

Resíduo da agroindústria como coagulante natural em estação de tratamento de efluente

Erickson Oliveira dos Santos ^{1*}, Priscila Pauly Ribas ², Cleideane Cunha Costa ³, Pedro Luis Sosa Gonzáles 

¹Analista de Projetos P&D, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil (*Autor correspondente: ericlson.o@samsung.com)

²Analista de Projetos P&D, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil.

³Analista Ambiental, Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil.

⁴Chefe de P&D em Desenvolvimento Ambiental Samsung Research & Development Institute Brazil (SRBR), Samsung Eletrônica da Amazônia, Brasil

Histórico do Artigo: Submetido em: 24/11/2020 – Revisado em: 26/12/2020 – Aceito em: 22/02/2021

RESUMO

Milhares de toneladas de resíduos são gerados mensalmente na agroindústria, muito desses resíduos não tem um destino apropriado, algumas pesquisas têm verificado a utilização desses resíduos (sementes, cascas, medula, caules, pedúnculos, casca da semente, pericarpo e mesocarpo da fruta) na elaboração de coagulante natural para ser aplicado no tratamento de água e efluente, visto que a maioria dos coagulantes são compostos químicos que deixam algumas vezes resíduos tóxicos ao meio ambiente. Portanto a presente revisão fez um levantamento sobre quais resíduos agroindustriais foram utilizados como agente coagulante para tratamento de água e quais os principais métodos utilizados na elaboração, análise e resultados desses resíduos.

Palavras-Chaves: Coagulante Natural, Resíduo de Fruta, Tratamento de Efluente.

Agro-industrial waste as natural coagulant for wastewater treatment plant

ABSTRACT

Thousands of tons of waste are generated monthly in the agroindustry, many of this waste does not have an appropriate destination. Some researchers have verified the use of these wastes (seeds, peels, pith, stems, peduncles, seed husk, fruit pericarp and mesocarp) in the elaboration of natural coagulant to be applied in the treatment of water and effluent, since the majority of coagulants are inorganic chemical compounds that can leave a toxic residue for the environment. Therefore, the present review made a study about which agro-industrial residues have been used as a coagulant agent for water treatment and which are the main methods used in the elaboration, analysis and results of these residues.

Keywords: Natural Coagulant, Fruit Waste, Wastewater Treatment.

dos Santos, E.O., Ribas, P.P., Costa, C.C., Gonzáles, P.L.S. (2021). Resíduo da agroindústria como coagulante natural em estação de tratamento de efluente. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.9, n.1, p.189-200.



1. Introdução

Um dos processos de tratamento de água e efluentes mais utilizados para purificação é a etapa de coagulação e floculação, na qual um composto químico com propriedades de formação de coágulos é utilizado para remover as impurezas presentes na água. O processo de coagulação consiste em conjuntos de ações físicas e químicas, por meio da adição de um composto químico (coagulante primário). O coagulante desestabiliza as partículas que estão em suspensão, formando coágulos, através das fases: formação da espécie hidrolisada do sal quando disperso em água, desestabilização das partículas coloidais e suspensas dispersas na massa líquida e agregação dessas partículas para formar flocos (Lee et al., 2014; Lima Júnior & Abreu, 2018).

Os coagulantes à base de sal são os mais utilizados nas estações de tratamento de efluentes, os principais possuem sais de alumínio (sulfato de alumínio, cloreto de alumínio e aluminato de sódio) em sua formulação ou sais de ferro (sulfato férrico, sulfato ferroso e cloreto férrico) (Beltrán-Heredia et al., 2010; Gobena et al., 2017; Sillanpää et al., 2018; Skoronski et al., 2014). A popularização desses compostos se deve principalmente ao fator econômico (baixo custo e alta disponibilidade em formulações sólidas e líquidas), e à eficiência na remoção de turbidez e de cor. No entanto, a aplicação de coagulantes férricos está ganhando espaço em relação aos coagulantes de alumínio, uma vez que o alumínio residual do coagulante tem sido associado a doenças neurológicas em humanos (Sillanpää et al., 2018).

Uma alternativa inovadora que pode substituir os coagulantes à base de sal são os produtos feitos com material orgânico (Grehs et al., 2019; Nonfodji et al., 2020; Ugwu et al., 2017). Algumas vantagens podem ser apontadas: doses menores de coagulante, pequena formação de lodo, redução de resíduos metálicos, materiais biodegradáveis e mais sustentáveis (Sánchez-Martín et al., 2012; Sapaná et al., 2012; Yongabi, 2010). Recursos naturais têm sido procurados para o desenvolvimento de um novo coagulante a base de plantas, como é o caso da *Moringa oleifera*. A *Moringa oleifera* é a principal árvore que tem sido utilizada como fonte do novo coagulante natural em estação de tratamento de efluentes para remoção de poluentes (Ali et al., 2010; Arantes et al., 2014; Bodlund, 2013; Dotto et al., 2019; Mangale Sapaná M. et al., 2012; Muralimohan et al., 2014; Okuda et al., 2001; Sutherland et al., 1994; Ugwu et al., 2017).

