

ESTUDO DO EMPREGO DE COAGULANTES NATURAIS E OZÔNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL PARA USO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

AUTOR

Sofia Diniz SANCHES

Discentedo Curso de Engenharia de Alimentos- UNILAGO

Maria Angélica Marques PEDRO

Docente do Curso de Engenharia de Alimentos- UNILAGO

RESUMO

A água é um elemento essencial ao ser humano e a indústria de alimentos. Cada dia aumenta a preocupação ambiental de diminuir a poluição e conservar as bacias hídricas que servem de fonte de água. O tratamento de água tradicional tem uso de cloro e coagulantes de sais metálicos que, apesar de eficientes, levam a geração de componentes que tem potencial tóxico para a saúde humana e contribuem para o aumento de resíduos e poluição. Assim busca-se novas tecnologias que reduzem o usos desses compostos químicos deixando os processos mais verdes. Entre as principais alternativas de tecnologia verde estão o uso do ozônio para o tratamento de água, que não gera resíduos e evita a formação de trihalometanos, e coagulantes orgânicos naturais como o tanino, um produto secundário do metabolismo de plantas que se mostrou extremamente eficiente na coagulação de afluentes. Portanto o objetivo deste trabalho foi estudar tecnologias que deixam o processo de tratamento de água para consumo nas indústria de alimentos mais sustentável.

PALAVRAS - CHAVE

Alimentos; Água; Coagulante natural; Ozônio.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial na indústria de alimentos, sendo usada em diversas etapas do processo de produção. No entanto, a qualidade da água pode variar significativamente, com a presença de contaminantes que podem comprometer a segurança e a qualidade dos produtos alimentícios. O tratamento adequado da água destinada ao consumo na indústria de alimentos é crucial para garantir a conformidade com padrões regulatórios e a produção de alimentos seguros e de alta qualidade (SANTOS; COZER, 2013). O uso de produtos químicos desempenha um papel central nesses processos, mas sua aplicação inadequada pode resultar em poluição ambiental e riscos à saúde humana. Portanto, é importante buscar abordagens sustentáveis que otimizem a eficiência do tratamento enquanto minimizam os impactos negativos (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

A resolução RDC 275 diz que é dever de uma indústria a responsabilidade sobre a potabilidade de sua água e pelo tratamento de seus efluentes ao serem despejados. A água potável é de extrema importância para a indústria de alimentos, ela tem várias funções sendo as principais delas: como matéria prima, esse é o caso em que a potabilidade dela é o mais importante devido a necessidade de estar em condições para consumo humano, como fluido auxiliar, exemplo preparações de substâncias químicas e lavagem, em aquecimento e resfriamento, geração de energia e transporte assimilação de contaminantes (NAGANO; DEON, 2014).

As etapas do tratamento de água variam de acordo com a qualidade e origem da água a ser tratada, águas de poços subterrâneos em geral não necessitam da etapa de coagulação, já águas superficiais necessitam delas. No tratamento da água bruta superficial tem uma etapa de coagulação em que são utilizados agentes coagulantes. O coagulante mais usado na etapa de coagulação no tratamento da água bruta é o sal de alumínio, o seu uso, além de lançar resíduos de metais no ambiente podendo haver acumulação em solos, o contato humano com seus resíduos na água é prejudicial já que há vários estudos apontando malefícios do alumínio ao ser humano. Os principais sais inorgânicos utilizados são o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso e policloreto de alumínio, todos estes geram efluentes com resíduos metálicos (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Existem inúmeras vantagens na substituição desses produtos químicos por coagulantes naturais, como geração de um lodo de ETA mais sustentável e reutilizável; água mais limpa no rio; coagulantes naturais tem grande disponibilidade; diminuição da corrosividade dos sistemas de distribuição por metais e apresentar menor perigo ao ser humano (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Entre os coagulantes naturais mais estudados estão os taninos vegetais que são uma classe de metabólitos secundários de plantas amplamente difundidos na natureza, suas principais fontes são o quebracho e a acácia negra, eles são polímeros polihidroxifenólicos (são hidrossolúveis) que passam por uma reação chamada reação de Mannich com um aldeído e um aminocomposto ou cloreto de amônio para formar um polímero catiônico. Outros coagulantes naturais que estão sendo estudados são as proteínas catiônicas presentes na semente de *Moringa oleifera* e a quitosana, que é um copolímero linear obtido a partir da quitina, um dos polissacarídeos mais comuns do mundo (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). Outra possibilidade de tecnologia limpa para coagulação seria a eletrocoagulação, ela exige um equipamento simples de fácil operação e manutenção cujos custos são baixos e não deixa resíduos, tem como principal ponto negativo a possibilidade de consumir muita energia e aumentar os custos por causa disso (NASCIMENTO, 2018).

