiras doze horas de experimento. Como o valor de redução do parâmetro DQO_{rb} apresentou resultados muito próximos entre o reator que continha e que não continha carvão ativado, pode-se concluir que a adsorção pelo carvão ativado atuou principalmente na redução da DQO_{lb} . Assim a diferença de eficiência dos reatores pode ser percebida durante os seis dias de experimento.

5) A ambientação do lodo ativado em lixiviado de aterro sanitário diminuiu o desempenho de bactérias heterotróficas baixando a velocidade específica de consumo de oxigênio e o tamanho médio de partícula. As velocidades específicas de consumo de oxigênio apresentaram queda no Experimento 3 de 59,9 % no Reator A e 42,4 % no Reator B. Como as velocidades específicas de consumo de oxigênio no Reator A e B mantiveram valores próximos, pode-se concluir que a adição de carvão ativado no Reator A não alterou o desempenho das bactérias heterotróficas.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos e observações realizadas, recomenda-se para futuras pesquisas que os seguintes temas sejam abordados ou aprofundados:

- O estudo de membranas, através do processo MBR, assim, diminuiria o arraste de culturas ambientadas ao processo.
- A avaliação de oxidação avançada ao tratamento deste efluente seria de interesse devido à presença de compostos xenobióticos.
- O estudo de reatores em séries atuaria positivamente na competitividade de bactérias autotróficas e heterotróficas, direcionando um dos reatores para o consumo de nitrogênio amoniacal e outro para a redução no parâmetro DQO.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Míriam Cristina Santos et al. AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIOS. **Eng. Sanit. Ambient.**, Belo Horizonte Minas Gerais, v. 13, n. 1, p.1-8, 13 nov. 2007. Trimestral.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Resíduos Sólidos - Classificação - NBR-10.004, 2004.
- AVEZZÙ, F. et al. BEHAVIOUR OF HEAVY METALS IN ACTIVATED SLUDGE BIOLOGICAL TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE. **Waste Management & Research**, Pavia, Italy, n. 13, p.103-121, 15 dez. 1993.
- AZIZ, Shuokr Qarani et al. Landfill leachate treatment using powdered activated carbon augmented sequencing batch reactor (SBR) process: Optimization by response surface methodology. **Journal Of Hazardous Materials**, Nibong Tebal, Penang, Malaysia, v. 189, n. 1-2, p.404-413, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.052>.
- BAKER, R.W. *Membrane technology and applications*. 2 ed. England: John Wiley & Sons, 2004.
- COSTA, R. H. R. et al. Consortia of microalgae and bacteria in the performance of a stabilization pond system treating landfill leachate. **Water Science & Technology**, [s.l.], v. 70, n. 3, p.486-495, ago. 2014. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2014.249>.
- CHEMLAL, R. et al. Combination of advanced oxidation and biological processes for the landfill leachate treatment. **Elsevier: Ecological Engineering**, El Harrach, Algiers, v. 1, n. 73, p.1-9, 17 set. 2014.
- DACANAL, Marisa; BEAL, Lademir Luiz. Filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração tratando lixiviado de aterro sanitário. **Eng Sanit Ambient**, Caxias do Sul Rs, v. 15, n. 1, p.11-18, 14 ago. 2009.
- DEWIL, Raf et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. **Elsevier: Journal of Environmental Management**, Sint-katelijne-waver, Belgium, v. 99, n. 93, p.93-99, 10 abr. 2017.
- FELICORI, Thaís de Carvalho et al. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 3, p.547-560, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146258>.
- JOKELA, J.P.Y., RINTALA, J.A., 2003. **Anaerobic solubilisation of nitrogen from municipal solid waste (MSW)**. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2, 67–77.

LEITE, Valderi D; BARROS Aldre J. M. Barros; LOPES; WILTON S.; SOUSA José T. de. Ammonia Nitrogen Desorption From Sanitary Landfill Leachate In Filling Towers. **Eng. Agríc., Jaboticabal,** Campina Grande, v. 34, n. 3, p.542-553, maio 2014. Bimestral.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2ª ed. Campinas, SP: Átomo, 2008.

LUGOWSKI, Andrew et al. BIOLOGICAL TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE: OVERVIEW AND CASE EXAMPLES. **Global Waste Management Symposium 2014**. St. Thomas, Ontario, Canada, p. 1-13. 2014.

MAIA, Iracema Souza et al. Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Florianópolis, v. 20, n. 4, p.665-675, 24 fev. 2015. Trimestral. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040140926>.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos [recurso eletrônico]**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2016. Tradução Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa.

MORAVIA, Wagner Guadagnin. **ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO, TRATABILIDADE E CONDICIONAMENTO DE LIXIVIADOS VISANDO TRATAMENTO POR LAGOAS**. 2007. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MORAVIA, Wagner Guadagnin; LANGE, Liséte Celina; AMARAL, Míriam Cristina Santos. Avaliação da microfiltração para remoção do lodo gerado no processo oxidativo avançado empregando o reagente de Fenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 16, n. 4, Dec. 2011 .

MURPHY, Sharon et al. Photocatalytic activity of a porphyrin/TiO₂ composite in the degradation of pharmaceuticals. **Applied Catalysis B: Environmental**, [s.l.], v. 119-120, p.156-165, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.02.027>.

POHLAND, F.G.; HARPER, S. R. Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. EPA/600/2-86/73. Cincinnati, OH, U.S.A.: U.S. Environmental Protection Agency, 1986.

NING, Zuojun; PATRY, Gilles G.; SPANJERS, Henri. IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF NITROGEN NUTRIENT DEFICIENCY IN THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS USING RESPIROMETRY. **Elsevier Science Ltd**: Pergamon, Ottawa, Canadá, v. 34, n. 13, p.1-10, dez. 2000.

POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.

RIGOBELLO, Eliane Sloboda et al. IDENTIFICATION OF ORGANIC COMPOUNDS IN A MUNICIPAL LANDFILL LEACHATE BY GAS CHROMATOGRAPHY COUPLED WITH MASS SPECTROMETRY. **Química Nova**, [s.l.], p.794-800, 07 abr. 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150092>.

RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal Of Hazardous Materials**, Draguignan, France, p.468-493, 26 set. 2007

REGINATTO, V. et al. Aclimação de microbiota nitrificante para o tratamento de efluente de indústria frigorífica. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, p.1-8, 14 jun. 2007.

REZENDE, Carolina Lucena. **UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA RESPIROMÉTRICA PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS APLICADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGPROTEC), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Rs, 2014.

SCHMIDELL, W; LIMA, U.A; AQUARONE, E; BORZANI, W. **Biotecnologia Industrial**, v.2, 541p., 2001.

SPANJERS, Henri et al. RESPIROMETRY IN CONTROL OF THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS. **Published By Elsevier Science**: Pergamon, Ottawa, Canadá, v. 34, n. 3-4, p.117-127, dez. 1996.

YAO, Peng. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. **Arabian Journal Of Chemistry**, Xinxiang 453003, Henan, China, p.1-8, 18 set. 2013.

YUSOF, N. et al. Nitrification of ammonium-rich sanitary landfill leachate. **Waste Management**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.100-109, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.08.018>.

QUEIROZ, Luciano Matos et al. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Eng Sanit Ambient**, Salvador, v. 16, n. 4, p.403-410, 11 jan. 11. Trimestral.

VON SPERLING, M.. **Princípios do tratamento de águas residuárias**: Lodos Ativados. Belo Horizonte: Desa-ufmg, 2012. 428 p.

Zhu S.; Chen. S. Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters. **Aquacultural Engineering**, China, p.1-11, 2001.

ANEXO 1



Laudo Analítico BQ-184914/18

Cliente: Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul
Endereço: RSC 453, 31382 - 95045-630 - Caxias do Sul-RS

Proposta Comercial/Plano de Amostragem: BOP-15204-18

Ident. da Amostra: Chorume Bruto

Local Amostragem: —

Tipo Amostra: Efluente bruto

Amostrado por: Cliente

Data de Recebimento: 19/06/2018 17h 40min

Data da amostragem: 19/06/2018 11h 34min

Data do Laudo: 09/07/2018

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Aldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	09/07/2018
Benzeno	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	09/07/2018
Clordano (cis + trans)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	09/07/2018
Clorofórmio	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	09/07/2018
DDT (4,4-DDT + 4,4-DDE + 4,4-DDD)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	09/07/2018
Dicloroetano (1,1 + 1,2 cis + 1,2 trans)	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	09/07/2018
Dieldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	—	—	09/07/2018
Dodecador (múx)	ND	µg/L	EPA 8082A (2007)	0,001	—	—	09/07/2018
Endrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,028	0,010	0,005	09/07/2018
Estreno	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	09/07/2018
Etilbenzeno	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	09/07/2018
Heptacloro e heptacloro epóxido	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	09/07/2018
Hexaclorobenzeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	—	09/07/2018
Surfactantes (SAAM)	1,0	mg/L	SMEVW 5540 C - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	0,02	26/06/2018
Tetracloreto de carbono	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	0,5	09/07/2018
Tolueno	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,1	09/07/2018
Toxofeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0006	0,0002	09/07/2018
Tricloroetano (TCE)	ND	µg/L	EPA 8021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	—	09/07/2018

BQ-184914/18 - 1

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Viamão - RS - Brasil

Fone: (51) 3403-8888 Fax: (51) 3403-8885 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org

Os resultados referem-se apenas à amostra ensaiada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações



Laudo Analítico BQ-184914/18

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Xileno total (o, m, p)	ND	µg/L	EPA 8211A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	09/07/2018

■ PCBs - Bifenilas Policloradas

PCB 101	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 118	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 138	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 149	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 153	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 170	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 18	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 180	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 194	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 209	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 28	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 31	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 44	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
PCB 52	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	09/07/2018
Soma PCB's	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	—	—	—	09/07/2018

■ Controle de Qualidade - Branco do método EPA 8260D (2017)

Benzeno	ND	µg/L	EPA 8211A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018
---------	----	------	--	-----	-----	-----	------------

BQ-184914/18 - 2

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Vilão - RS - Brasil
Fone: (51) 3403-6888 Fax: (51) 3403-6885 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org

Os resultados referem-se apenas à amostra analisada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.



Laudo Analítico BQ-184914/18

(Continuação)

Clorofórmio	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018
Dicloroetano (1,1 + 1,2 cis + 1,2 trans)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018
Estireno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018
Etilbenzeno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018
Tetracloreto de carbono	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	1,0	05/07/2018
Tolueno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,3	05/07/2018
Tricloroetano (TCE)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	1,0	05/07/2018
Xileno total (o, m, p)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	05/07/2018

■ Controle de Qualidade - Branco do método EPA 8081B (2007)

Aldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	0,0003	04/07/2018
Dieldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	—	—	04/07/2018
Endrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,028	0,010	0,010	04/07/2018
Hexaclorobenzeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	0,0003	04/07/2018
Toxafeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,003	0,003	04/07/2018

■ Controle de Qualidade - Branco do método EPA 8082A (2007)

PCB 101	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 118	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 138	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018

BQ-184914/18 - 3

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Vilaão - RS - Brasil
Fone: (51) 3493-6888 Fax: (51) 3493-6885 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org
Os resultados referem-se apenas a amostra ensaiada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações



Laudo Analítico BQ-184914/18

(Continuação)

PCB 149	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 153	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 170	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 18	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 180	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 194	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 209	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 28	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 31	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 44	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
PCB 52	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	0,05	0,02	0,02	05/07/2018
Soma PCB's	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	—	—	—	05/07/2018

■ Controle de qualidade - Amostra controle do método EPA 8260D (2017)

Fortificação da amostra controle: 100 µg/L

Parâmetro	Recuperação	Unidade	Metodologia	Faixa aceitável	Data dig.
Benzeno	92	%	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	60 - 120	05/07/2018
Etilbenzeno	89	%	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	60 - 120	05/07/2018

■ Controle de qualidade - Amostra controle do método EPA 8081B (2007)

Fortificação da amostra controle: 1,67 µg/Kg

Parâmetro	Recuperação	Unidade	Metodologia	Faixa aceitável	Data dig.
BHC (gama) - lindano	92	%	EPA 8081B (2007)	60 - 120	04/07/2018

BQ-184914/18 - 4

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Viamão - RS - Brasil
Fone: (51) 3493-8888 Fax: (51) 3493-8888 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org
Os resultados referem-se apenas a amostra ensaiada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.



