

SUGESTÕES PARA OBTENÇÃO DE POTABILIDADE DIRETA APÓS TRATAMENTO CONVENCIONAL DO ESGOTO DOMÉSTICO

Eduardo Antonio Maia Lins (*), Nayhara Araújo Augusto do Nascimento

*Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP / Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Campus Recife,
eduardomaialins@gmail.com.

RESUMO

A escassez da água potável ou o seu encarecimento devido às dificuldades de obtenção em determinadas regiões colocou em pauta a discussão a respeito do reuso da água. As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água. Portanto, é de fundamental importância estudar o uso de tecnologias eficientes na produção de águas de reuso com elevado grau de pureza. Tomou-se como iniciativa os estudos no efluente tratado da unidade ETE Janga, para possíveis reusos diretos locais, bem como gerar alternativa paralela de abastecimento na localidade. Os parâmetros a serem analisados inicialmente para caracterização dos efluentes da ETE Janga e desenvolvimento de estudos para o reuso direto dos efluentes com intensões de abastecimento serão a demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cloretos, coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais. As análises realizadas para o período de 1 ano (agosto de 2017 a 2018) mostraram que a estação removeu valores máximos de 93,5% e mínimos de 81,7% para a DQO; máxima de 96,6% e mínima de 87,6% para DBO e 99,9% de coliformes termotolerantes em determinados meses, porém, em situação crítica, os padrões de lançamento superam casas de 106 UFC/mL, fato este que interfere no uso da água para reuso. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior. Baseado nas informações apresentadas neste trabalho foi possível constatar que os métodos de desinfecção de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização apresentam empecilhos que os tornam obsoletos em relação a tecnologias mais recentes como a radiação UV.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, Esgoto, Eficiência.

INTRODUÇÃO

De acordo com Martins (2003) três quartos da superfície da Terra são cobertos por água, correspondendo a 354.200 Km do planeta, formados por oceanos, rios, lagos, pântanos, manguezais, geleiras e as calotas polares. Dos 1.386 milhões de Km³ de água apenas 2,5% desse total são de água doce, sendo que 68,9% estão na forma de geleira, significando que apenas 0,3% de toda água da Terra está acessível e pode ser consumida direto da natureza. A água, em estado líquido é componente essencial para os seres vivos, presente nos animais, nas plantas e no ser humano, como fluxos microscópicos. “A degradação da água tem efeitos dramáticos sobre a fauna, a flora e a saúde do homem. O desinteresse sobre a poluição da água favorece a contaminação alarmante dos lençóis subterrâneos, dos rios e das águas costeiras” (GEO MÚNDI, 2007).

A escassez da água potável ou o seu encarecimento devido às dificuldades de obtenção em determinadas regiões colocou em pauta a discussão a respeito do reuso da água. Ainda não existe uma legislação que regulamente os parâmetros para tratamento da água para reuso, onde o mercado adotou os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13.969 de setembro de 1997.

Sabendo que a água é um elemento imprescindível à vida, é necessário que se adotem medidas para garantir, tanto quanto possível, suas características químicas e biológicas, a fim de que seja própria para o consumo humano e animal. Esta água deve ser isenta de contaminantes, além de apresentar certos requisitos de ordem estética. Entre os contaminantes biológicos são citados os organismos patogênicos compreendendo bactérias, vírus, protozoários e helmintos, que veiculados pela água podem ser ingeridos e parasitar o organismo humano ou animal (BRANCO, 1974).

O conceito de "substituição de fontes" se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, que suporta este conceito: "a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior".

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se

constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

Por exemplo, nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, tendo em vista a ausência de chuvas e, portanto, a pouca disponibilidade de reservas de água doce. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos, procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (HESPANHOL, 2002). Além disso, o esgotamento progressivo das reservas de água potável e/ou os altos custos de mobilização de novos mananciais, localizados a grandes distâncias dos centros consumidores, levou muitas empresas de saneamento básico a considerar tecnologias de filtração por membranas para reciclar águas residuárias (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 1990)

No que diz respeito ao reuso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) considera que se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo tal prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos; além disso, reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade, como também, diminui os custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Portanto, é de fundamental importância estudar o uso de tecnologias eficientes na produção de águas de reuso com elevado grau de pureza. Este estudo tomou como iniciativa uma avaliação no efluente tratado da unidade ETE Janga, para possíveis reusos diretos locais, bem como gerar alternativa paralela de abastecimento na localidade.

2. METODOLOGIA

2.1. Local de Estudo e Estrutura

A ETE Janga está situada na Avenida E, S/N Maranguape II – Paulista/PE, a margem do Rio Timbó, tendo sido construída no período de 1965 a 1967. A estação de tratamento recebe contribuições da bacia Janga, com uma área de 29m², abrangendo os seguintes bairros: Ouro Preto, Bairro Novo, Bom sucesso, Monte, Amaro Branco, Bultrins, Alto da Nação, Jd. Atlântico, Casa Caiada, Frágoso, Rio Doce, Jd. Maranguape, Maranguape I, Maranguape II, Alameda Paulista, Janga, Pau Amarelo, Engenho Maranguape, e Nossa Senhora da Conceição (Figura 1). Os esgotos são predominantemente de esgotos domésticos e sua população é de nível médio. Desta forma, a estação de tratamento recebe contribuição de vinte e três elevatórias de esgotos domésticos, situadas no município de Olinda e Paulista.

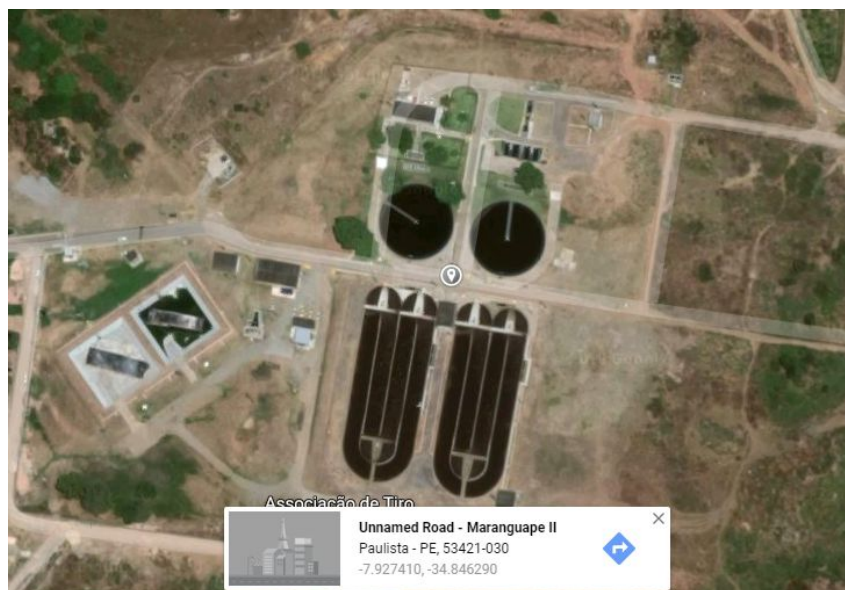


Figura 1: Estação de tratamento Janga. Fonte: Google Maps (2020).