A eficiência do coagulante natural de *Moringa oleifera* na redução da turbidez gira em torno de 90% (Baptista et al., 2015; Chaudhuri & Khairuldin, 2009; Dehghani & Alizadeh, 2016; Paterniani et al., 2010; Sánchez-Martín et al., 2012; Sutherland et al., 1994; Taiwo et al., 2020; Villaseñor-Basulto et al., 2018), com o mesmo comportamento que um coagulante natural comercial, extraído da *Acacia mearnsii*, com eficiência de remoção acima de 90%. Os taninos são os principais responsáveis pela alta eficiência deste produto (Arantes et al., 2014; dos Santos et al., 2018; Lopes et al., 2019; Trevisan, 2014).

Além da Acácia e da Moringa, outras plantas podem conter propriedades coagulantes que permitam sua aplicação no tratamento de efluentes e água. Os resíduos gerados pelas agroindústrias durante o manuseio, processamento de matéria prima e na produção, armazenamento, distribuição e consumo de seus produtos, podem ser uma fonte sustentável de matéria prima para os coagulantes naturais, já que essas etapas geram uma quantidade anual de 1,3 bilhão de toneladas de resíduos que não possuem valor comercial até o momento e são descartados sem qualquer aproveitamento (Greses et al., 2020). A pesquisa com a reutilização de resíduos agroindustriais é avançada para o uso como energia sustentável, através da produção de biocombustíveis (Tropea et al., 2014; Yusuf, 2017), mas no tratamento de efluentes, a pesquisa ainda é muito básica.

O objetivo deste trabalho é relatar o avanço das pesquisas em reaproveitamento de resíduos agroindustriais para o desenvolvimento de coagulantes para usados no tratamento de efluentes.

2. Desenvolvimento

O presente artigo é uma revisão bibliográfica, construída com base na literatura científica publicada em inglês, tendo como foco os assuntos relacionados a utilização de resíduos agroindustriais no processo de coagulação em tratamento de efluentes domésticos, publicados no período de 2005 a 2020. A pesquisa bibliográfica foi realizada nas plataformas *Science Direct*, *Scielo* e Portal Capes, caracterizadas como bases de dados de grande confiabilidade e transparência na disseminação de conhecimento científico e literatura especializada em temas específicos com publicações de alto impacto. Assim, para a execução da busca dos artigos foram utilizados os seguintes termos de busca: “*agro-industrial waste*”, “*fruit waste*”, “*natural coagulant*” e “*wastewater treatment*”.

A execução da revisão foi dividida em duas etapas. Na primeira, foi realizada a busca que encontrou 309 artigos, dos quais 197 foram localizados na plataforma *Science Direct*, 27 na *Scielo* e 91 no Portal Capes. Na etapa seguinte, foram removidos os artigos duplicados, os artigos que não fossem publicação de resultados experimentais (teses, dissertações, artigos de revisão e livros), os artigos reportando resultados sobre a *Moringa oleífera* (visto que já existem artigos de revisão sobre a Moringa como agente coagulante em tratamento de efluente, e artigos sobre agentes coagulantes utilizados na área medicinal).

Ao finalizar as etapas propostas, foram encontrados poucos artigos que se enquadravam no foco desejado da pesquisa. Assim, foi realizada uma consulta as citações dos artigos encontrados na seleção primária. Na busca pelos artigos citados, utilizou-se o Google e a rede social *ResearchGate*, seguindo os mesmos critérios de confiabilidade empregados na seleção primária. Esta estratégia ajudou a encontrar um número mais representativo de artigos dentro dos critérios de inclusão empregados. No total, 17 artigos foram avaliados e utilizados na elaboração desta revisão, destacando-se que a maioria foram publicados por revistas de países asiáticos e em menor quantidade nos continentes africano e americano.

Como ferramentas para o tratamento e análise das informações contidas nos artigos selecionados, utilizou-se o programa Mendeley como gerenciador de referências, o programa QGis 3,14 para georreferenciamento das informações geográficas, o programa OriginPro 2017 para análise e elaboração dos gráficos e o programa Paint3D para a criação e edição de imagens.

2.1 Resíduos agroindustriais

Um total de 15 diferentes resíduos agroindustriais foram utilizados em testes de remoção de poluentes em matrizes aquáticas. Os tipos de resíduos utilizados foram sementes (SM), cascas (CS), medulas (MD), tubérculos (TB). A semente foi o resíduo mais utilizado, com o equivalente a 50% do total de artigos publicados. Malásia (44%) (Birima et al., 2013; Dollah et al., 2019; Kiew & Chong, 2017; Othman et al., 2018; Priyatharishini et al., 2019; Zaidi et al., 2019; Zurina et al., 2014) e Índia (32%) (Babu & Chaudhuri, 2005; Deepthi et al., 2017; Jain et al., 2015; Mohan, 2014; Warriar et al., 2014) foram os países com mais pesquisas relacionadas ao reuso de resíduos agroindustriais com aplicação em estações de tratamento de efluentes. A banana foi mais utilizada no teste de coagulação em seguida da laranja e do nirmali (Figura 1, Tabela 1).

