

Efeitos de espécies de al na eficiência de coagulação, Al - residual e propriedade dos flocos no tratamento de águas superficiais

Effects of al species on coagulation efficiency, residual al and floc properties in surface water treatment

DOI:10.34119/bjhrv6n5-523

Recebimento dos originais: 08/09/2023

Aceitação para publicação: 10/10/2023

Eliomar Gotardi Pessoa

Mestre em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável
Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Endereço: Rua Ronaldo Scampini, 440, Vitoria - ES
E-mail: eliomar.pessoa@coc.ufrj.br

Luana Machado Feitosa

Tecnóloga em Administração e Finanças
Instituição: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI)
Endereço: 271 Citrus Dr, Kissimmee, Flórida – USA
E-mail: luanamachado100@outlook.com

Adonias Gomes Pereira

Tecnólogo em Engenharia de Petróleo
Instituição: Instituto de Educação Tecnológica Avançada da Amazônia (IETAAM)
Endereço: 10548 Demilo Place, Orlando, Flórida – USA
E-mail: dodo.sgt@hotmail.com

Vitor Pereira e Padua

Graduado em Engenharia Química
Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Endereço: Rua Amarantina 18, Taquara – RJ
E-mail: vitorpadua@yahoo.com.br

RESUMO

A variação na qualidade da água, principalmente quando a captação ocorre em rios ou lagos, pode ser frequente e sazonal. Esta situação impõe que os processos de tratamento sejam facilmente adaptados as variações da água bruta. Devido às suas diferentes utilizações, são exigidos distintos graus de qualidade. Apesar das diferentes exigências, um processo de tratamento comumente utilizado é o de coagulação-floculação pois promove redução da turbidez, matéria orgânica natural e outros poluentes. O processo de coagulação-floculação é amplamente utilizado em estações de tratamento de água. Esses processos têm sido utilizados para redução de turbidez, cor e patógenos. Ultimamente, também se utilizam estes processos para a remoção de matéria orgânica natural de águas segundo MAO, R., WANG, Y., ZHAO, Y. (*et al.*, 2013). Isto se deve ao fato de na etapa de desinfecção, a matéria orgânica natural pode reagir com cloro e formar subprodutos prejudiciais à saúde. A coagulação-floculação são processos distintos que muitas vezes são utilizados de forma ambígua. Entretanto, o processo de coagulação consiste na desestabilização de colóides e outras finas partículas, que então

conseguem se aproximar e aglomerar. Enquanto a floculação descreve o processo do aumento de colisão entre as partículas desestabilizadas, formando agregados maiores. Esses serão removidos posteriormente por sedimentação, flotação ou filtração.

Palavras-chave: coagulação, floculação, tratamento.

ABSTRACT

Variations in water quality, especially when abstracted from rivers or lakes, can be frequent and seasonal. This situation requires treatment processes to be easily adapted to the variations in raw water. Due to its different uses, different degrees of quality are required. Despite the different requirements, a commonly used treatment process is coagulation-flocculation because it reduces turbidity, natural organic matter and other pollutants. The coagulation-flocculation process is widely used in water treatment plants. These processes have been used to reduce turbidity, color and pathogens. Recently, these processes have also been used to remove natural organic matter from water according to MAO, R., WANG, Y., ZHAO, Y. (et al., 2013). This is because in the disinfection stage, natural organic matter can react with chlorine and form by-products that are harmful to health. Coagulation and flocculation are distinct processes that are often used ambiguously. However, the coagulation process consists of destabilizing colloids and other fine particles, which are then able to come together and agglomerate. While flocculation describes the process of increased collision between the destabilized particles, forming larger aggregates. These are then removed by sedimentation, flotation or filtration.

Keywords: coagulation, flocculation, treatment.