Laudo Analítico BQ-184914/18

(Continuação)

Endrin	90	%	EPA 8081B (2007)	60 - 120	04/07/2018
--------	----	---	------------------	----------	------------

■ Controle de qualidade - Amostra controle do método EPA 8082A (2007)

Fortificação da amostra controle: 0,005 µg/L

Parâmetro	Recuperação	Unidade	Metodologia	Faixa aceitável	Data dig.
PCB 153	90	%	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	60 - 120	05/07/2018
PCB 52	89	%	EPA 3510C (1996) EPA 8082A (2007)	60 - 120	05/07/2018

Legenda:

AL: Prejudicado por Acidente Laboratorial
 AOAC: Association of Analytical Communities
 ASTM: American Society for Testing and Materials
 EPA: US-Environmental Protection Agency
 IM: Incerteza da medição
 LOD: Limite de detecção
 LOQ: Limite de quantificação
 MAOQ-FURG: Manual de Análises em Oceanografia Química da FURG
 MFL: Milhões de Filamentos por Litro
 NBR: Norma Brasileira da ABNT
 ND: Não detectado
 OECD: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
 POP: Procedimento Operacional Padrão
 SM: Standard Methods da APHA-AWWA-WEF
 V.O.: Valores Orientadores
 VMP: Valor Máximo Permitido
 VR: Valor Recomendado

Nota:

A realização das análises dentro do prazo de validade de cada parâmetro é garantida desde que todo o trâmite analítico (amostragem e análise) tenha sido de responsabilidade da NSF Bioensaios. Desvios percebidos no ato do recebimento de amostras são informados aos interessados para deliberação a respeito da continuidade do processo analítico.

Liberado eletronicamente por:

Vinicius Praia Carvalho
 Químico
 CRQ-05202671-5ª Região

Gisele de Azevedo Kimiecik
 Química
 CRQ-05101065-5ª Região

BQ-184914/18 - 5 Última página

NSF Bioensaios - Prestação de Serviços de Análises e Certificação Ltda. - Rua Palermo, 257 - 94480-775 - Viamão - RS - Brasil
 Fone: (51 51) 3493-8888 Fax: (51 51) 3493-8888 / e-mail: nsf-bioensaios@nsf.org

Os resultados referem-se apenas à amostra enviada. Este documento só pode ser reproduzido na íntegra e sem alterações.



Laudo Analítico BQ-191134/18

Cliente: Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul
Endereço: RSC 453, 31382 - 95045-630 - Caxias do Sul-RS

Proposta Comercial/Plano de Amostragem: BOP-15204-18

Ident. da Amostra: Lixiviado Bruto

Local Amostragem: —

Tipo Amostra: Efluente bruto

Amostrado por: NSF Bioensaios

Data de Recebimento: 06/09/2018 17h 30min

Data da amostragem: 06/09/2018 12h 15min

Data do Laudo: 03/10/2018

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Aldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	01/10/2018
Analino total	0,02	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,004	—	01/10/2018
Bário total	0,57	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,001	0,002	01/10/2018
Benzeno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	28/09/2018
Boro total	1,4	mg/L	SMEWW 4500 B B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	—	13/09/2018
Cianeto livre	<0,005	mg/L	SMEWW 4500 CN E - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0004	0,0001	27/09/2018
Cianeto total	<0,005	mg/L	SMEWW 4500 CN E - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0004	0,0001	27/09/2018
Clordano (cis + trans)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	01/10/2018
Clorofórmio	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	28/09/2018
Cobalto total	0,039	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0005	—	01/10/2018
Cobre total	<0,005	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	0,0003	01/10/2018
Cor real (verdadeira)	8331	mg/L Pt-Co	SMEWW 2120 C - 23ª Ed. (2017)	5	0,7	0,6	11/09/2018
Cromo hexavalente	ND	mg/L Cr +6	SMEWW 3500 Cr B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,003	—	12/09/2018
Cromo trivalente	0,14	mg/L	Matemático	0,01	0,003	—	01/10/2018
DDT (4,4-DDT+ 4,4-DDE+4,4-DDD)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	01/10/2018
Dicloroteno (1,1 + 1,2 cis + 1,2 trans)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	28/09/2018



Laudo Analítico BQ-191134/18

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Dieldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	—	—	01/10/2018
Dodecador (mínex)	ND	µg/L	EPA 8082A (2007)	0,001	—	—	01/10/2018
Endrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	0,0003	01/10/2018
Espumas	Ausente	-	SMEVW 2110 - 23ª Ed. (2017)	-	—	—	24/09/2018
Estanho total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,009	0,008	01/10/2018
Estireno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	28/09/2018
Etilbenzeno	10,80	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	28/09/2018
Fenóis totais	0,153	mg/L	EPA 9065 (1988)	0,003	0,001	0,001	01/10/2018
Fluoreto total	<10	mg/L	SMEVW 4110 B - 23ª Ed. (2017)	10	0,001	0,003	18/09/2018
Heptadoro e heptadoro epóxido	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	01/10/2018
Hexadorobenzeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	—	01/10/2018
Lítio total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,05	0,01	0,008	01/10/2018
Materiais flutuantes	Ausente	-	SMEVW 2110 - 23ª Ed. (2017)	-	—	—	24/09/2018
Molibdênio total	<0,005	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	0,0005	01/10/2018
Odor a frio	Séptico	—	SMEVW 2150 B - 23ª Ed. (2017)	—	—	—	11/09/2018
Óleos e gordas animal/vegetal	<10	mg/L OG	SMEVW 5520 F - 23ª Ed. (2017)	10	2	1	28/09/2018
Óleos e gordas mineral	<10	mg/L OG	SMEVW 5520 F - 23ª Ed. (2017)	10	2	1	28/09/2018
Prata total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	—	01/10/2018
Selênio total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,005	0,001	01/10/2018
Sulfeto	<50	mg/L	SMEVW 4110 B - 23ª Ed. (2017)	50	0,02	0,009	18/09/2018



Laudo Analítico BQ-191134/18

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Surfactantes (SAAM)	0,7	mg/L	SMEVW 5540 C - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	0,02	12/09/2018
Tetradeceno de carbono	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	0,5	01/10/2018
Tolueno	36,77	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,1	28/09/2018
Toxafenio	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0006	0,0002	01/10/2018
Tricloroeteno (TCE)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	—	28/09/2018
Vanílico total	0,03	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,002	0,001	01/10/2018
Xileno total (o, m, p)	13,48	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	28/09/2018

■ PCBs - Bifenilas Policloradas

PCB 101	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 118	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 138	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 149	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 153	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 170	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 18	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 180	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 194	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 209	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018



Laudo Analítico BQ-191134/18

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
PCB 28	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 31	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 44	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
PCB 52	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	01/10/2018
Soma PCB's	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	—	—	01/10/2018



Laudo Analítico BQ-195269/18

Cliente: Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul
Endereço: RSC 453, 31382 - 95045-630 - Caxias do Sul-RS

Proposta Comercial/Plano de Amostragem: BOP-15204-18

Ident. da Amostra: Lixiviado Bruto

Local Amostragem: -

Tipo Amostra: Efluente bruto

Amostrado por: NSF Bioensaios

Data de Recebimento: 05/11/2018 17h 15min

Data da amostragem: 05/11/2018 14h 05min

Data do Laudo: 29/11/2018

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Boro total	1,4	mg/L	SMEVW 4500 B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	---	13/11/2018
Cromo trivalente	Prejudicado	mg/L	Matemático	0,01	0,003	---	28/11/2018
Etilbenzeno	3,2	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	29/11/2018
Fenóis totais	0,278	mg/L	EPA 9065 (1988)	0,003	0,001	0,001	14/11/2018
Fluoreto total	<10,0	mg/L	SMEVW 4110 B - 23ª Ed. (2017)	10,0	0,001	0,003	13/11/2018
Sulfeto	<50,0	mg/L	SMEVW 4110 B - 23ª Ed. (2017)	50,0	0,02	0,009	13/11/2018
Tolueno	9,9	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,1	29/11/2018
Xileno total (o, m, p)	5,7	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	29/11/2018

■ Controle de Qualidade - Branco do método EPA 8260D (2017)

Etilbenzeno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	21/11/2018
Tolueno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,3	21/11/2018
Xileno total (o, m, p)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	21/11/2018

■ Controle de qualidade - Amostra controle do método EPA 8260D (2017)

Fortificação da amostra controle: 100 µg/L

Parâmetro	Recuperação	Unidade	Metodologia	Faixa aceitável	Data digit.
Benzeno	110	%	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	80 - 120	21/11/2018



Laudo Analítico BQ-199801/19

Cliente: Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul
Endereço: RSC 453, 31382 - 95045-630 - Caxias do Sul-RS

Proposta Comercial/Plano de Amostragem: BOP-15204-18

Ident. da Amostra: Lixiviado Bruto

Local Amostragem: —

Tipo Amostra: Efluente bruto

Amostrado por: NSF Bioensaios

Data de Recebimento: 23/01/2019 16h 00min

Data da amostragem: 23/01/2019 10h 50min

Data do Laudo: 14/02/2019

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Alcalinidade total	6944	mg/L CaCO ₃	SMEWW 2320 B - 23ª Ed. (2017)	1	0,15	0,1	25/01/2019
Aldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	04/02/2019
Amônio total	0,02	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,004	—	08/02/2019
Bário total	1,53	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,001	0,002	08/02/2019
Benzeno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	06/02/2019
Boro total	1,9	mg/L	SMEWW 4500 B B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	—	31/01/2019
Cianeto livre	0,006	mg/L	SMEWW 4500 CN E - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0004	0,0001	07/02/2019
Cianeto total	<0,005	mg/L	SMEWW 4500 CN E - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0004	0,0001	07/02/2019
Clordano (cis + trans)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	04/02/2019
Clorofórmio	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	06/02/2019
Cobalto total	0,053	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,0005	—	01/02/2019
Cobre total	0,011	mg/L	SMEWW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	0,0003	01/02/2019
Cor real (verdadeira)	18817	mg/L Pt-Co	SMEWW 2120 C - 23ª Ed. (2017)	5	0,7	0,6	29/01/2019
Cromo hexavalente	<0,01	mg/L Cr ⁶⁺ + 6	SMEWW 3500 Cr B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,003	—	25/01/2019
Cromo trivalente	0,25	mg/L	Matemático	0,01	0,003	—	01/02/2019
DDT (4,4-DDT+ 4,4-DDE+4,4-DDD)	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	04/02/2019