Figura 1 – Mapa de distribuição de resíduos agroindustriais reutilizados como coagulantes naturais em estações de tratamento de efluentes.

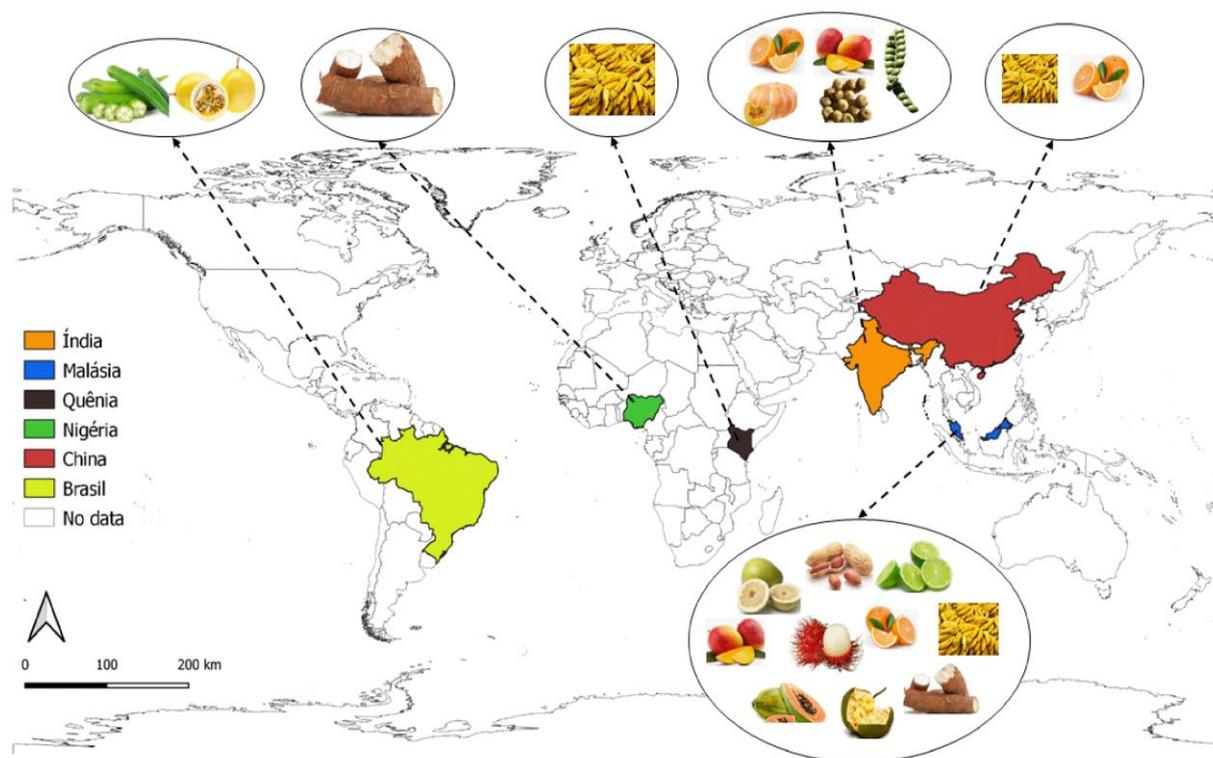


Tabela 1 – Espécies de plantas e tipo de resíduo utilizado em testes de coagulação

Espécie de planta	Resíduo*	País	Referência
Nirmali (<i>Strychnos potatorum</i>)	SM	Índia	(Babu & Chaudhuri, 2005)
Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i>)	SM	Malásia	(Birima et al., 2013)
Nirmali (<i>S. potatorum</i>)	e SM	Índia	(Mohan, 2014)
Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	CS	Índia	(Mohan, 2014)
Rambutam (<i>Nephelium lappaceum</i>)	SM	Malásia	(Zurina et al., 2014)
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	e SM	Índia	(Jain et al., 2015)
Babul (<i>Acacia nilotica</i>)			
Banana (<i>Musa</i> sp.)	MD	Quênia	(Kakoi et al., 2016)
Mandioca (<i>Manihot palmata</i>)	TB	Nigéria	(Ugwu et al., 2017)
Banana (<i>Musa</i> sp.), Jaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>), Pomelo (<i>Citrus maxima</i>) e Mamão (<i>Carica papaya</i>)	SM e CS	Malásia	(Kiew & Chong, 2017)

Abóbora (<i>Cucurbita pepo</i>)		SM	Índia	(Deepthi et al., 2017)
Laranja (<i>Citrus</i> sp.) e Banana (<i>Musa</i> sp.)		CS	China	(Jian & Fu, 2018)
Mandioca (<i>Manihot</i> sp.)		CS	Malásia	(Othman et al., 2018)
Banana (<i>Musa acuminata</i>)		CS	Malásia	(Priyatharishini et al., 2019)
Lima (<i>Citrus aurantiifolia</i>) e Laranja quincã (<i>Citrus microcarpa</i>)		CS	Malásia	(Dollah et al., 2019)
Banana (<i>Musa sapientum</i>), Laranja (<i>Citrus reticulata</i>) e Manga (<i>Mangifera indica</i>)		CS	Malásia	(Zaidi et al., 2019)
Maracujá (<i>Passiflora</i> sp.) e Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)		CS	Brasil	(Muniz et al., 2020)