O cloro é outro produto químico que é utilizado no tratamento de água em duas etapas, no pré-tratamento /pré-oxidação e na desinfecção, uma das etapas finais ou a etapa final do processo. O tratamento com cloro tem como subproduto as trihalometanos, sendo o mais comum destes o clorofórmio, e tais componentes foram indicados como sendo cancerígenos (MEYER, 1994). Uma das principais alternativas para a substituição do cloro é o ozônio, ele é um componente volátil e pouco estável com alto poder de oxidação, amplamente usado na

Europa, porém ainda não é muito utilizado no Brasil, sendo uma tecnologia nova com estudos recentes pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA) em Campinas, SP, mesmo assim seus parâmetros de uso já estão previstos pela lei pela Portaria 888. Com ele não há formação de trihalometanos e ele demonstra maior eficiência na oxidação, em especial quando utilizado para pré-oxidação de microalgas e cianobactérias, sendo mais rápido com bactérias também. O ozônio pode ser produzido in loco, ou seja, na própria ETA por um ozonizador com uma descarga elétrica contínua em gás oxigênio ou atmosférico. Um dos maiores desafios de seu uso é o preço de instalação ser mais alto que o do cloro, necessitando um investimento inicial maior, apesar de se ter demonstrado que quando já instalado seu custo é menor (ARAUJO *et al.*, 2012; MONDARDO; SENS; MELO FILHO, 2006).

Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de produtos mais sustentáveis no tratamento de água para uso na indústria de alimentos, como o tanino, um coagulante natural, e o ozônio, usado na desinfecção, para a geração de lodo mais sustentáveis, além de geração de água com produtos menos danosos ao meio ambiente e ao ser humano.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica que consiste na revisão da literatura relacionada à temática abordada. Para tanto, foram utilizados livros, periódicos, artigos, sites da Internet entre outras fontes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Qualidade da água para indústria de alimentos

A água é essencial a vida e ao ser humano e é um bem finito, a água doce, a que consumimos e usamos na indústria alimentícia, faz parte de apenas 5% do total de água disponível no planeta e sua escassez aumenta cada vez mais devido ao seu uso indevido e a poluição. A água potável é um direito humano essencial a todos, a falta de saneamento básico leva o acesso da população a águas contaminadas assim prejudicando sua saúde (ZOLETT; JABUR, 2013; MANGRICH *et al.*, 2014). No Brasil o saneamento básico é um grande problema, sendo que segundo o IBGE cerca de 60% da população não tem acesso a rede de esgoto e 80% dos resíduos são despejados em rios sem tratamento, o que é um perigo a saúde da população e uma causa de poluição de águas superficiais que torna necessário o maior tratamento delas para serem consumidas em pontos posteriores a esses despejos (MANGRICH *et al.*, 2014).

A água é de essencial importância para a indústria alimentícia, cerca de 22% da água consumida no Brasil é consumida por indústrias no geral. A água na indústria de alimentos é utilizada em diversas etapas, desde lavagem e consumo humano de funcionários, até como matéria prima alimentícia, como auxiliar em refrigeração e aquecimento, para limpeza de equipamentos e auxiliar em processos como de extração, para criar vapor etc... A indústria alimentícia consome muita água e conseqüentemente gera uma grande quantidade de afluentes que são despejados em águas superficiais. Na indústria de alimentos o maior consumo de água são as de processamento de carne (24%), bebidas (13%) e Laticínio (12%). A BRF, por exemplo, é um complexo de empresas principalmente no ramo de alimentos de origem animal e consumo cerca de 55 mil megalitros de água e despejou

46 mil megalitros de efluente em águas superficiais em 2022. A qualidade da água é essencial para garantir a segurança do alimento, principalmente quando este vai fazer parte da composição do produto final. A garantia da potabilidade da água é de responsabilidade da indústria, se ela utilizar água já tratada pela rede pública não é necessário um tratamento adicional em geral, quando a origem é de poços artesianos se utiliza tratamentos simples como desinfecção apenas, já com águas superficiais se utilizam tratamentos completos. A água tratada usada nas indústrias alimentícias deve atender no mínimo às características determinadas pela Portaria GM/MS nº888/21 do Ministério da Saúde, publicada em 04 de maio de 2021 (água potável para consumo humano) (SIMENSATO; BUENO, 2019; SILVA et al., 2013, LECOMPTE; MEHRVAR, 2015, LOBATO; DALTRO, 2023).