Laudo Analítico BQ-199801/19

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Diclorodieno (1,1 + 1,2 cis + 1,2 trans)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	06/02/2019
Dieldrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	—	—	04/02/2019
Dodecador (mínex)	ND	µg/L	EPA 8082A (2007)	0,001	—	—	04/02/2019
Endrin	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	0,0003	04/02/2019
Espumas	Ausente	—	SMEVW 2110 - 23ª Ed. (2017)	—	—	—	14/02/2019
Estanho total	<0,1	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,009	0,008	04/02/2019
Estireno	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	06/02/2019
Etilbenzeno	2,20	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,4	06/02/2019
Fenóis totais	0,058	mg/L	EPA 9065 (1988)	0,003	0,001	0,001	01/02/2019
Fluoreto total	ND	mg/L	SMEVW 4110 B - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,001	0,003	01/02/2019
Heptadoro e heptadoro epóxido	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0003	—	04/02/2019
Hexadorobenzeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,001	0,0003	—	04/02/2019
Lítio total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,05	0,01	0,008	04/02/2019
Materiais flutuantes	Ausente	—	SMEVW 2110 - 23ª Ed. (2017)	—	—	—	14/02/2019
Molibdênio total	<0,005	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	0,0005	04/02/2019
Odor a frio	Desagradável	—	SMEVW 2150 B - 23ª Ed. (2017)	—	—	—	28/01/2019
Óleos e gorduras animal/vegetal	<10	mg/L OG	SMEVW 5520 F - 23ª Ed. (2017)	10	2	1	08/02/2019
Óleos e gorduras mineral	<10	mg/L OG	SMEVW 5520 F - 23ª Ed. (2017)	10	2	1	08/02/2019
Prata total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,005	0,001	—	01/02/2019
Selênio total	ND	mg/L	SMEVW 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,005	0,001	04/02/2019



Laudo Analítico BQ-199801/19

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
Sulfeto	<50,0	mg/L	SMEVWV 4110 B - 23ª Ed. (2017)	50,0	0,02	0,009	01/02/2019
Surfactantes (SAAM)	1,6	mg/L	SMEVWV 5540 C - 23ª Ed. (2017)	0,1	0,03	0,02	26/01/2019
Tetradecano de carbono	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	0,5	06/02/2019
Tolueno	7,95	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,3	0,1	06/02/2019
Toxifeno	ND	µg/L	EPA 8081B (2007)	0,0019	0,0008	0,0002	04/02/2019
Tricloroetano (TCE)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	1,0	—	06/02/2019
Vanílico total	0,06	mg/L	SMEVWV 3120 B - 23ª Ed. (2017)	0,01	0,002	0,001	04/02/2019
Xileno total (o, m, p)	ND	µg/L	EPA 5021A (2003) EPA 8260D (2017)	1,5	0,5	0,5	06/02/2019

■ PCBs - Bifenilas Policloradas

PCB 101	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 118	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 138	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 149	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 153	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 170	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 18	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 180	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 194	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019

Laudo Analítico BQ-199801/19

(Continuação)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Método	LOQ	LOD	IM	D.Digit.
PCB 209	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 28	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 31	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 44	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
PCB 52	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	0,02	0,001	06/02/2019
Soma PCB's	ND	µg/L	EPA 3510C (1996) EPA 8062A (2007)	0,05	—	—	06/02/2019

ANEXO 2

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1269/17

Cliente: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL- PROG. PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. PROCESSOS E TECNOLOGIA
 Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Número da amostra: 1269/17

Identificação da amostra: lixiviado de aterro sanitário bruto - mestrado Cátia Eliane da Silva

Responsável pela coleta: Cátia

Data / hora da coleta: 10/10/2017 16:30

Data / hora do recebimento: 10/10/2017 17:24

Temperatura de recebimento da amostra: 6 ° C

Período de execução dos ensaios: 10/10/17 a 25/10/17

Ensaio	unidade	Resultado	Metodologia utilizada	Limite de Detecção
Cloroeto *	mg CHL	2543,89	SMEWW-Método 4500-CLG [LAPAM PE 018]	2,65
Demanda bioquímica de oxigênio *	mgO ₂ /L	779,5	SMEWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]	1,0
Fósforo Total	mg P/L	5,683	SMEWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]	0,015
Nitrogênio total kjeldahl *	mgNH ₃ /NL	1642,50	SMEWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]	2,67

LEGENDA E NOTAS: n.d.: não detectado; n.a.: não aplicável; LD: limite de detecção; LQ: limite de quantificação.

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2012), 22ND Edition.

Cadastro na FEPAM - Certificado de Cadastro de Laboratório CINTER Nº 00002/2017 -DL válido até 05/01/2019

*Ensaio reconhecido pela Rede Metrologia - RS, de acordo com o Certificado de Reconhecimento Nº 3415A e 3415B válido até agosto/2018.

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada, não sendo permitido sua reprodução parcial. A amostragem e a identificação da amostra são de responsabilidade do cliente.

Caxias do Sul, 25 de outubro de 2017.

Kátia Maria Bisol Ramon
 Engª Químico -CRQ 5ª R 05301415
 Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: F763C623B8F82F1D67E7EBCCAB829C86



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 25/10/2017 11:24:15

Informações do signatário:

KATIA MARIA BISOL RAMON:44829558091 <KMBRAMON@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB (ICP-Brasil), válido de 20/10/2017 13:00:00 a 20/10/2020 13:00:00



UCS Serviços Tecnológicos | Universidade de Caxias do Sul | Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 | CEP: 95070-560

Caxias do Sul-RS | Bloco V | Sala 102

Telefone: (54) 3218.2748 ou (54) 3218.2100 | email: lapam@ucs.br | <http://www.ucs.br/site/servicos-tecnologicos/lapam>

Página: 01 de 01

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 0757/18 Rev. 1

Esse Relatório de Ensaio cancela e substitui o anterior de mesmo número.

Cliente: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL -PPGCAM
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas - Petrópolis - Caxias do Sul/RS

Número da amostra:0757/18

Identificação da amostra: Amostra líquida de lodo bruto 2 - mestrado de Cátia Silva

Responsável pela coleta: não informado

Data / hora da coleta: não informado

Data / hora do recebimento: 03/07/2018 08:52

Temperatura de recebimento da amostra: 13,0 ° C

Período de execução dos ensaios:03/07/18 a 17/07/18

Ensaio	unidade	Resultado	Metodologia utilizada	Limite de Detecção
Demanda bioquímica de oxigênio *	mgO ₂ /L	2601,7	SMEWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]	1,0
Fósforo Total *	mg P/L	11,300	SMEWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]	0,015
Nitrogênio total kjeldahl *	mgNH ₄ /NL	1404,12	SMEWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]	2,67

LEGENDA E NOTAS: nd: não detectado; na: não aplicável; LD:limite de detecção;LQ:limite quantificação;Prejudicado: análise prejudicada em função da característica da amostra.

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2012), 22ND Edition.

Cadastro na FEPAM - Certificado de Cadastro de Laboratório CINTER Nº 00002/2017 -DL válido até 05/01/2019

*Ensaios reconhecidos pela Rede Metrológica - RS, de acordo com o Certificado de Reconhecimento Nº 3415A e 3415B válido até agosto/2018.

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra analisada, não sendo permitido sua reprodução parcial. A embalagem e a identificação da amostra são de responsabilidade do cliente.

Caxias do Sul, 17 de julho de 2018.

Kátia Maria Bisol Ramon
Eng^a Química -CRQ 5ª R/08301415
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônico: 819D64CA693A7311DA/CBAA22A2776820



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 17/07/2018 14:51:33

Informações do signatário:

KATIA MARIA BISOL RAMON:44826558091 <KMBRAMON@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNOL RFB (ICP-Brasil), válido de 20/10/2017 13:00:00 a 20/10/2020 13:00:00

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1539/18

Cliente: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL- PROG. PÓS-GRADUAÇÃO ENG. PROCESSOS E TECNOLOGIAS
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 BLOCO U - Petrópolis - Caxias do Sul/RS - contato: Edinéia T. Stroehrer

Solicitante: O CLIENTE - UCS - Edinéia T. Stroehrer

Solicitação Serviço: #00195601

Orçamento nº: 1007/18

Número da amostra: 1539/18

Tipo de amostra: EFLUENTE

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: Lixivado Bruto 3 - Mestrado da Aluna Cátia da Silva

Responsável pela coleta: não informado

Data / hora da coleta: não informado

Data / hora do recebimento: 04/12/2018 17:05

Temperatura de recebimento da amostra: 24,3 ° C

Período de execução dos ensaios: 04/12/18 a 13/12/18

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q.	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio *	mg O ₂ /L	2003,9	1,0	SMEWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Fósforo Total *	mg P/L	11,440	0,016	SMEWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl *	mg NH ₃ -N/L	1379,31	2,80	SMEWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]

LEGENDA E NOTAS: n.a.: não aplicável, L.Q. limite quantificação.

LAPAM PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23RD Edition.

*Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415

C válido até Julho/2019. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Laboratório possui Certificado de Cadastro de Laboratório para Análises Ambientais CCLAAM Nº 00045/2018 disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br>.

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada, não sendo permitido sua reprodução parcial.

Caxias do Sul, 13 de dezembro de 2018.

Kátia Maria Bisol Ramon
Eng^a Química - CRO 5^a R 05301415
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônica: 21D686C00C578CDF79610DCC06D1AD62



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 13/12/2018 14:16:44

Informações do signatário:

KATIA MARIA BISOL RAMON:44829658091 <KMBRAMON@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNDL RFB (ICP-Brasil), válido de 20/10/2017 13:00:00 a 20/10/2020 13:00:00



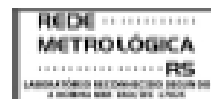
TECNOUCS

UCS Serviços Tecnológicos | Universidade de Caxias do Sul | Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 | CEP: 95070-560
Caxias do Sul-RS | Bloco V | Sala 102
Telefone: (54) 3218.2748 ou (54) 3218.2100 | email: lapam@ucs.br | <http://www.ucs.br/site/servicos-tecnologicos/lapam>



Relatório de Ensaio

LAPAM – PQ 200 rev 05
Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1539/18

Cliente: UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL- PROG. PÓS-GRADUAÇÃO ENG. PROCESSOS E TECNOLOGIAS
Endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 BLOCO U - Petrópolis - Caxias do Sul/RS - contato: Edinéia T. Stroher

Solicitante: O CLIENTE - UCS - Edinéia T. Stroher

Solicitação/Serviço: #00195601

Orçamento nº: 1007/18

Número da amostra: 1539/18

Tipo de amostra: EFLUENTE

Amostragem e coleta: A amostragem e as informações referente a amostra são de responsabilidade do solicitante.

Identificação da amostra: Lixivado Bruto 3 - Mestrado da Aluna Cátia da Silva

Responsável pela coleta: não informado

Data / hora da coleta: não informado

Data / hora do recebimento: 04/12/2018 17:05

Temperatura de recebimento da amostra: 24,3 ° C

Período de execução dos ensaios: 04/12/18 a 13/12/18

Ensaio	Unidade	Resultado	L.Q.	Metodologia utilizada
Demanda bioquímica de oxigênio *	mg O ₂ /L	2003,9	1,0	SMEWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Fósforo Total *	mg PL	11,440	0,018	SMEWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrogênio total kjeldahl *	mg NH ₃ -N/L	1379,31	2,60	SMEWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]

LEGENDA E NOTAS: n.a.: não aplicável, L.Q.: Limite quantificação.

