

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENAN YUDJI HIGASHI

**TRATAMENTO DE LIXIVIADO COM REMOÇÃO DO NITROGÊNIO E
MATÉRIA ORGÂNICA VIA PROCESSO BIOLÓGICO DE LEITO FIXO E
AERAÇÃO INTERMITENTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

RENAN YUDJI HIGASHI

**TRATAMENTO DE LIXIVIADO COM REMOÇÃO DO NITROGÊNIO E
MATÉRIA ORGÂNICA VIA PROCESSO BIOLÓGICO DE LEITO FIXO E
AERAÇÃO INTERMITENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. MSc. Bruno de Oliveira Freitas

LONDRINA

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Tratamento de Lixiviado com remoção do Nitrogênio e Matéria Orgânica via
processo biológico de leito fixo e aeração intermitente

por

Renan Yudji Higashi

Monografia apresentada no dia 18 de novembro de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Profa. MSc. Bruno de Oliveira Freitas
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me proporcionar momentos de muita aprendizagem e por sempre iluminar meus caminhos.

Agradeço aos meus pais e minha irmã, Alice, Nelson e Susan, que sem a orientação e a educação deles nada disso seria possível. Agradeço também a minha namorada Beatriz Junko Murakami por ser uma companheira excepcional.

Não posso deixar de agradecer ao amigo Felipe Calsavara por me ensinar cada procedimento nas análises laboratoriais, ao meu importante amigo George Mitsuo Yada Junior por toda ajuda nas correções e dicas que precisei para realizar uma boa apresentação.

E ao meu grande orientador professor MSc. Bruno de Oliveira Freitas, que proporcionou um aprendizado importante para minha carreira profissional, principalmente pela paciência e dedicação em explicar cada detalhe do experimento.

RESUMO

HIGASHI, Renan Y. Tratamento de Lixiviado com remoção do Nitrogênio e Matéria Orgânica via processo biológico de leito fixo e aeração intermitente. 2015. 53p. Trabalho de Graduação (TCC). Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

A disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil oferece risco ambiental em virtude da produção de gás e, principalmente, de lixiviado, visto que este efluente tem grande capacidade poluidora dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o tratamento do lixiviado pois é um efluente líquido poluente devido as altas concentrações de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica. Para o estudo foi montado um reator em bateladas sequenciais com biomassa suspensa e aderida em biobobs, o reator funcionou com aeração intermitente, volume de operação de 20L, volume de alimentação de 5L de lixiviado bruto e relação de troca de 25 %. O sistema de tratamento teve um ciclo de 24h dividido em quatro etapas: a alimentação, a aeração (intermitente), a agitação (intermitente), e o descarte. Tanto o tempo de aeração quanto o de agitação era de 3 horas de forma alternada. Os resultados obtidos indicaram uma eficiência inferior a 15% para remoção de nitrogênio amoniacal. Com relação a matéria orgânica, obteve-se remoção média de 28,6% medido como DQO.

Palavras-chave: Lixiviado de aterro sanitário. Nitrogênio amoniacal. Nitrificação.

ABSTRACT

HIGASHI, Renan Y. Nitrogen removal of leachate via biological process. 2015. 53p. Trabalho de Graduação (TCC). Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

The final disposal of municipal solid waste in Brazil offers environmental risk due to gas production and, especially, leachate, since this effluent is polluting large capacity of water resources. The objective of this study was to evaluate the treatment of the leachate as it is a pollutant effluent due to high concentrations of ammonia nitrogen and organic matter. For the study was set up a sequencing batch reactor with suspended biomass and stuck in biobobs, reactor operated with intermittent aeration, operating volume of 20L, 5L supply volume of raw leachate and 25% exchange ratio. The treatment system had a 24-hour cycle divided into four stages: feeding, aeration (flashing), agitation (flashing), and disposal. Both the aeration time as the agitation was 3 hours alternately. The results indicated a lower efficiency to 15% for removal of ammonia nitrogen. With respect to organic matter removal gave an average of 28.6% measured as QOD.

Keywords: leachate from landfill. Ammonia nitrogen. Nitrification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos principais produtos gerados pelos aterros sanitários	14
Figura 2: Tipo de crescimento da Biomassa (A) Crescimento Aderido e (B) Crescimento Disperso.	22
Figura 3: Localização da Central de Tratamento de Resíduos de Londrina-PR.....	24
Figura 4: Localização das Lagoas de estabilização da CTR de Londrina-PR.....	25
Figura 5: Câmpus da UTFPR-Londrina.	26
Figura 6: Laboratório de Saneamento da UTFPR-Londrina.	26
Figura 7: Esquema de funcionamento do reator biológico.	27
Figura 8: Painel de controle e automação.	28
Figura 9: Recipiente adjacente de alimentação do reator.	29
Figura 10: Aerador de aquário - BIG AIR Super PUMP A420.	30
Figura 11: Agitador Mecânico - SPENCER.	31
Figura 12: Esquema do aparato experimental.....	32
Figura 13: Sistema real do Reator Biológico.	33
Figura 14: Material suporte utilizado no experimento.....	34
Figura 15: Meio suporte utilizado no experimento.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Concentração de remoção da DQO do Lixiviado Bruto e Tratado.....	38
Gráfico 2: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal presentes no Lixiviado Bruto e Tratado.....	40
Gráfico 3: Valores de pH do Lixiviado Bruto e Tratado durante o funcionamento do reator.....	42
Gráfico 4: Alcalinidade Total do Lixiviado Bruto e Tratado do sistema biológico.....	43
Gráfico 5: Variação da massa de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis aderidos ao meio suporte.....	45
Gráfico 6: Variação da concentração de Nitrato presente no Lixiviado Tratado.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração dos parâmetros do lixiviado de aterro sanitário	15
Tabela 2. Demanda Química de Oxigênio (DQO) presente no lixiviado bruto de aterro sanitário e a eficiência de remoção de diferentes estudos	18
Tabela 3. Os 3 estágios do Biofilme.	23
Tabela 4. Parâmetros analisados no Lixiviado de aterro sanitário	35
Tabela 5. Caracterização do Lixiviado do aterro sanitário da cidade de Londrina-PR. ...	36
Tabela 6. Análise da DQO do Lixiviado de Aterro Sanitário Bruto e Tratado.	37
Tabela 7. Nitrogênio Amoniacal presente no Lixiviado Bruto e Tratado.	39
Tabela 8. Análise de pH realizada durante o experimento.	41
Tabela 9. Resumo das análises de alcalinidade.	42
Tabela 10. Sólidos aderidos ao meio suporte.	44
Tabela 11. Concentração de nitrato presente no Lixiviado Tratado	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 GERAL	12
2.2 ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 ATERRO SANITÁRIO	13
3.2 LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO.....	14
3.3 MATÉRIA ORGÂNICA.....	17
3.4 NITROGÊNIO AMONÍACAL.....	19
3.5 REMOÇÃO DO NITROGÊNIO AMONÍACAL POR PROCESSO BIOLÓGICO	20
3.6 NITRIFICAÇÃO.....	20
3.7 DESNITRIFICAÇÃO.....	21
3.8 SUSTENTAÇÃO DA BIOMASSA E OS TIPOS DE CRESCIMENTO	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 LOCAL DA COLETA.....	24
4.2 LOCAL DO EXPERIMENTO	25
4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA/FUNIONAMENTO DO REATOR.....	27
4.4 IMOBILIZAÇÃO DOS MICROORGANISMOS NO MEIO SUPORTE	34
4.5 ANÁLISES DO EXPERIMENTO	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS (CTR) DE LONDRINA	36
5.2 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	37
5.3 NITROGÊNIO AMONÍACAL.....	39
5.4 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	41
5.5 ALCALINIDADE TOTAL DO LIXIVIADO BRUTO E TRATADO	42
5.6 SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS VOLÁTEIS ADERIDOS AO MEIO SUPORTE.....	44
5.7 NITRATO	46
6 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos gerados pelos seres humanos de forma incorreta causa, há muitos anos, sérios problemas ambientais, tais como a degradação, a poluição e a contaminação dos corpos hídricos e do solo. A construção de aterros sanitários é uma alternativa correta e economicamente viável para a disposição de resíduos sólidos, porém este gera o lixiviado que é um subproduto da degradação dos resíduos.

A inadequada disposição do lixiviado dos aterros sanitários pode trazer consequências gravíssimas ao meio ambiente. Os lixiviados de aterros sanitários, geralmente, possuem altas concentrações de amônia e matéria orgânica, necessitando de tratamento (CONTRERA, 2006).

O tratamento do lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos devido ao nitrogênio presente no efluente tem interessado os pesquisadores da área de engenharia ambiental e sanitária, devido aos problemas ambientais que este pode provocar por sua concentração elevada (SILVA, 2009).

De acordo com Luzia (2005) o lixiviado gerado nos aterros sanitários é rico em nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise e fermentação das frações nitrogenadas da matéria orgânica biodegradável. Desse modo, a preocupação com o lixiviado e o seu lançamento nos corpos receptores, sem o tratamento adequado, pode resultar na poluição dos ecossistemas aquáticos.

A remoção do nitrogênio amoniacal do lixiviado dos aterros sanitários pode ser realizado por meio de processos biológicos, físico-químicos, ou combinações de ambos (FAZZIO, 2014). A nitrificação e desnitrificação biológica são alternativas para remover o nitrogênio. Neste procedimento, a amônia é oxidada até o nitrato em ambiente aeróbio, posteriormente o nitrato é reduzido para o nitrogênio gasoso pela ação de microrganismos heterotróficos, os quais utilizam matéria orgânica interna ou externa ao sistema.

Desta forma, devido a geração de lixiviado de aterros sanitários e da capacidade de poluição do despejo torna-se importante avaliar o tratamento do lixiviado para remoção do nitrogênio amoniacal e da matéria orgânica. Para isso, montou-se um

sistema de tratamento biológico com um reator em bateladas sequenciais com aeração e agitação intermitente para desenvolver a nitrificação e desnitrificação.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal e da matéria orgânica do lixiviado de aterro sanitário via processo biológico de leito fixo e aeração intermitente.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a quantidade de sólidos aderidos no meio suporte;
- Avaliar a remoção de Matéria Orgânica por meio da Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Avaliar a conversão do nitrogênio sob o efeito de tempo do ciclo de aeração e agitação;
- Verificar as alterações da Alcalinidade presente no lixiviado bruto e tratado devido os processos de nitrificação/desnitrificação;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aterro Sanitário

De acordo com a Associação Brasileira de Normas e Técnicas NBR 8419/1992 (ABNT, 1992) o termo aterro sanitário define-se como uma “técnica de distribuição dos resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”.