*SM: semente; CS: casca; MD: medulas; e, TB: tubérculos

2.2 Preparação dos coagulantes a partir dos resíduos agroindustriais

A primeira etapa do preparo do coagulante a partir dos resíduos agroindustriais deve ser a retirada de todas as impurezas geradas nas etapas de processamento da matéria-prima. Os resíduos agroindustriais devem ser limpos, primeiramente com água destilada, para remoção de todas as impurezas. Após a limpeza, a umidade deve ser removida por processo de secagem, como secagem ao sol, no período de dois (2) a três (3) dias (Deepthi et al., 2017) ou em estufa de ar quente com temperatura de 50 a 150°C (Muniz et al., 2020; Warriier et al., 2014).

A secagem também pode ser muito variável: Dollah et al., (2019) relataram um tempo de secagem de duas horas, enquanto Priyatharishini et al., (2019) estabeleceram uma duração de 48 horas. Após a secagem, o resíduo agroindustrial deve ser processado a pó fino. De acordo com Babu & Chaudhuri, (2005); Jian e Fu, (2018); e Kiew & Chong, (2017) o tamanho das partículas de pó deve ser 150 µm, no entanto, Dollah et al., (2019) relataram um valor de 1250 µm.

O pó obtido do resíduo agroindustrial tem sido utilizado em testes de coagulação na forma *in natura* (Muniz et al., 2020), portanto sem adição de nenhum agente ativo, como solução salina. Por outro lado, a maioria das pesquisas extraiu os princípios ativos do pó com água destilada, ou soluções químicas como solução salina (NaCl, KCl, NH₄Cl, NaNO₃) (Birim et al., 2013; Priyatharishini et al., 2019; Zaidi et al., 2019) ou solução alcalina (NaOH) (Priyatharishini et al., 2019; Zaidi et al., 2019). Nesses casos, os extratos filtrados foram utilizados nos testes de coagulação.

2.3 Amostras de efluentes

O efluente usado nos testes de coagulação tem diferentes origens, de acordo com os estudos analisados. As coletas foram realizadas em rio (Kakoi et al., 2016), em efluentes de lavanderia (Mohan, 2014) e em estações de tratamento de efluentes (Jain et al., 2015; Othman et al., 2018; Ugwu et al., 2017; Zaidi et al., 2019). Outros estudos utilizaram efluentes sintéticos, onde algum produto é adicionado à água para simular uma turbidez conhecida. O caulim é o principal produto usado para produzir a turbidez sintética, 400 ppm foi capaz de produzir 20 - 40 NTU de turbidez (Dollah et al., 2019).

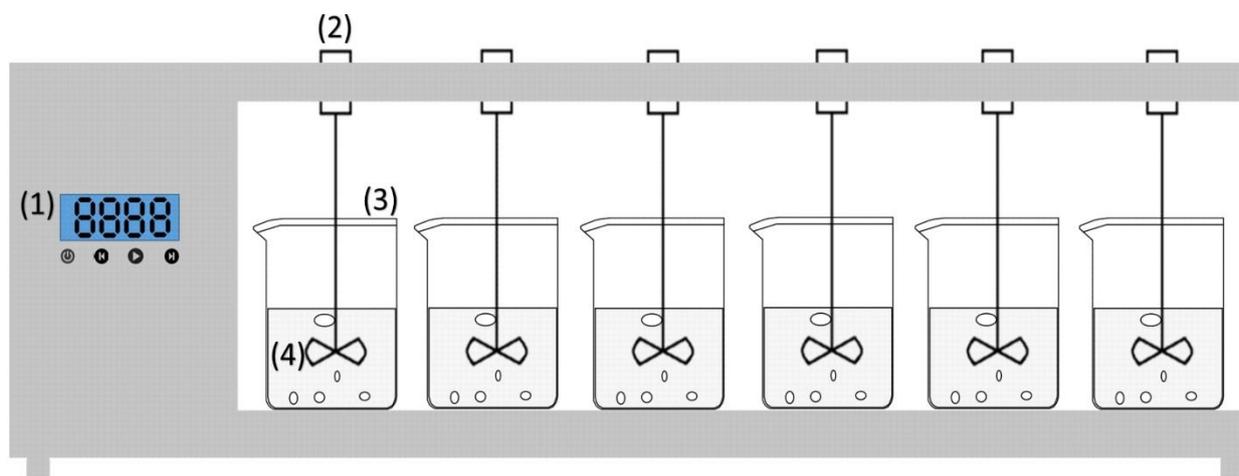
Priyatharishini et al (2019) preparou efluente sintético dissolvendo 10 g L⁻¹ de ração para gato moída em de água para simular um efluente doméstico, visto que a ração para gato tem 30% de proteína, 10% de gordura bruta, 5% de fibra bruta, com 12% de umidade. Essa porção produziu uma quantidade de 300 mg L⁻¹ de DBO, 1500 mg L⁻¹ de COD e 216 mg L⁻¹ de SST. Muniz et al (2020) simularam o efluente gerado por indústrias de laticínios com leite em pó integral (1,44 g L⁻¹), glicose (0,0024 g L⁻¹), uréia (2,7 g L⁻¹), cloreto de