LAPAM - PE: Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais - Procedimento de Ensaio.

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017), 23rd Edition.

*Ensaio reconhecido pela Rede Metrologica/RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Certificado de Reconhecimento Nº 3415A/3415B e 3415

C válido até Julho/2019. Consulte o escopo completo através do endereço: <http://www.redemetrologica.com.br/laboratorios-reconhecidos>

Laboratório possui Certificado de Cadastro de Laboratório para Análises Ambientais (CLLAAM Nº 00045/2018) disponível em: <http://www.fepam.gov.br>.

Os resultados contidos neste documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada, não sendo permitido sua reprodução parcial.

Caxias do Sul, 13 de dezembro de 2018.

Kátia Maria Bisol Ramon
Eng^a Química - CRQ 5^a R 05301415
Signatário Autorizado

Código de verificação eletrônica: 21D686C90C576CD77B810DC006D1A062



Documento gerado e assinado digitalmente no sistema QualiLIMS Químico.

Data e horário da assinatura: 13/12/2018 14:16:44

Informações do signatário:

KATIA MARIA BISOL RAMON-44829558091 <KMBRAMON@UCS.BR>

Certificado emitido por AC CNOL RFB (ICP-Brasil), válido de 20/10/2017 13:00:00 a 20/10/2020 13:00:00



UCS Serviços Tecnológicos | Universidade de Caxias do Sul | Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 | CEP: 95070-580
Caxias do Sul-RS | Bloco V | Sala 102
Telefone: (54) 3218.2740 ou (54) 3218.2100 | email: fepam@ucs.br | <http://www.ucs.br/site/servicos-tecnologicos/fepam>

Página: 01 de 01

ANEXO 3

Tabela de pH- ambientação Experimento 1

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
29/set	Manhã	0	8,02	Não	-	8,02	Não	-
03/out	Manhã	4	9,2	Sim	7,6	9,1	Sim	7,6
04/out	Manhã	5	8,87	Sim	7,81	8,9	Sim	7,78
05/out	Manhã	6	8,76	Sim	7,81	8,87	Sim	6,98
06/out	Manhã	7	8,47	Sim	7,52	8,32	Sim	7,41
09/out	Manhã	10	8,06	Não	-	7,5	Não	-
10/out	Manhã	11	7,98	Não	-	7,45	Não	-
11/out	Manhã	12	7,86	Não	-	7,37	Não	-
11/out	Tarde	12	7,75	Sim	8,03	7,3	Sim	7,86
16/out	Manhã	17	6,55	Não	-	8,15	Não	-
18/out	Manhã	19	6,21	Não	-	7,14	Não	-
18/out	Tarde	19	7,47	Não	-	7,94	Não	-
20/out	Manhã	21	6,17	Não	-	6,6	Não	-
24/out	Manhã	25	6,06	Não	-	6,05	Não	-
25/out	Manhã	26	6,14	Não	-	6,04	Não	-
25/out	Tarde	26	6,11	Sim	7,21	6,01	Sim	7,5
26/out	Manhã	27	6,85	Sim	7,95	7,44	Sim	-
26/out	Tarde	27	6,88	Sim	7,72	6,87	Sim	7,76
27/out	Manhã	28	6,31	Sim	7,68	6,14	Sim	7,67
27/out	Tarde	28	6,42	Sim	7,83	6,19	Sim	7,83
30/out	Manhã	31	5,94	Sim	7,63	6,03	Sim	7,56
30/out	Tarde	31	6,36	Sim	7,43	6,26	Sim	7,42
31/out	Manhã	32	6,17	Sim	7,61	6,06	Sim	7,6
31/out	Tarde	32	6,37	Sim	7,54	6,27	Sim	7,72
01/nov	Tarde	33	6,1	Sim	7,7	6,06	Sim	7,8

Tabela de pH- Experimento 1

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
06/nov	Manhã	0	6,06	Sim	7,72	5,99	Sim	7,6
06/nov	Tarde	0	6,71	Sim	7,94	6,56	Sim	7,82
07/nov	Manhã	1	8,35	Não	-	8,06	Não	-
07/nov	Tarde	1	7,85	Não	-	7,45	Não	-
08/nov	Manhã	2	6,27	Sim	7,9	6,18	Sim	7,58
08/nov	Tarde	2	6,22	Sim	7,55	6,15	Sim	8,07
09/nov	Manhã	3	6,31	Sim	7,94	6,15	Sim	7,74
09/nov	Tarde	3	6,18	Sim	7,59	6,22	Sim	7,78
10/nov	Manhã	4	6,2	Sim	7,71	6,38	Sim	7,78
10/nov	Tarde	4	6,21	Sim	7,7	6,17	Sim	7,62

Tabela de pH- Experimento 2

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
20/nov	Manhã	-	6,29	Sim	7,58	6,17	Sim	7,63
20/nov	Tarde	0	6,31	Sim	7,82	6,22	Sim	7,78
21/nov	Manhã	1	7,62	Não	-	7,67	Não	-
22/nov	Manhã	2	6,6	Sim	7,59	6,51	Sim	7,65
22/nov	Tarde	2	6,41	Sim	7,36	6,38	Sim	7,57
23/nov	Manhã	3	6,22	Sim	7,86	6,24	Sim	7,89
23/nov	Tarde	3	6,3	Sim	7,51	6,21	Sim	7,58
24/nov	Manhã	4	6,27	Sim	8,04	6,2	Sim	8,1
24/nov	Tarde	4	6,72	Sim	7,59	6,71	Sim	7,61
25/nov	Manhã	5	6,22	Sim	7,53	6,31	Sim	7,92
27/nov	Manhã	7	6,38	Sim	8,23	6,19	Sim	8,55
28/nov	Manhã	8	6,44	Sim	7,73	6,3	Sim	7,86
29/nov	Manhã	9	6,38	Sim	7,6	6,31	Sim	7,61
29/nov	Tarde	9	6,67	Sim	7,66	6,67	Sim	7,73
30/nov	Manhã	10	6,56	Sim	7,81	6,49	Sim	7,75
30/nov	Tarde	10	6,57	Sim	8,4	6,51	Sim	8,31
01/dez	Manhã	11	6,63	Sim	7,77	6,54	Sim	7,8
01/dez	Tarde	11	6,78	Sim	7,85	6,67	Sim	7,81

Tabela de pH- Experimento 3

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
27/set	Manhã	0	9,24	Sim	7,54	7,91	Sim	7,43
27/set	Tarde	0	7,73	Sim	7,48	7,91	Sim	7,20
28/set	Manhã	1	8,20	Sim	7,12	7,70	Sim	6,99
28/set	Tarde	1	7,08	Sim	8,02	6,91	Sim	7,64
29/set	Manhã	2	7,38	Não	-	7,42	Não	7,68
29/set	Tarde	2	6,47	Sim	7,52	6,65	Sim	7,49
30/set	Manhã	3	6,30	Sim	7,55	6,32	Sim	7,48
30/set	Tarde	3	6,78	Sim	7,61	7,68	Não	-
01/out	Manhã	4	6,63	Sim	7,49	7,72	Não	-
01/out	Tarde	4	6,71	Sim	7,73	7,60	Não	-
02/out	Manhã	5	6,65	Sim	7,66	7,68	Não	-
02/out	Tarde	5	7,01	Sim	7,52	7,67	Não	-
03/out	Manhã	6	6,76	Sim	7,68	7,75	Não	-
03/out	Tarde	6	6,93	Sim	7,46	7,68	Não	-

Tabela de pH- Experimento 4

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
24/nov	Manhã	0	7,94	Sim	7,58	8,01	Sim	7,69
24/nov	Tarde	0	7,39	Não	7,39	6,61	Sim	7,51
25/nov	Manhã	1	6,35	Sim	7,86	6,79	Sim	8,11
25/nov	Tarde	1	6,01	Sim	7,84	6,65	Sim	7,91
26/nov	Manhã	2	6,1	Não	6,1	6,36	Sim	7,55
26/nov	Tarde	2	6,09	Sim	7,59	6,36	Sim	7,39
27/nov	Manhã	3	5,97	Sim	7,37	6,05	Sim	7,38
27/nov	Tarde	3	6,16	Sim	7,49	6,41	Sim	7,68
28/nov	Manhã	4	5,98	Sim	7,31	6,07	Sim	7,58
28/nov	Tarde	4	6	Sim	7,5	6,22	Sim	7,69
29/nov	Manhã	5	5,95	Sim	7,46	6,04	Sim	7,38
29/nov	Tarde	5	6,02	Sim	7,4	6,1	Sim	7,49
30/nov	Manhã	6	5,94	Sim	7,37	6,01	Sim	7,48
30/nov	Tarde	6	5,94	Sim	7,57	6,11	Sim	7,52

Tabela de pH- Experimento 5

Data	Turno	Dia	Reator A	Ajuste?	Novo pH	Reator B	Ajuste?	Novo pH
09/dez	Manhã	0	7,98	Não	7,98	8	Não	8
09/dez	Tarde	0	7,16	Sim	7,84	5,42	Sim	7,79
10/dez	Manhã	1	7,06	Sim	7,43	7,58	Não	7,58
10/dez	Tarde	1	6,73	Sim	7,41	7,48	Não	7,48
11/dez	Manhã	2	6	Não	7,38	6,93	Sim	7,51
11/dez	Tarde	2	6,53	Sim	7,46	7,01	Sim	7,52
12/dez	Manhã	3	5,77	Sim	7,43	6,03	Sim	7,44
12/dez	Tarde	3	6,08	Sim	7,42	6,31	Sim	7,67
13/dez	Manhã	4	5,77	Sim	7,31	5,91	Sim	7,37
13/dez	Tarde	4	5,98	Sim	7,32	5,83	Sim	7,4
14/dez	Manhã	5	5,71	Sim	7,56	5,84	Sim	7,67
14/dez	Tarde	5	6	Sim	7,7	6,26	Sim	7,63
09/dez	Manhã	6	7,98	Não	7,98	8	Não	8
09/dez	Tarde	6	7,16	Sim	7,84	5,42	Sim	7,79

