



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

IVNA CAROLLYNE DE FARIAS SÉRVOLO

**ESTUDO DA CLARIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE REATORES AERÓBIOS PARA REÚSO URBANO**

**CAMPINA GRANDE – PB
2019**

IVNA CAROLLYNE DE FARIAS SÉRVOLO

**ESTUDO DA CLARIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE REATORES AERÓBIOS PARA REÚSO URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz

Coorientador: Ms. Mateus Cunha Mayer

**CAMPINA GRANDE – PB
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S492e Sérvolo, Ivna Carollyne de Farias.
Estudo da clarificação como alternativa de pós-tratamento de efluentes de reatores aeróbios para reúso urbano [manuscrito] / Ivna Carollyne de Farias Servolo. - 2019.
41 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
1. Saneamento. 2. Reuso urbano. 3. Reatores em Bateladas Sequenciais - RBS. 4. Tratamento de efluentes. I.
Título
21. ed. CDD 628.3

IVNA CAROLLYNE DE FARIAS SÉRVOLO

**ESTUDO DA CLARIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE REATORES AERÓBIOS PARA REÚSO URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 10/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Márcia Ramos Luiz
Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

José Tavares de Sousa
Prof. Dr. José Tavares de Sousa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Rodrigo de A. Barbosa
Ms. Rodrigo de Andrade Barbosa
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

A minha mãe, pela dedicação,
companheirismo e amizade. DEDICO

A minha mãe, pela dedicação,
companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A meus pais Lígia Maria e Valdênio Batista, que sempre me ensinaram a agir com honestidade, dignidade, simplicidade e respeito.

A minha família, por todo apoio, compreensão, paciência e amor, sou imensamente grata por tudo.

A Filipe Hágabo, por tanto amor, carinho, dedicação, incentivo e compreensão. Por escolher ficar e ser sempre tão presente.

A minha orientadora, Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, pela orientação, disponibilidade e apoio oferecidos. Por todo conhecimento compartilhado e por todo carinho.

Ao meu coorientador, Ms. Mateus Cunha Mayer, por todo incentivo e conhecimento compartilhado.

A banca examinadora, por toda atenção, sugestões oferecidas e pela disponibilidade em contribuir com o aperfeiçoamento desse trabalho.

Aos professores do Curso de Química Industrial da UEPB, que contribuíram ao longo de trinta meses, por meio das disciplinas e debates, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

Ao INSA e a EXTRABES, pela oportunidade de ampliação dos meus conhecimentos. Em especial a Rodrigo Andrade pelas leituras sugeridas ao longo do estágio e elaboração deste trabalho, pela dedicação e por estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas.

Por fim, agradeço a todos que estiveram comigo, que acreditaram, torceram e contribuíram direta ou indiretamente na realização desse trabalho.

RESUMO

A água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Mesmo áreas com recursos hídricos abundantes, experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida das pessoas. Nessa realidade, o reúso urbano destaca-se na gestão dos recursos hídricos, pois é capaz de diminuir estes conflitos e atenuar a vulnerabilidade hídrica, além de contribuir para a conservação do meio ambiente. Nos últimos anos, tem surgido a necessidade de se projetar sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o objetivo de se produzir efluentes de boa qualidade. No Brasil, assim como a nível mundial, um dos sistemas mais empregados para o tratamento de esgotos sanitários é o sistema de lodos ativados. E entre as diversas alternativas estudadas para o tratamento de efluentes que objetivam a remoção de nutrientes, encontram-se os reatores operados em bateladas sequenciais (RBS). Este trabalho teve como objetivo produzir efluente de qualidade para o reúso urbano não potável, tratando esgoto condominial utilizando além do tratamento com reator RBS, a clarificação através do equipamento Jar Test com a finalidade de avaliar alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto bruto e da água de reúso produzida. A DQO (Demanda Química de Oxigênio) e turbidez mostraram-se, em primeira avaliação, ser eficiente. Apresentando remoção de aproximadamente 94% da DQO e 97% de turbidez. Diferentemente do parâmetro cor, onde a remoção através do RBS não se mostrou eficiente, havendo uma quantidade muito pequena na remoção de unidade de cor. Para fósforo total, a remoção chegou a 69% apenas na primeira etapa do tratamento, ocorrendo uma boa eficiência do reator. Em relação à remoção de *E.Coli*, a desinfecção foi adicionada como um complemento ao tratamento do reator, com a finalidade de destruição de microrganismos patogênicos. Para uma melhoria da qualidade de efluentes gerados, minimização nos impactos socioambientais e a reutilização do efluente tratado para o reúso urbano não potável fez-se necessário além do processo de tratamento por RBS, o uso do pós-tratamento denominado clarificação com posterior desinfecção com cloro. Os resultados evidenciaram, também, a importância da implantação desta tecnologia para produção de esgoto tratado em escala real, visando atender as demandas urbanas das cidades do semiárido brasileiro, ressaltando o potencial hídrico da região.

Palavras-Chave: Saneamento. Reúso urbano. Reatores em Bateladas Sequenciais - RBS. Tratamento de efluentes.

ABSTRACT

Water is a limiting factor for urban, industrial and agricultural development. Even areas with abundant water resources experience conflicts of use and suffer consumption restrictions that affect people's economic development and quality of life. In this reality, urban reuse stands out in the management of water resources, as it is able to reduce these conflicts and mitigate water vulnerability, besides contributing to the conservation of the environment. In recent years, there has been a need to design sewage treatment systems to produce good quality effluents. In Brazil, as well as worldwide, one of the most used systems for the treatment of sanitary sewage is the activated sludge system. And among the several alternatives studied for the treatment of effluents that aim at nutrient removal are the sequential batch reactors (RBS). This work aimed to produce quality effluent for non-potable urban reuse, treating condominium sewage using in addition to the RBS reactor treatment, the clarification through the Jar Test equipment in order to evaluate some physicochemical and microbiological parameters of raw sewage. of the reused water produced. COD (Chemical Oxygen Demand) and turbidity proved to be efficient at first glance. Featuring removal of approximately 94% COD and 97% turbidity. Unlike the color parameter, where removal through RBS was not efficient, there is a very small amount of color unit removal. For total phosphorus, the removal reached 69% only in the first treatment step, with a good reactor efficiency. Regarding the removal of *E. coli*, disinfection was added as a complement to reactor treatment, with the purpose of destroying pathogenic microorganisms. In order to improve the quality of generated effluents, minimize environmental impacts and the reuse of treated effluent for non-potable urban reuse, it was necessary, in addition to the RBS treatment process, the use of post-treatment clarification with subsequent chlorine disinfection. . The results also evidenced the importance of the implementation of this technology for the production of treated sewage on a real scale, aiming at meeting the urban demands of the cities of the Brazilian semiarid region, highlighting the water potential of the region.

Keywords: Sanitation. Urban reuse. Sequential Batch Reactors - RBS. Wastewater treatment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Especificações técnicas do PAC.....	23
Tabela 2 –	Testes de Clarificação	33
Tabela 3 –	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	35
Tabela 4 –	Caracterização do esgoto bruto, efluente RBS e efluente clarificado	36
Tabela 5 –	Remoção de <i>E.Coli</i> e Coliformes Totais ao longo do sistema de tratamento	37
Tabela 6 –	Síntese dos resultados do monitoramento da qualidade do efluente final	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Saneamento no Brasil	15
2.1.1	<i>Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida Brasileira</i>	15
2.2	Classificações do Reúso	16
2.3	Reúso Urbano Não Portável	18
2.4	Reatores em Bateladas Sequenciais (RBS)	19
2.4.1	<i>Reatores em Bateladas Sequenciais com Grânulos Aeróbios (RBSG)</i>	21
2.5	Policloreto de Alumínio (PAC)	22
2.6	Clarificação	23
2.6.1	<i>Coagulação</i>	24
2.6.2	<i>Floculação</i>	25
2.6.3	<i>Sedimentação</i>	26
2.7	Desinfecção	27
2.8	Padrões de avaliação da qualidade do efluente	27
2.8.1	<i>pH</i>	27
2.8.2	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	28
2.8.3	<i>Turbidez</i>	28
2.8.4	<i>Cor</i>	28
2.8.5	<i>Fósforo Total</i>	28
2.8.6	<i>Sólidos Totais Dissolvidos</i>	29
2.8.7	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	29
2.8.8	<i>Coliformes Totais</i>	29
2.8.9	<i>Escherichia Coli</i>	30
2.8.10	<i>Temperatura</i>	30
2.8.11	<i>Condutividade</i>	30
2.8.12	<i>Nitrato</i>	31
2.9	Legislação para Reúso	31
3	METODOLOGIA	32

3.1	Localização do Experimento	32
3.2	RBS	32
3.3	Procedimentos dos Ensaios	32
3.3.1	<i>Teste de Jarros</i>	32
3.3.2	<i>Desinfecção por Cloro</i>	34
3.4	Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Caracterização do Efluente	36
4.2	Desinfecção	37
4.3	Síntese dos Resultados	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população e a intensificação das atividades econômicas exercem grande pressão sobre os recursos hídricos, principalmente quando são levados em consideração os aspectos que envolvem a qualidade da água, tem-se também um elevado crescimento do volume de águas residuárias geradas, sejam elas de origem industrial ou doméstica, tornando-se um grande passivo ambiental. (AKABOCI, 2013).