amônio ($0,58 \text{ g L}^{-1}$), fosfato de sódio monobásico mono-hidratado ($0,9 \text{ g L}^{-1}$), bicarbonato de sódio ($1,56 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de magnésio heptahidratado ($0,6 \text{ g L}^{-1}$), sulfato ferroso heptahidratado ($0,024 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de manganês monohidratado ($0,024 \text{ g L}^{-1}$) e cloreto de cálcio desidratado ($0,036 \text{ g L}^{-1}$) que produziu $1283,3 \text{ mg L}^{-1}$ BOD, $3037,5 \text{ mg L}^{-1}$ COD e 698 NTU Turbidez.

2.4 Testes de coagulação

O Jar-test é o principal equipamento utilizado para testar a eficiência do coagulante. O jar-test é formado por um recipiente (béquer), um agitador de hélice e um motor, Figura 2.

Figura 2. Equipamento de Jar-test



(1) Timer e microprocessador, (2) Motor, (3) Béquer (4) Hélice agitadora

Uma amostra de água é colocada dentro do recipiente, depois, uma quantidade específica do coagulante é adicionada e a mistura é agitada em alta velocidade por x minutos, e, depois, em agitação lenta por y minutos. A alta velocidade tem a função de melhorar o contato do coagulante com o poluente, e a velocidade lenta é quando ocorre a formação de flocos. A alta velocidade variou de 80 RPM (Birima et al., 2013) a 200 RPM (Kiew & Chong, 2017) durante 1 (Jain et al., 2015) a 10 minutos (Kiew & Chong, 2017) e a velocidade lenta variou de 10 RPM (Mohan, 2014) a 40 RPM (Birima et al., 2013) durante 5 (Jian & Fu, 2018) a 30 minutos (Birima et al., 2013). Após a etapa de coagulação, a amostra é deixada em tempo de sedimentação, tempo para que o máximo de partículas desça para o fundo do recipiente.

2.5 Análises das amostras de efluentes

A simulação realizada no Jar-test é uma etapa importante na análise do efluente, porém para verificar a eficiência de coagulação, outras análises devem ser realizadas, caracterizando parâmetros quantitativos nas amostras, antes e após a adição de coagulante. Os parâmetros analisados nos artigos abordados nessa revisão foram pH, Alcalinidade, presença de microrganismos, TSS (Total de sólidos suspensos), COD (Demanda Química de Oxigênio), BOD (Demanda Biológica de Oxigênio), Dureza, sulfatos, nitratos, metais (ferro, cobre, cromo, ferro, zinco, chumbo, manganês) cor e turbidez (Jian & Fu, 2018; Kakoi et al., 2016; Muniz et al., 2020; Priyatharishini et al., 2019). A turbidez e o pH foram os parâmetros mais utilizados para medir a eficiência do coagulante. A turbidez foi medida para verificar a diminuição de matéria suspensa e coloidal,

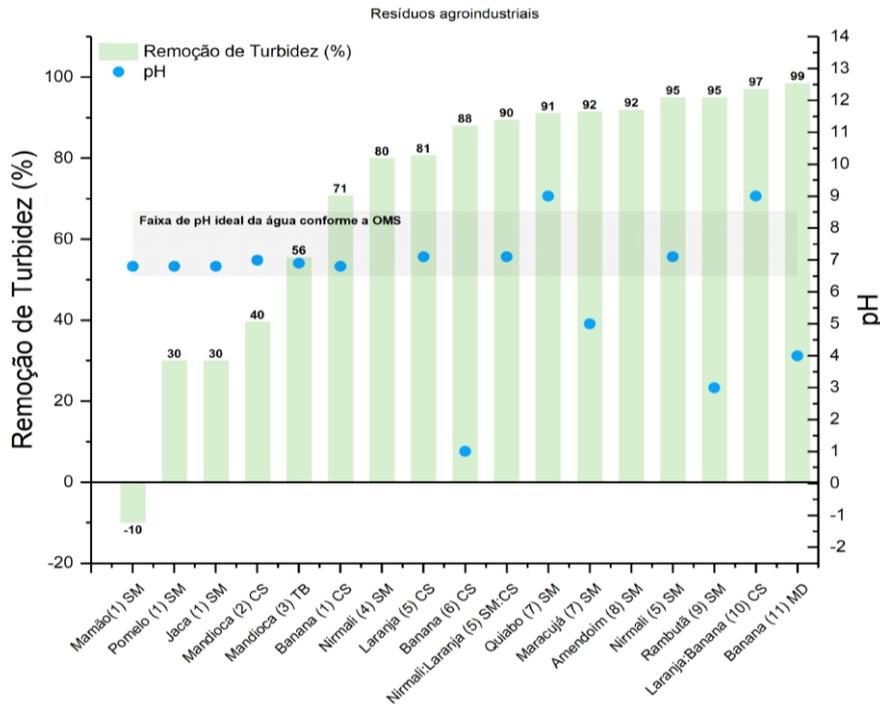
como argila, silte, matéria orgânica, matéria inorgânica e organismos microscópicos e o pH é medido para verificar a condição ideal para o coagulante estar no estado mais protonado e forma floco com poluente (APHA, 2012).