ANEXO 4

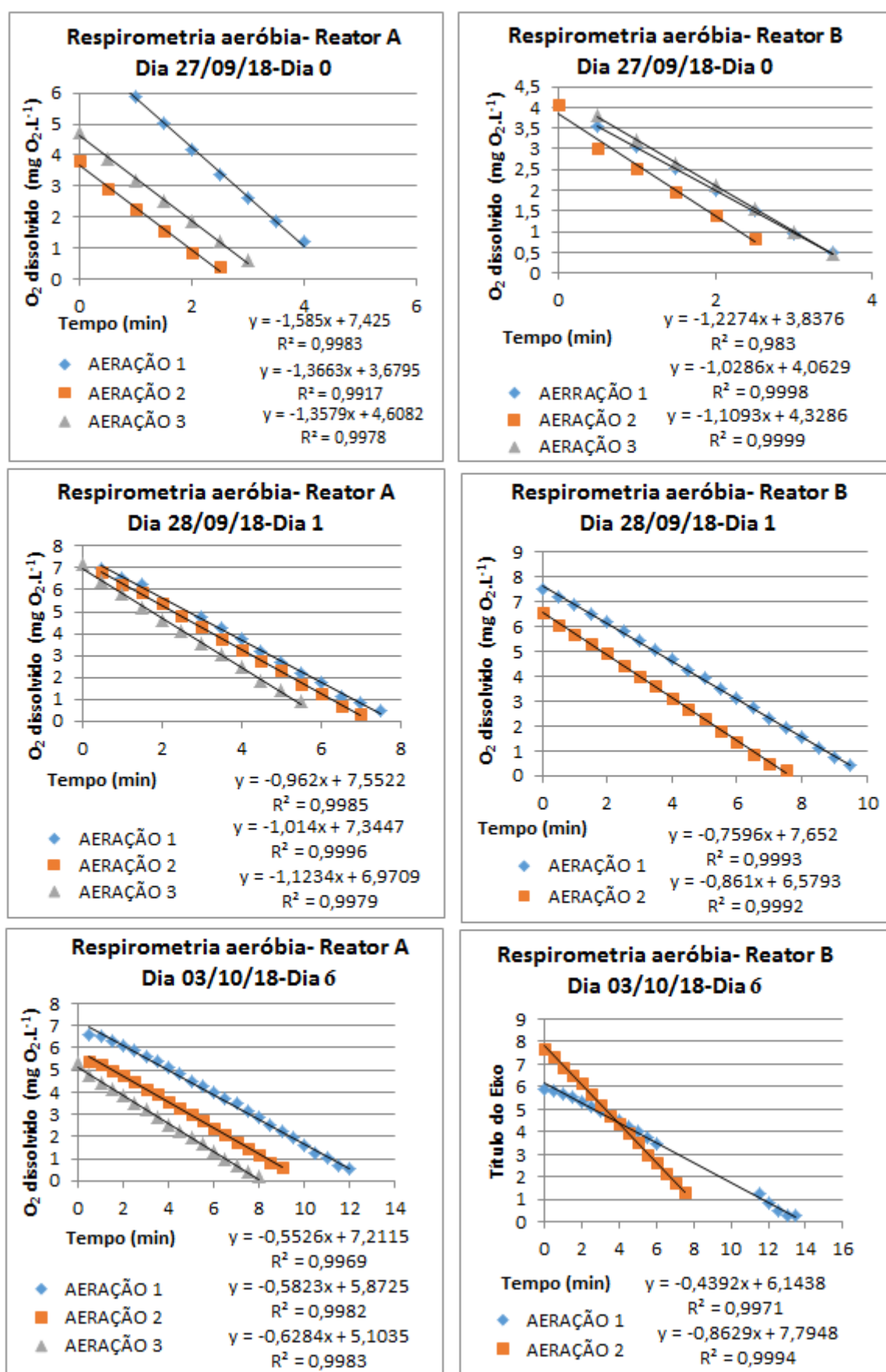


Figura 47. Ensaios de respirometria aeróbia durante o Experimento 3

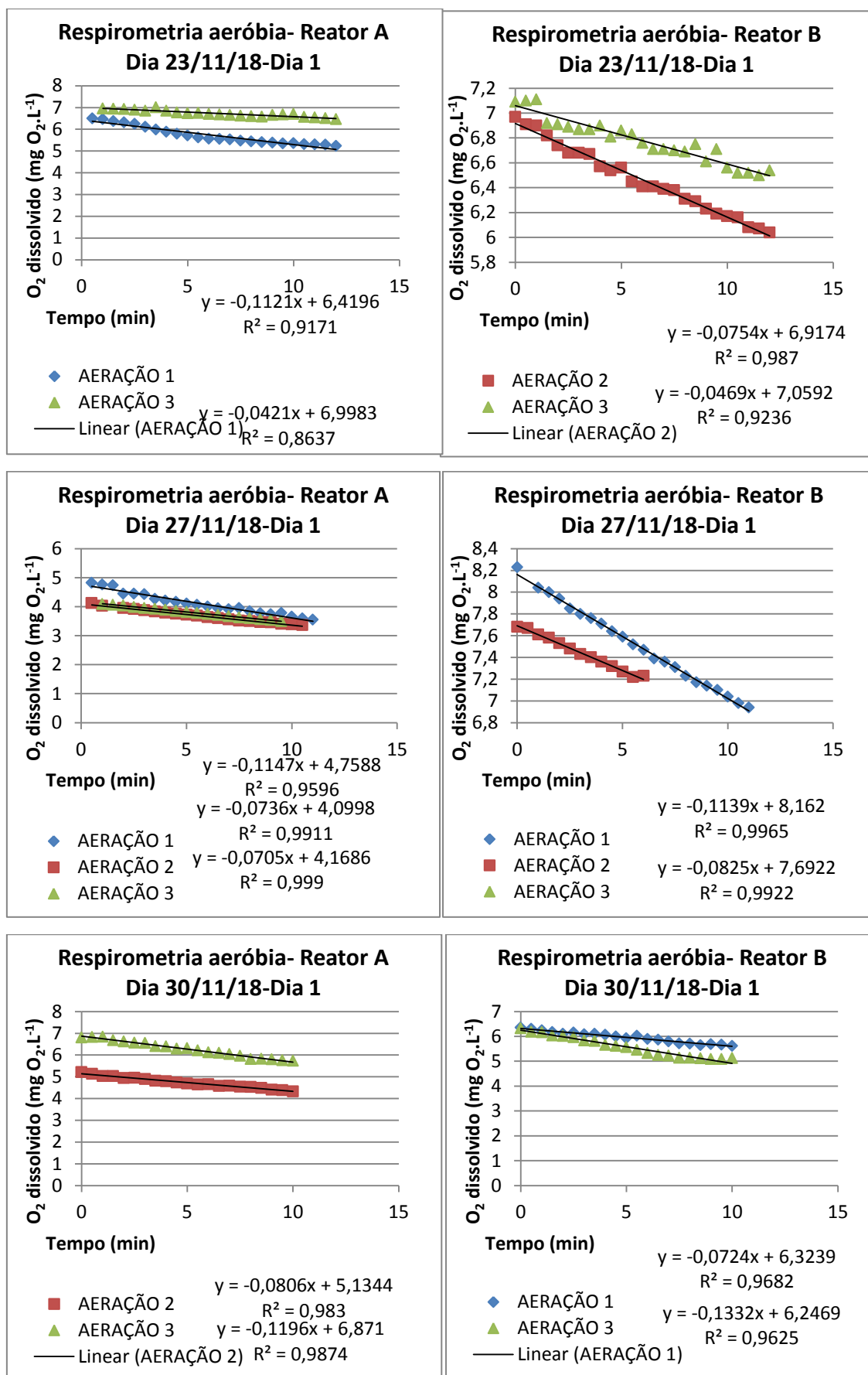


Figura 48. Ensaios de respirometria aeróbia, Experimento 4

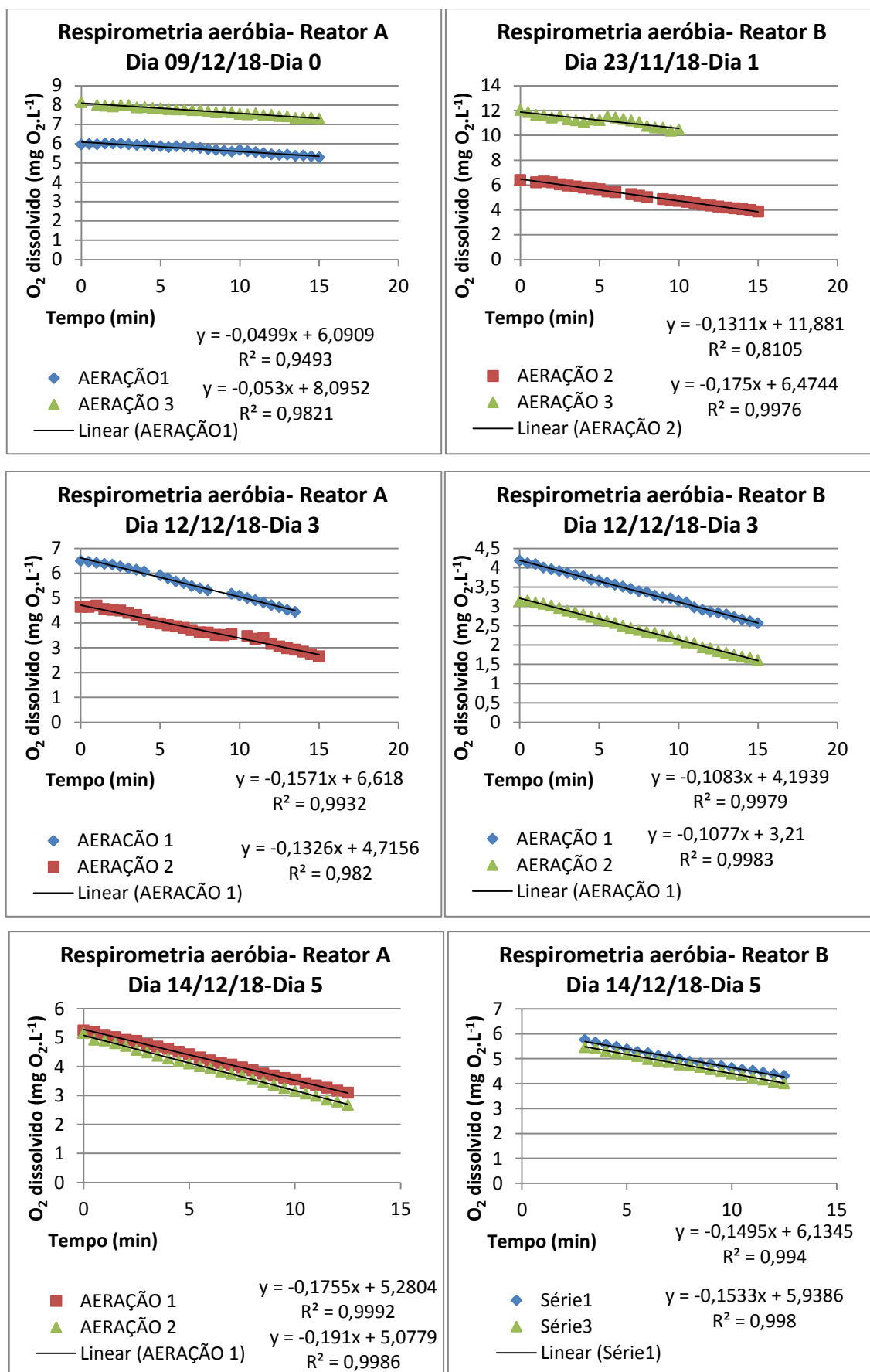


Figura 49. Ensaios de respirometria aeróbia, Experimento 4

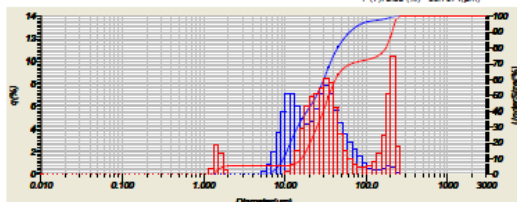
ANEXO 5

2016.06.27 10:00:53

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Cate-Reator A T0
 Material : Lodo ativado de Lixiviao de atero
 Transmittance(R) : 92.3(%)
 Transmittance(B) : 92.3(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 24.4987(µm)
 Mean Size : 32.9455(µm)
 Std Dev : 32.5100(µm)
 Geo Mean Size : 24.1914(µm)
 Geo Std Dev : 2.1162(µm)
 Mode Size : 31.9999(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.5025(µm)
 (20.00 (%)> 11.6559(µm)
 (30.00 (%)> 14.2509(µm)
 (40.00 (%)> 18.5348(µm)
 (50.00 (%)> 24.498(µm)
 (60.00 (%)> 25.9534(µm)
 (70.00 (%)> 36.7571(µm)