A estação de tratamento de Janga foi projetada para tratar 400l/s, com o atendimento de uma população de 160.000 habitantes, com contribuição orgânica de média 30,24g D.B.O./hab.dia, com carga orgânica total de 4838kg D.B.O./dia e 95% de eficiência na remoção de D.B.O na ETE.

O processo da estação de tratamento de Janga (Figura 2) é de lodo ativado por aeração prolongada, na qual são empregados tanques de aeração do tipo fluxo orbital (ou do tipo carrossel), tratamento exclusivamente de natureza biológica, onde a matéria orgânica é depurada, por meio de colônias de microrganismos heterogêneos específicos, na presença de oxigênio (processo exclusivamente aeróbio). Essas colônias de microrganismos formam uma massa denominada de lodo (lodo ativo, ativado ou biológico).

As instalações encontradas na Estação de Tratamento de esgoto de Janga são compostas por:

- Calha parshall;
- Grades de barras;
- Caixa de areia;
- Caixa de distribuição dos valos de oxidação;
- Valos de oxidação;
- Decantadores secundários;
- Estação elétrica;
- Skids de lodo;
- Lagoas de desidratação;
- Elevatória do efluente líquido das lagoas de desidratação;
- Elevatória de recirculação de lodo.

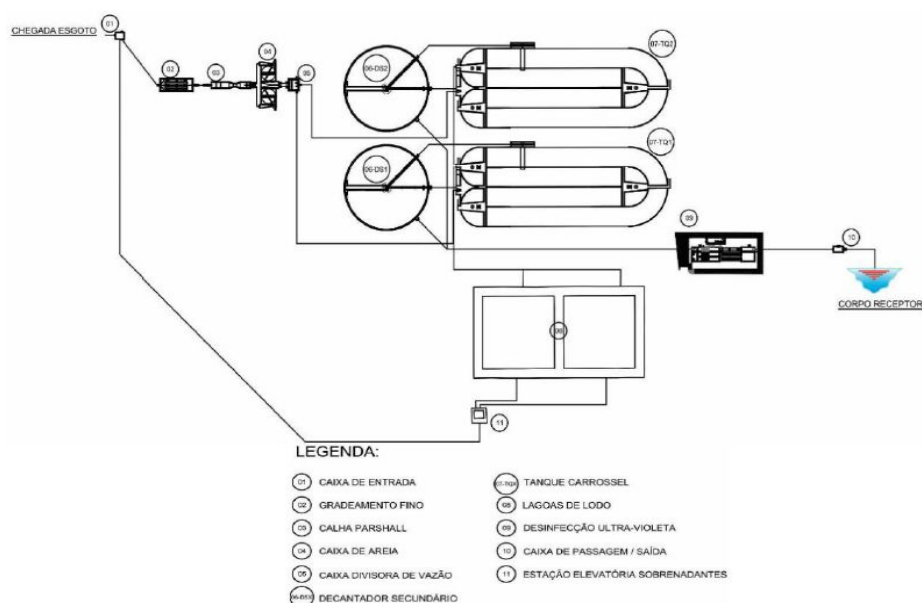


Figura 2: Fluxograma estação de tratamento Janga. Fonte: BRK AMBIENTAL (2017).

O canal afluente com medidor de vazão tipo calha parshall está localizada no início, logo após a caixa de chegada das tubulações de recalque das elevatórias que contribuem para a estação de tratamento, a calha parshall tem como finalidade medir e indicar para o registrador as vazões instantâneas afluentes a ETE, bem como, indicar a totalização das vazões, sendo operada em queda livre, sem afogamento.

O sistema de gradeamento se compõe de 1 (uma) grade de barras, tendo como finalidade a remoção de sólidos grosseiros lançados indevidamente, nas instalações prediais e nos coletores de esgotos de rede pública, constituindo junto com as caixas de areia, as unidades do tratamento preliminar dos esgotos da estação de tratamento de esgoto de Janga.

As 2 (duas) caixas de areia ou desarenadores são iguais, tendo por finalidade reter e remover detritos minerais inertes e pesados, que se encontram nos esgotos (areia, entulhos, seixos, partículas de metal, etc.) de modo a evitar a abrasão nos equipamentos e nas tubulações, eliminando ou reduzindo a possibilidade de obstrução nas unidades de tratamento subsequentes, nos dispositivos de manobras, de transporte de esgotos e de lodo, bem como, evitar a deposição de areia em locais de baixa velocidade do fluxo.

Os 2 (dois) valos de oxidação são iguais, onde o esgoto é submetido a um processo de aeração onde ocorre a oxidação biológica promovendo o crescimento de flocos biológicos e conseqüentemente a redução da DBO (Demanda bioquímica

de Oxigênio). O esgoto bruto é enviado ao tanque de aeração, contendo uma população microbiana, ao qual é fornecido um percentual de oxigênio, através de aeradores de fluxo orbital.

Os decantadores secundários são iguais, a biomassa floculada sedimenta deixando o líquido clarificado visualmente, livre de sólidos em suspensão, e subsequentemente é descartado como esgoto tratado. Os novos microrganismos formados (lodo em excesso) que são produzidos no processo de lodos ativados podem ser removidos do compartimento de sedimentação de forma a manter a quantidade de lodo em um valor projetado. Esse lodo decantado pode ser descartado para um sistema de desagüamento ou retornado para os valos de oxidação, mantendo o nível de biomassa adequado para o processo, sendo fundamental para a tratabilidade do efluente.

As lagoas de desidratação de lodo, comportam 2 (dois) geobags, sistema de alta resistência para confinamento e desidratação de material com alto teor de umidade. Os geobags fazem parte de um processo de filtragem de lodo e separação dos resíduos sólidos, que depois de completamente drenados, ficam retidos nos geobags e destinados para o aterro sanitário, com teor de sólidos de 30% a 35% de massa seca.

Além da desidratação de lodo nos geobags, a unidade possui dois SKIDS que fazem parte de um processo de centrifuga de lodo e separação dos resíduos sólidos, que auxiliam no volume de descarte diário da unidade.

2.2. Análises do efluente

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos. A característica dos esgotos é em função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social, econômica, e hábitos da população. No projeto de uma estação de tratamento, normalmente não se determina os diversos compostos dos quais a água residual é constituída, pela dificuldade em se conhecer exatamente o efluente, já que este constante sofre alterações em função do que se deseja nele. Assim, é preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser divididos em três categorias: parâmetros físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 1995).

O tratamento dos esgotos sanitários antes de seu lançamento em qualquer corpo hídrico tem como objetivo: prevenir e reduzir a disseminação de doenças transmissíveis causadas pelos microrganismos patogênicos; conservar as fontes de abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola; manter as características da água necessária à piscicultura; fazer a manutenção das águas para banho e outros propósitos recreativos; preservar a fauna e a flora aquáticas.

Na unidade Janga (Figura 3), os seguintes parâmetros são fundamentais para a operação do processo de lodos ativados, e garantia de 90 a 95% de eficiência em remoção de carga orgânica.