O tratamento da água, as etapas e parâmetros, dependem das características dela, do quanto ela precisa ser tratada. A água deve primeiramente estar dentro dos regulamentos de potabilidade da legislação em parâmetros microbiológicos e físico-químicos, a empresa também pode exigir parâmetros próprios a mais para evitar a influência principalmente no sabor dos alimentos, como uma água menos dura para além do que a legislação existe, seja para sua utilização em bebida ou para caldeiras que exigem baixa dureza de água, por exemplo (SIMENSATO; BUENO, 2019; SILVA et al., 2013).

3.2 Tratamento de água para consumo na indústria

As etapas do tratamento de água variam de acordo com a qualidade e origem da água a ser tratada, águas de poços subterrâneos em geral não necessitam da etapa de coagulação, já águas superficial necessitam delas. Em geral a principais etapas de um tratamento de água estão descritas abaixo.

A aeração é um processo que, por movimento mecânico, procura aumentar o contato e a absorção de oxigênio pela água, com os objetivos de retirar componentes voláteis que causam odor e sabor indesejáveis na água, remover outros gases em excesso e também obter a maior oxigenação e distribuição deste nela, o que irá auxiliar nas etapas seguintes do tratamento (SOUZA, 2007).

A etapa de pré-oxidação é necessária e utilizada principalmente em águas mais contaminadas, para oxidar substâncias e elementos, como matéria orgânica e metais, entre os orgânicos pode-se citar os orgânicos primários, como os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, advindos de degradação de vegetais, animais presentes nos corpos d'água - e detergentes. Essa pré-oxidação é necessária, pois essas substâncias não seriam passíveis de serem coaguladas e removidas/limpadas da água sem que fossem pré-oxidadas. Também é utilizada quando a fonte hídrica possui concentração alta de cianobactérias e algas e em águas eutrofizadas. O oxidante utilizado para a pré-oxidação é tipicamente o cloro nessa etapa (ASANO, 2007; MARTINS; LEITÃO; BOAVENTURA, 2014).

A seguir a água passa por uma etapa de clarificação por um processo de coagulação, floculação e sedimentação para remoção de material coloidal e partículas muito finas que sedimentam muito lentamente. Na coagulação são adicionados agentes coagulantes que ajudando a formar os flocos, que quando atingem o tamanho desejado começam a sedimentar, formando o lodo no fundo do decantador. Os principais coagulantes inorgânicos usados são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. A seguir a água passa por várias camadas filtrantes onde ocorre a retenção das impurezas não retidas pelos decantadores, além de ocorrer uma remoção de microrganismos patogênicos (SOUZA, 2007; CESAN, 2020).

Na etapa de desinfecção os microrganismos patogênicos presentes na água, que não foram retidos nas etapas anteriores, são destruídos. Os métodos mais utilizados atualmente no tratamento da água são a cloração, seguida pela desinfecção por ozônio e a desinfecção por raios ultravioleta (UV). A cloração é o método mais

empregado devido ao seu custo-benefício. Para respeitar a legislação no final do processo deve ser adicionado o flúor e o cloro residual (SOUZA, 2007).

3.3 Coagulação, floculação e sedimentação

Na etapa de coagulação ocorre a desestabilização ocasionada por adição de produtos químicos, os agentes coagulantes, que neutralizam as cargas elétricas superficiais e anulam as forças repulsivas. Na floculação ocorre a associação dos coágulos por atração ou captura formando um sólido de maior tamanho com o objetivo de facilitar a sedimentação ou flotação dos mesmos (HANRAHAN, 2012). A flotação ocorre quando os flocos têm densidade menor que a água e flutuam no efluente, sendo retirados, por exemplo, por raspagem. Já a sedimentação é quando os flocos têm densidade maior que a água e decantam por gravidade no fundo do efluente, o que pode acontecer com auxílio de agitação mecânica (IMHOFF, 1966).