No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)
1	0.010	0.000	0.000	31	0.500	0.000	0.000	61	3.000	0.000	0.000
2	0.015	0.000	0.000	32	0.700	0.000	0.000	62	4.000	0.000	0.000
3	0.020	0.000	0.000	33	1.000	0.000	0.000	63	5.000	0.000	0.000
4	0.025	0.000	0.000	34	1.500	0.000	0.000	64	7.000	0.000	0.000
5	0.030	0.000	0.000	35	2.000	0.000	0.000	65	10.000	0.000	0.000
6	0.035	0.000	0.000	36	2.500	0.000	0.000	66	15.000	0.000	0.000
7	0.040	0.000	0.000	37	3.000	0.000	0.000	67	20.000	0.000	0.000
8	0.045	0.000	0.000	38	3.500	0.000	0.000	68	25.000	0.000	0.000
9	0.050	0.000	0.000	39	4.000	0.000	0.000	69	30.000	0.000	0.000
10	0.055	0.000	0.000	40	4.500	0.000	0.000	70	35.000	0.000	0.000
11	0.060	0.000	0.000	41	5.000	0.000	0.000	71	40.000	0.000	0.000
12	0.065	0.000	0.000	42	5.500	0.000	0.000	72	45.000	0.000	0.000
13	0.070	0.000	0.000	43	6.000	0.000	0.000	73	50.000	0.000	0.000
14	0.075	0.000	0.000	44	6.500	0.000	0.000	74	55.000	0.000	0.000
15	0.080	0.000	0.000	45	7.000	0.000	0.000	75	60.000	0.000	0.000
16	0.085	0.000	0.000	46	7.500	0.000	0.000	76	65.000	0.000	0.000
17	0.090	0.000	0.000	47	8.000	0.000	0.000	77	70.000	0.000	0.000
18	0.095	0.000	0.000	48	8.500	0.000	0.000	78	75.000	0.000	0.000
19	0.100	0.000	0.000	49	9.000	0.000	0.000	79	80.000	0.000	0.000
20	0.105	0.000	0.000	50	9.500	0.000	0.000	80	85.000	0.000	0.000
21	0.110	0.000	0.000	51	10.000	0.000	0.000	81	90.000	0.000	0.000
22	0.115	0.000	0.000	52	10.500	0.000	0.000	82	95.000	0.000	0.000
23	0.120	0.000	0.000	53	11.000	0.000	0.000	83	100.000	0.000	0.000
24	0.125	0.000	0.000	54	11.500	0.000	0.000				
25	0.130	0.000	0.000	55	12.000	0.000	0.000				
26	0.135	0.000	0.000	56	12.500	0.000	0.000				
27	0.140	0.000	0.000	57	13.000	0.000	0.000				
28	0.145	0.000	0.000	58	13.500	0.000	0.000				
29	0.150	0.000	0.000	59	14.000	0.000	0.000				
30	0.155	0.000	0.000	60	14.500	0.000	0.000				

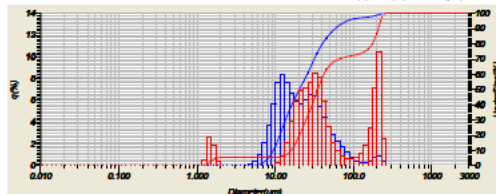
1/1

2016.06.27 10:11:00

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Cate-Reator A T2
 Material : Lodo ativado de Lixiviao de atero
 Transmittance(R) : 92.5(%)
 Transmittance(B) : 92.5(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 20.28135(µm)
 Mean Size : 30.78314(µm)
 Std Dev : 34.0235(µm)
 Geo Mean Size : 22.1709(µm)
 Geo Std Dev : 2.1023(µm)
 Mode Size : 12.2790(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.3915(µm)
 (20.00 (%)> 11.4214(µm)
 (30.00 (%)> 13.4755(µm)
 (40.00 (%)> 16.2329(µm)
 (50.00 (%)> 20.2814(µm)
 (60.00 (%)> 25.5153(µm)
 (70.00 (%)> 31.5091(µm)



No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)
1	0.010	0.000	0.000	31	0.500	0.000	0.000	61	3.000	0.000	0.000
2	0.015	0.000	0.000	32	0.700	0.000	0.000	62	4.000	0.000	0.000
3	0.020	0.000	0.000	33	1.000	0.000	0.000	63	5.000	0.000	0.000
4	0.025	0.000	0.000	34	1.500	0.000	0.000	64	7.000	0.000	0.000
5	0.030	0.000	0.000	35	2.000	0.000	0.000	65	10.000	0.000	0.000
6	0.035	0.000	0.000	36	2.500	0.000	0.000	66	15.000	0.000	0.000
7	0.040	0.000	0.000	37	3.000	0.000	0.000	67	20.000	0.000	0.000
8	0.045	0.000	0.000	38	3.500	0.000	0.000	68	25.000	0.000	0.000
9	0.050	0.000	0.000	39	4.000	0.000	0.000	69	30.000	0.000	0.000
10	0.055	0.000	0.000	40	4.500	0.000	0.000	70	35.000	0.000	0.000
11	0.060	0.000	0.000	41	5.000	0.000	0.000	71	40.000	0.000	0.000
12	0.065	0.000	0.000	42	5.500	0.000	0.000	72	45.000	0.000	0.000
13	0.070	0.000	0.000	43	6.000	0.000	0.000	73	50.000	0.000	0.000
14	0.075	0.000	0.000	44	6.500	0.000	0.000	74	55.000	0.000	0.000
15	0.080	0.000	0.000	45	7.000	0.000	0.000	75	60.000	0.000	0.000
16	0.085	0.000	0.000	46	7.500	0.000	0.000	76	65.000	0.000	0.000
17	0.090	0.000	0.000	47	8.000	0.000	0.000	77	70.000	0.000	0.000
18	0.095	0.000	0.000	48	8.500	0.000	0.000	78	75.000	0.000	0.000
19	0.100	0.000	0.000	49	9.000	0.000	0.000	79	80.000	0.000	0.000
20	0.105	0.000	0.000	50	9.500	0.000	0.000	80	85.000	0.000	0.000
21	0.110	0.000	0.000	51	10.000	0.000	0.000	81	90.000	0.000	0.000
22	0.115	0.000	0.000	52	10.500	0.000	0.000	82	95.000	0.000	0.000
23	0.120	0.000	0.000	53	11.000	0.000	0.000	83	100.000	0.000	0.000
24	0.125	0.000	0.000	54	11.500	0.000	0.000				
25	0.130	0.000	0.000	55	12.000	0.000	0.000				
26	0.135	0.000	0.000	56	12.500	0.000	0.000				
27	0.140	0.000	0.000	57	13.000	0.000	0.000				
28	0.145	0.000	0.000	58	13.500	0.000	0.000				
29	0.150	0.000	0.000	59	14.000	0.000	0.000				
30	0.155	0.000	0.000	60	14.500	0.000	0.000				

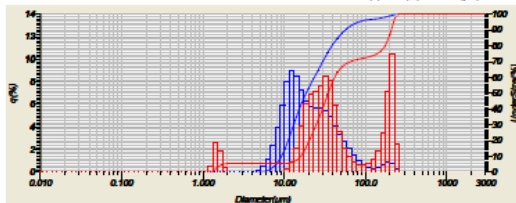
1/1

2016.06.27 10:25:31

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Cate-Reator A T4
 Material : Fermentado
 Transmittance(R) : 91.9(%)
 Transmittance(B) : 92.1(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 18.5978(µm)
 Mean Size : 29.8436(µm)
 Std Dev : 34.1712(µm)
 Geo Mean Size : 21.2350(µm)
 Geo Std Dev : 2.1121(µm)
 Mode Size : 15.4187(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.1966(µm)
 (20.00 (%)> 11.1625(µm)
 (30.00 (%)> 13.0353(µm)
 (40.00 (%)> 15.3046(µm)
 (50.00 (%)> 18.5978(µm)
 (60.00 (%)> 23.4086(µm)
 (70.00 (%)> 29.7666(µm)