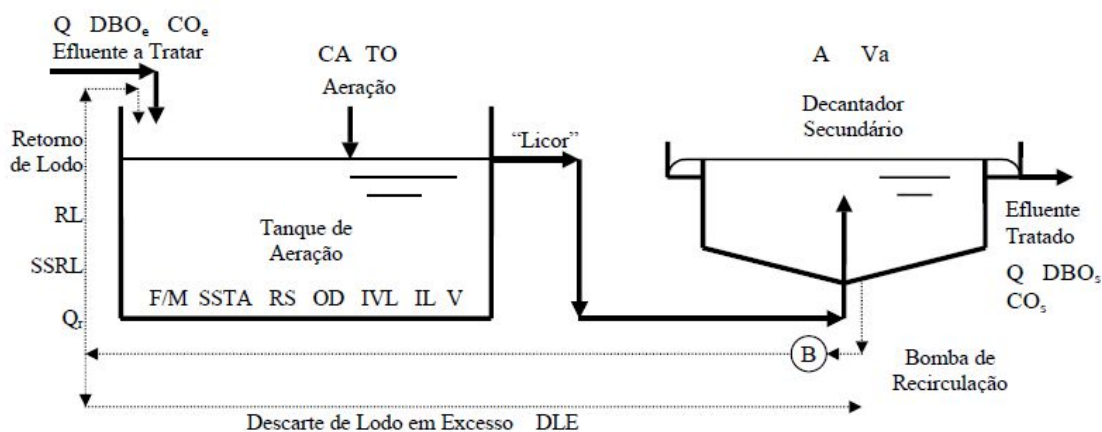


Figura 3 – Fluxograma do sistema de lodo ativado. Fonte: Os autores.

Os parâmetros a serem analisados inicialmente para caracterização dos efluentes da ETE Janga e desenvolvimento de estudos para o reúso direto dos efluentes com intensões de abastecimento serão a demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cloretos, coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Eficiência do Sistema de Tratamento de Esgoto

Para a implantação deste projeto, analisou-se os efluentes na entrada e saída da estação, pelo período de 1 (um) ano com coletas e análises mensais, constatando assim que o efluente da estação é ideal para essa atividade, pois necessitaria de pequenas adequações posteriores ao tratamento convencional para adequação a potabilidade esperada. As análises de entrada e saída da ETE Janga estão ilustradas nas Figuras 4 a 9.

As análises realizadas para o período de 1 ano (agosto de 2017 a 2018) mostraram que a estação removeu valores máximos de 93,5% e mínimos de 81,7% para a DQO (Figura 4); máxima de 96,6% e mínima de 87,6% para DBO (Figura 5) e 99,9% de coliformes termotolerantes em determinados meses, porém, em situação crítica, os padrões de lançamento superam casas de 106 UFC/mL (Figura 6), fato este que interfere no uso da água para reúso. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior.

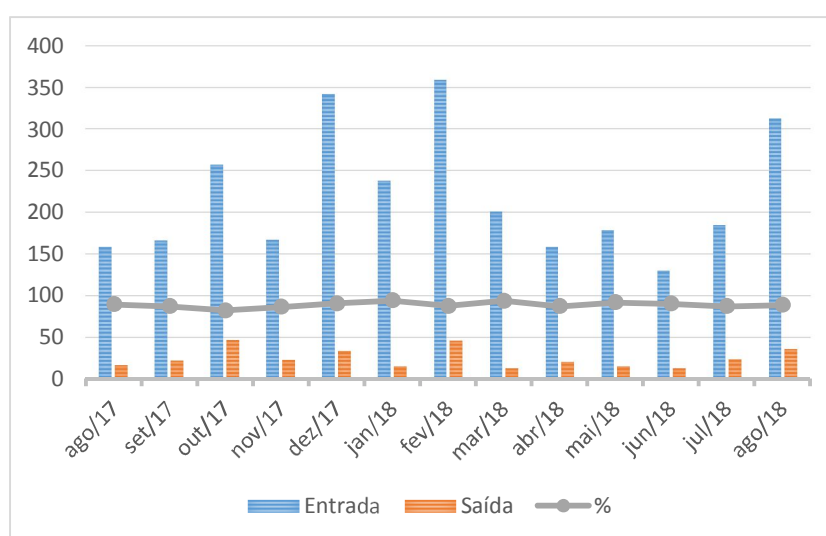


Figura 4: Análise da DQO na Entrada e Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

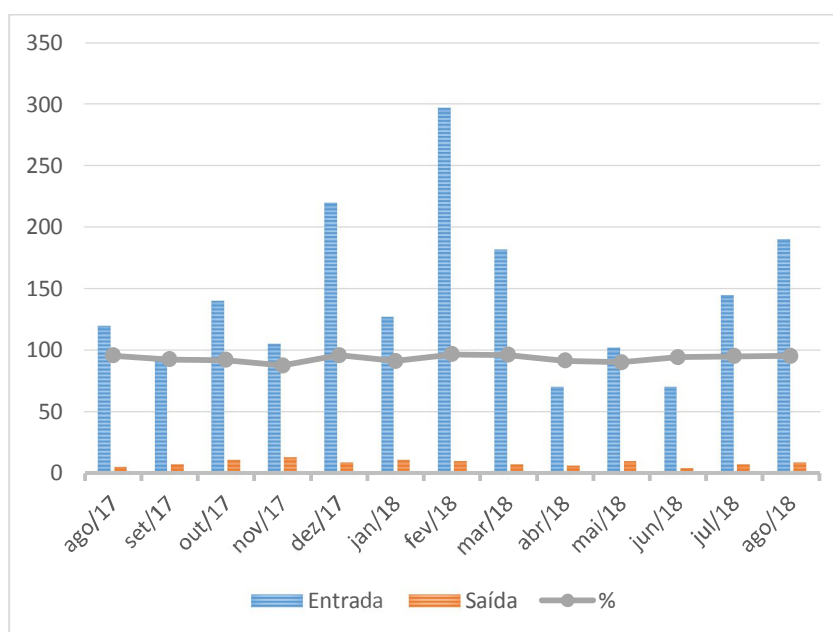


Figura 5: Análise da DBO na Entrada e Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

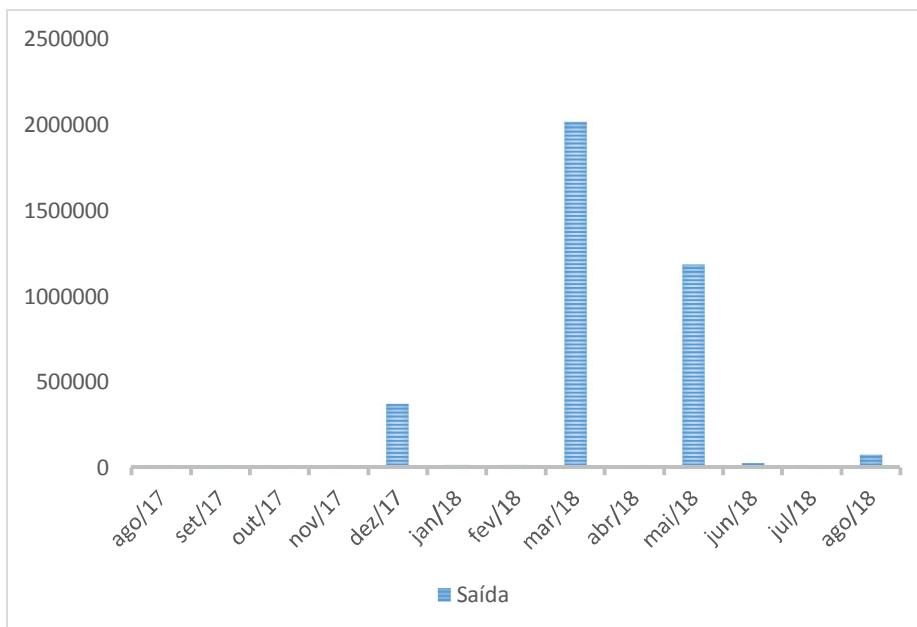


Figura 6: Análise dos Coliformes Termotolerantes na Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