1 INTRODUÇÃO

Segundo MAO, R., WANG, Y., ZHAO, Y. (et al. 2013) Coagulantes a base de alumínio dentre os coagulantes a base de alumínio, o sulfato de alumínio, de formula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14-18H_2O$, é descrito pela literatura como um dos coagulantes mais utilizado. No estudo de SHU-XUAN, DUAN; HUI, XUI (et al. 2014). Os coagulantes usados neste estudo foram cloreto de alumínio ($AlCl_3$), polímero $Al_13O_4(OH)_{247+}$ (Al_{13}) e (AlO_4) polímero $2Al_{28}(OH)_{5618+}$ (Al_{30}). Água de superfície de uma típica estação de tratamento de água no norte da China foi usada para conduzir os experimentos. Os resultados mostraram que a eficiência de remoção de DOC se correlacionou bem ao conteúdo de espécies polimerizadas médias (Alb), enquanto os flocos formados por Alb não eram tão grandes como aqueles formados por espécies coloidais ou em gel (Alc). Quando adicionado em água ocorrerem diversas reações de hidrólise e polimerização, formando diferentes espécies de alumínio. De acordo com a literatura, as diferentes espécies formadas com a dissolução de sais de alumínio podem ser divididas em três grupos, Ala, Alb e Alc. Espécies monoméricas de alumínio, Ala, são compostas de moléculas e oligômeros como: Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)^{4+}$ e $Al_3(OH)^{5+}$. As espécies poliméricas médias, Alb, são compostas de moléculas como: $Al_6(OH)^{6+}$

12, $Al_8(OH)_4^{20}$ e $Al_{13}O_4(OH)_7^{24}$. Polímeros de alta massa molar e espécies coloidais são denominadas Alc e apresentam compostos como: $Al(OH)_3$. Entretanto, destaca-se que a formação dessas espécies é influenciada pelo pH e temperatura.

De acordo com YANG (*et al.* 2013), para o sulfato de alumínio, quando o pH de coagulação é menor que 5, existe inibição das reações de polimerização, formando, majoritariamente, espécies do grupo Ala. Para valores de pH entre 6 e 8, os autores observaram a formação de compostos das espécies Alb e Alc. Para valores de pH acima de 8, os autores observaram a formação de $Al(OH)_4^-$, espécie de carga negativa que dificulta a desestabilização das partículas. FENG (*et al.* 2013), observaram que, para a redução de ácidos húmicos, as espécies Ala e Alb apresentam maior eficiência, enquanto que a maior remoção de turbidez foi obtida com Alc. De acordo com XU (*et al.* 2013), espécie Alb apresentou maior eficiência na remoção de contaminantes, devido as suas elevadas cargas superficiais, o que justifica pesquisas que buscam aumentar o percentual de Alb em policloreto de alumínio. Segundo SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M. C., MATILAINEN, A., (*et al.* 2018), para a remoção de MONs, espécies de alumínio com maior carga positiva promovem a remoção dos compostos orgânicos com maior eficiência. Quando coagulantes a base de alumínio são usados, deve-se atentar para o residual deste metal na água tratada. Isto ocorre, pois elevadas concentrações de alumínio residual têm sido associadas à doenças neurais e podem precipitar em 11 torres de resfriamento e em membranas, se mostrando preocupante tanto para o consumo humano quanto na utilização industrial. Desta forma, quando utilizado esse tipo de coagulante é necessário controlar o residual deixado. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que planta de tratamento de água para consumo de grande porte tenha alumínio residual menor que 0,1 mg/L, enquanto para plantas de baixo porte uma concentração de 0,2 mg/L.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Coagulantes utilizados no estudo:

Tabela 1: Coagulantes utilizados no estudo

	Al _t (mol/L)	Al _a (%) Método	Al _b (%)	Al _c (%)
AlCl ₃	0.06	91.90	8.10	0
Al ₁₃	0.07	2.18	96.61	1.20
Al ₃₀	0.06	1.39	19.09	7.52

Fonte: YAN (*ate. al* 2014)

Três mecanismos principais podem ser usados para explicar a remoção de matéria orgânica por coagulantes à base de Al: neutralização de carga, adsorção e ponte. A distribuição de espécies de Al em coagulantes tem grandes efeitos sobre o resíduo Al em água tratada. Vários métodos podem ser usados para analisar a distribuição de espécies de Al.