2.6 Eficiência dos resíduos agroindustriais no processo de coagulação no tratamento de água e efluente

A faixa ideal de pH em água para consumo humano é de 6,5 a 8,5, e a maioria dos coagulantes naturais de resíduos de frutas funcionou próximo a pH 7,0. Além disso, coagulantes obtidos a partir de mamão, pomelo, jaca e mandioca (Kiew & Chong, 2017; Othman et al., 2018; Ugwu et al., 2017) foram eficientes na remoção de turbidez < 60% (Figura 3). Porém, a baixa remoção de turbidez alcançada por um resíduo agroindustrial não exclui sua aplicação, pois pode ser utilizado como mistura com outro composto orgânico ou inorgânico ou mesmo com outros resíduos orgânicos.

Othman et al., (2018) encontraram uma remoção de turbidez de 78% com mistura de mandioca: sulfato de alumínio na proporção de 70:30 e pH 7 da amostra. Além disso, a semente de nirmali foi o melhor coagulante natural em pH 7,0 com remoção de turbidez de 95% (Mohan, 2014). Os resíduos de banana, nirmali e laranja foram os mais utilizados como coagulante. A casca de banana foi capaz de remover a turbidez em 71% (Kiew & Chong, 2017), 88% (Priyatharishini et al., 2019) e sua eficiência foi melhorada para 97% misturada com cascas de laranja (Jian & Fu, 2018) (Figura 3). A medula de banana foi o outro resíduo com grande eficiência com remoção de turbidez de 99% (Kakoi et al., 2016). O resíduo de laranja é uma alternativa sustentável e sua eficácia foi melhorada mais quando foi misturado com nirmali e banana (Figura 3).

Figura 3 – Remoção da turbidez e pH de resíduos agroindustriais utilizados como coagulantes naturais no tratamento de efluentes.



(1) Kiew & Chong, 2017, (2) Othman et al., 2018, (3) Ugwu et al., 2017, (4) Warriar et al., 2014, (5) Mohan, 2014, (6) Priyatharishini et al., 2019, (7) Muniz et al., 2020, (8) Birima et al., 2013, (9) Zurina et al., 2014, (10) Jian & Fu, 2018, (11) Kakoi et al., 2016; SM - semestre, CS - Casca, TB - Turbérculos, MD –Medula

O maracujá apresentou eficiência na remoção de turbidez de 92% (Muniz et al., 2020) (Figura 3). A produção de um coagulante natural pode ser uma ótima alternativa se considerarmos que só no Brasil muitas toneladas de maracujá são descartadas direto no meio ambiente mensalmente. Sabe-se que apenas 30% do maracujá é utilizado para gerar o produto, sendo o Brasil o maior produtor dessa fruta (Nascimento Filho & Franco, 2015).

3. Considerações finais

A proteção dos recursos hídricos e o meio ambiente como um todo, está cada vez mais relevante no Brasil e no mundo. Assim, a procura de sistemas eficientes para o tratamento de efluentes baseados no uso de tecnologias limpas e insumos biodegradáveis é de grande relevância. Por outro lado, a pesquisa mostrou que existe um grande potencial de reaproveitamento de resíduos agroindustriais como agentes de processos nas mais variadas aplicações, entre elas, no campo de tratamento de efluentes e especificamente na coagulação. Vários autores mostram como a utilização de compostos orgânicos pode ser uma alternativa sustentável, de baixo impacto aos ecossistemas e com grande eficiência, considerando que milhões de toneladas de resíduos são geradas diariamente e descartados em sistemas de tratamento ou direto no ambiente.

Verificou-se também, que os processos de transformação dos resíduos em insumos de sistemas de tratamento de efluente é muitas vezes simples e com pouquíssima tecnologia envolvida, tornando seu uso ainda mais acessível. Destaca-se também, que na maioria dos trabalhos revisados, as sementes e cascas foram os principais resíduos estudados como coagulantes, sendo que o pó extraído do resíduo pode ser utilizado com extrato aquoso, salino ou básico. Além disso, visto que o resíduo agroindustrial é formado por matéria orgânica, o pH ótimo para os ensaios estava dentro do pH ideal para consumo humano.

Por último, os estudos mostram como a produção de insumos para sistemas de tratamento de efluentes a partir de resíduos de agroindústria é um campo promissor para a realização de estudos mais aprofundados, tendo como objetos de estudo a grande diversidade de matérias primas (resíduos), diferentes formas de processamento, as tecnologias de estabilização e conservação dos princípios ativos, estudos de dosagem e avaliação de sinergia em combinações de diferentes tipos.