As concentrações de sólidos em suspensão são medidas importantes no controle de decantadores e outras unidades de separação de sólidos. Constituem parâmetro utilizado em análises de balanço de massa. O excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves problemas de salinização do solo. A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se também com a condutividade elétrica da água.

Deve-se salientar que a determinação das frações de sólidos é muito mais recomendada para águas fortemente poluídas e esgotos do que para águas limpas. Pouco são usadas nas estações de tratamento de água para abastecimento público, exceto as mais modernas que recuperam águas de lavagem de filtros e tratam e destinam adequadamente os lodos separados nos decantadores.

De acordo com as Figuras 7 e 8, observa-se altos valores de sólidos dissolvidos e suspensos na entrada da estação tendo uma remoção bem eficiente em sua saída baseado em sistemas físicos de decantação. Porém, para alguns meses os sólidos dissolvidos encontram-se altos e acima dos padrões de entrada, fato este que pode ser justificado pela necessidade de manutenção de algumas etapas físicas e químicas.

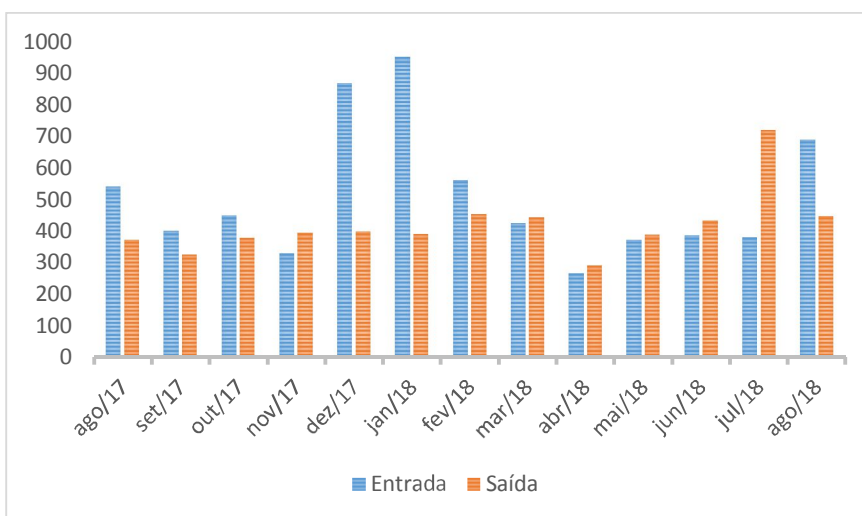


Figura 7: Análise dos Sólidos Dissolvidos Totais na Entrada e Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

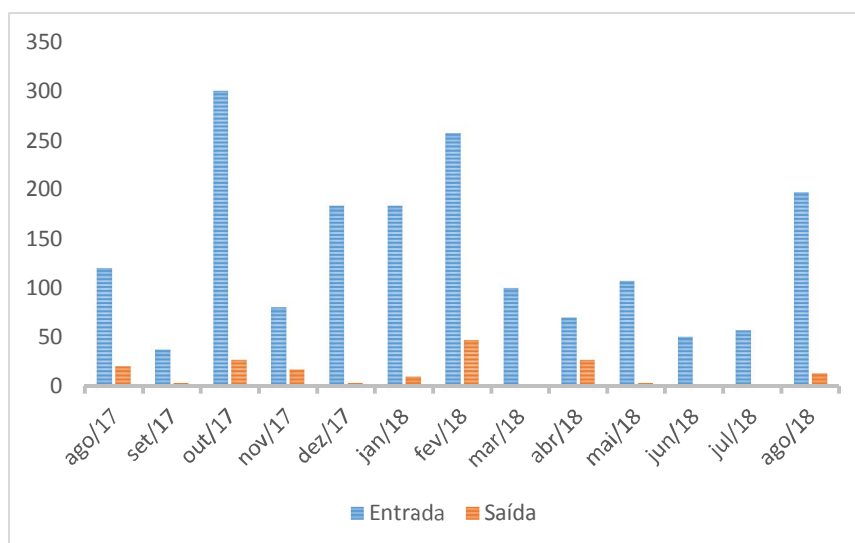


Figura 8: Análise dos Sólidos Suspensos Totais na Entrada e Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 1.469 do Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor “salgado” na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade (CETESB, 2010). O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (SPERLING, 2005). A Figura 9 apresenta baixos valores de cloreto em sua saída, significando que o sistema é eficiente para este parâmetro. Observou-se na entrada da estação para os meses de dezembro e janeiro altos valores na entrada as estação.

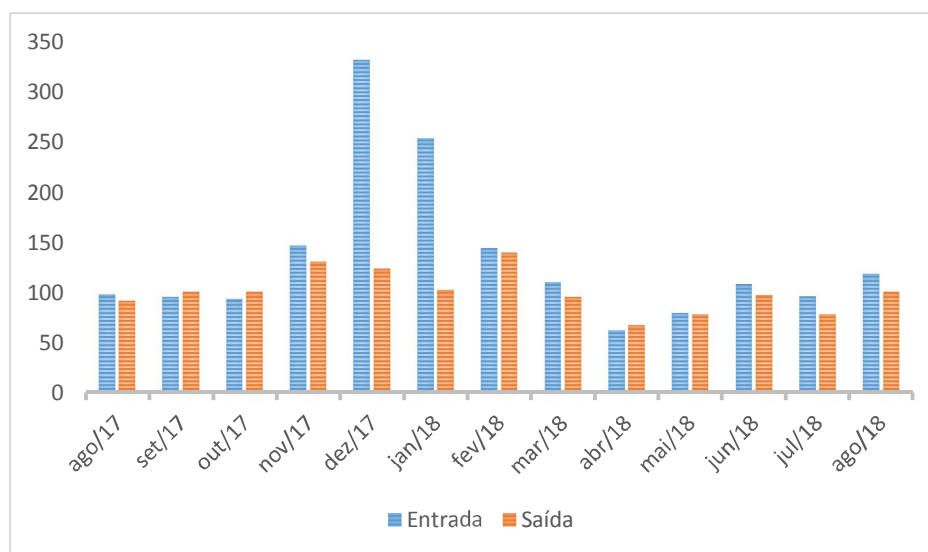


Figura 9: Análise do Cloreto na Entrada e Saída do Sistema. Fonte: Os autores.