O método ferron tem sido amplamente usado para denotar espécies de Al em três tipos: o primeiro 1,0 min reagiu foi definido como Ala, 1,0 min a 120,0 min foi definido como Alb e nenhuma reação definida como Alc. Ala significa a espécie monomérica espécie que é composta principalmente por Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, dímero ($Al_2(OH)_2^{4+}$), trímero ($Al_3(OH)_4^{5+}$) e alguns polímeros pequenos, a MW de Ala é bastante pequeno, normalmente abaixo de 1 kDa. Alb significa as espécies de polímero médio, e muitos estudos têm mostrado que há uma boa correlação entre Alb e Al^{13} , que é a espécie mais eficiente em coagulantes à base de Al. O MW de Alb está na faixa de 1 a 3 kDa. Alc representa a espécie de sal ou gel, com MW maior que 3 kDa. Uma grande quantidade de investigações mostrou que o tipo de coagulantes e a dosagem teve grandes efeitos no Al residual. KIMURA, MASAOKI e MATSUI, YOSHIHIKO, que PACl com Ala $\leq 0,5\%$ e básica $\geq 85\%$ produziu uma concentração residual de Al $< 0,007$ mg / L no pH ótimo. YAN (*et al.* 2014) relatou que o Al residual para $AlCl_3$ foi maior do que outros PACls em baixa dosagem, enquanto em alta dosagem a situação seria inversa. Verificou-se que a diluição tem poucos efeitos na distribuição de espécies de PACl. Após a dosagem com fatores de diluição de 200-2000 vezes se a alcalinidade não é muito alta, no entanto, o pH tem grandes efeitos sobre a transformação de espécies de Al. Portanto, controle o pH da solução é muito importante para minimizar a concentração residual de Al. Estudos têm mostrado que controlar o pH em cerca de 6,5 é uma abordagem para minimizando as concentrações residuais de Al. YAN (*ate. al* 2014) relatou que o Al residual mínimo alcançado em pH cerca de 7,0 para três diferentes Coagulantes à base de Al. A maioria dos estudos anteriores focou apenas na investigação de Al residual total e Al residual total dissolvido. No entanto, a toxicidade varia consideravelmente entre as diferentes espécies de Al dissolvido. Algumas pesquisas denotaram Al residual dissolvido em Al dissolvido Al monomérico, Al monomérico dissolvido organicamente ligado e Al dissolvido organicamente ligado. Enquanto a distribuição de MW de resíduos do Al dissolvido raramente era estudado. Para investigar a distribuição de MW de Al residual dissolvido poderia fornecer uma melhor compreensão de água residual dissolvida e a característica do AL. Assim, parecia necessário para realizar medições de fracionamento de Al com diferentes MW para fornecer informações valiosas sobre coagulantes à base de Al em tratamento de águas superficiais. A fim de compreender melhor a correlação entre as espécies de Al e Al residual em água tratada,

testes em jar teste foram realizados sob diferentes dosagens de coagulante e vários valores de pH. Este estudo focou nos três aspectos:

- 1- Para investigar os efeitos de diferentes Coagulantes à base de Al na remoção de DOC;
- 2- Para investigar a relação entre as espécies de Al e a distribuição de MW do Al residual em água tratada;
- 3- Para investigar os efeitos das espécies de Al nas características dos flocos.

Coagulantes usados neste estudo todos os reagentes utilizados eram de grau analítico e deionizados água foi usada em todas as soluções. Três coagulantes à base de Al, AlCl₃, Al13 e Al30 foram usados neste estudo.

(Vide tabela 1)

Água bruta foi coletada de um reservatório de Pequim todas as semanas e armazenado na geladeira com $T = -4\text{ }^{\circ}\text{C}$ constante. As características físico-químicas estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas

Característica	Valor	Método
NTU (turbidez)	1-2	Turbidimetria
Temperatura (°C)	7-10	Termômetro
PH	7,5-8,0	FE20/EL2
DOC (mg/L)	2,0	TOC

Fonte: YAN (ate. al 2014)

3 JAR TEST

As experiências de coagulação foram realizadas por um aparelho de teste de jarro convencional. 500 mL de água bruta foi transferida para um béquer cilíndrico, em seguida o procedimento foi iniciado com uma mistura rápida na velocidade de 250 rpm; após 30 s de coagulante foi adicionado seguido por velocidade de mistura de 200 rpm para 1,5 min; 40 rpm por 10 min; sedimentação por 30 min. Após a sedimentação, o sobrenadante foi coletado para medir DOC e Al residual. pH de a água foi ajustada com 0,1 mol / L de HCl e 0,1 mol / L de NaOH.

4 MÉTODO DE SEPARAÇÃO DE DIFERENTES AL RESIDUAL

A distribuição de Al residual foi investigada usando membranas com peso molar de corte (MWCOs) de 100 kDa, 30 kDa, 3 kDa e 1 kDa. O processo pode ser descrito como: sobrenadante coletado e filtrado através de membranas de $0,45\mu\text{ m}$, transferido água filtrada em uma célula agitada de 50 que tinha MWCOs nominais de ultrafiltração de 100 kDa membrana nele. A filtração foi realizada até que os últimos 5 mL fossem coletados de uma amostra de 20 mL sob pressão de 0,25 MPa. A mesma operação foi repetida com membrana de ultrafiltração de 30 kDa, 3 kDa e 1 kDa, respectivamente, para alcançar diferentes MW de Al residual dissolvido.