No Brasil, a falta de saneamento básico aumenta ainda mais o problema da poluição dos corpos hídricos, já que nestes pode ocorrer o lançamento de águas residuárias sem o tratamento adequado, acarretando em vários problemas de saúde pública e impactos ambientais como a mudança na qualidade da água, alteração do equilíbrio entre as espécies aquáticas e a intensificação da eutrofização. Estando desta forma, fora do padrão estabelecido pela Resolução N° 430/2011 do CONAMA.

O problema do lançamento de nutrientes para o corpo hídrico está associado à eutrofização, caracterizada pelo crescimento excessivo de algas, decorrentes do aumento da concentração de nitrogênio e fósforo. A eutrofização causa uma gama de efeitos nos corpos hídricos, tais como incremento no consumo de oxigênio dissolvido, mortandade de peixes e outros organismos e toxicidade provocada por causa de toxinas liberadas por algas, ocasionando um aumento nos custos para o tratamento de águas para abastecimento público (VON SPERLING, 2005).

Em função dessas características, o reúso vem sendo difundido de forma crescente no Brasil, impulsionado pelos reflexos financeiros associados aos instrumentos trazidos pela Lei 9.433 de 1997, que visa à implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos: outorga e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2005).

A reutilização, reúso de água ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reúso planejado da água um tema atual e de grande importância (CETESB, 2010). O reúso de água deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de

perdas, desperdícios e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água.

Os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, florestais, industriais, urbanos e ambientais.

Diante da problemática enfrentada, visando à minimização dos impactos ambientais e a possibilidade de utilização do efluente para reúso urbano, uma alternativa viável seria a utilização de reatores de bateladas sequenciais (RBS), seguido de um pós-tratamento de clarificação (HESPANHOL, 2002).

A remoção biológica de nutrientes constitui a técnica mais sustentável e econômica de tratamento para o esgoto sanitário. Dentre as tecnologias de tratamento biológico disponíveis, o tratamento do esgoto pode ser realizado através de sistemas anaeróbio, aeróbio ou pela combinação de ambos. No entanto, para fins mais restritivos, a utilização de processo físico-químico combinado aos processos biológicos busca melhorar a remoção de fósforo, sólidos totais e turbidez de forma mais eficiente, conseguindo adequar o esgoto aos padrões exigidos para o reúso.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo prévio para avaliar a utilização da clarificação como alternativa de pós-tratamento de um efluente de reator RBS para reúso urbano não potável, utilizando o coagulante policloreto de alumínio através do *Jar Test*, no intuito de encontrar o melhor rendimento e a melhor condição para as variáveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Saneamento no Brasil

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Lei 11.445/2007 como um conjunto de serviços, infraestruturas e atividades operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana, e drenagem urbana e manejo de águas pluviais.

Assim, quando o termo saneamento é utilizado significa que os quatro serviços (abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem urbana) estão inclusos. Esta lei, além de dar esta definição, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, como também a política federal de saneamento básico (BRASIL, 2007).

Os recursos hídricos são precedentes do saneamento básico, tanto do ponto de vista técnico quanto regulatório. A extração de água e a disposição final dos esgotos se dão por meio de outorga pela autoridade gestora (volumes captados e vazões de lançamento nos cursos d'água), de acordo com padrões definidos (ZINATO; OLIVEIRA, 2008).

2.1.1 Disponibilidade Hídrica na Região Semiárida Brasileira

O aumento da demanda por água, somado ao crescimento das cidades, à impermeabilização dos solos, à degradação da capacidade produtiva dos mananciais, à contaminação das águas e ao desperdício conduzem a um quadro preocupante em relação à sustentabilidade do abastecimento público (BRASIL, 2006).

Muitas vezes, em regiões que sofrem com as recorrentes estiagens, o aspecto qualitativo da água é colocado em segundo plano. Assim, o desenvolvimento dessas regiões é prejudicado, resultando dessa forma no empobrecimento da região, limitando ainda mais o seu crescimento e desenvolvimento socioeconômico. Diante disso, a busca pelo equilíbrio no fornecimento de água com qualidade e em quantidades adequadas se torna essencial.

A região semiárida brasileira é caracterizada por um clima quente com chuvas de outono e temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C além de distribuição irregular da precipitação, altas taxas de evaporação, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos. As limitações hídricas tornam-se mais dramáticas pela ocorrência de secas periódicas, podendo ocorrer períodos com 18 meses ou mais, promovendo reflexos danosos no âmbito da economia e com custos sociais elevados (MONTENEGRO, MONTENEGRO, 2012).

Nessa realidade, o tratamento de esgoto para reúso urbano, destaca-se na gestão dos recursos hídricos, sendo imperativo para melhorar a saúde pública, pois tem a capacidade de atenuar a vulnerabilidade hídrica e contribuir para um melhoramento na qualidade dos efluentes gerados e conseqüentemente na conservação do meio ambiente.

2.2 Classificações do Reúso

O reúso pode ser definido como uso de água residuária ou água de qualidade inferior, tratada ou não. Está relacionado com a proteção à saúde pública e meio ambiente, saneamento ambiental e gerenciamento de recursos hídricos. Para a prática do reúso é necessário conhecer as bases legais e assim definir a forma correta do mesmo, podendo ser um instrumento para liberação dos recursos hídricos de melhor qualidade para fins mais nobres, utilizando-se efluentes e protegendo a saúde pública e o meio ambiente.

Segundo Rodrigues (2005), o reúso pode ser classificado:

Quanto ao método conforme é realizado:

- Reúso indireto: quando a água utilizada é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, diluída e depois captada para novo uso.
- Reúso direto: segundo a Resolução nº 54/05 do CNRH, uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

O reúso pode ser diferenciado de acordo com a intenção em realizá-lo:

- Reúso indireto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

- Reúso indireto não planejado: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico.

Quanto ao uso final

- Usos urbanos: os esgotos tratados podem ser utilizados para fins potáveis e não potáveis. São inúmeras possibilidades e cada atividade exige um padrão diferenciado de qualidade.
- Usos urbanos para fins potáveis: os riscos associados ao uso potável em função da presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos, provenientes de estações de tratamento de esgoto e de polos industriais são bastante elevados, tornando os usos para fins potáveis, por vezes, inviáveis, em função do alto custo dos tratamentos avançados exigidos para garantia da proteção adequada à saúde. Para as regiões que sofrem com a escassez de água potável, o reúso surge como alternativa para seu abastecimento.
- Usos urbanos para fins não potáveis: envolvem riscos bem menores e devem ser a primeira opção para o reúso em áreas urbanas. Mesmo sendo mais seguros, existe ainda o contato direto com a população, sendo necessário uma série de cuidados.
- Usos industriais: o reúso industrial pode ser realizado através do aproveitamento dos efluentes produzidos na própria indústria, com ou sem tratamento prévio ou pela utilização dos esgotos tratados provenientes das estações de tratamento das companhias de saneamento (FIESP/CIESP, 2004).
- Usos agrícolas: o maior consumo de água doce está relacionado às práticas agrícolas. A busca de fontes alternativas de água para a situação de escassez e o uso de esgotos tratados para irrigação de culturas são formas de reúso na agricultura.
- Uso para aquicultura: esgotos tratados podem abastecer reservatórios destinados à produção de peixes e plantas aquáticas.
- Uso para recarga de aquífero: de maneira inadequada é realizada a retirada das águas dos lençóis subterrâneos para consumo,

comprometendo a disponibilidade hídrica. A utilização de esgotos tratados para evitar ou amenizar tais efeitos é uma possibilidade.