De um modo geral sabe-se que o risco de contaminação está relacionado ao fato de que os esgotos contêm uma série de organismos patogênicos que são excretados juntamente com as fezes de indivíduos infectados. Até mesmo os esgotos tratados em processos convencionais, como reatores anaeróbios, lodos ativados, filtros biológicos etc., podem contaminar fontes de água para abastecimento público, uso recreacional, irrigação de culturas, dessedentação de animais etc. Isso acontece porque os processos de tratamento de esgotos não são suficientemente eficientes na remoção de microrganismos patogênicos. Nesse sentido a desinfecção dos esgotos deve ser considerada quando se pretende reduzir os riscos de transmissão de doenças infecciosas, quando a probabilidade de ocorrer o contato humano, direto ou indireto, com as águas contaminadas (CHERNICHARO et al, 1999).

Os organismos patogênicos de maior preocupação, quando o homem é exposto a ambientes contaminados com esgotos são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais. Uma grande variedade destes organismos está sempre presente em todos os esgotos de origem doméstica, sendo que a sua transmissão para o homem pode ocorrer das seguintes formas:

- Ingestão direta de água não tratada.

- Ingestão direta de água tratada. Nesse caso, pressupõe-se alguma falha no sistema de tratamento ou de distribuição de água.
- Ingestão de alimentos infectados com patógenos presentes em águas contaminadas.
- Penetração resultante do contato da pele com a água contaminada.

3.2 Necessidade da Desinfecção dos Efluentes Tratados

Com o conhecimento adquirido das eficiências de tratamento da unidade ETE JANGA, bem como características de remoção de nutrientes e patógenos, faz-se necessário buscas por tecnologias adequadas que enquadrem o efluente final para torná-lo potável e garantir o abastecimento de forma segura. Sabendo que, o processo de desinfecção de esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos, principalmente aquelas que ameaçam a saúde humana, observando os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes situações (GONÇALVES et al. 2003).

Gonçalves et al. (2003), afirma que a transmissão dos patógenos pode ser facilitada pelos seguintes fatores: alta carga excretada; baixa dose infectante; baixa imunidade; sobrevivência prolongada no meio ambiente; inexistência de período de latência no meio ambiente; existência de reservatório animal; inexistência de hospedeiros intermediários; resistência aos processos de tratamento de água e esgotos; múltiplos modos de transmissão.

A desinfecção refere-se a destruição seletiva desses organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É usualmente conseguida pelo uso de agentes químicos e físicos; meios mecânicos e radiação. Existem quatro mecanismos propostos para explicar a ação dos desinfetantes: danificação da parede celular; alteração da permeabilidade da célula; alteração da natureza coloidal do protoplasma e inibição da atividade enzimática. (METCALF & EDDY, 1991). Segundo METCALF & EDDY (1991), para se conseguir uma desinfecção efetiva, os seguintes fatores principais devem ser considerados: tempo de contato, concentração, tipo, intensidade e natureza dos agentes químico e físico, temperatura, número e tipo de microrganismos e natureza do líquido.

Há muitos fatores que influenciam na eficiência da desinfecção, destacando-se as características físicas, químicas e biológicas da água a ser desinfetada, o tipo e dosagem do desinfetante e o tempo de contato. Portanto para cada tipo de efluente há um agente que melhor se adapta para o seu tratamento.

A desinfecção de esgotos sanitários não visa à eliminação total de microrganismos (esterilização), conforme ocorre na medicina e na indústria de alimentos. Desinfetar esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, em consonância com os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes situações. Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos podem ser reunidos em grupos (DANIEL, 2001):

- a) Destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular. O agente desinfetante atua sobre os componentes dessas estruturas celulares, impedindo que desenvolvam suas funções elementares adequadamente.
- b) Alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, como enzimas e seus substratos, alterando o balanço de energia na célula.
- c) Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucléicos e coenzimas.

A desinfecção pode, segundo Gonçalves et al. (2003), ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais, sendo que ambos utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos. Os processos artificiais envolvem a cloração e/ou descloração, ozonização, radiação ultravioleta (UV) e outros desinfetantes alternativos como o permanganato de potássio, as cloraminas, o ácido peracético etc. Já a desinfecção natural é realizada por meio de lagoas de estabilização ou disposição controlada no solo. Esses processos podem ser visualizados de forma simplificada com o esquema abaixo.

Ainda de acordo com Gonçalves et al. (2003), tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. No caso dos processos naturais, há, ainda, o concurso de agentes biológicos na inativação de patógenos.

Entre os agentes físicos pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas. O aquecimento é uma técnica reconhecidamente eficiente na desinfecção de águas, mas não encontra aplicação prática no tratamento de esgotos, por ser extremamente antieconômica até mesmo em pequena escala.

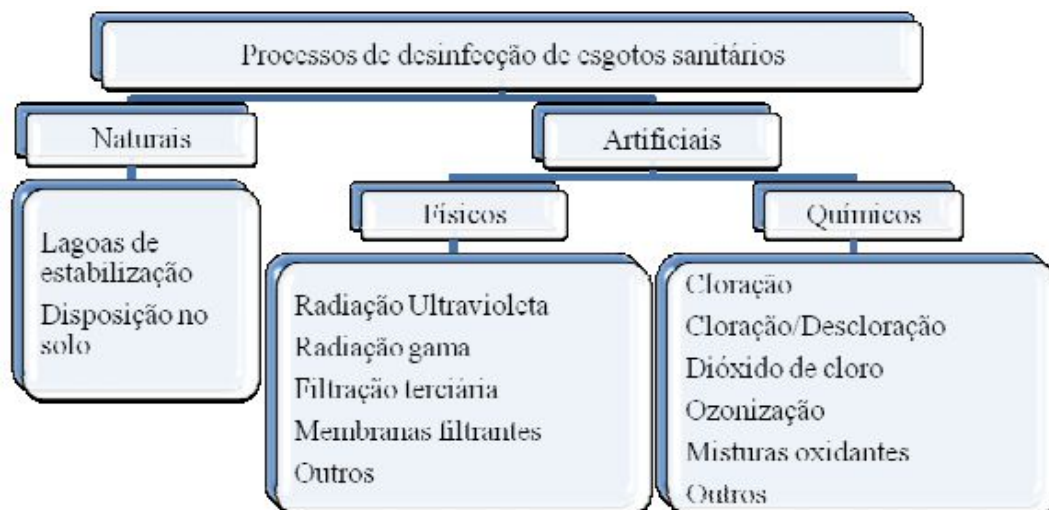


Figura 10. Processos de desinfecção. Fonte: Gonçalves et al. (2003).

As radiações ionizantes do tipo gama, também em função dos custos envolvidos, restringem-se a aplicações de pequena escala. No tocante à radiação ultravioleta, suas aplicações experimentam aceitação crescente, tanto pela técnica de solarização, que utiliza a luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto por reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta.

A filtração em membranas já integra o fluxograma de algumas estações de tratamento de esgotos e experimenta crescente aplicação devido à redução de preço das membranas. A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio.

Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos. O desempenho de determinado processo de desinfecção depende diretamente da resistência específica dos diferentes organismos patogênicos ao agente desinfetante (cinética de decaimento), bem como da maneira pela qual ocorre o escoamento do líquido em seu interior (comportamento hidrodinâmico). No que se refere ao primeiro aspecto, sabe-se que os organismos presentes no esgoto possuem sensibilidades diferentes à qualidade (tipo) e à quantidade (dose) dos diversos agentes desinfetantes. Mesmo que determinado produto desinfetante seja fornecido em quantidade suficiente à inativação de determinada espécie de organismo, é fundamental que o contato entre o desinfetante e os organismos ocorra de forma adequada.

Como nível de qualidade para águas destinadas ao abastecimento, foram adotados os estipulados pela CONAMA nº 357 (2005) e MS 2914 (2011), referentes aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, bem como o índice de qualidade das águas (IQA). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Os parâmetros de maior relevância estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros para as águas de classe 1.

As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões	
Materiais flutuantes	Virtualmente ausentes
Óleos e graxas	Virtualmente ausentes
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Virtualmente ausentes
Corantes provenientes de fontes antrópicas	Virtualmente ausentes
Resíduos sólidos objetáveis	Virtualmente ausentes
Coliformes termotolerantes	200 NMP/100ml
Demanda bioquímica de oxigênio	3 mg/L O ₂ ;
Oxigênio dissolvido	Não inferior a 6 mg/L O ₂
Turbidez	40 UNT
pH	6,0 a 9,0

Fonte: Adaptado do CONAMA, 2005.

Para ser possível o reuso de efluentes sanitários estes devem se enquadrar aos padrões contidos na Tabela 1. Dessa forma, é necessário que os despejos de origem doméstica sejam encaminhados para estação de tratamento. A literatura mostra

que o tratamento convencional é eficaz na remoção de sólidos grosseiros e areia, além do material flutuante. Quanto ao material orgânico, a Tabela 2 mostra o resultado esperado para o efluente tratado por um sistema de lodos ativados para alguns parâmetros regulados pela CONAMA, incluindo matéria orgânica (DBO₅).

Tabela 2. Valores do efluente sanitário tratado por sistema de lodos ativados operados em fluxo contínuos.

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Níveis CONAMA n°357/05	Atende a norma?
DBO₅	190 mg/L de O ₂	9 mg/L de O ₂	3,00 mg/L de O ₂	NÃO
OD	-	3,95 mg/L de O ₂	6 mg/L O ₂	SIM
Nitrogênio amoniacal total (para pH ≤ 7,5)	26,43 mg/L de N	2,63 mg/L de N	3,70 mg/L de N	SIM
Nitrato	1,0 mg/L de N	2,2 mg/L de N	10,0 mg/L de N	SIM
Fósforo total			0,02 mg/L de P	

Fonte: BRK AMBIENTAL (2018).

A Tabela 3 compara o desempenho de remoção de microrganismos em sistemas de lodos ativados e biofiltros, compreendendo a etapa final do tratamento convencional. É possível observar que os desempenhos dos dois sistemas são virtualmente iguais.

Tabela 3. Porcentagem de remoção de microrganismos patogênicos em efluente sanitário tratado por sistema de lodos ativados e biofiltros.

Microorganismos Patogênicos	Lodos ativados	Biofiltros
Vírus	90-99	90-99
Bactérias	90-99	90-99
Cistos de Protozoários	50	50
Ovos de Helmintos	50-99	50-99

Fonte: Adaptado de Jordão & Pessôa, 2014.

Como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3, o tratamento convencional remove grande parte do material orgânico, além de substâncias nutrientes como fósforo e nitrogênio presentes nos despejos de origem doméstica. Entretanto, alguns parâmetros não atingem os níveis determinados pelas normas vigentes para abastecimento, sendo os mais significativos os microbiológicos. Observa-se que cistos de protozoários e ovos de helmintos podem apresentar porcentagens de eliminação de apenas 50%, representando risco a saúde aos usuários e consumidores da água. Assim, é comprovada a necessidade de tratamento adicional de desinfecção para adequação dos efluentes sanitários ao abastecimento público. Dentre os métodos de inativação de patógenos abordados neste trabalho estão descritos: os naturais (lagoas de maturação) e os artificiais (uso de cloro, dióxido de cloro, ozônio e radiação UV).

A viabilidade da utilização dos processos supracitados deve ser comprovada pelo atendimento aos requisitos listados a seguir:

- Não necessitar de grandes áreas para implementação do método, de forma que possa ser aplicado em estações de tratamento de diferentes tamanhos;
- Não ser tóxico ou potencialmente inflamável, evitando risco à saúde dos trabalhadores da estação de tratamento;
- Não ser quimicamente instável, garantindo períodos longos para decomposição;
- Não produzir subprodutos que apresentem toxicidade a saúde humana;
- Produzir residual não tóxico a saúde humana e de fácil detecção, permitindo a análise da concentração do composto no efluente após a saída da estação de tratamento;
- Possuir forte potencial oxidante, podendo ser utilizado na oxidação da matéria orgânica e inorgânica presente nos efluentes sanitários. Representando uma forma de redução na concentração de nutrientes, desejada nos efluentes destinados à irrigação agrícola;
- Possuir alta eficiência na eliminação de patógenos, reduzindo os níveis destes microrganismos aos recomendados pela norma;
- Não necessitar de longo tempo de contato para inativação de microrganismos patogênicos;
- Não ter seu poder desinfetante afetado por fatores como: variações climáticas, mudanças de pH e temperatura, além da concentração de sólidos dissolvidos totais ou turbidez no efluente a ser tratado;

Com base nas características citadas acima, é possível estabelecer vantagens e desvantagens para cada técnica de desinfecção.

3.3 Possível Desinfecção de Efluentes por Ultravioleta

A Estação de Tratamento de Esgotos Janga, é composta por um sistema de lodos ativados, do tipo aeração prolongada. O efluente tratado apresenta boas características físico-químicas para ser desinfetado pelo sistema de ultravioleta. O uso de água residuária doméstica após tratamento adequado constitui um potencial recurso de água que pode ser de grande interesse para diversos setores, tais como a agricultura, especialmente em países que sofrem devido à deficiência de recursos hídricos (OPPENHEIMER et al, 1993).

Os processos convencionais de tratamento de esgotos (pré-tratamento, tratamento primário e secundário) alcançam uma remoção satisfatória de carga orgânica (sólidos suspensos, DBO e DQO) mas mostram-se ineficientes na remoção de microrganismos patogênicos. A desinfecção por meio da radiação ultravioleta é bastante antiga porém, somente a partir da década de quarenta é que se tem notícia de sua aplicação para desinfecção de águas destinadas ao consumo humano (DI BERNARDO, 1993).

De acordo com BLATCHLEY et al., (1996) é considerada uma alternativa viável comparando-a com a desinfecção química, porque é isenta de subprodutos tóxicos, os quais geralmente são produzidos durante a desinfecção química. Também é caracterizada pelo curto tempo de contato e uma melhor ação antiviral em relação a outros desinfetantes.