5 FORMAÇÃO, QUEBRA E REGENERAÇÃO DE FLOCO

Com a utilização do jar teste e velocimetria de imagem foi feito a caracterização de formação de flocos quebra e regeneração.

Tabela 3: Flocculação AL

Floculação	rpm	Tempo (s)
Mistura	250	30
Mistura	200	90
Agitação Lenta	40	600

Fonte: YAN (ate. al 2014)

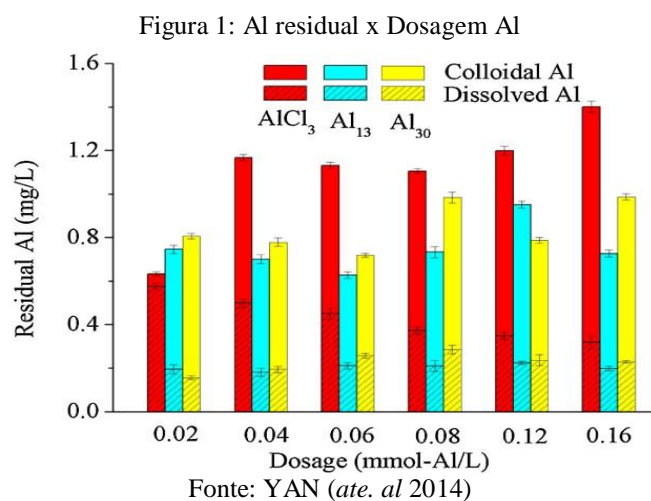
A imagens de partículas e flocos na água foram registradas e analisadas pelo sistema velocimetria de imagem (PVI), portanto, os tamanhos de partícula em diferentes fases do processo foram obtidos. O fator de força do floco é usado para descrever a força do floco, que pode ser calculado da seguinte forma:

Fator de força do floco = $d_2/d_1 \times 100$, onde d_1 , d_2 são os tamanhos médios de flocos na fase estável antes da quebra e após a quebra. Um fator de força de flocos mais alto indica uma maior resistência dos flocos para resistir à quebra por um determinado cisalhamento. A estrutura do floco é simplesmente descrita pela dimensão do fractal de massa D_f . Os agregados compactos têm D_f maior, enquanto agregados com estruturas frouxas mostram D_f menor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 EFEITOS DA DOSAGEM DE COAGULANTE NA REMOÇÃO DE DOC E AL RESIDUAL

Remoção de DOC pelos três tipos de coagulantes em diferentes dosagens. Nesse estudo foi utilizado vários intervalos para os coagulantes 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,12, 0,16 mmol / L calculado como Al. Os resultados mostraram que os três tipos de coagulante tinham efeito na redução do DOC para todos os coagulantes, os resultados aumentaram à medida que a dosagem era aumentada. Notou-se que o Al₁₃ foi o que mais contribuiu para a remoção do DOC, seguido sequencialmente pelo Al₃₀ e AlCl₃.



Ficou claro que o Al residual total seguiu a tendência: AlCl₃ > Al₃₀ > Al₁₃, e as concentrações não mudaram drasticamente para Al₁₃ e Al₃₀, enquanto para AlCl₃, o Al residual total aumentou diretamente dentro da dosagem investigada.