2.3 Reúso Urbano Não Potável

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2002).

Para os usos urbanos não potáveis, apesar de envolverem riscos menores, cuidados especiais devem ser tomados, quando ocorre o contato direto do público com áreas de lazer, áreas turísticas, campos de esporte, entre outros.

Segundo Brega Filho e Mancuso (2003), os maiores potenciais de reúso são os que empregam esgotos tratados para: irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, quadras de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias; irrigação de áreas ajardinadas ao redor de edifícios públicos, residenciais e indústrias; reserva de proteção contra incêndios; controle de poeira em movimentos de terra; sistemas decorativos aquáticos, espelhos e quedas d'água; descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais; lavagem de trens e ônibus públicos.

Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos. O reúso reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Essa prática, muito discutida, posta em evidência e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico (CETESB, 2010).

Os problemas associados ao reúso urbano não potável são, principalmente, os custos elevados de sistemas duplos de distribuição, dificuldades operacionais e riscos potenciais de ocorrência de conexões cruzadas.

De uma maneira geral, os procedimentos adotados no planejamento e preparação do efluente mostram que o sucesso dos planos de reúso, dependem da maneira e profundidade com que as ações e atitudes forem efetivamente implementadas, que vão desde a recepção do efluente bruto até a etapa final do pós-tratamento, obtendo um produto final clarificado e de boa qualidade que possa atender as demandas de reúso.

2.4 Reatores em Bateladas Sequenciais (RBS)

Entre as diversas opções de tratamento, tem-se uma opção preferencial pelos tratamentos de fácil operação e menor espaço possível ou menor impacto visual.

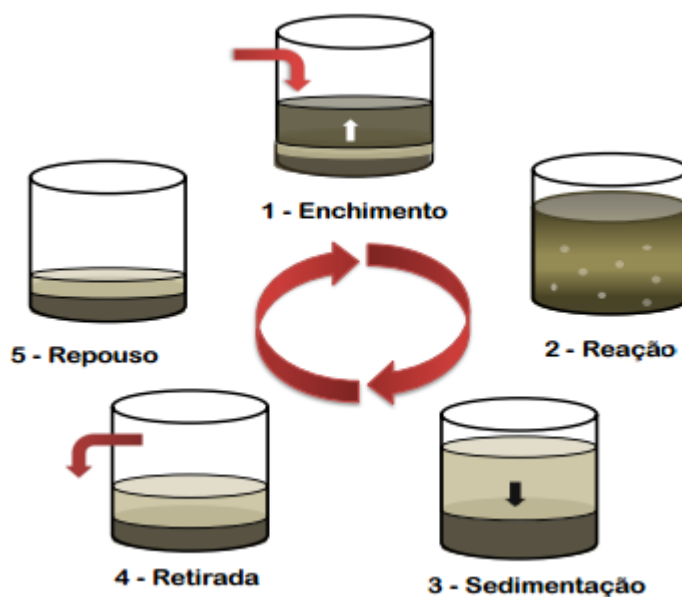
Os reatores que operam em bateladas sequenciais (RBS) cumprem com estas características e segue o mesmo princípio do processo de lodos ativados, porém operando em fluxo intermitente. O processo original foi desenvolvido na Inglaterra em 1914 e a única diferença ao processo contínuo de lodos ativados consiste no uso de uma mesma unidade construtiva como reator biológico e sedimentador do lodo (METCALF; EDDY, 2003).

Os reatores operados em bateladas sequenciais (RBS) não são tecnologias empregadas recentemente para o tratamento de esgotos domésticos. A aplicação começou com mais frequência a partir dos anos 1980, quando no âmbito internacional a automatização das ETE's virou uma medida econômica de operação e controle no saneamento (WILDERER, 2001).

Com os avanços tecnológicos dos dispositivos de aeração e dos sistemas de controle e automação, os reatores RBS se tornaram mais viáveis que os sistemas de lodos ativados convencionais (AL-REKABI et al., 2007).

Metcalf e Eddy (2003) ressaltaram que para garantir o funcionamento do sistema de tratamento é necessário compreender a importância dos microrganismos dentro do reator, já que as bactérias possuem um papel fundamental para a decomposição da matéria orgânica.

Um ciclo típico de um RBS compreende cinco períodos distintos, onde ocorrem as seguintes fases sequenciais: (1) fase de enchimento; (2) fase de aeração e reação; (3) fase de sedimentação; (4) descarga/retirada do efluente e (5) fase de repouso ou ajustes (JORDÃO; PESSÔA, 2009), conforme Figura 1.

Figura 1 – Fases de operação de um sistema RBS

Fonte: Wagner (2015).

A utilização de reatores em bateladas possui diversas vantagens visto que o projeto e operação dos reatores são simples e as características do processo operacional permitem uma maior flexibilidade dos ciclos de operação. No entanto, as desvantagens desses reatores estão associadas há descontinuidade na descarga do efluente final, pelo fato do sistema operar em bateladas; alto nível de manutenção, quando comparados a outros sistemas; mecanismos de controle do processo mais sofisticados e consumo de energia para promover a mistura da biomassa e a aeração dentro do reator.

Hoje, entre os sistemas de tratamento descentralizado, o RBS é a proposta de lodo ativados modificado mais promissora para a remoção de matéria orgânica e nutrientes. A tecnologia RBS é bastante apropriada para desenvolver a biomassa granular aeróbia, a qual intensifica o processo quanto às remoções de nutriente e melhora a sedimentabilidade do lodo, quando comparado ao RBS operado com biomassa floculenta usual.

2.4.1 Reatores em Bateladas Sequenciais com Grânulos Aeróbios (RBSG)

O processo de granulação pode ser classificado como sendo anaeróbio e aeróbio.

A granulação anaeróbia foi descoberta pela primeira vez no final dos anos 70, em um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) aplicado ao tratamento de efluente industrial e passou a ser desenvolvida a partir dos anos 90 sendo reportada pela primeira vez por Mishima e Nakamura (1991), quando descobriram os grânulos aeróbios enquanto investigavam a auto-imobilização de lodo ativado em um reator piloto aplicando o processo aeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) para o tratamento de esgoto sanitário no Japão. Foram obtidos no estudo grânulos com diâmetros variando de 2 a 8 mm.

Ainda nos anos noventa, o estudo de bancada de Morgenroth et al. (1997) deu início à extensa pesquisa de formação dos grânulos aeróbios em RBS para o tratamento de esgoto. O processo de granulação foi obtido aos 40 dias de operação do reator. A partir disso, a tecnologia RBS tem sido amplamente aplicada para os processos de LGA (Lodo Granular Aeróbio) e outros estudos foram realizados utilizando RBS para a granulação aeróbia, corroborando para a consolidação desta tecnologia (DANGCONG et al., 1999).

Devido à hidrodinâmica do RBS e as condições proporcionadas, tais como regime de alimentação, sedimentação das partículas, entre outros, os estudos de formação de grânulos aeróbios têm sido reportados apenas nestes tipos de reatores (Beun et.al., 1999).

Um dos atributos físicos mais importantes dos grânulos é a sua velocidade de sedimentação, a qual é mais elevada que a dos flocos. Os grânulos aeróbios possuem uma estrutura física forte, regular e densa, elevada retenção de biomassa, excelente capacidade de sedimentação, elevada atividade, capacidade de tratar águas residuárias de alta concentração e suportar cargas de choque (LIU; TAY, 2003). Isto significa que a capacidade de sedimentação do lodo pode ser melhorada por meio da formação de grânulos aeróbios, possibilitando assim uma maior retenção de biomassa no reator, o que resulta em uma elevada capacidade de remoção de substrato (SHOW et al., 2012).