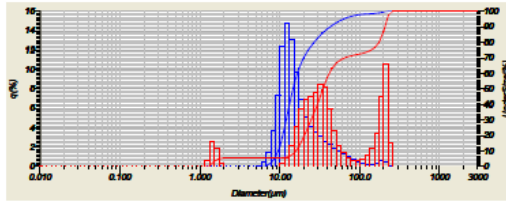
No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)	No	Diameter(µm)	q(%)	Under Size(%)
1	0.010	0.000	0.000	31	0.500	0.000	0.000	61	3.000	0.000	0.000
2	0.015	0.000	0.000	32	0.700	0.000	0.000	62	4.000	0.000	0.000
3	0.020	0.000	0.000	33	1.000	0.000	0.000	63	5.000	0.000	0.000
4	0.025	0.000	0.000	34	1.500	0.000	0.000	64	7.000	0.000	0.000
5	0.030	0.000	0.000	35	2.000	0.000	0.000	65	10.000	0.000	0.000
6	0.035	0.000	0.000	36	2.500	0.000	0.000	66	15.000	0.000	0.000
7	0.040	0.000	0.000	37	3.000	0.000	0.000	67	20.000	0.000	0.000
8	0.045	0.000	0.000	38	3.500	0.000	0.000	68	25.000	0.000	0.000
9	0.050	0.000	0.000	39	4.000	0.000	0.000	69	30.000	0.000	0.000
10	0.055	0.000	0.000	40	4.500	0.000	0.000	70	35.000	0.000	0.000
11	0.060	0.000	0.000	41	5.000	0.000	0.000	71	40.000	0.000	0.000
12	0.065	0.000	0.000	42	5.500	0.000	0.000	72	45.000	0.000	0.000
13	0.070	0.000	0.000	43	6.000	0.000	0.000	73	50.000	0.000	0.000
14	0.075	0.000	0.000	44	6.500	0.000	0.000	74	55.000	0.000	0.000
15	0.080	0.000	0.000	45	7.000	0.000	0.000	75	60.000	0.000	0.000
16	0.085	0.000	0.000	46	7.500	0.000	0.000	76	65.000	0.000	0.000
17	0.090	0.000	0.000	47	8.000	0.000	0.000	77	70.000	0.000	0.000
18	0.095	0.000	0.000	48	8.500	0.000	0.000	78	75.000	0.000	0.000
19	0.100	0.000	0.000	49	9.000	0.000	0.000	79	80.000	0.000	0.000
20	0.105	0.000	0.000	50	9.500	0.000	0.000	80	85.000	0.000	0.000
21	0.110	0.000	0.000	51	10.000	0.000	0.000	81	90.000	0.000	0.000
22	0.115	0.000	0.000	52	10.500	0.000	0.000	82	95.000	0.000	0.000
23	0.120	0.000	0.000	53	11.000	0.000	0.000	83	100.000	0.000	0.000
24	0.125	0.000	0.000	54	11.500	0.000	0.000				
25	0.130	0.000	0.000	55	12.000	0.000	0.000				
26	0.135	0.000	0.000	56	12.500	0.000	0.000				
27	0.140	0.000	0.000	57	13.000	0.000	0.000				
28	0.145	0.000	0.000	58	13.500	0.000	0.000				
29	0.150	0.000	0.000	59	14.000	0.000	0.000				
30	0.155	0.000	0.000	60	14.500	0.000	0.000				
31	0.160	0.000	0.000	61	15.000	0.000	0.000				
32	0.165	0.000	0.000	62	15.500	0.000	0.000				
33	0.170	0.000	0.000	63	16.000	0.000	0.000				
34	0.175	0.000	0.000	64	16.500	0.000	0.000				
35	0.180	0.000	0.000	65	17.000	0.000	0.000				
36	0.185	0.000	0.000	66	17.500	0.000	0.000				
37	0.190	0.000	0.000	67	18.000	0.000	0.000				
38	0.195	0.000	0.000	68	18.500	0.000	0.000				
39	0.200	0.000	0.000	69	19.000	0.000	0.000				
40	0.205	0.000	0.000	70	19.500	0.000	0.000				
41	0.210	0.000	0.000	71	20.000	0.000	0.000				
42	0.215	0.000	0.000	72	20.500	0.000	0.000				
43	0.220	0.000	0.000	73	21.000	0.000	0.000				
44	0.225	0.000	0.000	74	21.500	0.000	0.000				
45	0.230	0.000	0.000	75	22.000	0.000	0.000				
46	0.235	0.000	0.000	76	22.500	0.000	0.000				
47	0.240	0.000	0.000	77	23.000	0.000	0.000				
48	0.245	0.000	0.000	78	23.500	0.000	0.000				
49	0.250	0.000	0.000	79	24.000	0.000	0.000				
50	0.255	0.000	0.000	80	24.500	0.000	0.000				
51	0.260	0.000	0.000	81	25.000	0.000	0.000				
52	0.265	0.000	0.000	82	25.500	0.000	0.000				
53	0.270	0.000	0.000	83	26.000	0.000	0.000				
54	0.275	0.000	0.000	84	26.500	0.000	0.000				
55	0.280	0.000	0.000	85	27.000	0.000	0.000				
56	0.285	0.000	0.000	86	27.500	0.000	0.000				
57	0.290	0.000	0.000	87	28.000	0.000	0.000				
58	0.295	0.000	0.000	88	28.500	0.000	0.000				
59	0.300	0.000	0.000	89	29.000	0.000	0.000				
60	0.305	0.000	0.000	90	29.500	0.000	0.000				
61	0.310	0.000	0.000	91	30.000	0.000	0.000				
62	0.315	0.000	0.000	92	30.500	0.000	0.000				
63	0.320	0.000	0.000	93	31.000	0.000	0.000				
64	0.325	0.000	0.000	94	31.500	0.000	0.000				
65	0.330	0.000	0.000	95	32.000	0.000	0.000				
66	0.335	0.000	0.000	96	32.500	0.000	0.000				
67	0.340	0.000	0.000	97	33.000	0.000	0.000				
68	0.345	0.000	0.000	98	33.500	0.000	0.000				
69	0.350	0.000	0.000	99	34.000	0.000	0.000				
70	0.355	0.000	0.000	100	34.500	0.000	0.000				

2018.10.03 20:10:06

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Caba-Reator A final
 Material : Fermentado
 Transmittance(R) : 86.9(%)
 Transmittance(B) : 85.7(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 14.6486(µm)
 Mean Size : 23.19479(µm)
 Std Dev : 27.1360(µm)
 Geo.Mean Size : 17.5271(µm)
 Geo.Std Dev : 1.8895(µm)
 Mode Size : 12.4205(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.5170(µm)
 (200.00 (%)> 10.8500(µm)
 (300.00 (%)> 11.0467(µm)
 (400.00 (%)> 13.2120(µm)
 (500.00 (%)> 14.5487(µm)
 (600.00 (%)> 16.6361(µm)
 (700.00 (%)> 19.8990(µm)



n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)
1	0.010	0.000	0.000	11	0.080	0.000	0.000	21	0.630	0.000	0.000	31	5.000	0.000	100.000
2	0.015	0.000	0.000	12	0.100	0.000	0.000	22	0.800	0.000	0.000	32	6.300	0.000	100.000
3	0.020	0.000	0.000	13	0.125	0.000	0.000	23	1.000	0.000	0.000	33	8.000	0.000	100.000
4	0.025	0.000	0.000	14	0.160	0.000	0.000	24	1.250	0.000	0.000	34	10.000	0.000	100.000
5	0.030	0.000	0.000	15	0.200	0.000	0.000	25	1.600	0.000	0.000	35	12.500	0.000	100.000
6	0.040	0.000	0.000	16	0.250	0.000	0.000	26	2.000	0.000	0.000	36	16.000	0.000	100.000
7	0.050	0.000	0.000	17	0.315	0.000	0.000	27	2.510	0.000	0.000	37	20.000	0.000	100.000
8	0.063	0.000	0.000	18	0.400	0.000	0.000	28	3.150	0.000	0.000	38	25.100	0.000	100.000
9	0.080	0.000	0.000	19	0.500	0.000	0.000	29	4.000	0.000	0.000	39	31.500	0.000	100.000
10	0.100	0.000	0.000	20	0.630	0.000	0.000	30	5.000	0.000	0.000	40	40.000	0.000	100.000

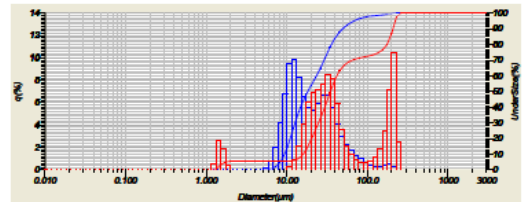
1/1

2018.09.27 18:10:30

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Caba-Reator B TO
 Material : Lodo ativado de Lirivado de atemo
 Transmittance(R) : 92.2(%)
 Transmittance(B) : 92.3(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 18.1967(µm)
 Mean Size : 25.73134(µm)
 Std Dev : 26.3934(µm)
 Geo.Mean Size : 20.3335(µm)
 Geo.Std Dev : 1.9795(µm)
 Mode Size : 12.2795(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.3282(µm)
 (200.00 (%)> 11.0080(µm)
 (300.00 (%)> 12.8633(µm)
 (400.00 (%)> 14.7883(µm)
 (500.00 (%)> 18.1967(µm)
 (600.00 (%)> 23.3296(µm)
 (700.00 (%)> 28.2156(µm)



n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)
1	0.010	0.000	0.000	11	0.080	0.000	0.000	21	0.630	0.000	0.000	31	5.000	0.000	100.000
2	0.015	0.000	0.000	12	0.100	0.000	0.000	22	0.800	0.000	0.000	32	6.300	0.000	100.000
3	0.020	0.000	0.000	13	0.125	0.000	0.000	23	1.000	0.000	0.000	33	8.000	0.000	100.000
4	0.025	0.000	0.000	14	0.160	0.000	0.000	24	1.250	0.000	0.000	34	10.000	0.000	100.000
5	0.030	0.000	0.000	15	0.200	0.000	0.000	25	1.600	0.000	0.000	35	12.500	0.000	100.000
6	0.040	0.000	0.000	16	0.250	0.000	0.000	26	2.000	0.000	0.000	36	16.000	0.000	100.000
7	0.050	0.000	0.000	17	0.315	0.000	0.000	27	2.510	0.000	0.000	37	20.000	0.000	100.000
8	0.063	0.000	0.000	18	0.400	0.000	0.000	28	3.150	0.000	0.000	38	25.100	0.000	100.000
9	0.080	0.000	0.000	19	0.500	0.000	0.000	29	4.000	0.000	0.000	39	31.500	0.000	100.000
10	0.100	0.000	0.000	20	0.630	0.000	0.000	30	5.000	0.000	0.000	40	40.000	0.000	100.000

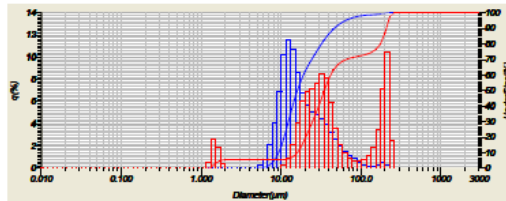
1/1

2018.09.27 18:11:50

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Caba-Reator B T2
 Material : Lodo ativado de Lirivado de atemo
 Transmittance(R) : 93.3(%)
 Transmittance(B) : 89.3(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 15.97613(µm)
 Mean Size : 24.97436(µm)
 Std Dev : 24.9370(µm)
 Geo.Mean Size : 19.6586(µm)
 Geo.Std Dev : 1.5228(µm)
 Mode Size : 12.4160(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.2894(µm)
 (200.00 (%)> 10.9042(µm)
 (300.00 (%)> 12.3476(µm)
 (400.00 (%)> 13.9352(µm)
 (500.00 (%)> 15.9761(µm)
 (600.00 (%)> 19.0536(µm)
 (700.00 (%)> 24.1560(µm)



n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)
1	0.010	0.000	0.000	11	0.080	0.000	0.000	21	0.630	0.000	0.000	31	5.000	0.000	100.000
2	0.015	0.000	0.000	12	0.100	0.000	0.000	22	0.800	0.000	0.000	32	6.300	0.000	100.000
3	0.020	0.000	0.000	13	0.125	0.000	0.000	23	1.000	0.000	0.000	33	8.000	0.000	100.000
4	0.025	0.000	0.000	14	0.160	0.000	0.000	24	1.250	0.000	0.000	34	10.000	0.000	100.000
5	0.030	0.000	0.000	15	0.200	0.000	0.000	25	1.600	0.000	0.000	35	12.500	0.000	100.000
6	0.040	0.000	0.000	16	0.250	0.000	0.000	26	2.000	0.000	0.000	36	16.000	0.000	100.000
7	0.050	0.000	0.000	17	0.315	0.000	0.000	27	2.510	0.000	0.000	37	20.000	0.000	100.000
8	0.063	0.000	0.000	18	0.400	0.000	0.000	28	3.150	0.000	0.000	38	25.100	0.000	100.000
9	0.080	0.000	0.000	19	0.500	0.000	0.000	29	4.000	0.000	0.000	39	31.500	0.000	100.000
10	0.100	0.000	0.000	20	0.630	0.000	0.000	30	5.000	0.000	0.000	40	40.000	0.000	100.000

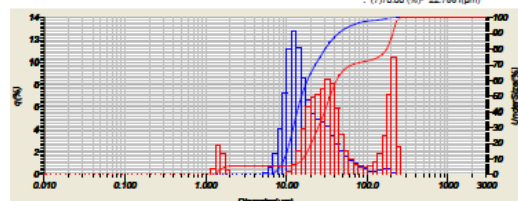
1/1

2018.09.27 18:20:03

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

Sample Name : Caba-Reator B T4
 Material : Fermentado
 Transmittance(R) : 89.9(%)
 Transmittance(B) : 89.7(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solae[Lodo(1.440 - 0.100)/Water 1.