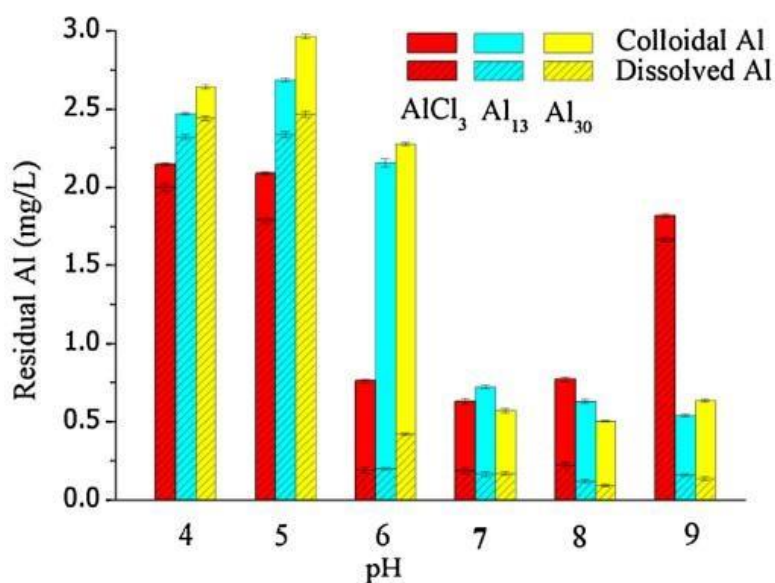
Acredita-se que AlCl₃ tenha o maior conteúdo de Ala, que é capaz de formar complexos solúveis com NOM, os complexos tem tamanho pequeno e não podem ser removidos por 0,45μ m membrana. No entanto, os flocos formados por Alb e Alc são muito maiores, parte desses flocos poderia ser removida por membrana de 0,45 μ m. Como pode ser visto na Fig. 1.

6.2 EFEITOS DO PH NA REMOÇÃO DE DOC E AL RESIDUAL

Efeitos do pH inicial no desempenho de coagulação e Al residual pelos três coagulantes diferentes foram investigados na faixa de pH de 4,0 a 9,0 na dosagem de 0,08 mmol / L. A maior eficiência de remoção de DOC aconteceu em pH 5,0, em vez de na região de pH neutro, em que o conteúdo de Alb atingiu o máximo. Enquanto em pH 5,0, o conteúdo de Ala aumentou ligeiramente e Alb diminuiu correspondentemente.

Embora a carga de Ala seja inferior à de Alb como uma unidade, a média da carga por Al é alta; portanto, Ala poderia neutralizar a ligação insatisfeita da matéria orgânica de forma eficiente. Além disso, em pH mais baixo, íons de hidrogênio poderiam competir com os produtos de hidrólise de metal por ligantes orgânicos, portanto, a quantidade de ligantes orgânicos insatisfeitos diminuída e o DOC pode ser removido de forma mais eficiente por sais metal. O efeito do pH no Al residual durante o tratamento de coagulação é mostrado na Fig. 2. Em ambiente ácido, as concentrações de Al residual dissolvido foram altas para todos os coagulantes. Al13 e Al30 mostraram tendência semelhante em todas as condições de pH. Enquanto para AlCl₃, quando o pH > 8,0, a concentração residual de Al dissolvido aumentou diretamente, o que é causado pelo alto teor de Ala em pH básico. O Al residual total mostrou a tendência semelhante, assim como o Al dissolvido residual, exceto que as concentrações foram altas em pH 6,0 para Al13 e Al30, o que pode ser resultado do alto nível de coloidal Al.