Por apresentarem elevada capacidade de sedimentação, a separação entre a biomassa e o efluente tratado nos sistemas de grânulos aeróbios é bastante eficiente, gerando um sobrenadante clarificado, geralmente livre de sólidos em suspensão. Entretanto, de acordo com Schwarzenbeck et al. (2004), durante o período de partida (*start-up*) do reator e por razões de segurança, no caso da desintegração dos grânulos, um sistema de retenção da biomassa deve ser adicionado em uma etapa subsequente ao reator granular. Esses autores consideraram que um processo de separação sólido/líquido foi suficiente, desde que a eficiência de remoção biológica do reator seja elevada.

Nos últimos anos, registraram-se diversos progressos na compreensão de como a granulação ocorre e como o processo pode ser acelerado. Entretanto, um mecanismo de granulação global ainda não foi completamente estabelecido (ZHANG et al., 2015).

A realidade de clima e a composição do esgoto de cada lugar se diferenciam e podem afetar diretamente na atividade dos microrganismos e conseqüentemente na eficiência dos processos de remoção (BASSIN et al., 2012). Desta forma, estudos locais e em menores escalas são de extrema importância para uma melhor compreensão dos processos e amparar assim a funcionalidade do sistema em escala real.

Os estudos realizados no contexto brasileiro demonstraram que junto às dificuldades com a estabilidade dos grânulos (XAVIER, 2017), problemas relacionados à eficiência do tratamento com remoção de fósforo e acúmulo de nitrito se reproduziram (WAGNER, 2015). Outros estudos também reportaram o acúmulo de nitrito no tratamento de esgoto doméstico com LGA (COMA et al., 2012).

2.5 Policloreto de Alumínio (PAC)

Os coagulantes são produtos naturais ou químicos usados no tratamento de águas e efluentes industriais de vários segmentos, sua função é neutralizar as cargas negativas das partículas em suspensão, possibilitando assim uma aglomeração dessas partículas, formando os chamados flocos. Os coagulantes mais comuns são o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), sulfato ferroso (FeSO_4), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3), aluminato de sódio (NaAlO_2) e o PAC ($\text{Aln}(\text{OH})_m(\text{Cl}_3)_{n-m}$). Os sais de alumínio são os coagulantes mais utilizados nas

ETA's, entre eles estão o sulfato de alumínio e o PAC (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009).

Os coagulantes sulfato de alumínio ou o sulfato férrico vem sendo substituído pelo PAC (Policloreto de Alumínio) devido a água brasileira ter uma baixa alcalinidade o que desfavorece o uso destes coagulantes inorgânicos mais convencionais que diminuem seu pH, demandam cal para neutralização e aumentam a geração de lodo de esgoto (GUIMARÃES et al., 2009).

O Policloreto de Alumínio é um coagulante inorgânico de alta eficiência pré-polymerizado bastante utilizado em águas de difícil floculação. Sua composição básica estabelece um rendimento superior a todos os produtos existentes, pois a sua cadeia polimérica inorgânica consegue a formação de flocos mais densos e aumenta a velocidade de decantação, melhorando cor e turbidez na água decantada (HIDROALL, 2009).

É geralmente formulado como: $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ combinado com pequenas quantidades de outros compostos e é um complexo poli-nuclear de íons de alumínio polimerizados, um tipo de polímero inorgânico de peso molecular medido em várias centenas de unidades.

As principais especificações do PAC são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações técnicas do PAC

Especificações Técnicas	Valor
Teor de Al_2O_3	16 – 18 %
Material insolúvel	0,20%
pH (solução 1%)	2,5 – 5,5
Densidade (25°C)	1,20 – 1,40 g.cm ⁻³
Aspecto	Líquido viscoso límpido, de cor âmbar a castanho

Fonte: NHEEL QUÍMICA (2011).

2.6 Clarificação

O sistema de clarificação é caracterizado por processos de coagulação, floculação e sedimentação que objetivam a remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais através de processos físico-químicos (FABRETI, 2006).

De acordo com Filho (2002), materiais de tamanho maior, como a areia, considerados os sólidos suspensos sedimentáveis, podem ser eliminados a um grau considerável pela (pré) decantação (anterior ao tratamento químico) simples, mas as partículas mais finas devem ser quimicamente coaguladas para produzirem flocos, os quais são removidos na decantação e filtração subsequentes. Esses processos constituem o que a indústria de tratamento de água e esgoto denomina de clarificação.

2.6.1 Coagulação

O processo de coagulação consiste na desestabilização de partículas coloidais e suspensas por meio de ações físicas e reações químicas que envolvem o coagulante, a água e as impurezas nela presentes. Para estabelecer o contato do produto da reação, coagulante e água, com as impurezas, realiza-se uma mistura rápida que leva à desestabilização das partículas. Com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, há formação de flocos que podem ser removidos por decantação e filtração (LIBÂNIO, 2010).

A decisão sobre a escolha do coagulante utilizado frequentemente pauta-se em fatores de ordem econômica, relacionados à adequabilidade, à água bruta, à tecnologia de tratamento, ao custo e também à preservação dos tanques e dosadores.

Além do tipo de coagulante, deve-se levar em consideração outros fatores como pH, turbidez, quantidade de impurezas, alcalinidade e uniformização da mistura de efluente com os produtos químicos utilizados.

Devido a grande gama de produtos químicos e à natureza distinta das águas brutas é essencial a realização de experimentos em instalação-piloto ou em jar teste para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida, mistura lenta e decantação.

O processo é então feito a partir de uma mistura rápida com uma agitação relativamente lenta para que ocorram choques entre as impurezas formando assim partículas maiores, denominadas flocos, onde estas partículas são removidas em processos posteriores por sedimentação, flotação ou filtração.

Nessa etapa, espera-se que sejam removidas partículas suspensas, coloidais, dissolvidas e outros contaminantes que ocasionam turbidez, cor, odor e sabor à

água (FRANCISCO et al., 2011). Entretanto, a coagulação pode ser influenciada por alguns fatores, como o tipo e a quantidade de coagulante, o tamanho das partículas causadoras de cor e turbidez, o pH e a alcalinidade da água bruta, a uniformidade de aplicação do coagulante na água e temperatura (LIBÂNIO, 2010).

2.6.2 Floculação

A floculação é o segundo estágio do processo físico-químico e pode ser definida como processo de agrupar partículas coaguladas ou desestabilizadas para formação de flocos maiores, de forma a se sedimentar ao longo do processo. As partículas coloidais entram em contato com as outras gerando um aumento do seu tamanho físico sendo posteriormente removido por sedimentação que acaba sendo a parte mais simples do processo já que a mesma é feita por forças gravitacionais fazendo com que as partículas mais densas se dirijam para o fundo do decantador onde a partir daí, o líquido obtido já poderá atender as demandas de reúso (SOUZA, 2005).

Para que as partículas se agrupem existem duas ações essenciais, uma delas é a colisão causada pelo movimento das moléculas ou movimento browniano, de viscosidade e energia térmica e a segunda é a colisão causada pelo movimento das águas (RICHTER, 2009).

É compreendido que quanto maior a gradiente de velocidade, maior será a probabilidade de ocorrer contato entre as partículas, possibilitando à agregação dos flocos e visando o aumento do tamanho dos mesmos. Porém, não se devem exceder as velocidades, visto que provocarão quebra nos flocos já formados.

No processo de floculação ocorrem dois fenômenos que se contrapõem: agregação das partículas e ruptura dos flocos, desta forma tornam-se importantes os ensaios laboratoriais, nos quais é possível estabelecer um equilíbrio entre esses fenômenos. Na prática, tem-se observado que o valor do gradiente de velocidade média eficiente diminui à medida que aumenta o tempo de floculação (WAJSMAN, 2014).

2.6.3 Sedimentação

A sedimentação de partículas após a floculação é usualmente chamada de decantação. O processo de remoção de partículas sólidas em suspensão ocorre horizontalmente, fazendo com que a água percorra a maior distância possível para que as forças gravitacionais atuem separando as partículas com densidades superiores. Normalmente estas partículas têm estruturas retangulares que se movimentam no sentido da água. Desta forma, a água mais límpida estará na extremidade superior sendo retirada do processo, enquanto que as partículas mais pesadas se depositarão no fundo do decantador (RICHTER, 2009).

A coagulação e a floculação possibilitam a obtenção de partículas com maior velocidade de sedimentação, viabilizando a construção de unidades de decantação mais compactas. A decantação é uma das técnicas mais antigas e simples de clarificação da água, que consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior a da água, depositando-as em superfície o zona de armazenamento (RICHTER, 1991).