Segundo Roehrs (2007), em algumas localidades ainda é utilizado o lixão como forma de disposição de resíduos, cerca 63,6% dos municípios brasileiros ainda utilizam o lixão. Entretanto, outras localidades evoluíram e passaram a ter os aterros sanitários, que são locais apropriados para a destinação correta dos resíduos e minimização dos impactos ambientais.

Os aterros sanitários são separados por células de armazenamento dos resíduos depositados. Mas para isso funcionar e poder ser construído corretamente, é necessário analisar as características do município e os recursos financeiros investidos no projeto (FERRAZ, 2010).

No âmbito brasileiro esta forma de destinação final é muito utilizada, tanto pelo ponto de vista econômico quanto técnico, na qual minimiza as principais fontes de contaminação originário dos resíduos: os gases e lixiviados (SANTOS, 2011). A Figura 1 ilustra os gases e lixiviados gerados pelo aterro sanitário:

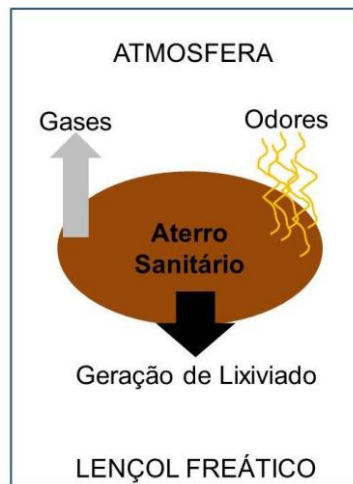


Figura 1: Esquema dos principais produtos gerados pelos aterros sanitários

Fonte: Santos (2011) Adaptado.

3.2 Lixiviado de aterro sanitário

O lixiviado de aterro sanitário é uma matriz aquosa de extrema complexidade, líquido escuro, de odor desagradável produzido pela decomposição físico-química e biológica dos resíduos depositados em um aterro, que arrasta os produtos da degradação pela água da chuva e pela umidade contida nos resíduos (BAYRAM, 2012).

De acordo com Silva (2009), o lixiviado pode ter outras denominações, como: sumeiro, chumeiro, chorume, percolado, entre outras.

O líquido proveniente da decomposição dos resíduos, somado a umidade destes e ligado com a precipitação pluviométrica, que percola e infiltra a massa dos resíduos aterrados, formam o lixiviado (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Santos (2011), os fatores que influenciam a produção deste líquido são separados em 3 partes:

- Características hidrológicas: pluviometria, infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e temperatura;
- Características do resíduo depositado: composição, densidade e umidade;

- Características em relação ao tipo de operação: permeabilidade do aterro, idade e profundidade do aterro.

De acordo com Junior (2008), a quantidade de lixiviado gerado pode ser determinada por meio do balanço hídrico do aterro, o qual corresponde na diferença entre a quantidade de água que entra e que sai do aterro. Basicamente, a água que entra é devido as precipitações e as que deixa o aterro, com lixiviado gerado, corresponde na quantidade de água excedente à capacidade de retenção de umidade da massa aterrada.

Nas partes rasas dos materiais descartados pode acontecer uma rápida decomposição aeróbica enquanto no corpo do resíduo ocorre a decomposição parcial em condições anaeróbicas. Desse modo, o lixiviado de aterro sanitário é resultado do produto de dois processos: da biodegradação predominantemente anaeróbica e da matéria orgânica com a solubilização de componentes orgânicos e inorgânicos (CANO, 2014).

De acordo com Freitas (2009) as características dos lixiviados de aterro sanitário são representadas usualmente pelos seguintes quesitos: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Suspensos (SS), relação DBO/DQO, Nitrogênio na forma de amônia (N-NH₃), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e metais pesados. Na Tabela 1 pode-se observar os parâmetros de Nitrogênio em forma de amônia, DQO e pH de pesquisas realizadas na área:

Tabela 1. Concentração dos parâmetros do lixiviado de aterro sanitário

Referências	NH ₄ ⁺	DQO	pH
	mgNH ₄ ⁺ /L	mgO ₂ /L	
LIANG et al. (2007)	1600 – 3100	1500 – 16000	8,0 – 9,0
BOHDZIEWICZ et al. (2008)	750 – 840	2800 – 5000	8,0 – 8,9
KULIKOWSKA et al. (2008)	66 – 364	580 – 1821	7,29 – 8,61
SPAGNI et al. (2008)	167 – 1540	528 – 3060	7,55 – 8,90
SPAGNI et al. (2009)	933 – 1406	1769 – 2623	7,93 – 8,23
MONCLUS et al. (2009)	535 - 1489	810 - 2960	-

Fonte: Bayram (2012) Adaptado.

De acordo com Santos (2011), a fase de estabilização do material orgânico pode ser dividida em 5 fases:

- Fase 1 – Ajuste Inicial: descarte e compactação dos resíduos nas células do aterro sanitário geram um acúmulo de umidade e aprisionamento de ar. Devido ao revestimento dos resíduos na célula o ar enclausurado, que possui oxigênio, desencadeia um processo de decomposição aeróbica dos componentes biodegradáveis dos resíduos com a duração aproximada de um mês;
- Fase 2 – Transição: mudança da decomposição aeróbica para a anaeróbica, pois a quantidade de oxigênio no resíduo diminui. Inicia-se um procedimento com condições redutoras na mudança dos aceptores de elétrons de oxigênio para nitratos e sulfatos, além disso temos a substituição do oxigênio pelo dióxido de carbono. Em consequência deste procedimento, as concentrações de ácidos graxos voláteis e a DQO atingem um valor considerável no final desta fase;
- Fase 3 – Formação de Ácidos: nesta etapa ocorre a hidrólise dos lipídios e polímeros orgânicos em moléculas menores, logo em seguida passe-se para a conversão microbiológica dos componentes orgânicos biodegradáveis que produzem ácidos graxos voláteis com uma taxa elevada. Por outro lado, observa-se a diminuição do pH e o consumo de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em função do crescimento dos microrganismos ligados a produção de ácidos;
- Fase 4 – Fermentação Metanogênica: os ácidos intermediários são consumidos pelos microrganismos e convertidos a metano e dióxido de carbono. O valor do pH e a produção de gases é elevado mas a carga orgânica do lixiviado e o potencial de óxido redução encontram-se em valores baixos. Nesse processo existe a remoção de metais pela complexação e precipitação, um importante consumo de nutrientes e também os sulfatos e nitratos sendo reduzidos a sulfito e amônia, respectivamente;

- Fase 5 – Maturação final: diminuição acentuada na produção de gases, lixiviado com baixa carga orgânica, concentração do substrato e nutrientes atinge um adormecimento e a degradação da matéria orgânica resistente à biodegradação pode ocorrer lentamente com a possibilidade de formação de moléculas e ácidos húmicos.

3.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica está presente nos efluentes, corpos d'água e esgotos é um parâmetro muito importante, sendo o causador do principal problema de poluição das águas, o consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2007).

Segundo Von Sperling (2007), a matéria carbonácea (com base no carbono orgânico) divide-se em uma fração biodegradável e não biodegradável. A composição da matéria orgânica se resume em componentes orgânicos compostos por proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, fenóis, pesticidas, uréia e outros em menor quantidade.

Devido a grande dificuldade na determinação laboratorial dos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias utilizam-se métodos indiretos para a quantificação da matéria orgânica, ou do potencial poluidor. Os dois tipos mais comuns são pela *medição do consumo de oxigênio* através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a *medição do carbono orgânico* através do Carbono Orgânico Total (COT). A DBO e a DQO são os métodos mais utilizados pois retratam de forma indireta o teor de matéria orgânica nas águas residuárias indicando o potencial do consumo de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2007).

De acordo com Bayram (2012), a DQO não é um parâmetro apropriado para medir e avaliar a eficiência de processos de tratamento de lixiviado de aterro sanitário, pois sua complexa composição de substâncias inorgânicas reduzidas podem levar os resultados a falso-positivos em função da oxidação destes compostos através do dicromato de potássio.

Porém, de acordo com os autores pesquisados na Tabela 2 pode ser obtido uma eficiência de remoção significativa da matéria orgânica presente no lixiviado de aterro sanitário.

Tabela 2. Demanda Química de Oxigênio (DQO) presente no lixiviado bruto de aterro sanitário e a eficiência de remoção de diferentes estudos

AUTOR	DQO Média (mg/L)	Eficiência de remoção
ALBUQUERQUE, 2012	4642	82%
LANGE, 2006	2313	61%
BIDONE, 2007	7790	81%
HOSSAKA, 2008	2430	33%

Fonte: Autoria própria.

A metodologia aplicada por Albuquerque (2012) foi através do tratamento por lodos ativados que obteve uma remoção média de 82% de DQO, próximo a este valor de remoção, Bidone (2007) com 81% utilizou um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos. Com relação a Lange (2006), foi aplicado o tratamento por processo oxidativo avançado empregando o reagente de Fenton que removeu 61% da DQO. O tratamento aplicado por Hossaka (2008) foi através do pré-tratamento a remoção parcial de Nitrogênio amoniacal por *Stripping* com 33% de remoção da DQO.

3.4 Nitrogênio Amoniacal

A forma NH_3 é chamada de amônia livre, amônia não ionizada ou amônia molecular. O NH_3 e NH_4^+ , dependem do pH do meio e da temperatura para saber qual é a proporção para cada uma e conseqüentemente o equilíbrio entre elas. A determinação das concentrações de ambas as formas da amônia são realizadas em conjunto pois não há um método que consiga separar as duas formas para uma análise isolada. A soma das duas concentrações recebe o nome de nitrogênio amoniacal (SOUTO, 2009).

Outra forma de nomenclatura para a soma da amônia livre e do íon amônio é o uso da expressão “nitrogênio amoniacal total”, termo adotado na legislação brasileira pela Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005).