Figura 2: Al residual x Dosagem Al

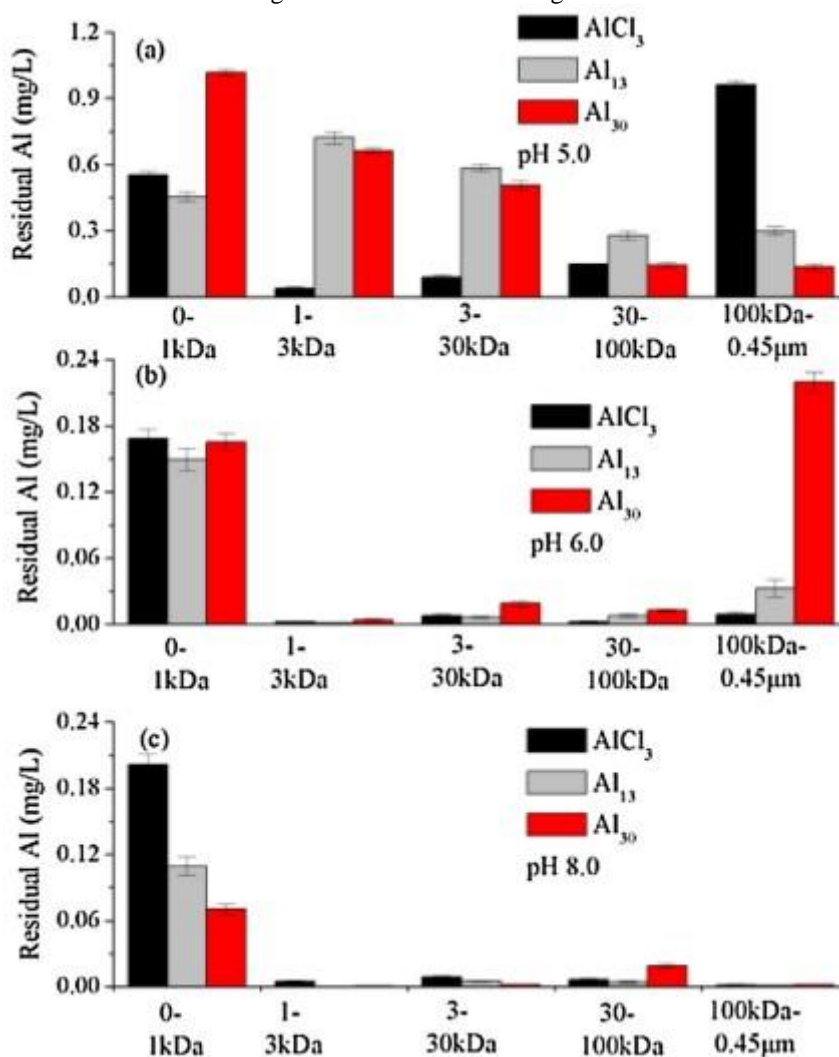


Fonte: YAN (ate. al 2014)

6.3 DISTRIBUIÇÃO MW DE AL RESIDUAL DISSOLVIDO

Distribuição MW de Al residual dissolvido na dosagem de 0,08 mmol / L sob pH de 5,0, 6,0, 8,0 foram investigados. Os resultados revelaram que o pH desempenhou um papel importante na distribuição de MW de Al residual.

Figura 3: Al residual x Dosagem Al



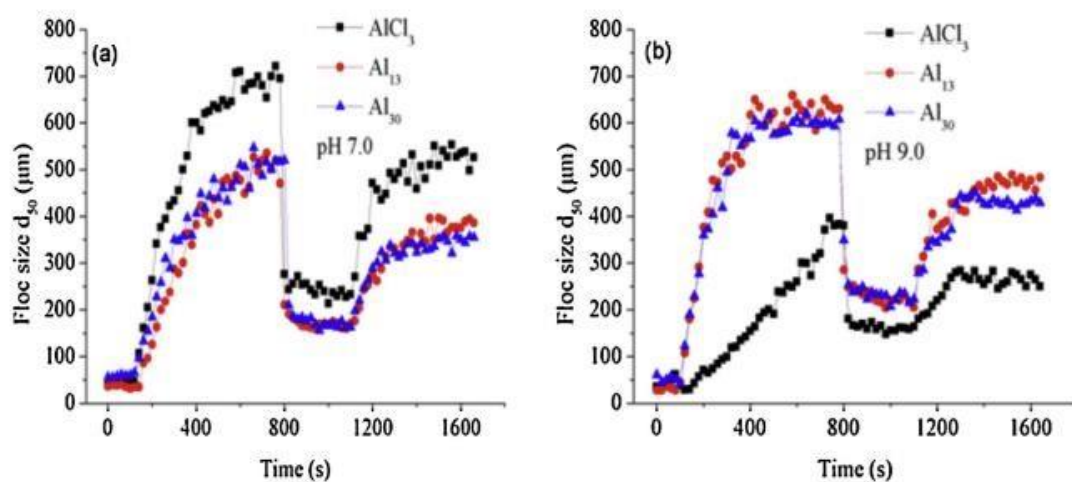
Fonte: YAN (ate. al 2014)

Para pH 5,0 a fração com uma faixa WM de 100 kDa – 0,45μm foi muito maior para AlCl₃, enquanto o Al residual de outras faixas de MW mostraram concentrações muito menores. Assim, AlCl₃ poderia produzir a menor concentração de Al residual dissolvido. Para Al₁₃, a maior concentração alcançada na faixa de MW de 1-3 kDa, e a diferença de concentrações entre vários intervalos de MW eram pequenos. Al₃₀ alcançou uma maior concentração residual de Al dissolvido na fração em 0-1 kDa, e MW maior alcançou concentração mais baixa. Os resultados na Fig. 3, revelaram que o Al residual dissolvido na fração a 100 kDa – 0,45μm mostrou uma diferença significativa para Al₃₀. A concentração estava muito próxima de 0,2 mg / L para Al₃₀ em pH 6,0, entretanto, quase não pode ser observado em pH 8,0. Além disso deve-se notar que a maior parte do Al residual dissolvido foi observada na fração de 0-1 kDa para todos os coagulantes, o que significa a maioria de o Al residual dissolvido estava na forma monomérica em pH 6,0 e pH 8,0.