No estudo da sedimentação, distinguem-se dois tipos de partículas: partícula discreta e partícula floculenta. A primeira delas não sofre alteração de tamanho ou de forma durante a sedimentação, ao contrário da partícula floculenta, a qual é predominante no tratamento de água quando se emprega coagulação química.

De acordo com Wajzman (2014), na decantação convencional, o resíduo se deposita no fundo do reservatório, sendo assim, necessária uma manutenção na unidade. A limpeza pode ser feita mecanicamente ou manualmente. A frequência dessa operação dependerá da concentração de sólidos suspensos presentes na água. Em todo caso, o intervalo decorrido entre duas remoções não deve ser longo a ponto de possibilitar a solubilização de metais e outras substâncias nocivas à saúde humana que estejam presentes na forma de precipitado no lodo.

A eficiência da unidade de decantação é reduzida à medida que ocorre um funcionamento inadequado das unidades de coagulação e floculação, o que pode ocorrer devido a problemas operacionais ou até mesmo quando a água bruta apresenta baixa concentração de partículas, dificultando o processo de coagulação, uma vez que a baixa concentração resulta em uma menor taxa de contato entre as partículas e os produtos da hidrólise do coagulante, limitando o transporte de massa (WAJSMAN, 2014).

2.7 Desinfecção

A desinfecção tem por finalidade a destruição de microrganismos patogênicos presentes na água como bactérias, protozoários, algas, vírus e vermes e pode ser feita através do uso de um agente químico ou não (RICHER, 2009). Deve-se notar a diferença entre desinfecção e esterilização.

A desinfecção é necessária, porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento da água. O processo mais comum e eficiente de desinfecção empregado em uma Estação de Tratamento de Água é a adição de cloro no qual, o cloro pode ser facilmente empregado na forma gasosa como Cloro Elementar (Cl_2), ou na forma líquida como Hipoclorito de Sódio e ainda na forma sólida como Hipoclorito de Cálcio (RICHER, 2009).

Além da necessidade da desinfecção, existe a importância de manter o cloro residual livre para que não ocorra aparecimento de microrganismos patogênicos no transporte da água pela canalização durante a distribuição. Entretanto, há um maior interesse pelo uso de desinfetantes alternativos, em decorrência da possibilidade da formação de trihalometanos e compostos organoclorados pelo cloro, que podem causar riscos à saúde pública. Desse modo, existem outras formas alternativas de desinfecção como utilização do Ozônio, Peróxido de Hidrogênio, Radiação Ultravioleta, Permanganato de Potássio, entre outros, porém essas técnicas ainda não foram disseminadas para as Estações de Tratamento de Água (RICHER, 2009).

2.8 Padrões de avaliação da qualidade do efluente

2.8.1 pH

O pH tem grande importância durante o tratamento da água, pois ele está relacionado com a eficiência dos processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção. Além de ser importante o seu controle após o tratamento, para garantir que não ocorra corrosão ocasionada pelo pH baixo e formação de incrustações possibilitadas pelo pH elevado nas tubulações (SPERLING, 2017).

2.8.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO indica a demanda de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica presente na água e, conseqüentemente, indica a presença dessas substâncias, que são as principais responsáveis pela redução na concentração de oxigênio (BRASIL, 2006).

A importância de determinar a DQO é a possibilidade de indicar o teor de matéria orgânica no corpo d'água, o que caracteriza o grau de poluição desse meio (SPERLING, 2017).

2.8.3 Turbidez

A turbidez é uma característica que consiste na medição da resistência oferecida pelas águas à passagem dos raios luminosos, que varia de acordo com a razão inversa da transparência (VON SPERLING, 2006). Essa interferência luminosa quando de origem orgânica pode ser nociva à saúde humana. Por outro lado, quando a natureza desta interferência é inorgânica muitas vezes não é detectada facilmente pelos equipamentos. Este parâmetro analisado representa o grau de interferência devido à matéria em suspensão na água (argila, silte, matéria orgânica, entre outros) capaz de afetar sua transparência e a capacidade da passagem de luz através da água.

2.8.4 Cor

A cor de uma água é classificada em “cor verdadeira” e “cor aparente”. Para a primeira é realizado a centrifugação para retirar a cor provida da turbidez e obtém-se apenas a cor originada das substâncias dissolvidas. Enquanto o segundo, a coloração é determinada junto com os elementos em suspensão (PAVEI, 2006).

A importância da cor como parâmetro de qualidade está relacionada com a formação de produtos potencialmente cancerígenos no processo de cloração em águas com cor alterada. Além disso, a matéria orgânica pode conferir sabor e odor à água e propiciar condições para a formação de biofilmes na rede de distribuição (LIBÂNIO, 2010).

2.8.5 Fósforo Total

Em diversas situações a remoção de fósforo de esgotos sanitários se faz necessária, pois o mesmo, junto com o Nitrogênio, é um dos macronutrientes mais

importantes responsáveis pela eutrofização de águas naturais, tais como lagos, estuários, represas, entre outros. A eutrofização têm como consequências o acentuado crescimento de algas cianofíceas e outras, além de problemas de transparência, gosto, odor e potabilidade das águas, devido ao aumento da quantidade de nutrientes em corpos d'água.

2.8.6 Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos são todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, e podem ser classificadas de acordo com seu tamanho, suas características químicas e sua decantabilidade. Na classificação por tamanho os sólidos podem apresentar-se como em suspensão (particulados) e dissolvidos (solúveis) (VON SPERLING, 2005).

2.8.7 Oxigênio Dissolvido (OD)

Quantidade de oxigênio dissolvido no meio líquido. Esse parâmetro é de muita importância para os organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias utilizam o oxigênio nos seus processos respiratórios, o que leva a causar a redução de sua concentração no meio líquido. E se por ventura o oxigênio for totalmente consumido, tendo sua ausência e um meio anaeróbio, com geração de maus odores (FIORUCCI, 2005).

2.8.8 Coliformes Totais

Este parâmetro permite detectar agentes patogênicos em amostras coletadas de água e esgoto. Porém para realizar a detecção desses agentes patogênicos em amostras de água é extremamente difícil, pelo fato de suas baixas concentrações, o que demanda o exame de grandes volumes das amostras, e as razões são várias, uma delas é em uma população apenas uma determinada faixa apresenta doenças de veiculação hídrica e nas fezes destes habitantes a presença de patógenos pode não ocorrer em elevada proporção. A presença de coliformes é geralmente considerada indicadora de más condições higiênicas e sanitárias (VASCONCELOS, 2006).

2.8.9 Escherichia Coli

É a principal bactéria do grupo de coliformes fecais termotolerantes, sendo abundante nas fezes humanas e de animais de sangue quente. Também encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas a contaminação recente por atividades humanas, agropecuárias e animais. O método de detecção de E. coli é o único que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal. Por estas razões, há uma tendência atual em se utilizar predominantemente E. coli como indicador de contaminação fecal. Embora, a sua detecção não dá garantia de que a contaminação seja humana, já que a E. coli pode ser encontrada em fezes de outros animais. Há algumas espécies de E. coli que são patogênicas, podendo causar diarreia e doenças extra-intestinais (VASCONCELLOS, 2006).

2.8.10 Temperatura

A temperatura do esgoto é geralmente maior do que o abastecimento de água local, devido à adição de água quente em habitações e em atividades industriais. Como o calor específico da água é muito maior que do ar, as temperaturas das águas residuais são maiores do que as temperaturas do ar durante a maior parte do ano. Para a atividade bacteriana em lodos ativados, o ótimo de temperatura se encontra na faixa de 25 a 35°C, se a temperatura for superior a 50°C, a digestão aeróbia e a nitrificação param (METCALF; EDDY, 2003).

2.8.11 Condutividade

Condutividade é uma medida da capacidade de uma solução conduzir a corrente elétrica. Materiais nos quais a corrente é conduzida por íons ao invés de elétrons (como em condutores metálicos) são chamados eletrólitos. Eles são divididos em dois grupos, eletrólitos fortes e fracos, de acordo com seu comportamento de dissociação, isto é a propriedade de compostos químicos dissolvidos em um líquido separarem totalmente ou parcialmente em grupos separados de íons. Eletrólitos fortes são totalmente dissociados na solução, isto é, eles são quebrados em íons. O grupo de eletrólitos fortes inclui todos os ácidos e bases fortes (HCl, NaOH). A água é um exemplo de eletrólito fraco, pois a dissociação em íons ocorre parcialmente. A condutividade é usualmente expressa em microsiemens por centímetro ($\mu\text{s/cm}$). (CAPANEMA, 2004).