Os sais inorgânicos convencionais utilizados na etapa de coagulação são eficientes e baratos, mas o lodo gerado é não biodegradável o que leva a necessidade de ser disposto em aterro específico, de acordo com a NBR 10004, o que acarreta em um custo adicional, além do impacto negativo no meio ambiente (SKORONSKI et al., 2014). Os coagulantes mais comumente empregados para tratamento de água e de efluentes são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, mas o cloreto de polialumínio (PAC) vêm tendo grande aceitação. Para auxiliar a coagulação podem-se empregar, juntamente com o coagulante, polímeros orgânicos sintéticos ou naturais, de cadeias moleculares longas (SANTOS, 2014).

Segundo Carvalho (2008) um dos coagulantes mais utilizados é o sulfato de alumínio por sua excelente formação do floco, seu baixo custo e facilidade de transporte e de manuseio. Os flocos após o processo de coagulação são inorgânicos e apresentam um lodo gelatinoso e com volume, assim sendo, o lodo não entra em decomposição biológica, dificultando sua disposição final.

Moraes (2004) relatou que os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes inorgânicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais. Nesse contexto, existem estudos que relatam a substituição de compostos inorgânicos por coagulantes naturais, que podem ser usados de forma individual ou juntamente com outros sais coagulantes tradicionais, agindo como um auxiliar no tratamento de águas, principalmente nos casos em que as águas apresentam elevada turbidez (CARVALHO, 2008).

3.3.1. Agentes coagulantes naturais

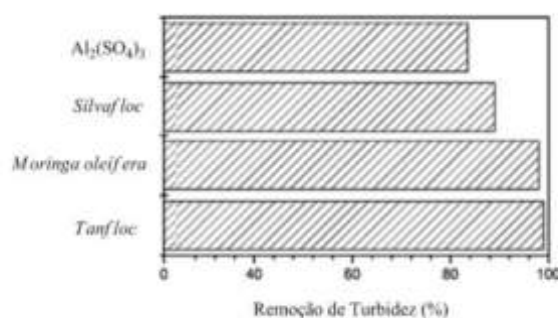
Os coagulantes naturais são coagulantes biodegradáveis que podem ser encontrados em abundância na natureza e não requerem para serem produzidos grande quantidade de recursos, matéria-prima, energia e/ou substâncias tóxicas e nocivas à natureza. Eles são uma alternativa para deixar o processo de tratamento de água mais verde em relação aos tratamentos com coagulantes tradicionais. Os principais objetivos de sua aplicação é a diminuição do uso de recursos na produção e utilização de coagulante, ser biodegradável e não se acumular na natureza, diminuir a quantidade de resíduos e volume do lodo residual final ao longo do tratamento de água, além de contribuir para que esse lodo seja mais passível de reutilização. Os coagulantes naturais têm tipicamente como mecanismo de ação a adsorção e neutralização de cargas. Entre os mais estudados, e que mais se destacam, estão os coagulantes à base de tanino, um produto metabólico secundário de plantas, coagulantes obtidos a partir de proteínas catiônicas presentes na semente de *Moringa oleífera* e o copolímero linear quitosana, obtido a partir da quitina, um dos polissacarídeos de maior presença na vida animal e vegetal (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). (NASCIMENTO, 2018).

O tanino vegetal é o nome dado uma classe de polímeros polihidroxifenólicos resultantes de reações metabólicas secundárias de variadas plantas, sendo amplamente distribuído e facilmente encontrado por causa disso. Ele é conhecido principalmente por sua capacidade de precipitar proteínas, é hidrossolúvel e resulta de uma reação chamada reação Mannich. A reação de Mannich ocorre a partir de um formaldeído (comumente o metanol), um aminocomposto e o extrato de tanino que tem como um de seus produtos catiônicos que tem como característica a capacidade neutralizar cargas negativas, sendo assim um coagulante de águas naturais devido ao fato que comumente águas naturais tem cargas negativas em pH neutro, além de agir como floculante porque ele agrega as partículas negativas ao neutralizar elas criando pontes (GRAHAM *et al.*, 2008; LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