O coagulante orgânico natural já existe como produto, portanto, o investimento na transformação de um resíduo agroindustrial em um coagulante natural é uma ótima alternativa viável e sustentável ao tratamento de água, diminuindo a geração de resíduos, os danos ao meio ambiente e transformando os produtos para tratamento de efluentes mais biodegradável.

4. Agradecimentos

Esse artigo é resultado de um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento realizado pela SAMSUNG Eletrônica da Amazônia com recursos previstos na Lei Federal nº 8.387/1991, em concordância com o art. 21 do Decreto nº 10.521/2020.

5. Referências

Ali, E. N., Muyibi, S. a, Salleh, H. M., Salleh, M. R. M., & Islamic, I. (2010). Production Technique of Natural Coagulant From *Moringa oleifera* seeds. **Fourteenth International Water Technology Conference**, 95–103.

Arantes, C. C., Ribeiro, T. A. P., Paterniani, J. E. S., Tateoka, M. S. S., & Silva, G. K. E. (2014). Uso de coagulantes naturais à base de moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**, 34(4), 780–788.

APHA. (2012). **Standard methods for the examination of water and wastewater** (22th ed). Washington: American Public Health Association, American Water Works Association.

Babu, R., & Chaudhuri, M. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. **Journal of Water and Health**, 03, 27–30.

Baptista, A. T. A., Coldebella, P. F., Cardines, P. H. F., Gomes, R. G., Vieira, M. F., Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. (2015). Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of moringa oleifera for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, 276, 166–173.

Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Gómez-Muñoz, M. C. (2010). New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, 162(3), 1019–1025.

Birima, A. H., Hammad, H. A., Desa, M. N. M., & Muda, Z. C. (2013). Extraction of natural coagulant from peanut seeds for treatment of turbid water. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 16(1), 1–4.

Bodlund, I. (2013). **Coagulant Protein from plant materials : Potential Water Treatment Agent**. Theses, School of Biotechnology, Royal Institute of Technology, AlbaNova University Center, Stockholm, Sweden.

Chaudhuri, M., & Khairuldin, P. S. A. B. (2009). Coagulation-Clarification of Turbid Coloured Water by Natural Coagulant (*Moringa oleifera*) Seed Extract. **Nature Environment and Pollution Technology**, 8, 137–139.

Deepthi, P., Sarala, C., Kumar, P. S., & Mukkanti, K. (2017). Cucurbita pepo as a Coagulant Aid for Copper Removal. **International Journal of Engineering Research & Technology**, 6(9), 33–36.

Dehghani, M., & Alizadeh, M. H. (2016). The effects of the natural coagulant *Moringa oleifera* and alum in wastewater treatment at the Bandar Abbas Oil Refinery. **Environmental Health Engineering and Management Journal**, 3, 225–230.

Dollah, Z., Abdullah, A. R. C., Hashim, N. M., Albar, A., Badrealam, S., & Mohd Zaki, Z. Z. (2019). Citrus fruit peel waste as a source of natural coagulant for water turbidity removal. **Journal of Physics: Conference Series**, 1349(1).

dos Santos, J. D., Veit, M. T., Juchen, P. T., da Cunha Gonçalves, G., Palácio, S. M., & Fagundes-Klen, M. (2018). Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 6(2), 1821–1827.

Dotto, J., Fagundes-Klen, M. R., Veit, M. T., Palácio, S. M., & Bergamasco, R. (2019). Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, 208, 656–665.

Gobena, B., Adela, Y., & Alemayehu, E. (2017). Evaluation of Mix-Chemical Coagulants in Water Purification Process. **International Journal of Engineering Research & Technology**, 7(01), 431–435.

- Grehs, B. W. N., Lopes, A. R., Moreira, N. F. F., Fernandes, T., Linton, M. A. O., Silva, A. M. T., Manaia, C. M., Carissimi, E., & Nunes, O. C. (2019). Removal of microorganisms and antibiotic resistance genes from treated urban wastewater: A comparison between aluminium sulphate and tannin coagulants. **Water Research**, *166*, 115056.
- Greses, S., Tomás-Pejó, E., & González-Fernández, C. (2020). Agroindustrial waste as a resource for volatile fatty acids production via anaerobic fermentation. **Bioresource Technology**, *297*.
- Jain, R. K., Dange, P. S., & Lad, R. K. (2015). A treatment of domestic sewage and generation of bio sludge using natural coagulants. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, *04*, 152–156.
- Jian, H., & Fu, Y. (2018). Study on Coagulation Effect of Composite Peel Coagulant in Treating Humic Acid Simulated Water. **Advances in Engineering Research**, 1441–1443.
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. **Ecological Engineering**, *95*, 699–705.
- Kiew, P. L., & Chong, K. H. (2017). Development of fruit-based waste material as bioflocculant for water clarification. **Journal of Mechanical Engineering**, *SI 4(5)*, 1–10.
- Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. **Process Safety and Environmental Protection**, *92(6)*, 489–508.
- Lima Júnior, R. N., & Abreu, F. O. M. S. (2018). Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, *10(3)*, 709–735.
- Lopes, E. C., Santos, S. C. R., Pintor, A. M. A., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2019). Evaluation of a tannin-based coagulant on the decolorization of synthetic effluents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, *7(3)*.
- Mangale Sapana M., C., G., C. S., & D., R. P. (2012). Use of *Moringa Oleifera* (Drumstick) seed as Natural Absorbent. **Research Journal of Recent Sciences**, *1*, 31–40.
- Mohan, S. M. (2014). Use of naturalized coagulants in removing laundry waste surfactant using various unit processes in lab-scale. **Journal of Environmental Management**, *136*, 103–111.
- Muniz, G. L., Borges, A. C., & Silva, T. C. F. da. (2020). Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. **Journal of Water Process Engineering**, *37*, 101453.
- Muralimohan, N., Palanisamy, T., & Vimaladevi, M. N. (2014). Experimental Study on Removal Efficiency of Blended Coagulants. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, *2(2)*, 15–20.
- Nascimento Filho, W. B. do, & Franco, C. R. (2015). Potential Assessment of Waste Produced Through the Agro-Industrial Processing in Brazil. **Revista Virtual de Química**, *7(6)*, 1968–1987.