Median Size : 15.34890(µm)
 Mean Size : 23.89620(µm)
 Std Dev : 25.3277(µm)
 Geo.Mean Size : 18.2462(µm)
 Geo.Std Dev : 1.9107(µm)
 Mode Size : 12.3783(µm)
 Diameter on Cumulative % : (110.00 (%)> 9.3748(µm)
 (200.00 (%)> 10.8597(µm)
 (300.00 (%)> 12.1660(µm)
 (400.00 (%)> 13.5658(µm)
 (500.00 (%)> 15.3489(µm)
 (600.00 (%)> 18.1373(µm)
 (700.00 (%)> 22.7861(µm)



n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)	n	Diameter	n(%)	UnderSize(%)
1	0.010	0.000	0.000	11	0.080	0.000	0.000	21	0.630	0.000	0.000	31	5.000	0.000	100.000
2	0.015	0.000	0.000	12	0.100	0.000	0.000	22	0.800	0.000	0.000	32	6.300	0.000	100.000
3	0.020	0.000	0.000	13	0.125	0.000	0.000	23	1.000	0.000	0.000	33	8.000	0.000	100.000
4	0.025	0.000	0.000	14	0.160	0.000	0.000	24	1.250	0.000	0.000	34	10.000	0.000	100.000
5	0.030	0.000	0.000	15	0.200	0.000	0.000	25	1.600	0.000	0.000	35	12.500	0.000	100.000
6	0.040	0.000	0.000	16	0.250	0.000	0.000	26	2.000	0.000	0.000	36	16.000	0.000	100.000
7	0.050	0.000	0.000	17	0.315	0.000	0.000	27	2.510	0.000	0.000	37	20.000	0.000	100.000
8	0.063	0.000	0.000	18	0.400	0.000	0.000	28	3.150	0.000	0.000	38	25.100	0.000	100.000
9	0.080	0.000	0.000	19	0.500	0.000	0.000	29	4.000	0.000	0.000	39	31.500	0.000	100.000
10	0.100	0.000	0.000	20	0.630	0.000	0.000	30	5.000	0.000	0.000	40	40.000	0.000	100.000

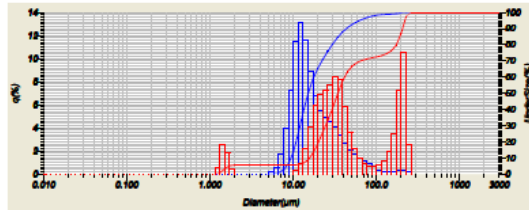
1/1

HORIBA Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950

2016.09.27 16:00:00

Sample Name : Cella-Reator A T6
 Material : Fermentado
 Transmittance(R) : 90.8(%)
 Circulation Speed : 3
 Agitation Speed : 3
 Ultra Sonic : OFF
 Refractive Index (R) : Lodo Solos(Lodo: 1.440 - 0.100)/Water: 1.

Median Size : 15.20972(μm)
 Mean Size : 23.51385(μm)
 Std Dev : 25.2559(μm)
 Geo Mean Size : 18.5845(μm)
 Geo Std Dev : 1.8993(μm)
 Mode Size : 12.9915(μm)
 Diameter on Cumulative % :
 : (110.00 (%)- 9.4361(μm)
 : (200.00 (%)- 10.8945(μm)
 : (300.00 (%)- 12.1736(μm)
 : (400.00 (%)- 13.5290(μm)
 : (500.00 (%)- 15.2097(μm)
 : (600.00 (%)- 17.8226(μm)
 : (700.00 (%)- 22.2536(μm)



No.	Diameter(μm)	Area	Under Size(μm)	No.	Diameter(μm)	Area	Under Size(μm)	No.	Diameter(μm)	Area	Under Size(μm)
1	0.011	0.000	0.000	81	10.000	0.000	87.913	82	100.000	0.000	100.000
2	0.013	0.000	0.000	83	11.000	0.000	88.401	84	1000.000	0.000	100.000
3	0.015	0.000	0.000	85	12.000	0.000	88.890	86	10000.000	0.000	100.000
4	0.017	0.000	0.000	87	13.000	0.000	89.379	88	100000.000	0.000	100.000
5	0.019	0.000	0.000	89	14.000	0.000	89.868	90	1000000.000	0.000	100.000
6	0.021	0.000	0.000	91	15.000	0.000	90.357	92	10000000.000	0.000	100.000
7	0.023	0.000	0.000	93	16.000	0.000	90.846	94	100000000.000	0.000	100.000
8	0.025	0.000	0.000	95	17.000	0.000	91.335	96	1000000000.000	0.000	100.000
9	0.027	0.000	0.000	97	18.000	0.000	91.824	98	10000000000.000	0.000	100.000
10	0.029	0.000	0.000	99	19.000	0.000	92.313	100	100000000000.000	0.000	100.000
11	0.031	0.000	0.000	101	20.000	0.000	92.802	102	1000000000000.000	0.000	100.000
12	0.033	0.000	0.000	103	21.000	0.000	93.291	104	10000000000000.000	0.000	100.000
13	0.035	0.000	0.000	105	22.000	0.000	93.780	106	100000000000000.000	0.000	100.000
14	0.037	0.000	0.000	107	23.000	0.000	94.269	108	1000000000000000.000	0.000	100.000
15	0.039	0.000	0.000	109	24.000	0.000	94.758	110	10000000000000000.000	0.000	100.000
16	0.041	0.000	0.000	111	25.000	0.000	95.247	112	100000000000000000.000	0.000	100.000
17	0.043	0.000	0.000	113	26.000	0.000	95.736	114	1000000000000000000.000	0.000	100.000
18	0.045	0.000	0.000	115	27.000	0.000	96.225	116	10000000000000000000.000	0.000	100.000
19	0.047	0.000	0.000	117	28.000	0.000	96.714	118	100000000000000000000.000	0.000	100.000
20	0.049	0.000	0.000	119	29.000	0.000	97.203	120	1000000000000000000000.000	0.000	100.000
21	0.051	0.000	0.000	121	30.000	0.000	97.692	122	10000000000000000000000.000	0.000	100.000
22	0.053	0.000	0.000	123	31.000	0.000	98.181	124	100000000000000000000000.000	0.000	100.000
23	0.055	0.000	0.000	125	32.000	0.000	98.670	126	1000000000000000000000000.000	0.000	100.000
24	0.057	0.000	0.000	127	33.000	0.000	99.159	128	10000000000000000000000000.000	0.000	100.000
25	0.059	0.000	0.000	129	34.000	0.000	99.648	130	100000000000000000000000000.000	0.000	100.000
26	0.061	0.000	0.000	131	35.000	0.000	100.137	132	1000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
27	0.063	0.000	0.000	133	36.000	0.000	100.626	134	10000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
28	0.065	0.000	0.000	135	37.000	0.000	101.115	136	100000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
29	0.067	0.000	0.000	137	38.000	0.000	101.604	138	1000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
30	0.069	0.000	0.000	139	39.000	0.000	102.093	140	10000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
31	0.071	0.000	0.000	141	40.000	0.000	102.582	142	100000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
32	0.073	0.000	0.000	143	41.000	0.000	103.071	144	1000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
33	0.075	0.000	0.000	145	42.000	0.000	103.560	146	10000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
34	0.077	0.000	0.000	147	43.000	0.000	104.049	148	100000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
35	0.079	0.000	0.000	149	44.000	0.000	104.538	150	1000000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
36	0.081	0.000	0.000	151	45.000	0.000	105.027	152	10000000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
37	0.083	0.000	0.000	153	46.000	0.000	105.516	154	100000000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
38	0.085	0.000	0.000	155	47.000	0.000	106.005	156	1000000000000000000000000000000000000000.000	0.000	100.000
39	0.087	0.000	0.000	157	48.000	0.000	106.494	158	100.000	0.000	100.000
40	0.089	0.000	0.000	159	49.000	0.000	106.983	160	1000.000	0.000	100.000
41	0.091	0.000	0.000	161	50.000	0.000	107.472	162	100.000	0.000	100.000
42	0.093	0.000	0.000	163	51.000	0.000	107.961	164	1000.000	0.000	100.000
43	0.095	0.000	0.000	165	52.000	0.000	108.450	166	100.000	0.000	100.000
44	0.097	0.000	0.000	167	53.000	0.000	108.939	168	1000.000	0.000	100.000
45	0.099	0.000	0.000	169	54.000	0.000	109.428	170	100.000	0.000	100.000
46	0.101	0.000	0.000	171	55.000	0.000	109.917	172	1000.000	0.000	100.000
47	0.103	0.000	0.000	173	56.000	0.000	110.406	174	100.000	0.000	100.000
48	0.105	0.000	0.000	175	57.000	0.000	110.895	176	1000.000	0.000	100.000
49	0.107	0.000	0.000	177	58.000	0.000	111.384	178	100.000	0.000	100.000
50	0.109	0.000	0.000	179	59.000	0.000	111.873	180	1000.000	0.000	100.000
51	0.111	0.000	0.000	181	60.000	0.000	112.362	182	100.000	0.000	100.000
52	0.113	0.000	0.000	183	61.000	0.000	112.851	184	1000.000	0.000	100.000
53	0.115	0.000	0.000	185	62.000	0.000	113.340	186	100.000	0.000	100.000
54	0.117	0.000	0.000	187	63.000	0.000	113.829	188	1000.000	0.000	100.000
55	0.119	0.000	0.000	189	64.000	0.000	114.318	190	100.000	0.000	100.000
56	0.121	0.000	0.000	191	65.000	0.000	114.807	192	1000.000	0.000	100.000
57	0.123	0.000	0.000	193	66.000	0.000	115.296	194	100.000	0.000	100.000
58	0.125	0.000	0.000	195	67.000	0.000	115.785	196	1000.000	0.000	100.000
59	0.127	0.000	0.000	197	68.000	0.000	116.274	198	100.000	0.000	100.000
60	0.129	0.000	0.000	199	69.000	0.000	116.763	200	1000.000	0.000	100.000
61	0.131	0.000	0.000	201	70.000	0.000	117.252	202	100.000	0.000	100.000
62	0.133	0.000	0.000	203	71.000	0.000	117.741	204	1000.000	0.000	100.000
63	0.135	0.000	0.000	205	72.000	0.000	118.230	206	100.000	0.000	100.000
64	0.137	0.000	0.000	207	73.000	0.000	118.719	208	1000.000	0.000	100.000
65	0.139	0.000	0.000	209	74.000	0.000	119.208	210	100.000	0.000	100.000
66	0.141	0.000	0.000	211	75.000	0.000	119.697	212	1000.000	0.000	100.000
67	0.143	0.000	0.000	213	76.000	0.000	120.186	214	100.000	0.000	100.000
68	0.145	0.000	0.000	215	77.000	0.000	120.675	216	1000.000	0.000	100.000
69	0.147	0.000	0.000	217	78.000	0.000	121.164	218	100.000	0.000	100.000
70	0.149	0.000	0.000	219	79.000	0.000	121.653	220	1000.000	0.000	100.000
71	0.151	0.000	0.000	221	80.000	0.000	122.142	222	100.000	0.000	100.000
72	0.153	0.000	0.000	223	81.000	0.000	122.631	224	1000.000	0.000	100.000
73	0.155	0.000	0.00	225	82.000	0.000	123.120	226	100.000	0.000	100.000
74	0.157	0.000	0.000	227	83.000	0.000	123.609	228	1000.000	0.000	100.000
75	0.159	0.000	0.000	229	84.000	0.000	124.098	230	100.000	0.000	100.000
76	0.161	0.000	0.000	231	85.000	0.000	124.587	232	1000.000	0.000	100.000
77	0.163	0.000	0.000	233	86.000	0.000					