Souto (2009) afirma que o nitrogênio orgânico é praticamente convertido, perto de sua totalidade, para nitrogênio amoniacal devido a atividade biológica encontrada na massa do resíduo sólido e no sistema de drenagem do aterro sanitário. Dessa forma, a concentração de nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico depende da idade do aterro sanitário.

A degradação da matéria orgânica contribui para, praticamente, a totalidade da amônia contida no lixiviado. As proteínas são os principais compostos orgânicos nitrogenados que servem como fonte de amônia. Na decomposição biológica, os aminoácidos quebram primeiramente as proteínas e, logo após isso, sofrem uma desaminação (processo de remoção do grupo amino). Desse modo, a amônia é produzida e parte dela é incorporada no crescimento celular e o seu excesso é liberado na forma de íon amônio ou também chamado de amônia ionizada (NH_4^+) (ASLAN, 2008).

Para a amônia livre e o nitrogênio, na forma de íon amônio, também pode ser utilizado as abreviaturas N-NH_3 e N-NH_4^+ , respectivamente. Este tipo de abreviatura também é aplicado para o nitrogênio na forma de nitrito (N-NO_2^-) e na forma de nitrato (N-NO_3^-) (SOUTO, 2009).

3.5 Remoção do nitrogênio amoniacal por processo biológico

A remoção do nitrogênio pelo processo biológico é um procedimento análogo ao que acontece no meio ambiente dentro do ciclo do nitrogênio. A diferença entre eles é que nos sistemas de tratamento de águas residuárias as condições para que ocorra a transformação biológica do nitrogênio em diferentes estados de óxido-redução são controladas (FREITAS, 2009).

A remoção do nitrogênio por processo biológico é separada, basicamente, em duas etapas: a nitrificação em ambiente aeróbio, e posteriormente, a desnitrificação em ambiente anóxico.

3.6 Nitrificação

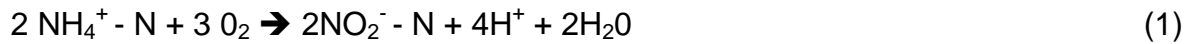
A nitrificação é realizada por bactérias especiais, geralmente *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, em estados naturais onde existam condições aeróbias e a presença de nitrogênio amoniacal (FERREIRA, 2000).

Existem dois grupos distintos de bactérias que realizam a nitrificação, as bactérias que oxidam a amônia, para obter energia pelo processo de catabolização da amônia não-ionizada a nitrito, também chamadas de nitrito bactérias e as chamadas nitrato bactérias que oxidam o nitrito para o nitrato (HAGOPIAN, 1998).

Geralmente, as bactérias do gênero *Nitrossomonas* realizam o procedimento de nitrificação, o qual consiste na transformação do nitrogênio amoniacal à nitrito. Na segunda parte, chamada de nitratação, o nitrito é oxidado a nitrato por bactérias do gênero *Nitrobacter* (TRENNEPOHL, 2009).

De acordo com Von Sperling (1996) a transformação da amônia em nitritos é realizado pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas*, a seguinte reação:

1. Nitritação:



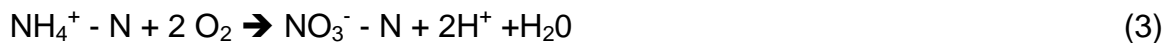
A oxidação dos nitritos a nitratos dá-se principalmente pela atuação das bactérias do tipo *Nitrobacter*, sendo expressa por (VON SPERLING, 1996):

2. Nitratação:



A reação global da nitrificação é a soma das equações (1) e (2):

3. Nitrificação:



3.7 Desnitrificação

O processo de redução do nitrato (NO_3^-) para nitrogênio gasoso (N_2) ou óxidos de Nitrogênio pela ação de microrganismos é chamado de desnitrificação. A desnitrificação biológica ocorre quando a disponibilidade de matéria orgânica biodegradável é utilizada como fonte de carbono para a geração de material celular e elétrons, como fonte de energia (FREITAS, 2009).

Em condições anóxicas, com ausência de oxigênio e presença de nitrato, o nitrato é utilizado por microrganismos heterotróficos como o aceptor de elétron, em substituição do oxigênio livre. O processo de desnitrificação pode ser demonstrado a seguir pela equação (4):

4. Desnitrificação:



Na reação de desnitrificação a matéria orgânica pode ser estabilizada na ausência de oxigênio e o consumo de H^+ implica na economia de alcalinidade e no aumento da capacidade tampão do meio (VON SPERLING, 1996).

3.8 Sustentação da Biomassa e os tipos de crescimento

Para o crescimento e a preservação da biomassa, o tratamento biológico é processado de duas maneiras: o crescimento aderido e o crescimento disperso.

No crescimento aderido a biomassa cresce aderida a um meio suporte formando o biofilme. Têm-se a possibilidade do meio suporte estar em meio líquido, ou receber descargas contínuas ou intermitentes de efluente. O meio suporte pode ser de 3 tipos: artificial (material plástico), sólido natural (pedras, areia, solo) ou biomassa aglomerada (grânulo) (VON SPERLING, 1996).

Diferente do crescimento aderido, no crescimento disperso a biomassa desenvolve de forma dispersa no meio líquido, sem nenhuma estrutura de sustentação. Comumente utilizado para lagoas de estabilização, lodos ativados e reatores anaeróbios de fluxo ascendente (VON SPERLING, 1996).

Os tipos de crescimento da Biomassa podem ser ilustrados de acordo com a Figura 2:

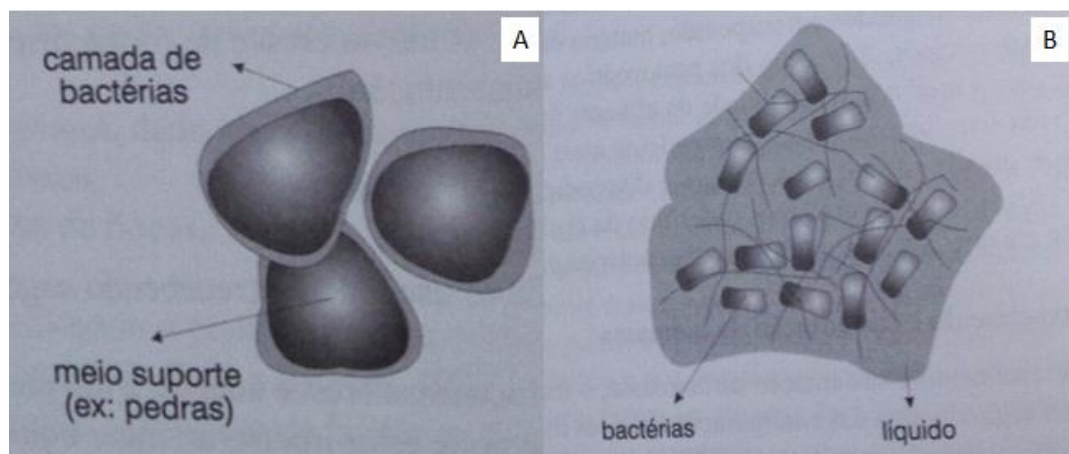


Figura 2: Tipo de crescimento da Biomassa (A) Crescimento Aderido e (B) Crescimento Disperso.

Autor: Von Sperling (1996) Adaptado.

De acordo com Von Sperling (1996) a densidade da biomassa dispersa é próxima ao de um efluente qualquer, o qual move-se na mesma direção e velocidade dentro do reator. Como consequência a biomassa é exposta a mesma quantidade de líquido por um período maior de tempo, desse modo a concentração de substrato na vizinhança da célula é baixa e assim a própria atividade bacteriana e a taxa de remoção do substrato são baixas. Devido a isso, é perceptível a importância da mistura do efluente no reator.

A densidade da biomassa aderida é diferente da densidade do líquido do reator, o qual possibilita uma diferença na velocidade entre a camada externa do biofilme e o líquido. Por conseguinte, as células estão expostas a novos substratos de forma contínua e aumentado a sua atividade. Porém, a espessura do biofilme pode influenciar no consumo do substrato, por exemplo, em camadas mais espessas as partes internas ficam deficientes de substrato diminuindo a atividade e a aderência ao meio suporte, causando um desalojamento da biomassa (VON SPERLING, 1996).

No processo de formação de um biofilme pode ocorrer em 3 estágios, estas três etapas são ligadas à espessura do Biofilme. De acordo com a Tabela 3:

Tabela 3. Os 3 estágios do Biofilme.

Espessura do Biofilme	Características
Fina	Filme fino e não cobre toda a superfície do meio suporte; Crescimento bacteriano em taxa logarítmica; Os microrganismos crescem nas mesmas condições, similar a biomassa dispersa.
Intermediária	Espessura do filme fica maior; Crescimento bacteriano constante; Espessura da camada ativa continua inalterada; Os microrganismos assumem um metabolismo suficiente para manutenção, caso seja limitado a matéria orgânica; A espessura do biofilme diminui caso o suprimento de matéria orgânica seja baixo.
Elevada	Espessura do biofilme é elevado; Crescimento microbiano é contraposto pelo próprio decaimento dos organismos; Partes do biofilme tem a possibilidade de repelir do meio suporte; Pode ocorrer o entupimento do biofiltro caso o biofilme continue a crescer sem ser desalojado.

Fonte: Von Sperling (1996) Adaptado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local da coleta

O lixiviado utilizado na parte experimental do estudo foi proveniente do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Londrina, município brasileiro do Estado do Paraná, localizado ao Norte do Estado. Localizado na PR-218, em uma área rural próxima ao distrito de Maravilha, na região sul, a 25km do centro da cidade e 30km da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Figura 3).



Figura 3: Localização da Central de Tratamento de Resíduos de Londrina-PR

Fonte: Google Maps

O lixiviado foi coletado diretamente do tubo que transporta o efluente para as lagoas de estabilização (Figura 4).



Figura 4: Localização das Lagoas de estabilização da CTR de Londrina-PR

Fonte: Aatoria Própria

4.2 Local do experimento

A fase experimental foi desenvolvida no Laboratório de Saneamento da UTFPR – Câmpus Londrina. Localizado no endereço Estrada dos Pioneiros nº3131, Jardim Morumbi. De acordo com a Figura 5 e 6.