6.4 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DO FLOCO E ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO FLOCO

A Fig. 4 mostra as mudanças de tamanho do floco versus tempo para todos os coagulantes na dosagem de 0,08 mmol / L sob pH 7,0 e 9,0. Ele revelou que o tamanho d50 dos flocos formados por Al13 e Al30 foram semelhantes em pH 7,0 e pH 9,0. O tamanho dos flocos formados por Al13 e Al30 eram cerca de 500 μ m em pH 7,0, e o tamanho dos flocos eram cerca de 600 μ m quando o pH era 9,0. Em contraste, AlCl3 mostrou uma consequência oposta, o tamanho dos flocos de AlCl3 em pH 7,0 era muito maior do que pH 9,0, este resultado pode ser causado pelas diferentes espécies de Al no processo de coagulação.

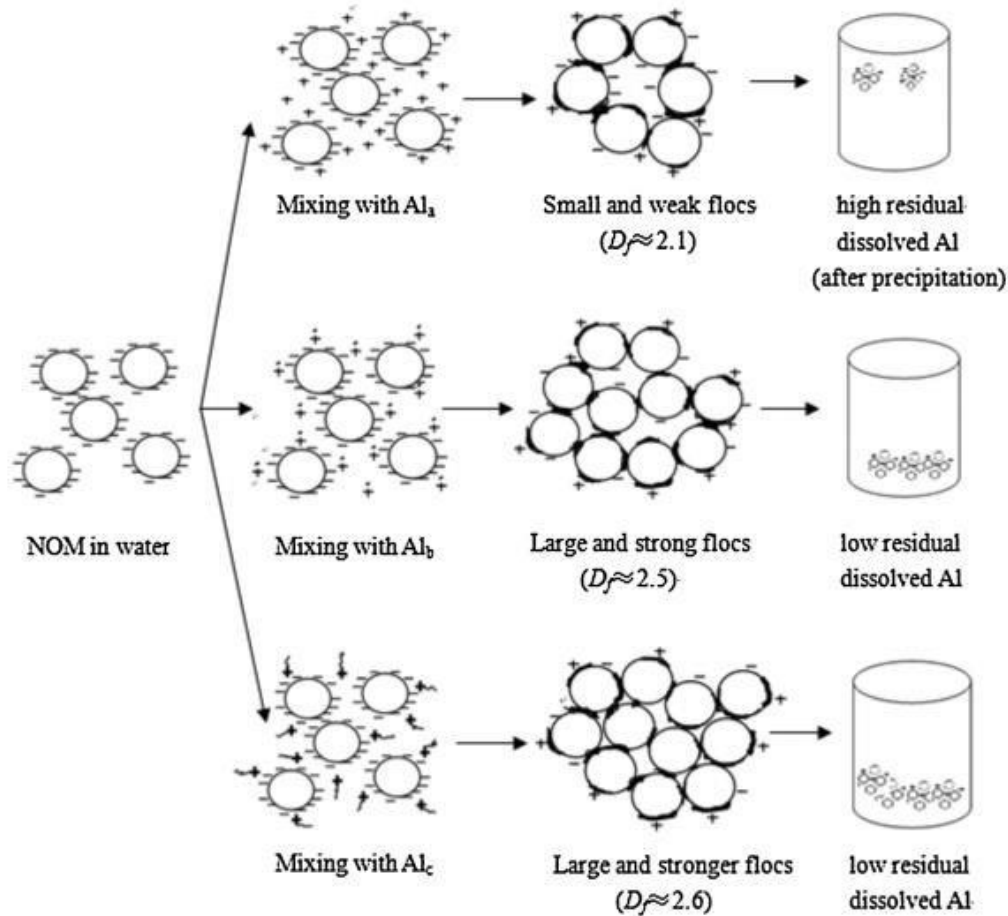
Figura 4: Al residual x Dosagem Al



Fonte: YAN (ate. al 2014)

Pode-se verificar que o fator de resistência do floco com variação de pH obedeceu à seguinte ordem: pH 9,0 > pH 7,0 para todos coagulantes. Em pH 7,0, AlCl3 alcançou o maior fator de resistência, seguido por Al13 e Al30, o que significa os flocos formados por AlCl3 em pH 7,0 mostrou uma melhor capacidade de resistir ao cisalhamento crescente, este resultado foi bastante consistente com o valor Df de antes da quebra mostrado na Fig. 5. Deve-se notar que o fator de resistência para AlCl3 em pH 9,0 foi bastante maior do que outros, no entanto, os flocos o tamanho e o valor Df eram inversos. Estudo anterior relatou que flocos formados na agitação lenta original que tinha um alto índice de floculação.