No Brasil, as duas fontes de tanino são, a acácia negra que é usada para produção do biocoagulante *Tanfloc* e o Quebracho utilizada para o biocoagulante *Silvafloc* (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). Segundo Skoronski *et al.* (2014), os coagulantes obtidos a partir do tanino, têm como característica não mudar o pH do meio, também ajuda a diminuir o volume de lodo, diminuindo assim custo e impacto ambiental, ao ter uma ampla faixa de pH no qual pode ser usado, dispensando adição de corretor de pH. Os autores comprovaram isso usando concentrações diferentes percebendo que os extremos de consumo de alcalinidade, o pH se mantinha dentro do previsto pela lei, sendo que em situações semelhantes os sais de alumínio precisariam de controle de pH. Também relataram que em concentrações até 10 mg.L⁻¹ o tanino não muda a condutividade da água, evidenciando assim sua característica de não interferir nas características da água em relação a substância dissolvidas. A concentração ótima para remoção de turbidez e diminuição da cor verdadeira de cada amostra (que tem características diferentes de si) mudava, usando Tanfloc SG. SKORONSKI *et al.* (2014) obteve resultados, que mesmo para amostras com as piores condições, satisfatórios dentro dos padrões da Portaria GM/MS Nº 888 de 4 de maio de 2021 de 15 uC e 5 uT para cor verdadeira e turbidez, respectivamente.

A Figura 1 compara a remoção da turbidez de águas naturais superficiais entre o Silvafloc, o Tanfloc, o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) e a Moringa oleífera. Pode-se observar que os coagulantes orgânicos tiveram mais eficiência na remoção da turbidez nas condições da análise em teste de *jar-test* em concentração de 15 mg.L⁻¹, 20º e pH natural da água (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018). No mesmo estudo, com o uso do Silvafloc os autores obtiveram 90% de remoção da turbidez com concentração de 20mg.L⁻¹, sendo que a concentração tem influência significativa nos resultados, a velocidade de mistura no Jar-Test tendo diferença não significativa. Com seu uso ocorreu a remoção de microrganismos em função da maior concentração do coagulante que levou a maior remoção de turbidez, ELIMINANDO 99,9% de *streptococcus* e 70% de coliformes totais. Assim o estudo considerou o Silvafloc mais eficiente que o sulfato de alumínio (MARTÍN, VELASCO, HEREDIA, 2010).

Figura 1 - Remoção de turbidez com diferentes coagulantes.

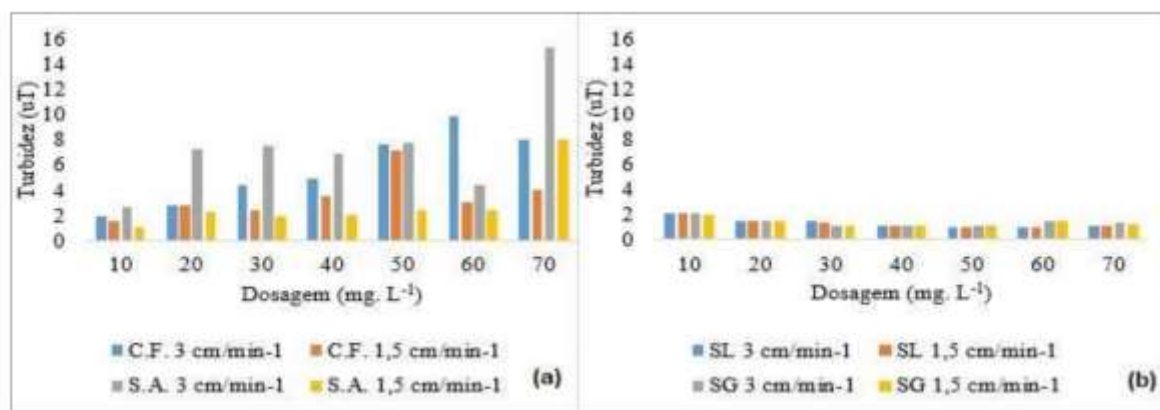


Fonte: Lima Junior; Abreu, 2018.