Figura 5: Câmpus da UTFPR-Londrina.

Fonte: Autoria própria.



Figura 6: Laboratório de Saneamento da UTFPR-Londrina.

Fonte: Autoria Própria

4.3 Descrição do sistema/Funcionamento do reator

O tratamento do lixiviado foi realizado em um reator com duas fases: primeira fase de aeração, na qual ocorria o processo de nitrificação e na segunda fase, a desnitrificação, promovida pela agitação sem aeração. O reator foi confeccionado com um volume total de 50L porém o volume útil foi de 20L. O período de um ciclo com duração de 24h foi dividido de acordo com a Figura 7.

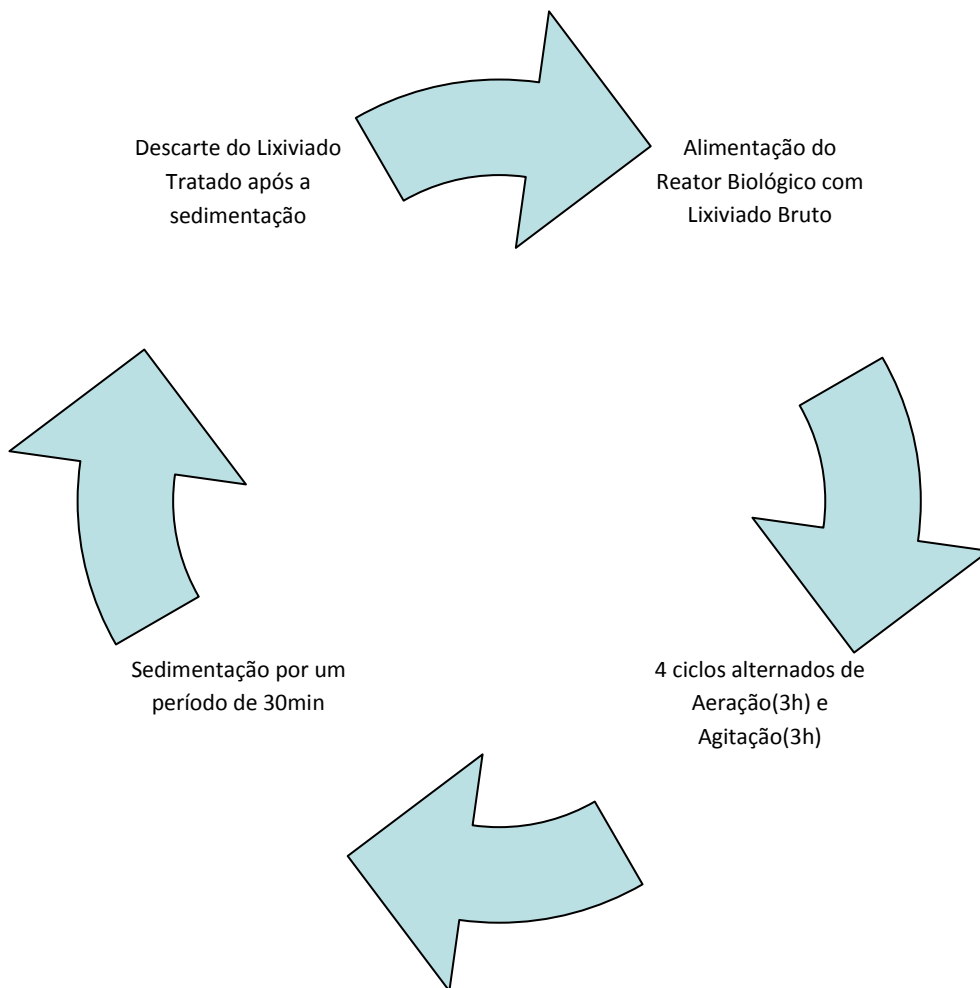


Figura 7: Esquema de funcionamento do reator biológico.

Fonte: Autoria própria.

Foi utilizado um painel de controle e automação para controlar o período de enchimento, aeração, agitação e descarte (Figura 8).

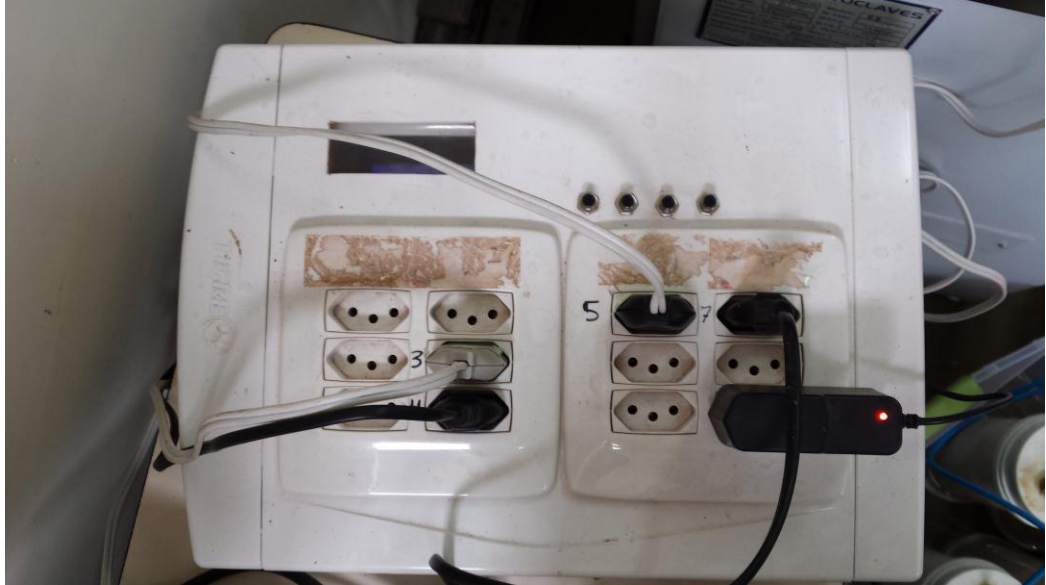


Figura 8: Painel de controle e automação.

Fonte: Autoria própria.

A alimentação do lixiviado bruto foi realizado por despejo manual diário em um recipiente adjacente ao reator (Figura 9). O lixiviado bruto era transferido (5L) para o reator com o auxílio de uma bomba centrífuga ligada ao reator biológico. A alimentação foi feita uma vez por dia.



Figura 9: Recipiente adjacente de alimentação do reator.

Fonte: Autoria própria.

Durante o período de reação aeróbia, a aeração foi efetuada por meio de um compressor de ar, do tipo aerador de aquário da marca Big Air, modelo A420 (Figura 10). Segundo informações do fabricante a vazão máxima do sistema de aeração era de 4,5 L/min. O ar era distribuído através de 3 pedras porosas com um diâmetro de 1,5 cm.



Figura 10: Aerador de aquário - BIG AIR Super PUMP A420.

Fonte: Autoria própria.

Para fase desnitrificante foi utilizado um agitador mecânico da marca Spencer com uma faixa de agitação de 240 a 2400 rpm (Figura 11). O sistema de agitação funcionou alternadamente com a fase de aeração.



Figura 11: Agitador Mecânico - SPENCER.

Fonte: Autoria própria.

Para a proteção da biomassa e evitar o contato do meio suporte com a hélice um tubo de PVC de 100mm com vários orifícios foi instalado no fundo do reator. Para o descarte do lixiviado tratado (5L), foi utilizado uma bomba centrífuga do modelo Robershaw -127 60Hz 34w. Na Figura 12 é demonstrado o esquema de funcionamento do reator e na Figura 13 o sistema real do experimento:

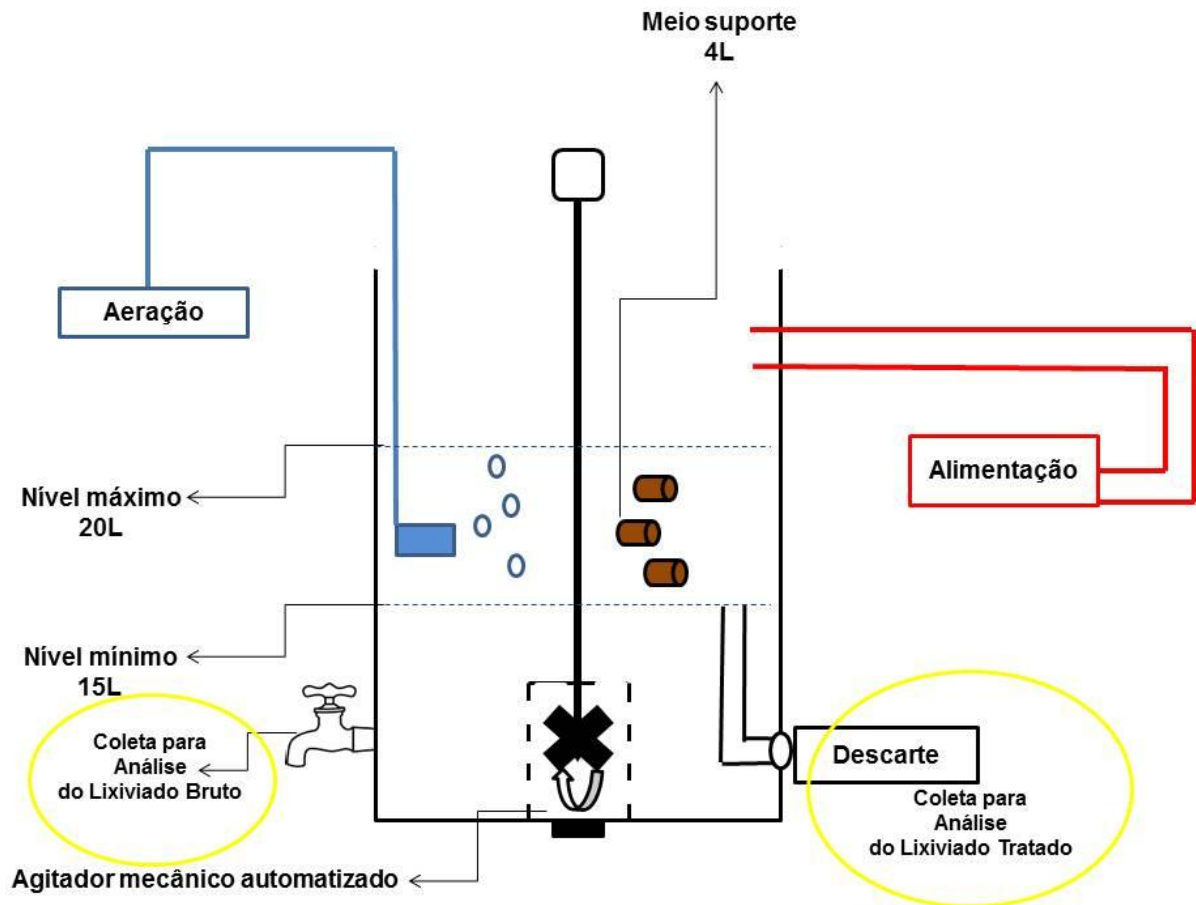


Figura 12: Esquema do aparato experimental

Fonte: Autoria própria.