Figura 5: Al residual x Dosagem Al



Fonte: YAN (ate. al 2014)

Em comparação com $AlCl_3$, Al_{13} e Al_{30} foram relativamente estáveis durante a variação de pH, Al_b e Al_c foram as espécies predominantes, respectivamente. Porém, vale a pena observar que o Al residual dissolvido foi bastante alto em pH ácido para Al_{13} e Al_{30} , inferimos que as espécies de polímero de Al podem ser transformadas em alguns pequenos hidrolisados em pH ácido. Um mecanismo plausível do efeito das espécies de Al na coagulação tem sido descrito na Fig.6. Al_a pode complexar com grupos funcional negativo, neutralize alguns grandes NOM para formar Al_a -NOM insolúvel, no entanto, a maior parte do NOM nas águas superficiais não eram grandes o suficiente para fornecer núcleos para a formação de flocos, e o floco de Al_a -NOM foi bastante pequeno e fraco, que eram difíceis de se estabelecer e difícil de ser removido pela membrana de $0,45\mu m$, e contribuiu para um alto resíduo de Al dissolvido na água tratada. O peso molecular do Al_c sempre foi grande, ele pode absorver partículas e NOM, mesmo NOM pequeno facilmente, e o floco formado por Al_c com NOM foi frequentemente grande e compacto. Portanto, Al_b e Al_c poderiam produzir o menor Al_a residual dissolvido do que Al_a .

7 CONCLUSÃO

MAO, R., WANG, Y., ZHAO, Y., et al., 2013. A remoção de DOC foi diferente para vários Al espécies. Alb foi mais eficiente para a remoção de DOC, Ala mostrou um alta capacidade de reagir com alguns vínculos coordenados insatisfeitos de matéria orgânica para facilitar a remoção de DOC, todavia, O Al residual dissolvido estava intimamente relacionado com a quantidade de Ala. Na maioria dos casos, $AlCl_3$ ganhou o maior resíduo dissolvido Al em água tratada. Os valores de pH tiveram efeitos significativos nas propriedades dos flocos para $AlCl_3$, os flocos formados em pH 7,0 eram muito maiores do que aqueles formado a pH 9,0. Para as condições de coagulação dadas, os flocos formados pelo Al_3O_3 foram mais compactos do que os do $Al_2(SO_4)_3$. Já Os flocos formados por Ala eram bastante pequenos e fracos, que ganharam o alto resíduo de Al dissolvido na água tratada. Os flocos se formaram por Alb e Alc eram grandes e compactos, o resíduo dissolvido Al foram muito mais baixos em conformidade.

REFERÊNCIAS

MAO, R., WANG, Y., ZHAO, Y., et al., 2013, “**Impact of various coagulation technologies on membrane fouling in coagulation/ultrafiltration process**”, *Chemical Engineering Journal*, v. 225, pp. 387–393. ISSN: 13858947. doi: 10.1016/j.cej.2013.03.115.

WANG, D. S., ZHAO, Y. M., YAN, M. Q., et al., 2013, “**Removal of DBP precursors in micro-polluted source waters: A comparative study on the enhanced coagulation behavior**”, *Separation and Purification Technology*, v. 118, pp. 271–278. ISSN: 13835866. doi: 10.1016/j.seppur.2013.06.038.

WEI, H., GAO, B., REN, J., et al., 2019, “**Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review**”, *Water Research*, v. 143, pp. 608 – 631. doi: 10.1016/j.watres.2018.07.029.

FENG, L., ZHAO, S., SUN, S., et al., 2015, “**Effect of pH with different purified aluminum species on coagulation performance and membrane fouling 85in coagulation/ultrafiltration process**”, *Journal of Hazardous Materials*, v. 300, pp. 67–74. ISSN: 18733336. doi: 10.1016/j.jhazmat.2015.06.034

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M. C., MATILAINEN, A., et al., 2018, “**Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation : A comprehensive review**”, *Chemosphere*, v. 190, pp. 54–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.113>.