Graham et al. (2008) fizeram análises para avaliar o comportamento do polímero a base de tanino (PBT) e relataram que a densidade de carga e a solubilidade do coagulante mudam com o pH e tempo de solução. A mudança na densidade de carga foi atribuída a hidrólise ou hidratação de grupos amino, que foi indicado como fonte da carga catiônica. Essa mudança ocorre principalmente do pH 6 para o 7. Quanto maior o pH de 4 a 9, maior a concentração ótima de coagulante usada, sendo esse aumento pequeno entre pH 4 a 7 (entre 0,25 a 0,52 tempo de floculação) e um aumento maior no pH 8 e 9. Quanto maior o tempo de solução menor foi a performance do coagulante. Eles compararam a performance do coagulante a base de tanino em pH de 7 e 9,0 poldadmac (outro coagulante natural catiônico) e o coagulante de alumínio. No pH7, PBT teve performance inferior em termos de floculação, com o pico do polydadmac sendo maior que o alumínio. Já em pH 9, a performance do PBT foi maior que a do alumínio e melhor que do polydadmac. Em questão de turbidez residual o alumínio é superior a todos as outras substancias utilizadas. (GRAHAM et al., 2008).

Nepumuceno (2018) fez um estudo com todos os coagulantes na mesma concentração de 10 a 70 g.L⁻¹ comparando sulfato de alumínio, cloreto férrico, Tanfloc SG e Tanfloc SL (Figura 2). O resultado do teste de turbidez mostrou que os Tanfloc obtiveram maior eficiência na redução de turbidez em relação ao coagulantes inorgânicos, sendo o SL com mais eficiência que o SG. No teste de remoção de cor verdadeira os coagulante orgânicos se mostraram pouco eficiente, isso foi atribuído à quantidade de matéria orgânica dissolvida ou de ferro, tornando mais difícil sua sedimentação. Isso ocorreu pois os coagulantes orgânicos têm pouca influência em matéria dissolvida. Neste caso é indicado o uso de agentes coagulantes auxiliares. O autor também relatou que uma concentração de 40 mg.L⁻¹ para Tanfloc SL e 20 mg.L⁻¹ para Tanfloc SG resultou em altos valores de remoção de turbidez sem aumentar a concentração. De acordo com NEPUMUCENO (2018), já houve estudos que demonstram a viabilidade econômica do tanino.

Figura 2 – Gráficos do ensaio turbidez comparando Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico, Tanfloc SL e Tanfloc SG.



Fonte: Nepumuceno, 2018.

3.3.2 Cloro pré-oxidação e desinfecção

A cloração é o método tradicional e mais comum no Brasil de pré-oxidação, que também pode ser chamada de desinfecção primária e de desinfecção no tratamento de água. A legislação brasileira na Portaria GM/MS Nº 888 de 4 de maio de 2021 exige que a água tenha uma concentração de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição para evitar a propagação de microrganismos. No tratamento, o cloro pode ser usado em

solução de hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, de dióxido de cloro ou cloro gasoso. As vantagens do cloro que levam a sua ampla utilização são o seu custo baixo, o fácil acesso a ele, sua implementação sendo simples e conhecida, dosadores de cloro podem ser simples e facilmente encontrados além de não necessitarem de mão de obra especializada, assim o acesso a essa tecnologia é expandido, sua concentração residual na água ter efeito germicida e também ser oxidante assim não tendo só a utilidade como desinfetante (ASANO *et al.*, 2007; FUNASA, 2014; ROSA; VIEIRA; MENAIA, 2009).

Porém, apesar de todos esses atrativos, ele tem um grande aspecto negativo que se mostrou uma preocupação ambiental: ele leva a geração de trihalometanos. A formação de trihalometanos ocorre quando o cloro tem contato com precursores da reação ácidos húmicos e fúlvicos, que são gerados pela decomposição de matéria orgânica de plantas, a reação do cloro com estes compostos resultam nos trihalometanos, cujos os quatro principais são: triclorometano (clorofórmio), bromo-diclorometano, dibromoclorometano e tribromo-metano. Ao longo dos últimos anos foram feitos vários estudos associando trihalometanos ao câncer, sendo que já foi provado a indução em ratos e camundongos de câncer de fígado, tireóide e rins (MEYER, 1994). Além disso, em certa concentração os trihalometanos e o cloro influenciam no sabor da água sendo detectados por consumidores, uma preocupação em especial para indústria de alimentos quando se usa a água como matéria prima como na indústria de bebidas (CRIDER *et al.*, 2018; ACERO; PIRIOU; GUNTEN, 2005).