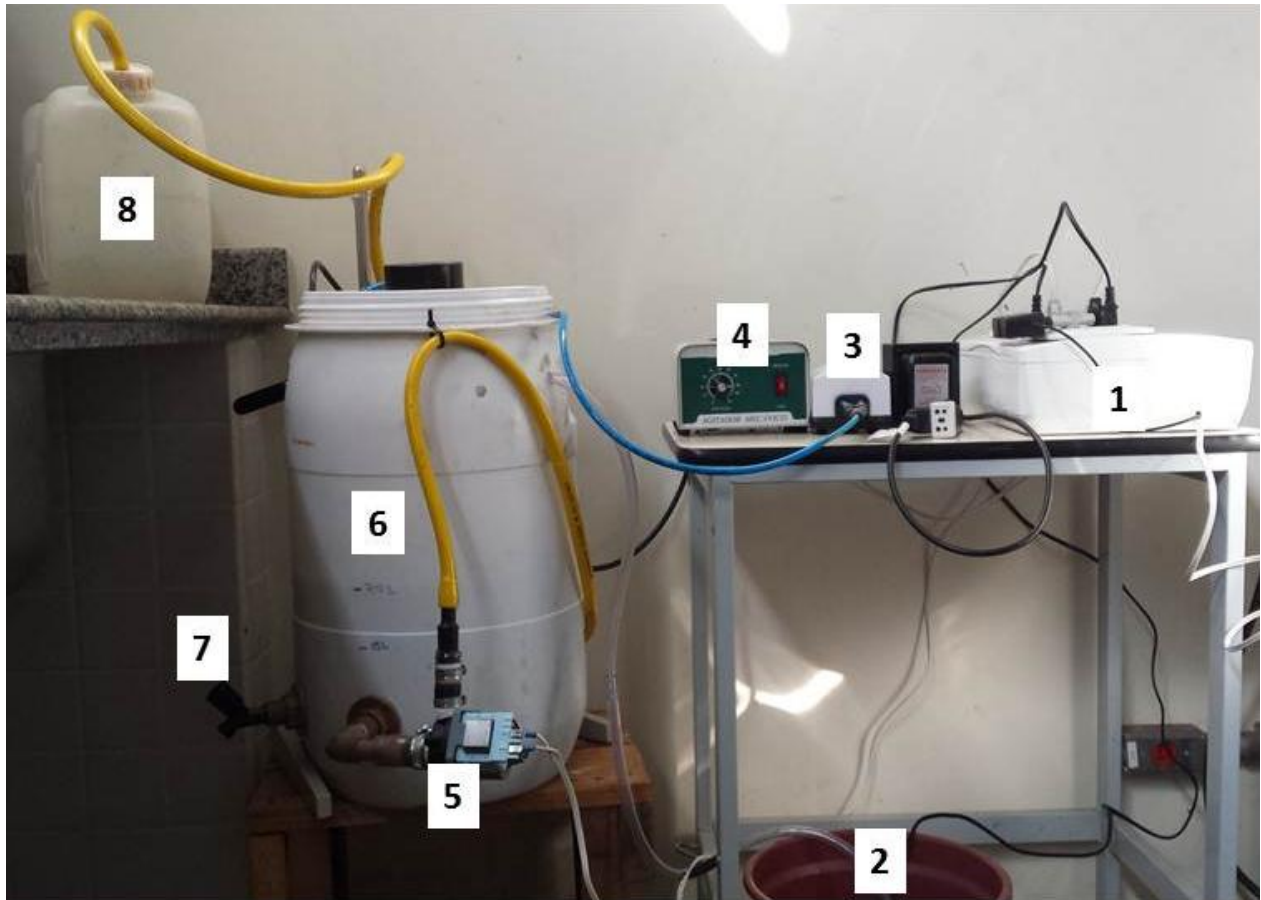


Figura 13: Sistema real do Reator Biológico.

(1) Painel de controle de funcionamento dos equipamentos; (2) Local de despejo manual do lixiviado bruto; (3) Equipamento de aeração; (4) Equipamento de agitação; (5) Bomba mecânica para o descarte do lixiviado tratado; (6) Reator biológico; (7) Torneira de coleta para análise do lixiviado bruto; (8) Recipiente de descarte do lixiviado tratado.

Fonte: Autoria própria.

A operação do sistema se estendeu por 48 dias, iniciando no dia 11 de setembro de 2015 e término no dia 29 de outubro, totalizando 384 ciclos de 3 horas ao qual foram 192 ciclos de aeração e 192 ciclos de agitação.

4.4 Imobilização dos microrganismos no meio suporte

Como meio suporte foi utilizado espumas de poliuretano com 2 cm de largura, 7,5 cm de comprimento e 1cm de espessura. A espuma foi envolta por anéis de polipropileno perfurados (bobs para cabelo cortados em 3 partes) com 2cm de altura e 3 cm de diâmetro (Figura 14).

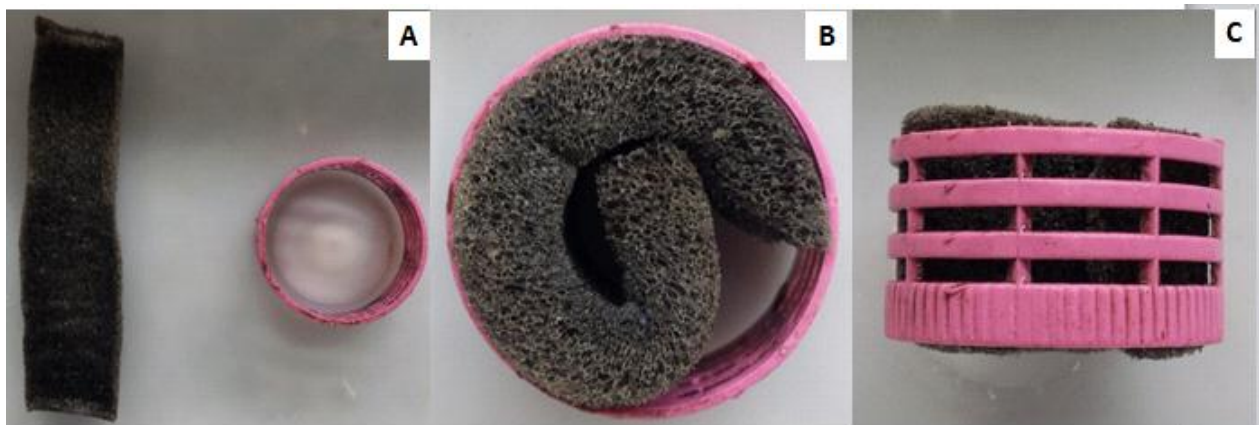


Figura 14: Material suporte utilizado no experimento.

(A) Anel de propileno e espuma de poliuretano, (B) Visão superior do material suporte, (C) Visão lateral.

Fonte: Nakagawa (2013) Adaptado.

Foi introduzido 4L de meio suporte o qual foi utilizado para a imobilização da biomassa (Figura 15). Para inocular o sistema efetuou-se a introdução de 11L do Lodo do sistema de recirculação do lodo ativado proveniente da empresa CONFEPAR.



Figura 15: Meio suporte utilizado no experimento.

Fonte: Aatoria própria.

4.5 Análises do experimento

Os parâmetros foram medidos em duas etapas: na alimentação, com o lixiviado bruto e no descarte com o lixiviado tratado. A metodologia para monitoramento dos parâmetros atenderam as especificações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) e do Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial da Escola Politécnica da USP-SP (2004). Os parâmetros que foram analisados são os seguintes:

Tabela 4. Parâmetros analisados no Lixiviado de aterro sanitário

Parâmetro analisado	Método utilizado
pH	4500-H+B
Alcalinidade	2320B
Nitrogênio Amoniacal	4500-NH ₃ B/C
Nitrogênio Total Kjeldah	4500 – N _{org} / 4500-NH ₃ C
Nitrato	4500-NO ₃ -B
Demanda Química de Oxigênio	5220A
Sólidos Totais e Sólidos Voláteis	2540 D/2540 E

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características do Lixiviado do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Londrina

Ao longo do experimento foram realizados 4 coletas do lixiviado, sendo as características do lixiviado bruto apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização do Lixiviado do aterro sanitário da cidade de Londrina-PR.

Parâmetros	1°Coleta	2°Coleta	3°Coleta	4°Coleta	Média
pH	8,14	8,12	8,15	8,32	8,18
DQO (mg/L)	11657	11283	12779	18016	13434
Sólidos Totais (g/L)	19,93	14,34	19,78	14,11	17,04
Sólidos Totais Voláteis (g/L)	7,00	7,48	6,19	6,10	6,69
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1467	1131	1356	1154	1277

Conforme a Tabela 5, as características do lixiviado do aterro sanitário de Londrina indicam seu elevado potencial poluidor, devido as elevadas concentrações de matéria orgânica em termos da DQO e Nitrogênio Amoniacal. Segundo Albuquerque (2012) a elevada concentração de Nitrogênio Amoniacal presente no lixiviado é apontado como um poluente que pode causar efeitos tóxicos e a inibição da degradação por atividade biológica.

Para o conjunto de amostras coletadas do lixiviado, têm-se a concentração da DQO variou de 11283 mg/L a 18016 mg/L. Sua concentração de amônia foi muito elevada, variando de 1131 mg/L a 1467 mg/L.