Vários fatores, tais como o revestimento e o envelhecimento da lâmpada, a turbidez da água, a concentração de sólidos suspensos e microrganismos, e a densidade do fluido afetam a eficiência da irradiação ultravioleta (GIESE e DARBY, 2000). Um dos principais é a turbidez, que é causada por material suspenso tal como partículas pequenas (por exemplo, de matéria orgânica), matéria fecal, ou coloides (partículas de argila). Estas podem refletir ou absorver a radiação (UV) ultravioleta, diminuindo a eficácia da desinfecção UV. Além disso, os coloides particularmente, servem como abrigo para microrganismos, protegendo os dos desinfetantes UV e químicos (BURCH, 1998).

Recomenda-se para que haja uma desinfecção eficiente, a qualidade físico-química da água deve permitir uma transmissão de no mínimo 50% da radiação UV. A eficiência também depende da dose de UV e do estado de agregação das bactérias. A energia específica necessária para alcançar a destruição total ou parcial dos microrganismos varia de acordo com a qualidade físico-química da água a ser tratada e da sensibilidade dos organismos à radiação UV. A resistência dos microrganismos a radiação ultravioleta varia bastante. Os microrganismos têm sido classificados na seguinte ordem de crescente resistência a desinfecção: Bactéria < vírus < fungos < esporos < cistos. A razão da maior resistência dos cistos à desinfecção está no fato destes possuírem uma cápsula resistente, que serve de proteção contra agentes químicos ou físicos (BURCH, 1998). Sabe-se também que os vírus e os esporos de bactérias são muito mais resistentes aos efeitos da radiação UV do que as bactérias do grupo coliforme.

CRAIK et al, (2000), relataram que vírus, esporos bacterianos e cistos de ameba requerem doses UV de quatro, nove e quinze vezes maiores, respectivamente, para se conseguir o mesmo nível de inativação que *Escherichia coli*. Tem-se relatado que protozoários encistados também são insensíveis a UV. Embora o *Cryptosporidium* encistado tenha se mostrado sensível à radiação UV. Alguns autores apresentam que a principal desvantagem da desinfecção UV encontra-se na habilidade dos microrganismos tratados por uma dose UV sub-letal em reparar os danos causados a seu DNA (LINDENAUER e DARBY, 1998).

Um interessante fenômeno é a reversibilidade do dano causado ao DNA dos microrganismos, principalmente nas bactérias. Dois mecanismos são conhecidos: a recuperação no escuro e por foto reativação enzimática (RODRIGUEZ et al., 2014).

Reparo no escuro: Consiste na ação de uma enzima específica que possibilita a retirada dos dímeros formados pela radiação UV (SANZ et al., 2007; RODRIGUEZ et al., 2014). Porém, de acordo com SINHA et al. (2002), este método é lento em comparação a foto reativação enzimática.

Fotorreativação Enzimática: A enzima fotoliase se liga ao dímero formado pela radiação UV. Com a presença de luz, a enzima absorve a energia necessária para desfazer a dimerização, gerando o monômero de piridina original e recuperando a fita de DNA (SOUZA, 2011), como ilustrado na figura abaixo:

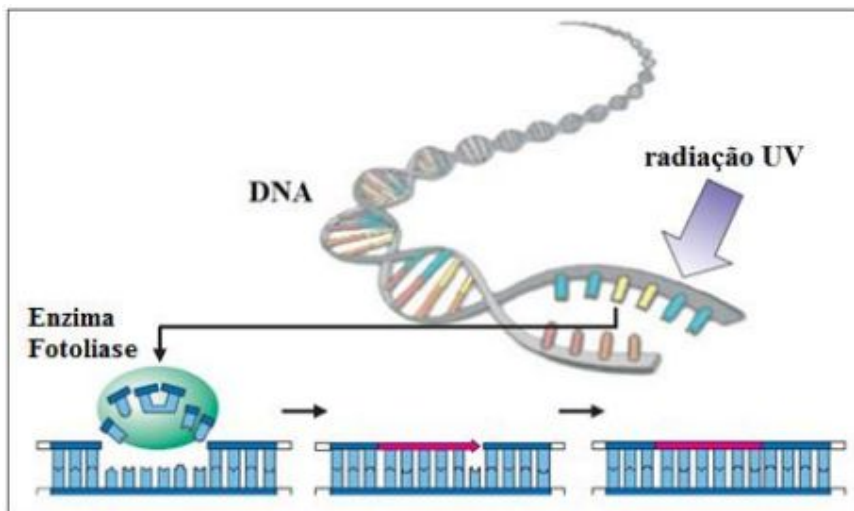


Figura 11. Mecanismo de fotoreparação de DNA. Fonte: Adaptado de Watson (2008).

Vale ressaltar que tais processos constituem um obstáculo para o alcance de níveis de desinfecção aceitos (HALLMICH et al., 2010) e são considerados uma desvantagem da técnica de radiação UV (GUO et al., 2011). Dessa forma, a dose correta de energia emitida é uma variável importante para garantir a inativação permanente de patógenos. A figura a seguir apresenta doses de UV para 100% de inativação de diversos organismos patogênicos.

	Microorganismos	Dosagem ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) para 100% de inativação
Bactérias	<i>Escherichia coli (E. coli)</i>	6600
	<i>Vibrio cholerae</i>	6500
	<i>Leptospira interrogans</i>	6000
Vírus	<i>Influenza</i>	6600
	<i>Rotavirus</i>	24000
	<i>Hepatitis virus</i>	8000
Protozoários	<i>Giardia lamblia</i>	63000(**)
	<i>Nematode eggs</i>	92000
	<i>Chlorella vulgaris</i>	22000

(*) Inativação de 99,99%

(**) Inativação de 90,00%.

Figura 12. Dosagem da radiação UV necessária para eficiência de 100% de inativação de diferentes patógenos. Fonte: Di Bernardo et al. (2005).

Mas, segundo estudos realizados por DANIEL (1993), a reparação dos microrganismos pela de fotorreativação, dificilmente ultrapassa uma casa logarítmica, enquanto a inativação pode atingir de três a quatro casas logarítmicas. Quanto aos mecanismos com que os microrganismos patogênicos são eliminados, SINTON et al. (1994) e SINHA et al. (2002) relataram que a radiação UV é majoritariamente absorvida pelos ácidos nucleicos, podendo levar ao rompimento de ligações não saturadas, como bases nitrogenadas pirimídicas. Assim, há interrupção de funções metabólicas essenciais, como a replicação do DNA, impossibilitando a reprodução e propagação dos patógenos (RODRIGUEZ et al., 2014).

Sabe-se que quanto maior o tempo de incidência da radiação UV na bactéria, maior será o volume de bases alteradas, (ZIOLLI et al., 2000) tal modificação ocorre pela absorção da radiação UV por bases nitrogenadas adjacentes, resultando na formação de dímeros como: citosina-citosina e timina-timina (TROPP, 2012). Os dímeros gerados não conseguem se acomodar a dupla hélice, prejudicando a replicação da fita de DNA e culminando na morte do microorganismo. Em resumo, na tabela estão representadas as principais vantagens e desvantagens do uso do UV.

Pelo exposto na Tabela 4, pode-se realizar uma comparação da eficiência da tecnologia através da relação entre potencial biocida associado a reduzido tempo de contato e a menor formação possível de subprodutos e/ou residuais tóxicos à saúde humana.