O maior substituto para o cloro na etapa de pré-oxidação é o ozônio. Ele é uma forma alotrópica do oxigênio, sendo volátil e pouco estável e tendo potencial de oxidação de compostos inorgânicos e orgânicos, característica que o torna apto a ser usado como na pré-oxidação. Apesar de ser uma tecnologia relativamente nova no Brasil, ela já é plenamente usada na Europa e está tendo seu uso cada vez mais frequente nos Estados Unidos também, e também tem seus parâmetros de processo de aplicação previstos pela legislação. O uso de foi eficiente em inúmeros estudos e também ter seu processo ser mais econômico que o cloro, apesar do alto custo de instalação. Como desinfetante, o ozônio tem sua ação desinfetante rápida por ocorrer na parede celular do micróbio, além disso, ele aumenta a quantidade de oxigênio dissolvido na água. O uso do ozônio é uma alternativa mais sustentável por não levar a formação de trihalometanos, não gerar resíduos metálicos e também sua matéria prima é de fácil acesso e barata (ARAUJO, 2012; ASANO *et al.*, 2007).

Como a redução de algas e cianobactérias é uma das principais utilizações da pré-oxidação, fez um estudo comparando a eficiência do ozônio de eliminar essa matéria viva com o cloro, eliminando em qualquer dosagem cerca de 99%. Ele foi mais eficaz também na diminuição de turbidez, cor aparente e clorofila. Também se observou um possível efeito do cloro de interferir nas etapas posteriores do tratamento como na coagulação porque que houve menos quantidade da cianobactéria na água que não passou pela pré-oxidação clorídrica do que a que participou. Ele também observou que foi produzida a metade da quantidade de trihalometanos (MONDARDO; SENS; MELO FILHO, 2006).

A cidade de Andover, Massachusetts em 1996 já havia aplicado o tratamento de ozônio em substituição ao convencional de cloro e depois de instalado o ele gastava 2/3 do quanto gasto de tratamento com cloro, dizendo que anualmente se economizava 64 mil dólares só na compra do químico, sem considerar outros fatores como o menor gasto de energia que o tratamento com ozônio necessita (HATTERSLEY, 2000).

O ozônio apesar de ter sido demonstrado ser mais econômico que o cloro quando já instalado, tem seu preço de instalação maior. Enquanto a cloração, na sua forma mais simples, necessita apenas de um dosador de cloro e não necessita de mão de obra especializada, o ozônio necessita de uma instalação com sua produção no local da indústria devido a seu armazenamento ser impossível, e apesar de sua matéria prima ser oxigênio e seu custo de produção ser baixo, esse investimento inicial se torna um desafio para indústrias (ARAUJO, 2012).

Como os ácidos húmicos e fúlvicos são precursores dos trihalometanos, a etapa de pré-oxidação contribui na diminuição da formação de trihalometanos na água (MEYER, 1994).

Outra alternativa sustentável é usar tecnologia Ultra violeta (UV), em que não há formação de trihalometanos, apesar de ser um processo mais caro (ASANO et al., 2007). Na portaria 888 consta que no caso do uso de ozônio ou radiação ultravioleta como desinfetante, deverá ser adicionado cloro gasoso ou dióxido de cloro. A indústria de alimentos deve seguir essa diretriz tendo uma quantidade de cloro residual para manter seu poder germicida na água, pensando principalmente no caso da encanada que percorre um grande caminho até chegar ao consumidor, ou seja, pode-se substituir o cloro no processo de pré-oxidação e usar o ozônio ou UV para auxiliar desinfecção e então adicionar o cloro residual necessário na forma de dióxido de cloro ou de cloro gasoso.

4. CONCLUSÃO

O ozônio é um bom substituto para o cloro na pré-oxidação e na desinfecção e já está sendo utilizado no mundo. O maior empecilho no uso do ozônio é seu custo inicial, sendo necessária apenas a adição do cloro residual em forma de cloro gasoso exigida pela legislação devido ao efeito germicida. O tanino é um coagulante disponível no mercado e eficiente, conforme os trabalhos revisados, seu custo não é alto e a matéria prima dele é de fácil obtenção. A maior dificuldade em substituir os coagulantes convencionais pelo tanino é o fato de ser uma tecnologia relativamente nova. Portanto, conclui-se neste trabalho que é possível usar um substituto para o cloro e para os coagulantes inorgânicos deixando um processo mais sustentável, entretanto é necessário ter mais estudos nesta área.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO, J. L., PIRIOU, P., GUNTEN, U. V. Kinetics and mechanisms of formation of bromophenols during drinking water chlorination: Assessment of taste and odor development. **Water Research**, v. 39, n. 13, 2005.