5.2 Eficiência de remoção de matéria orgânica

Na Tabela 6 pode-se observar a elevada quantidade da DQO no Lixiviado Bruto. Porém, após o tratamento do sistema biológico houve a remoção para todos os ensaios realizados.

Tabela 6. Análise da DQO do Lixiviado de Aterro Sanitário Bruto e Tratado.

DQO			
ENSAIO	BRUTO mg/L	TRATADO mg/L	REMOÇÃO %
1	4051	2181	46,17
2	3303	2555	22,65
3	435	311	28,65
4	3054	186	93,91
5	12156	11532	5,13
6	14151	13153	7,05
7	14151	12779	9,69
8	14275	13527	5,24
9	14649	13652	6,81
MÉDIA	13340	9807	28,60

As concentrações do Lixiviado Bruto foram em média de 13340 mg/L e o Lixiviado Tratado foi de 9807 mg/L. Dessa forma, remoção média da DQO foi de 28,6%, ao qual o ensaio 4 obteve a maior eficiência de remoção 93,9% e o ensaio 5 com a menor eficiência de 5,1%.

Entre os ensaios 4 e 5 ao qual obteve-se a maior eficiência e a menor eficiência de remoção da DQO, respectivamente, o que pode estar ligado a proporção de Lodo ativado e de Lixiviado presente no reator ter mudado pois a quantidade de Lodo presente no começo do experimento era duas vezes maior que a quantidade de lixiviado bruto. Após o período de uma semana de funcionamento do reator e mistura

dos dois líquidos, a proporção mudou e o lixiviado tornou-se predominante no reator biológico.

Pode-se observar que a eficiência de remoção variou significativamente em cada ensaio, isso pode estar associado as diferentes concentrações de matéria orgânica recalcitrante, de difícil degradação biológica presente no lixiviado bruto. Outro fator que pode estar associado as menores eficiências de remoção é a baixa concentração de matéria orgânica solúvel no lixiviado.

Como pode ser observado no Gráfico 1, o reator biológico removeu a DQO do Lixiviado desde o início da operação até o final do período de monitoramento.

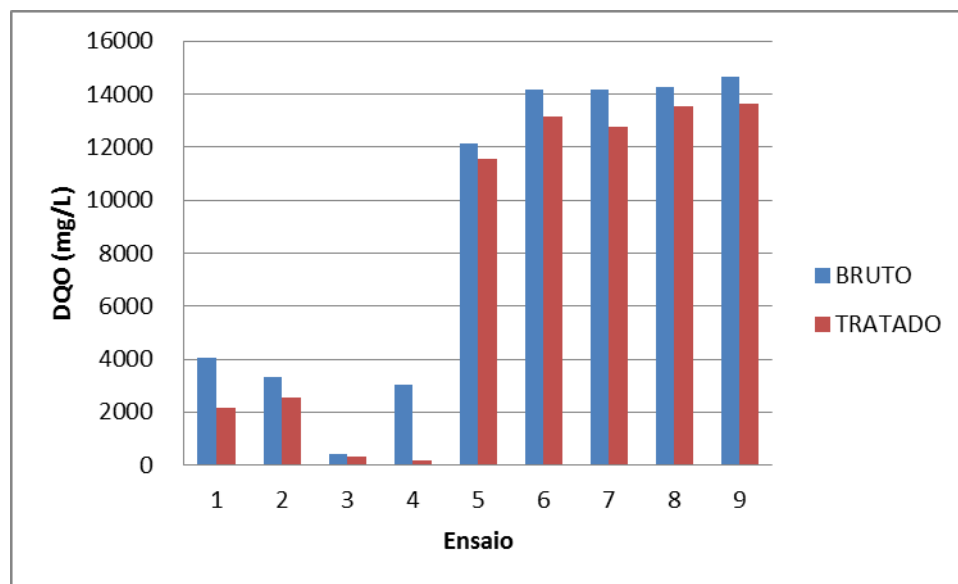


Gráfico 1: Concentração de remoção da DQO do Lixiviado Bruto e Tratado.

De acordo com Bidone (2007), que estudou o tratamento de lixiviado por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos, a eficiência dos dois filtros anaeróbios foi instável e tiveram uma remoção média da DQO de 17% e 24%. O que pode ter causado a baixa eficiência encontrada pelo autor e neste trabalho seria o desprendimento da biomassa ativa.

Segundo Albuquerque (2012), que estudou o tratamento de lixiviado através de sistemas de lodos ativados, demonstrou que a proporção de lixiviado colocada no reator influencia na eficiência do tratamento. Com a proporção de 2% de lixiviado

introduzido no reator a remoção média foi de 60%, porém com uma proporção de 5% observou-se que a eficiência abaixou para 26%. Como a relação de troca utilizada neste trabalho foi de 25%, isso pode ter influenciado a baixa eficiência com 28,6%.

5.3 Nitrogênio Amoniacal

Na Tabela 7 pode ser observado a remoção do Nitrogênio Amoniacal durante todos os ensaios. A concentração média do Nitrogênio Amoniacal no Lixiviado Bruto foi de 896 mg/L, por outro lado, o Lixiviado Tratado apresentou o valor médio de 768 mg/L.

Tabela 7. Nitrogênio Amoniacal presente no Lixiviado Bruto e Tratado.

NITROGÊNIO AMONIAICAL			
ENSAIO	BRUTO	TRATADO	EFICIÊNCIA
	mg/L	mg/L	%
1	1109	930	16,2
2	711	470	33,9
3	1030	952	7,6
4	885	773	12,7
5	896	784	12,7
6	784	717	8,6
7	857	756	11,8
MÉDIA	896	769	15

A partir das informações no Gráfico 2 é possível notar uma variação da concentração de Nitrogênio Amoniacal no início do ciclo experimental. Após o período inicial de operação a quantidade de Nitrogênio Amoniacal tornou-se mais estável, como pode ser observado entre os ensaios 4 a 7.

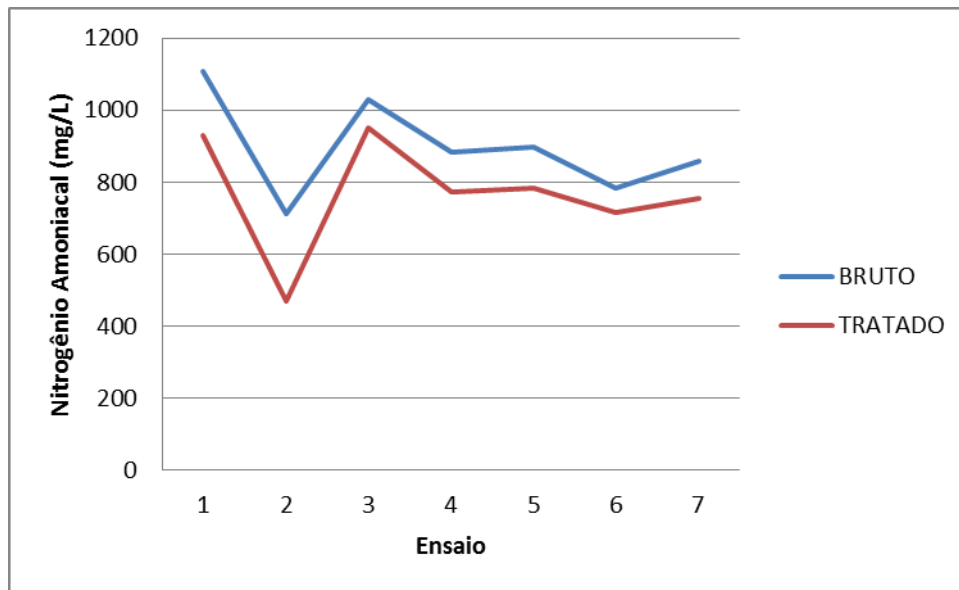


Gráfico 2: Concentrações de Nitrogênio Amoniacal presentes no Lixiviado Bruto e Tratado.

A remoção média do Nitrogênio Amoniacal foi de 14,78%. A maior remoção obtida foi no ensaio 2 com eficiência de 33,9%. Por outro lado, a pior remoção apresentada foi no ensaio 3 representando somente 7,6% de eficiência.

Bayram (2012), estudou o tratamento de lixiviado por meio de sistemas de lodos ativados em batelada sequenciais, o sistema teve remoção de 98% de nitrogênio amoniacal com Oxigênio Dissolvido (OD) a concentração de 2,0 mgO₂/L. Com o objetivo de identificar o tempo ideal de aeração no reator em batelada, o autor executou pré-testes para maximizar a eficiência do processo, por outro lado, este estudo foi predeterminado uma aeração de 3 horas alternando-se com 3 horas de agitação, totalizando 4 períodos de aeração e 4 períodos de agitação em um ciclo de 24h. A diferença no período de aeração entre os dois estudos pode ser um indício da baixa eficiência de 15% encontrada para o nitrogênio.

Segundo Freitas (2009), que estudou o tratamento de lixiviado por meio do processo de nitrificação/desnitrificação via nitrito em reator em bateladas sequenciais com um período de aeração de 48h, sem o controle da concentração do OD, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 88%. Desse modo, pode-se inferir

que o tempo de aeração é um fator importante para os microrganismos realizarem a nitrificação.

5.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH do lixiviado bruto apresentou o valor médio de 8,76, variando entre 8,08 e 9,15. De acordo com Oliveira (2012), os valores de pH acima de 8,0 apontam que o lixiviado da CTR Londrina provenientes dos resíduos armazenados estão em fase metanogênica de decomposição.

Os dados apresentados na Tabela 8 demonstram a variação do pH durante todo o funcionamento do sistema de tratamento biológico:

Tabela 8. Análise de pH realizada durante o experimento.

pH		
ENSAIO BRUTO TRATADO		
1	8,08	9,37
2	8,86	9,15
3	8,83	9,41
4	8,82	9,06
5	8,57	8,75
6	8,87	8,91
7	8,68	9,91
8	9,15	9,08
9	8,92	9,03
10	8,83	9,11
MÉDIA	8,76	9,18

Com relação ao pH do lixiviado tratado, os valores variaram de 8,75 à 9,91 como pode ser verificado no Gráfico 3, a média do pH do lixiviado tratado foi de 9,18.