2.8.12 Nitrato

Nitrato (NO_3^-) é a composição de Nitrogênio e Oxigênio. O Nitrogênio é essencial para a vida, porém alta concentração de Nitrato na água potável pode ser perigosa para a saúde, especialmente para lactentes e mulheres grávidas. O valor máximo permitido para este contaminante na água potável, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de Dezembro de 2011, é de 10 mg/L.

2.9 Legislação para Reúso

No Brasil, ainda não foi criada uma legislação específica para os padrões exigidos para água de reúso urbano, mas em alguns municípios e estados existem Leis que tratam sobre o tema e conseguem ser inclusive mais exigentes que a maioria das legislações utilizadas em outros países do mundo, quando se refere ao reúso urbano. As leis são da cidade de São Paulo – SP, Maringá – PR e do estado de São Paulo – SP, de Nº 6076/2003, Nº 1674/2015 e da Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01 de 28 de junho de 2017, Respectivamente.

Existe ainda a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual publicou a NBR 13.969/1997, que define os parâmetros mínimos a serem atendidos para o reúso urbano não potável.

A Resolução SES/SMA/SSRH (2017) permite o uso em irrigações paisagísticas, lavagem de logradouros, construção civil, desobstrução de galerias de água pluvial, rede de esgotos e lavagem de veículos especiais. E a NBR 13.969 (1997) é dividida em três classes, sendo elas: Classe 1 - Lavagem de carros, outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água e chafarizes; Classe 2 - Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins e fins paisagísticos; Classe 3 – Descargas sanitárias. Estas Leis e a Resolução disciplinam o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.

3 METODOLOGIA

3.1 Localização do Experimento

Os experimentos foram realizados no laboratório da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES) cedido para a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). O sistema de tratamento estudado em escala laboratorial tinha como afluente o esgoto doméstico coletado de um condomínio que fica localizado ao lado da EXTRABES, no bairro do Catolé da cidade de Campina Grande-PB.

3.2 RBS

O tratamento inicial foi feito através de um reator do tipo RBS de lodo granular, que é um sistema de carga e descarga, onde em um mesmo tanque em sequência são realizados os processos bioquímicos atuando na remoção biológica do material orgânico e dos nutrientes.

O RBS era localizado na EXTRABES e teve a sua alimentação, descarte e aeração controlados por temporizadores digitais. O afluente advindo do condomínio, era bombeado por uma eletrobomba alimentando o reator de volume de 500 litros que trata 2.000 litros de esgoto por dia dividido em 4 bateladas diárias. Esse afluente se misturava ao lodo ativado e juntos formavam um licor misto, que permanecia em aeração e posteriormente era desligada para possibilitar a sedimentação do lodo e clarificação do efluente.

3.3 Procedimentos dos Ensaios

3.3.1 Teste de Jarros

Para os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foi utilizado o *Jar test* da marca Quimis, como apresentado na Figura 2, com 6 jarros, onde foi incluído em cada jarro 1L do efluente de reator RBS. O equipamento vai de 0 a 140 RPM (rotação por minuto), a partir disso foi estabelecido para o gradiente de velocidade

de coagulação e floculação rotações diferentes, e tempos diferentes para a sedimentação.

Figura 2 – Análise Experimental via Jar Test



Fonte: Autor 2019.

Inicialmente, foram realizados alguns testes para identificação da melhor dosagem do coagulante. Onde foram adicionados em cada litro do efluente de RBS, quantidades de 20ml, 30ml e 40ml do coagulante policloreto de alumínio (PAC) a 1%, a mistura rápida foi simulada com uma rotação de 120 e 100 rpm para a coagulação, uma mistura lenta simulada em uma rotação de 60 e 40 rpm para a floculação e um tempo de sedimentação de 30 e 20 minutos. Onde a partir da análise da turbidez, observou-se que o efluente clarificado que continha a quantidade de 30mL do PAC, obteve uma melhor resposta na redução da turbidez. Sendo a partir disso, utilizada a quantidade de 30mL para todas as análises no equipamento.

As amostras foram identificadas como: CL1 para o primeiro teste do efluente clarificado e CL2 para o segundo teste do efluente clarificado. Foram mantidos os mesmos tempos nas análises pra a coagulação e floculação, de 1 minuto e 15 minutos, respectivamente. Variando apenas o gradiente de velocidade como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 – Testes de Clarificação

Amostra	Velocidade de Coagulação (rpm)	Velocidade de Floculação (rpm)	Tempo de Sedimentação (min)
CL1	120	60	30
CL2	100	40	20

Fonte: Autor (2019).

Em seguida, ocorreu a sedimentação e foi separado uma parte do efluente clarificado para a realização das análises e outra parte para a cloração.

3.3.2 Desinfecção por Cloro

Nesta pesquisa, a desinfecção por cloro foi escolhida por ser um produto de fácil aquisição e baixo custo. Utilizou-se 10 mg de Hipoclorito de cálcio $[Ca(ClO)_2]$ a cada litro de efluente tratado. O cloro foi pesado, adicionado ao efluente clarificado e misturado. Após 30 minutos de contato foi verificado o cloro residual através de um kit teste para medir pH e Cloro, geralmente, utilizado em piscinas.

Jordão e Pessoa (2011) recomendam uma dosagem de 2,0 a 8,0 mg/L para efluentes de lodos ativados e cloro residual mínimo de 0,5 mg/L após 30 minutos de contato. Desta forma, como a concentração utilizada no processo de cloração foi de 10 mg/L de hipoclorito de cálcio (40%), o CRT (Cloro Residual Total) foi superior a 0,5 mg/L, onde de acordo com os testes realizados, esse valor era sempre próximo a 1,0 mg/L.

3.4 Monitoramento dos Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos

Inicialmente, foi realizada a caracterização desse efluente de reator RBS, verificando os parâmetros da Tabela 3, com início em outubro e término em novembro de 2019, durando um tempo total de três semanas. As análises laboratoriais foram realizadas diariamente, logo após as coletas das amostras.

O monitoramento do sistema foi implantado para acompanhar e controlar as condições operacionais do reator e tem o intuito de analisar parâmetros importantes na qualidade do efluente para o reúso urbano não potável.

Os parâmetros monitorados foram comparados com os preconizados na norma ABNT NBR 13.969/1997 e com a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH N° 01

de 28 de junho de 2017, visando averiguar a qualidade do esgoto para o reúso urbano na cidade. Desta forma, a qualidade do esgoto tratado através de RBS com o uso do pós-tratamento de clarificação foi composta pelos parâmetros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Variáveis	Método	Referência
Temperatura (° C)	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
*pH	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
*OD (mg.L ⁻¹)	Eletrométrico	Medidor Multiparâmetro
Condutividade (mS/cm)	Potenciométrico	Medidor Multiparâmetro
Turbidez (UNT)	Nefelométrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
*STD (mg.L ⁻¹)	Potenciométrico	Medidor Multiparâmetro
Cor	Colorimétrico	APHA <i>et al.</i> (2012)
Fósforo Total	Ácido Ascórbico	4500-P E/APHA <i>et al.</i> (2012)
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Salicilato de Sódio	SILVA e OLIVEIRA (2001)
*DQO	Titulométrico	5220 C./APHA <i>et al.</i> (2012)
<i>Escherichia coli</i>	Colilert®	APHA <i>et al.</i> (2012)
Coliformes Totais	Colilert®	APHA <i>et al.</i> (2012)

* pH – Potencial hidrogeniônico; OD – Oxigênio Dissolvido; STD- Sólidos totais dissolvidos; *DQO – Demanda Química de Oxigênio.

Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Efluente

Na Tabela 4, são apresentados os valores da caracterização do esgoto bruto, do efluente de reator RBS e do efluente clarificado. Para cada parâmetro foi realizado 6 experimentos e os dados apresentados mostram a média das análises realizadas entre os meses de outubro e novembro. Os parâmetros contemplados foram os seguintes: DQO (Demanda Química de Oxigênio), pH (Potencial Hidrogeniônico), Turbidez, Cor, Fósforo total, STD (Sólidos Totais Dissolvidos), Temperatura, Condutividade, *E.Coli*, Coliformes Totais, OD (Oxigênio Dissolvido) e Nitrato.