ARAUJO, A. P. et al. **Tratamento de água com ozônio**. Campinas, SP: Unicamp, 2012.

ASANO, T. et al. **Water Reuse: issues, technologies, and application**. AECOM: Nova York, NY, 2007.

CARVALHO, M. J. H. Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável. 2008. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CESAN. **Apostila Tratamento de Água**. Mato Grosso do Sul, 2020.

CRIDER, Y. et al. Can you taste it? Taste detection and acceptability thresholds for chlorine residual in drinking water in Dhaka, Bangladesh. **Science of The Total Environment**, p. 613-614, 2018.

FUNASA. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades Funasa**: utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa. Coesc: Brasília, DF, 2014.

GRAHAM, N. et al. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids and Surfaces**, v. 327, 2008.

HANRAHAN, G. **Key concepts in Environmental Chemistry**. Elsevier: Waltham, MA, 2012.

HATTERSLEY, J. G. The Negative Health Effects of Chlorine. **Journal of Orthomolecular Medicine**: Sylvia, NC, v. 15, n. 2, 2000.

IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. EDGARD BLUCHER LTDA: São Paulo, SP, 1966.

LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v. 161, 2015.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista. Virtual Química**, Fortaleza, CE, v. 10, n. 3, 2018.

LOBATO, G.; DALTRO, A. L. **Relatório Integrado 2022**. Itajaí, SC: BRF S.A., 2023.

MANGRICH, A. S. et al. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual Química**, Curitiba, PR, v. 6, n.1, 2014.

MARTÍN, J. S., VELASCO, M. G., HEREDIA, J. B. Surface water treatment with tannin-based coagulants from *Quebracho* (*Schinopsis balansae*). **Chemical Engineering Journal**, v. 165, n. 3, 2010.

MARTINS, R. J. E., LEITÃO, A. A., BOAVENTURA, R. A. R. **Decaimento de cloro na oxidação de matéria orgânica presente na água do rio Bengo (Angola)**. 12º Congresso da Água, 16º Encontro Nacional de Engenharia Sanitária (ENASB) e XVI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA), Lisboa, 2014.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 1994.

MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; MELO FILHO, L. C. Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Florianópolis, SC, 2006.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

NAGANO, F.; DEON, R. L. **Usos da água na indústria:** estudo de caso de um laticínio. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Administração) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2014.

NASCIMENTO, R. C. **Tratamento de água para consumo humano utilizando o processo de eletrofloculação.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2018.

NEPOMUCENO, T. C. **Estudo da aplicabilidade de coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento de água para abastecimento público.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campo Grande, PB, 2016.

NEPOMUCENO, T. C.; FERREIRA, W. B.; PAIVA, W.; DINIZ, T. R.; SANTOS, W. B. Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, 2018.

ROSA, M. J.; VIEIRA, P., MENAIA, J. **O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem.** Instituto Regulador de águas e Resíduos, 2009.

ROSALÉM, S. F. et al. Avaliação de trialometanos formados na etapa de pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento. **Revista DAE**, n. 191, 2013.

SANTOS, J. E.; SOARES, J. P.; DOCKAL, E. R.; CAMPANA FILHO, S. P.; CAVALHEIRO, É. T. G. Caracterização de quitosanas comerciais de diferentes origens. **Revista Polímeros: ciência e tecnologia**, 3, n 4, São Carlos, SP. 2003.

SANTOS, O. J.; COZER, L. **Controle da qualidade da água para consumo humano e uso na indústria alimentícia.** 2013. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, 2013.

SILVA, L. J. C. *et al.* Qualidade Microbiológica da Água do Sistema de Abastecimento Público Fornecida a Dois Bairros do Município de Raposa, MA. **Revista Higiene Alimentar**, v. 27, n. 216/217, 2013.

SIMENSATO, L. A.; BUENO, S. M. Importância da qualidade da água na indústria de alimentos. **Revista científica Unilago**, São José do Rio Preto, SP, v. 1, n. 1, 2019.

SKORONSKI, E. et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, SP, v. 9, n. 4, 2014.

SOUZA, W. A. **Tratamento de água.** CEFET-RN: Natal, RN, 2007.

ZOLETT, E. R.; JABUR, A. S. **Uso de polímero natural a base de tanino (tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Pato Branco, PR, 2013.