De acordo com Oliveira (2012), o pH ótimo para a nitrificação deve estar entre 7,5 e 8,5 enquanto que valores abaixo de 7,5 a taxa de nitrificação decresce

gradativamente quando a amônia livre fica limitada e, neste caso, acima de 8,5 a taxa de nitrificação decresce rapidamente por causa da elevação das concentrações de amônia livre.

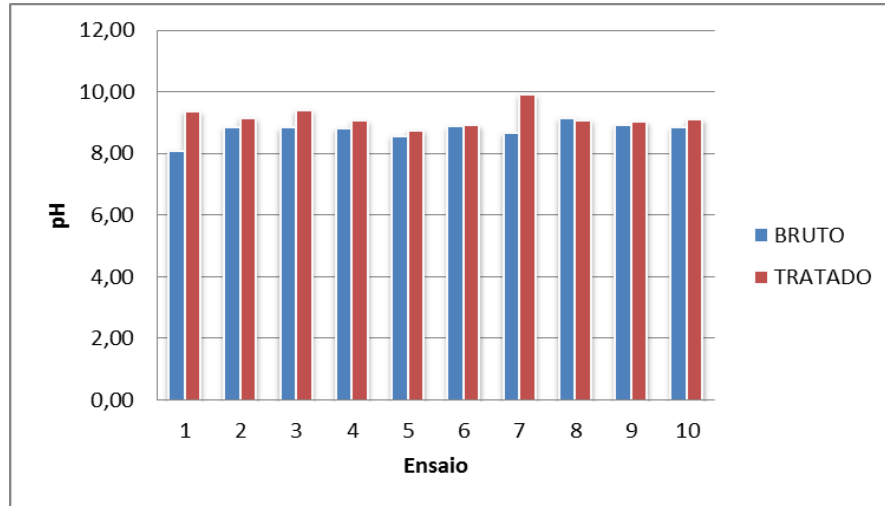


Gráfico 3: Valores de pH do Lixiviado Bruto e Tratado durante o funcionamento do reator.

5.5 Alcalinidade Total do Lixiviado Bruto e Tratado

A alcalinidade presente no lixiviado de aterro sanitário é um parâmetro importante para identificar a ocorrência do processo de nitrificação. Na Tabela 9 podem ser observados os resultados referentes as análises de alcalinidade durante o monitoramento do reator.

Tabela 9. Resumo das análises de alcalinidade.

ENSAIO	BRUTO mg/L	TRATADO mg/L
1	3254	2820
2	3528	3662
3	3509	3296
4	2717	2812
5	3078	2939
6	3704	2733
MÉDIA	3298	3044

O valor médio da alcalinidade total do lixiviado bruto foi de 3298 mg/L. O valor mínimo encontrado foi de 2716 mg/L e o valor máximo de 3703 mg/L, a oscilação dos valores foi verificado por diferentes coletas do lixiviado.

Com relação ao valor médio da alcalinidade total do lixiviado tratado, que foi de 3044 mg/L, foi observado uma diminuição de 7,1% do valor médio encontrado no lixiviado bruto. A alcalinidade total do lixiviado tratado teve um intervalo de 2733 mg/L (valor mínimo) à 3662 mg/L (valor máximo).

Para visualizar uma das características da nitrificação, na qual ocorre o consumo da alcalinidade, o Gráfico 4 contém os valores máximos e mínimos da alcalinidade total ao longo dos ensaios realizados.

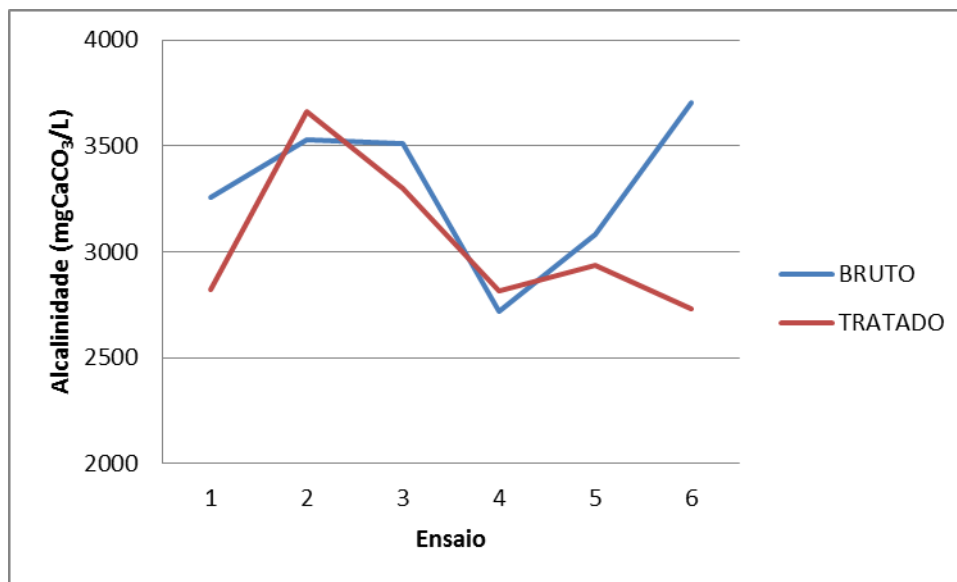


Gráfico 4: Alcalinidade Total do Lixiviado Bruto e Tratado do sistema biológico.

A partir destas informações, pode-se afirmar que o processo de nitrificação ocorreu dentro do reator biológico para os ensaios 1, 3, 5 e 6. Segundo Oliveira (2012) a nitrificação ocorre e em virtude disso grande quantidade de alcalinidade é consumida devido a liberação de íon H^+ . Caso a alcalinidade não seja suficiente para neutralizar o íon H^+ , pois o lixiviado de aterro sanitário tem uma elevada concentração de nitrogênio, o processo de nitrificação pode não ocorrer.

Nos ensaios 1 e 6 o consumo da alcalinidade foi mais elevado com 13,3% e 26,2% de remoção da alcalinidade, respectivamente, indicando uma maior oxidação do Nitrogênio Amoniacal nestes ciclos. Com relação aos ensaios 3 e 5 o consumo foi menor na ordem de 6,1% e 4,5% de redução.

De acordo com Bayram (2012) a concentração da alcalinidade no lixiviado de aterro sanitário é alta e não possui a necessidade de adição de alcalinizante no ciclo de tratamento pois possui quantidade suficiente para realizar o processo de nitrificação, porém como pode ser observado na Tabela 9, os ensaios 2 e 4 apresentaram o aumento da alcalinidade do lixiviado tratado, esse fator pode ter sido causado pelo processo de desnitrificação que resulta no aumento da alcalinidade.

5.6 Sólidos totais e sólidos voláteis aderidos ao meio suporte

As análises de sólidos aderidos ao meio suporte foram de dois tipos: Sólidos Totais Aderidos (STA) e Sólidos Voláteis Aderidos (SVA). De acordo com a Tabela 10, a média de STA foi de 5,8 g/g de meio suporte, já para os SVA obteve-se uma média de 2,9 g/g de meio suporte.

Tabela 10. Sólidos aderidos ao meio suporte.

SÓLIDOS NO MEIO SUPORTE		
ENSAIO	STA	SVA
	g/g de meio suporte	g/g de meio suporte
1	8,2	4,6
2	7,2	3,7
3	4,6	2,2
4	4,2	1,8
5	6,0	3,0
6	5,2	2,7
7	5,2	2,5
8	5,8	2,8
MÉDIA	5,8	2,9

Pode ser observado no Gráfico 5 que os valores iniciais de STA e SVA foram superiores no início do processo ao qual a biomassa encontrava-se aderida ao meio suporte (Ensaio 1 e 2) pois o ensaio foi realizado após um mês de funcionamento do reator, período razoável para a biomassa aderir ao meio suporte. A partir do ensaio 3, as concentrações dos STA e SVA foram mais baixas e com algumas oscilações, o que deve ser a consequência do desprendimento e perda da biomassa no meio suporte.

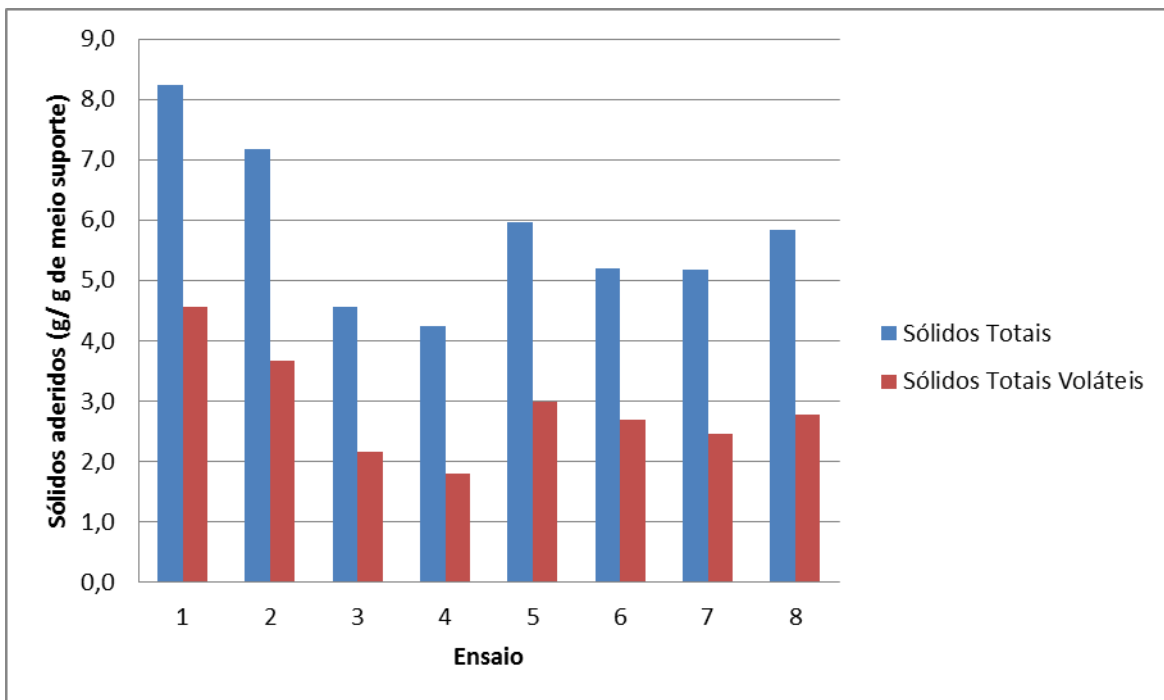


Gráfico 5: Variação da massa de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis aderidos ao meio suporte.