Uma comparação entre o uso de ozônio e a radiação UV evidencia a superioridade do último método. Apesar de a ozonização atender aos itens previamente estabelecidos para tornar eficiente uma tecnologia quanto ao enquadramento de efluentes sanitários às normas vigentes para abastecimento, a radiação UV apresenta vantagens adicionais que tornam esta tecnologia mais recomendada.

Tabela 4. Vantagens e desvantagens da radiação UV

Radiação UV	
Vantagens	Desvantagens
Não necessita de áreas grandes para implementação quando comparado aos processos de lagoas de maturação ou cloração	O potencial desinfetante deste processo é reduzido caso o efluente possua elevada concentração de sólidos dissolvidos totais e turbidez
Não faz uso de agentes químicos. Logo não há restrições em relação à toxicidade, instabilidade química, geração de subprodutos ou residuais tóxicos à saúde humana	A baixa dosagem pode não inativar efetivamente alguns microorganismos. Estes, através de mecanismos conhecidos como fotorreativação enzimática ou reparo no escuro, conseguem reverter à ação da radiação UV
Não necessita de transporte ou armazenamento de produtos tóxicos a saúde humana.	
Os fotorreatores são de fácil utilização para operadores	
Não gera residual ou subprodutos.	
Possui poder biocida superior ao do ozônio	
Necessita de pequenos tempos de contato em relação ao ozônio, na ordem de 20 a 30 segundos	

5. CONCLUSÕES

Baseado nas informações apresentadas neste trabalho foi possível constatar que os métodos de desinfecção de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização apresentam empecilhos que os tornam obsoletos em relação a tecnologias mais recentes como a radiação UV.

Importante ressaltar que a radiação UV também possui aspectos desfavoráveis, apesar de menos relevantes para inviabilizar tal tecnologia. A ETE JANGA deverá possuir um sistema de controle que possibilite a aplicação de dosagem letal de radiação UV, a fim de evitar o fenômeno de auto reparação dos patógenos. Entretanto, o principal desafio para eficiência deste método é alteração do poder biocida pela presença de sólidos dissolvidos e turbidez no meio líquido, razão pela qual o controle no tratamento convencional deve permanecer apresentando resultados eficientes destes parâmetros.

Quanto às vantagens, a radiação UV possui elevado potencial de inativação dos principais patógenos encontrados nos efluentes sanitários. Ademais, não produz subprodutos e/ ou residuais, além de demandar tempos de contato mínimos (na ordem de segundos) quando comparados às tecnologias de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização. Dessa forma, desconsiderando o aspecto econômico não avaliado neste trabalho, podemos concluir a superioridade do método de radiação UV para o enquadramento dos esgotos domésticos às normas vigentes para o reuso e potabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E. et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, set./out. 2004.
2. BASSANI, L.; et al. **Utilização de ozônio na desinfecção de efluentes sanitários. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 2002, Cancún. Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. v. 1.
3. BLATCHLEY III E.R. Numerical Modelling of uv intensity: application to colimated-beam reactors and continuous-flow systems. **Water Research**, v. 31, n. 9, p. 2205 – 2218, 1997.
4. BLATCHLEY III E.R. et al. Ultraviolet irradiation and chlorination/dechlorination for municipal wastewater disinfection: Assessment of performance limitations. **Water Environment Research**, v. 68, n. 2, p. 194-204, 1996.
5. BURCH J.; THOMAS, K. Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurization. **Solar Energy**, v. 64, n. 1-3, p. 87-97, 1998.
6. CRAIK S. et al. Inactivation of giardia muris cysts using medium-pressure ultraviolet radiation in filtered drinking water. **Water Research**, v. 34, n. 18, p. 4325-4332, 2000.
7. CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: Pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB/FINEP, 2001.
8. DANIEL, L. A. (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: RiMa/ABES, 2001. p. 35.
9. DI BERNARDO, **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. 2.

10. DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A.; **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed, São Carlos-SP , 2005. 792p
11. GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. 438 p.
12. JORDÃO, E. P.; ALEM SOBRINHO, P. **Análise crítica**. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. p. 409-422.
13. LAPOLLI, F. R. et al. **Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização**. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. p. 169-208.
14. LUPPI, M. **Desinfecção da água**. São Paulo: BioProject, 2012.
15. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005. v. 1, 243 p.
16. GIESE, N.; DARBY, J. Sensitivity of organisms to different wavelengths of uv light: Implications on modeling of medium pressure uv systems. **Water Research**, v. 34, n. 16, p. 4007-4013, 2000.
17. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A.; **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de JaneiroRJ: ABES, 2014. 1087p.
18. LINDENAURE K.G.; DARBY J.L. Ultraviolet disinfection of marginal effluents: determining ultraviolet absorbance and subsequent estimation of ultraviolet intensity. **Water Environment Research**,v. 70, n. 2, p 214-223, 1998.
19. METCALF L.; EDDY; H.; TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3rd.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.
20. VILLARINO A. et al. Cellular activities in ultra-violet killed *Escherichia coli*. **International Journal of Food Microbiology**, 55, p. 245 -247, 2000.
21. RODRIGUEZ, R.A., BOUNTY, S., BECK, S., CHAN, C., MC GUIRE, C., LINDEN, K.G.; Photoreactivation of bacteriophages after UV disinfection: Role of genome structure and impacts of UV source. **Research Article: Water Research**, v.55, 2014
22. SANZ, N.E., DAVILA, I.S., BALAO, A.A., ALONSO, J.M.Q.; Modelling of reactivation after UV disinfection: Effect of UV-C dose on subsequent photoreactivation and dark repair. **Water Research**, v. 41, I. 14, 2007.
23. SOUZA, G.S.M.B.de.; **Desinfecção de efluentes sanitários por radiação UV e gama: Efeitos na inativação de ovos de *Ascaris spp.*** Dissertação (Doutorado). Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
24. WATSON, J.D.; **Molecular Biology of the Gene**, Pearson/Benjamin Cummings, 2008. 841 p
25. HALLMICH, C., GEHR, R.; Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. **Water Research**, v.44, I.9, 2010.
26. GUO, M., HUANG, J.J., HU, H.Y., LIU, W.J.; Growth and Repair Potential of Three Species of Bacteria in Reclaimed Wastewater after UV Disinfection. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 24, I.4, 2011.
27. SINHA, R.P., HADER, D.P.; **UV-induced DNA damage and repair: a review**. Institut für Botanik und Pharmazeutische Biologie, Friedrich-Alexander-Universität, Staudtstr. Erlangen-GER, 2002.
28. SINTON, L.W., COLLEY, R.J.D., BELL, R.G.; Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meat works effluents in seawater chambers. **Applied Environment. Microbiology** v.60, 1994
29. ZIOLLI, R.L., RODRIGUES, C.P., GUIMARÃES, J.R., FIGUEIRED, R.F.; **Descontaminação bacteriológica de água de abastecimento por meio de fotocatalise heterogênea utilizando luz solar**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Campinas-SP, 2000.
30. TROPP, B.; **Molecular Biology: genes to proteins**. University of New York: Jones & Bartlett learning, 2012. 1098p.,.