Tabela 4 – Caracterização do esgoto bruto, efluente RBS e efluente clarificado.

Parâmetro	Esgoto Bruto	Efluente RBS	Efluente Clarificado	
			CL1	CL2
pH	8,55	8,45	8,46	8,40
DQO (mg/L)	790,0	45,5	45,4	45,6
Turbidez (NTU)	79,00	1,60	0,01	0,02
Cor (uC)	136,0	93,6	56,9	80,9
Fósforo total (mg/L)	8,5	5,54	4,1	2,7
STD (mg/L)	-	1430	1340	1330
Temperatura (°C)	-	23,70	23,54	23,58
Condutividade (mS/cm)	-	1,57	2,22	2,16
<i>E.Coli</i> (NMP/100ml)	8,97X10 ⁶	1,0X10 ⁵	0	0
C.Totais (NMP/100ml)	1,57X10 ⁷	1,0X10 ⁵	6,3X10 ³	2,0X10 ³
OD (mg/L)	-	5,66	5,50	5,72
Nitrato (mg/L)	-	7,15	5,86	5,64

Fonte: Autor (2019).

O parâmetro pH se encontra presente, mas não é uma variável dependente, pois este era medido para analisar se após a adição do PAC haveria uma mudança brusca no seu valor, no entanto, percebe-se que a variação é muito pequena, sendo essa uma das vantagens do PAC, sua aplicação em uma vasta faixa de pH e pequena variação nos seus valores (SANTOS, 2011).

O valor da DQO apresentou eficiência superior a 94% já na primeira parte do tratamento, alcançando a remoção exigida pela legislação. Então, foi realizada a fase de pós-tratamento (clarificação) onde o valor da DQO se manteve praticamente o mesmo pra CL1 e CL2. No que diz respeito à turbidez, pode-se perceber que o esgoto bruto com valor de turbidez de 79 NTU, teve uma remoção alta após passar pelo tratamento por RBS, obtendo um valor de 1,6 NTU que já estaria adequado a todos os tipos de reúso previstos na Resolução NBR 13.969/97 que exige para classe 1 e classe 2 um valor inferior a 5 NTU e de classe 3, valor inferior a 10 NTU.

A turbidez encontrada nos efluentes após a etapa de clarificação foi de 0,01 NTU e 0,02 NTU demonstrando assim, uma boa eficiência dos coagulantes.

O parâmetro cor não é referenciado na Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01, de 28 de junho de 2017 e na NBR 13969/97. Mas, é possível observar que mesmo havendo uma pequena remoção de unidade de cor, a etapa de clarificação não se mostrou eficiente, principalmente no CL2, que apresentou um resultado bem próximo ao do efluente RBS.

Em relação à remoção de fósforo, ao contrário da cor, o CL2 obteve a melhor eficiência, chegando a 69% de remoção do fósforo. Uma das formas mais comuns e rápidas de remoção de fósforo é a precipitação química, por sais de ferro e alumínio, pois a precipitação química apresenta um efluente clarificado parcialmente livre de matéria orgânica em suspensão ou em estado coloidal (TCHOBANOGLIOUS, 2003).

Nos parâmetros condutividade, STD, temperatura, OD e nitrato não foram feitas análises para o esgoto bruto, porém foi visto em todos eles que a diferença do efluente RBS para o CL1 E CL2 foi mínima.

4.2 Desinfecção

Tabela 5 – Remoção de *E.Coli* e Coliformes Totais ao longo do sistema de tratamento

Parâmetro	Esgoto Bruto	RBS	Efluente Clorado	
			CL1x	CL2x
<i>E.Coli</i> (NMP/100ml)	$8,97 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$	Ausente	Ausente
C. Totais	$1,57 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$	Ausente	Ausente

Fonte: Autor (2019).

Observando a Tabela 5, no que diz respeito à remoção de *E.Coli*, pode-se perceber que o esgoto bruto tem um valor bem elevado comparado ao efluente do RBS, que ainda assim continha uma quantidade significativa podendo este efluente não se enquadrar para todos os tipos de reúso, então é notória a importância da fase de adição do Hipoclorito de cálcio $[Ca(ClO)_2]$ que conseguiu remover *E.Coli* de forma eficiente.

Para coliformes totais pode-se observar que houve uma redução bastante significativa do efluente de RBS para os efluentes clarificados mostrando a eficiência do tratamento utilizando coagulante químico.

A agitação pós-cloração foi feita de forma manual já que a quantidade era apenas 1L, então para outras configurações e escalas maiores, a agitação mecânica deve ser considerada. Com base nestes resultados pode-se afirmar que o sistema de tratamento de esgoto proposto operou com estabilidade e eficiência, evidenciando a funcionalidade deste tipo para o tratamento de esgoto municipal, principalmente quando objetiva-se reutilizar a água produzida.

4.3 Síntese dos Resultados

A Tabela 6 apresenta uma síntese dos resultados do monitoramento para efluente clorado que foram comparados com os principais parâmetros preconizados pela Resolução conjunta SES/SMA/SSRH N° 01, de 28 de junho de 2017 e NBR 13969/97.

Tabela 6 - Síntese dos resultados do monitoramento da qualidade do efluente final

Parâmetros	Efluente Clorado	SES/SMA/SSRH	NBR 13969/1997		
		Uso Restrito Severo	Clas se 1	Clas se 2	Class e 3
pH	8,1 ± 0,28	6 – 9	6 - 9	6 – 9	6 – 9
DQO (mg/L)	45,5 ± 2,79	-	<50	<75	<125
Turbidez (NTU)	Ausente	-	< 5	< 5	< 10
Cor (uC)	56,7 ± 2,79	-	-	-	-
STD (mg/L)	1880 ± 35,5	<2000	-	-	-
Temperatura (°C)	22,3 ± 0,03	-	<40°C	<40°C	<40°C
Condutividade (mS/cm)	2,19 ± 0,03	<3	-	-	-
<i>E.Coli</i> (NMP/100ml)	Ausente	<120	-	-	-
C.Totais (NMP/100ml)	Ausente	<200	-	-	-
OD (mg/L)	6,11 ± 0,33	-	>2	>2	>2
Nitrato (mg/L)	5,6 ± 0,02	<10	<20	<20	<20
Fósforo Total (mg/L)	1,3 ± 0,28	-	-	-	-

Fonte: Adaptado da Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e da NBR 13969/97

Analisando os dados da Tabela 6, pode-se afirmar que a maioria dos parâmetros avaliados se adequam aos principais tipos de reúso urbano previstos na Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e na NBR 13.969/97.

Os parâmetros que estão descritos na NBR 13.969/97 para Nitrato se mostram muito acima do que é exigido pela Resolução SES/SMA/SSRH Nº 01/2017, então, levando em consideração o tempo de publicação da norma (1997), por ser muito antiga, deve-se desconsiderar esses valores exigidos para classe 1, classe 2 e classe 3.

Desta forma, o esgoto condominial tratado através de RBS com o pós-tratamento de clarificação junto da cloração tem potencial para o reúso urbano não potável, podendo ainda utilizar esse efluente para outros fins, como por exemplo, o reúso industrial para usos menos nobres.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de tratamento de esgoto utilizando o pós-tratamento de clarificação junto à etapa de cloração produziu um efluente com qualidade físico-química e microbiológica que se adequa às exigências dos usos não potáveis urbanos.

Os resultados evidenciaram a importância da implantação desta tecnologia para produção de água de reúso em escala real, podendo ser aprimorado, através de um planejamento experimental utilizando um delineamento composto central, que tem sido bastante utilizado em estudos em diversas áreas, pois normalmente se espera que os erros experimentais sejam mínimos já que o processo é realizado de forma repetitiva.

Desta forma, é possível ainda produzir uma água de reúso de elevada qualidade, que poderia atender as demandas industriais para usos mais nobres, adicionando ao efluente final um tratamento mais avançado como a osmose reversa.