O material utilizado (anel de polipropileno+espuma de poliuretano) mostrou ser uma alternativa a ser empregada como meio suporte tanto para o tratamento de esgoto sanitário (ARAÚJO, 2014) como para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, possibilitando a aderência da biomassa.

5.7 Nitrato

Tanto as concentrações do nitrato quanto a do nitrito no lixiviado de aterro sanitário dependem da quantidade inicial de Nitrogênio, da ocorrência da nitrificação, do pH e da alcalinidade presente no reator biológico. O presente trabalho analisou o parâmetro Nitrato pois este é o resultado final da Nitrificação, onde o Nitrogênio Amoniacal é transformado pelas bactérias, geralmente *Nitrossomonas*, a nitrito e posteriormente oxidado a nitrato, usualmente pelas bactérias *Nitrobacter*.

Na Tabela 11 pôde ser observado a presença do nitrato no reator biológico, desse modo o processo de Nitrificação fica evidente. A quantidade média de nitrato encontrada no lixiviado tratado foi na ordem de 61,4mg/L.

Tabela 11. Concentração de nitrato presente no Lixiviado Tratado

NITRATO	
ENSAIO	TRATADO
	mg/L
1	41,1
2	61,5
3	65,9
4	65,0
5	92,3
6	68,4
7	50,2
8	47,1
MÉDIA	61,4

De acordo com as informações do Gráfico 6 pode ser observado que no início do funcionamento do sistema biológico os valores do nitrato eram baixos pois a biomassa estava em processo de adaptação ao meio suporte, após o primeiro ensaio que obteve-se o menor valor para o nitrato com 41,1mg/L. Após o período inicial o nitrato obteve um crescimento de 49,5% no segundo ensaio, evidenciando a ocorrência do processo de Nitrificação. O valor máximo de nitrato foi de 92,3mg/L no ensaio 5.

Após este ensaio, foi observado um decréscimo na concentração de nitrato indicando uma diminuição significativa no processo de Nitrificação.

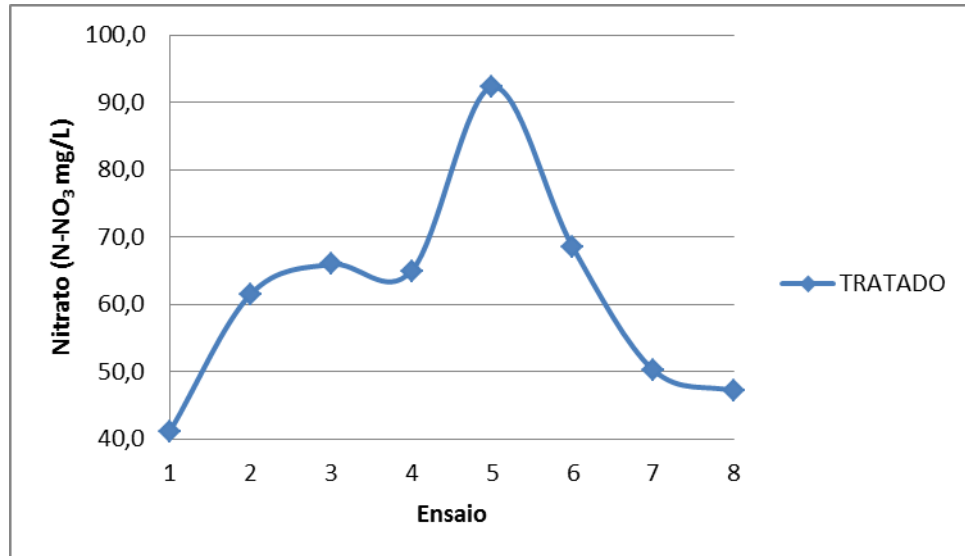


Gráfico 6: Variação da concentração de Nitrato presente no Lixiviado Tratado.

Os níveis de nitrato encontrados por Junior (2008), que pesquisou o tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de sistema de lodo ativado a partir de reatores anóxico e aeróbio em série, foram de 414 mg N-NO₃⁻/L pois o sistema teve a recirculação interna e externa do lixiviado em diferentes fases de funcionamento do sistema.

6 CONCLUSÃO

Nas condições testadas do reator biológico para o tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário com o foco na remoção do nitrogênio, permitiu concluir que:

- A aplicação do sistema de tratamento biológico para a remoção de Nitrogênio Amoniacal apresentou uma eficiência de remoção de até 15%;
- A eficiência de remoção média da DQO foi de 28,6%.
- Com o consumo da Alcalinidade durante o experimento pôde-se notar a ocorrência do processo de Nitrificação no reator biológico;
- Outro indício que a Nitrificação ocorreu e por consequência diminuiu o Nitrogênio Amoniacal do Lixiviado Tratado, foi a presença do Nitrato com um valor médio de 61,44 N-NO₃⁻mg/L;
- Na quantificação da biomassa presente no meio suporte, os Sólidos Totais Aderidos foi de 5,8 g/g de meio suporte e 2,9 g/g de meio suporte para os Sólidos Totais Voláteis.

Desse modo, conclui-se que o método utilizado para este trabalho não teve uma remoção significativa dos parâmetros desejados.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. M. **Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados.** Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Ciências (Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22 ed. Washington, 2012.
- ARAÚJO, A. P. C. S. **Tratamento de esgoto sanitário sintético por sistema combinado constituído pelo reator UASB e biofiltro aerado submerso.** Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.
- ASLAN, S.; MILLER, L.; DAHAB, M. **Ammonium oxidation via nitrite accumulation under limited oxygen concentration in sequencing batch reactors.** Bioresource Technology, University of Nebraska-Lincoln. 2008.
- BAYRAM, S. C. Y. **Remoção de Matéria Orgânica e Nitrogênio de Lixiviados de aterro sanitário. Tratamento por Nitrificação/Desnitrificação biológica e processos físico-químicos.** Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- BIDONE, R. F. **Tratamento de Lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso – Central de Resíduos do Recreio, em Minas do Leão/RS.** Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- CANO, V. **Estratégias de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com foco na matéria orgânica biodegradável e nitrogênio amoniacal.** Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lixiviado, lançamento de efluentes, e de outras providências. Resolução CONAMA nº357, 17 de março de 2005. **D.O.U.**, Brasília, de 18 mar. 2005.

CONTRERA, R. C.; ZAIAT, M.; RODRIGUES, J. A. D.; SCHALCH, V. **Tratamento de lixiviados de aterros sanitários em sistema de reatores anaeróbio e aeróbio operado em batelada sequencial.** Artigo técnico. VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

FAZZIO, A. L. **Tratabilidade de lixiviado de aterro sanitário por Reagente de Fenton consorciado com esgoto sanitário em biofiltro aerado submerso.** Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

FERREIRA, E. S. **Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

FERRAZ, F. M. **Recuperação da amônia no processo de “air stripping” aplicado ao tratamento do lixiviado de aterros sanitários.** Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

FREITAS, B. O. **Remoção de nitrogênio de lixiviado de resíduos sólidos urbanos por meio do processo de nitrificação/desnitrificação via nitrito em reator em bateladas sequenciais.** Mestrado: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília/Distrito Federal, 2009.

HAGOPIAN, D. S.; RILEY, J. G. **A closer look at the bacteriology of nitrification.** Aquacultural Engineering. University of Maine. 1998

HOSSAKA, A. L. **Tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário, utilizando como pré-tratamento a remoção parcial de N-amoniaco por Stripping.** Mestrado: Curso de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina. Universidade Estadual de Londrina. Londrina-PR, 2008.

JUNIOR, A. M. **Remoção de Nitrogênio de Lixiviado de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos empregando sistema de lodos ativados, composto por reator anóxico e aeróbio em série.** Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina-PR, 2008.

LANGE, L. C. **Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário por processo Oxidativo Avançado empregando reagente de Fenton.** Artigo técnico. Loja de Livros especializada em saneamento e meio ambiente. Fundo Editorial ABES. Belo Horizonte-MG, 2006.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume.** Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2002.

LUZIA, M. R.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A.; FRANCO, R. S. O.; BARBOSA, W. F. **Utilização de filtros aeróbios em escala de laboratório para o tratamento do lixiviado do aterro metropolitano de Gramacho.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

NAKAGAWA, D. H. **Análise da eficiência de reatores em bateladas sequenciais com e sem adição de micro-organismos eficientes no tratamento de esgoto sanitário.** Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013.

NBR 8419/1992 NB 843 – **Apresentação de projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

OLIVEIRA, A. C. D. G. **Bactérias heterotróficas e Autotróficas envolvidas na remoção de nitrogênio de lixiviado de aterro sanitário em reator de leito móvel**. Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2012.

POLITÉCNICA-USP. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. 2004.

ROEHRS, F. **Tratamento Físico-Químico de Lixiviado de Aterro Sanitário por Filtração Direta Ascendente**. Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2007.

SANTOS, H. A. P. **Recuperação da amônia removida por processo de *air stripping* aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário: estudo em escala piloto**. Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

SILVA, D. D.; AMARAL, M. S.; QUEIROZ, L. M.; MORITA, D. M.; SOBRINHO, P. A. **Remoção Biológica do Nitrogênio via curta de lixiviado de aterro sanitário operando um reator de batelada sequenciais (SBR)**. Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SILVA, F. B. **Tratamento combinado de Lixiviados de aterros sanitários**. Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

SOUTO, G. D. B. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com o ar (“stripping”).

Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

TRENNEPOHL, F. G. Remoção biológica de nitrogênio em lixiviado de aterro de resíduos, em sistema piloto de lodos ativados com fonte externa de carbono.

Mestrado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina-PR, 2009.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias,

Estudos e modelagem da qualidade da água de rios, Vol. 7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 588p, 2007.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias,

Princípios básicos do tratamento de esgotos, Vol. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 211p, 1996.