- Nonfodji, O. M., Fatombi, J. K., Ahoyo, T. A., Ossen, S. A., & Aminou, T. (2020). Performance of *Moringa oleifera* seeds protein and *Moringa oleifera* seeds protein-polyaluminum chloride composite coagulant in removing organic matter and antibiotic resistant bacteria from hospital wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, 33.
- Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, 35(2), 405–410.
- Othman, N., Abd-Rahim, N. S., Tuan-Besar, S. N. F., Mohd-Asharuddin, S., & Kumar, V. (2018). A Potential Agriculture Waste Material as Coagulant Aid: Cassava Peel. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 311(1), 012022.
- Paterniani, J. E. S., Ribeiro, T. A. P., Mantovani, M. C., & Sant'anna, M. R. (2010). Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using moringa oleifera seeds. **African Journal of Agricultural Research**, 5(11), 1256–1263.
- Priyatharishini, M., Mokhtar, N. M., & Kristanti, R. A. (2019). Study on the Effectiveness of Banana Peel Coagulant in Turbidity Reduction of Synthetic Wastewater. **International Journal of Engineering Technology and Sciences**, 6, 82–90.
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Peres, J. A. (2012). Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 29(3), 495–501.
- Sapana, M. M., Sonal, C. G., & D, R. P. (2012). Use of *Moringa Oleifera* (Drumstick) seed as Natural Absorbent and an Antimicrobial agent for Ground water Treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, 1(3), 31–40.
- Sillanpää, M., Ncibi, M. C., Matilainen, A., & Vepsäläinen, M. (2018). Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere**, 1(190), 54–71.
- Skoronski, E., Niero, B., Fernandes, M., Alves, M. V., & Trevisan, V. (2014). Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, Na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente e Água**, 9(4), p. 679–687.
- Sutherland, J. P., Folkard, G. K., Mtawali, M. A., & Grant, W. D. (1994). *Moringa oleifera* as a natural coagulant. **20th WEDC Conference**, 1–3.
- Taiwo, A. S., Adenike, K., & Aderonke, O. (2020). Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. **Heliyon**, 6(1).
- Trevisan, T. S. (2014). *Coagulante Tanfloc Sg Como Alternativa Ao Uso De Coagulantes Químicos No Tratamento De Água Na Eta Cafezal Trabalho De Conclusão De Curso* (p. 106).
- Tropea, A., Wilson, D., Torre, L. G. La, Curto, R. B. Lo, Saugman, P., Troy-Davies, P., Dugo, G., & Waldron, K. W. (2014). Bioethanol Production From Pineapple Wastes. **Journal of Food Research**, 3(4), 60.
- Ugwu, S. N., Umuokoro, A. F., Echiegu, E. A., Ugwuishiwu, B. O., & Enweremadu, C. C. (2017).

Comparative study of the use of natural and artificial coagulants for the treatment of sullage (domestic wastewater). **Cogent Engineering**, 4(1).

Villaseñor-Basulto, D. L., Astudillo-Sánchez, P. D., del Real-Olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. **Journal of Water Process Engineering**, 23, 151–164.

Warrier, R. R., Sing, B., Balaji, C., & Priyadarshini, P. (2014). Storage Duration and Temperature Effects of *Strychnos potatorum* Stock Solutions on its Coagulation Efficiency. **Journal of Tropical Forestry and Environment**, 4(2), 45–56.

Yongabi, K. (2010). Biocoagulants for water and waste water purification: a review. **International review of chemical engineering**, 2(3), 444–458.

Yusuf, M. (2017). Agro-Industrial Waste Materials and their Recycled Value-Added Applications: Review. In *Handbook of Ecomaterials* (p. 1–11).

Zaidi, N. S., Muda, K., Loan, L. W., Sgawi, M. S., & Abdul Rahman, M. A. (2019). Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment. **International Journal of Integrated Engineering**, 11(1), 140–150.

Zurina, A. Z., Mohd Fadzli, M., & Abdul Ghani, L. A. (2014). Preliminary Study of Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Seed as Potential Biocoagulant for Turbidity Removal. **Advanced Materials Research**, 917, 96–105.