O processo de coagulação, floculação e sedimentação seguido da cloração utilizados no pós-tratamento de efluente oriundo de RBS tratando esgoto doméstico, mostrou-se eficiente na produção de água de reúso urbano, quanto as qualidades físico-químicas e microbiológicas, conseguindo cumprir com o objetivo do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**: NBR 13969: *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos* – Projeto, construção e operação, RJ, 1997.
- AL-REKABI, W.S., QIANG, H., QIANG, W.W. **Review on sequencing batch reactors**. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6 (1): 11-19, 2007.
- AKABOCI, Thiago Rogerio Vitor; **Tratamento de esgoto sanitário em reator em bateladas sequenciais com grânulos aeróbios: desempenho do processo e modelagem matemática**. 2013. p.31. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- Atacado e Fabricação de Produtos Químicos. **Especificações técnicas do PAC**. 2011. Jardim Anhanguera - Rio Claro, SP
- BASSIN, J.P., KLEEREBEZEM, R., DEZOTTI, M., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. **Simultaneous nitrogen and phosphate removal in aerobic granular sludge reactors operated at different temperatures**. *Water Research*, 46 (12): 3805-3816, 2012.
- Beun, J. J., Hendriks, A., van Loosdrecht, M. C. M., Morgenroth, E., Wilderer, P. A. and Heijnen, J. J., **Aerobic granulation in a sequencing batch reactor**. *Water Research*, 33(10), 2283-2290 (1999).
- BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. "Estabelece as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico; [...] e dá outras providências", publicada no DOU de 11/01/2007.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, janeiro de 1997.
- BRASIL. **Ministério da Saúde**. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF, 212 p. 2006.
- BRASIL. **Ministério da Saúde**. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Brasília, DF, 212 p. 2011.
- BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54, de 28 de novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direito não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, março de 2006.
- BRASIL. Secretaria de Recursos Hidricos / Ministério do Meio Ambiente - SRH/MMA - **Água: Manual de Uso**. Brasília - DF, 2006.
- CAPANEMA, S. P. INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA. Dissertação de Mestrado submetida à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.
- CETESB. **Reúso da água**. São Paulo. SP, 2010.

- COMA, M., VERAWATY, M., PIJUAN, M., YUAN, Z., BOND, P.L. Enhancing aerobic
CONAMA, Resolução nº 430. Ministério do Meio Ambiente - Conselho Nacional de
Meio Ambiente. **Diário Oficial da União** – DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89,
Brasil, 13 de maio de 2011.
- COSTA, E. R. H. et al. Estudos de tratabilidade para redução do consumo de
coagulante e remoção eficiente de ferro e do manganês (estudo de caso). In:
Saneamento ambiental Brasileiro. **ABES**, 2004.
- Dangcong, P., N. Bernet, J. Philippe Delgenes and R. Molett, “Aerobic Granular
Sludge—A Case Report,” *Water Res.* 33,890–893 (1999).
- FABRETI, Aline Akabochi; **Pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização
através de processo físico-químico**. 2006. p. Dissertação de mestrado,
apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FIESP/CIESP. **Conservação e Reúso de Água** – Manual de orientações para o
setor empresarial. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004 v. 1.
- FILHO, J. D. S. & RITA, E. S. S., **Gerenciamento do Resíduo Gerado na
Clarificação de Água da RLAM**, Monografia de Pós-Graduação, Escola Politécnica,
Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia,
Salvador, BA, 2002.
- FIORUCCI, Antonio. R.; FILHO, Edemar. B. **A Importância do Oxigênio Dissolvido
em Ecossistemas Aquáticos**. Química e Saúde. 2005.
- FRANCISCO, A.A.; POHLMANN, P.H.M.; FERREIRA, M.A. **Tratamento
convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica
dos processos envolvidos e dos indicadores de referência**. In: CONGRESSO
BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2, 2011, Londrina. Instituto Brasileiro de
Estudos Ambientais, 2011.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº
01 DE 28 DE JUNHO DE 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para
fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá
providências correlatas. São Paulo-SP, 2017. Disponível em:
<<http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/003/SESSMASSRHN01.pdf>> Acesso
em 18 nov 2019.
- GUIMARÃES, E.; BELLEZA, S.; MOREIRA, A.; SILVA, K.V. **Tratamento de água
pode trazer vantagens econômicas**, 2009.
- HESPANHOL, Ivanildo; **Potencial de Reúso de Água no Brasil Agricultura,
Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. 2002. Artigo convidado. RBRH -
Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95.
- HIDROALL. Industria Química - Produtos para tratamento de piscinas e água para
consumo humano, 2009. Disponível em: Acesso em: 5 de novembro de 2019.
- JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. (2009). **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de
Janeiro, ABES, 5ª edição, 941p.
- JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de
Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, 1050p.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas:
Átomo, 2010.

LIU, Y; YANG, S.F; LIU, Q.S. ; TAY, J.H.; . **The role of cell hydrophobicity in the formation of aerobic granules** *Current Microbiology*, 46: 270–274, 2003.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 4ª Ed. New York: McGraw Hill, 2003. 1819 p.

MISHIMA, K., NAKAMURA, M. **Self-immobilization of aerobic activated sludge - a pilot study of the aerobic upflow sludge blanket process in municipal sewage treatment**. *Water Science & Technology*, 23: 981–990, 1991.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido**. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. (Eds.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p.3

MORGENROTH, E.; SHERDEN, T.; VAN LOOSDRECHT, M.C.M.; HEIJNEN, J.J.; WILDERER, P.A. (1997) **Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor**. *Water Research*, v. 31, n. 12, p. 3191-3194.

PAVEI, S.G. **Análises físico-químicas e microbiológicas da água bruta e tratada utilizada para abastecimento do município de Florianópolis**. 2006; 53 p; Trabalho apresentado a disciplina Estágio Supervisionado como requisito para o título de Bacharel em Química, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

RICHER, C. A.; **Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água**. São Paulo; Blucher, 2009.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.

RODRIGUES, R.S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil**, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTOS, Diego S. dos; HIRT, Bruno F. **Avaliação da filtração de águas pluviais para uso não potável**. 2012. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHWARZENBECK, N., ERLEY, R., WILDERER, P.A. **Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter**. *Water Science & Technology*, 49 (11-12): 41-46, 2004.

SHOW, K.Y., LEE, D.J., TAY, J.H. **Aerobic granulation: advances and challenges**. *Applied Biochemical Biotechnology*, 167: 1622-1640, 2012. *Technology*, v. 103, p. 101–108, 2012.

SOUZA, M. G. **Estudo do comportamento hidráulico e hidrodinâmico de floculadores hidráulicos de escoamento horizontal**. 2005. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. (2003) **Wastewater Engineer: Treatment and Reuse**. McGraw-Hill Inc., 4ed., New York.

- VASCONCELLOS, Fernanda. C. S. **Análise Microbiológica de Barras de Cereais e Cereais Matinais, comercializados na cidade de Pelotas RS**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1, 3ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 452 p.
- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2006.
- VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização**; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2017.
- WAGNER, J. **Processo de granulação aeróbia em reatores em bateladas sequenciais (RBS)**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2015.
- WAJSMAN, E. N.. **Concepção de estação piloto de tratamento de água no centro experimental de saneamento ambiental**. 77p. 2014 .Monografia Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- WESTERHOFF, G. P. **Un update of research needs for water reuse**. 1984. In: BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Capítulo 2 – Conceito de reúso de água. In: REÚSO DE ÁGUA. Barueri, SP: Manole, 2003.
- WILDERER, P.A. **Decentralized versus centralized wastewater management**. In: Decentralized Sanitation and Reuse. In: Concepts, systems and implementation. Ed. Lens, P. Zeeman, G., Lettinga, G. IWA Publishing, Integrated Envir. Techn. Series, London, UK: 39- 54,2001.
- XAVIER, J. A. **Granulação Natural da Biomassa em Reator Operado em Bateladas Sequenciais Para Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2017. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2017.
- YAMAMURA, Victor Docê e CONSTANTINO, Arcioni Ferrari. **Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC**. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá/PR: 2009. 10 p.
- ZHANG, C., ZHANG, H., & YANG, F. **Diameter control and stability maintenance of aerobic granular sludge in an A/O/A SBR**. Separation and Purification Technology, 149: 362-369, 2015.
- ZINATO, Maria do Carmo. OLIVEIRA, Cecy. **Água e Saneamento Básico**. POSEAD, Universidade Gama Filho. Brasília -DF, 2008.