

II - A INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SAL EM PULSOS ALTERNADOS NA GRANULAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS EM SISTEMA DE GRANULAÇÃO AERÓBIA

Clara Bandeira de Carvalho

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela UFC. Doutoranda em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental na UFC.

Francisca Kamila Amâncio Frutuoso

Engenheira Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Juazeiro do Norte. Mestra em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

Francisca Denise Pereira Almeida

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Cariri. Mestranda em Engenharia Civil pelo POSDEHA na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Antônio Ricardo Mendes Barros

Graduado em Tecnologia em Saneamento Ambiental, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia Civil pelo POSDEHA na UFC.

André Bezerra dos Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). PhD em Environmental Sciences pela Wageningen University, Holanda. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

Endereço⁽¹⁾: R. Prof. Armando Farias, 713, Pici – Fortaleza, Ceará, Brasil – CEP: 60.440-900 – E-mail: andre23@ufc.br

RESUMO

O Lodo Granular Aeróbio (LGA) é uma tecnologia que, devido à presença de grânulos densos, de alta atividade biológica e elevada sedimentabilidade, tem ganhado destaque por promover o tratamento eficiente de águas residuárias, com a possibilidade de remoção simultânea de carbono, nitrogênio e fósforo, e por também permitir a recuperação de recursos. No entanto, o tempo para que haja a granulação da biomassa pode ser elevado, se tornando necessária a adoção de estratégias que estimulem a granulação, como a adição de NaCl, que apesar de pouco avaliada provou estimular a produção de substâncias poliméricas extracelulares (SPE) e a subsequente produção de biopolímeros. Ainda faltam estudos para avaliar o papel do NaCl na granulação e na recuperação de recursos, por isso o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência da adição de NaCl em pulsos salinos (2,5 g NaCl/L) em um sistema LGA. Foram utilizados dois reatores operados em bateladas sequenciais (RBS), um controle e um com adição de sal em pulsos alternados (um ciclo com adição de NaCl e outro sem adição). A adição de NaCl em pulsos alternados acelerou a granulação, possibilitou melhoria nas características de sedimentabilidade, mas não favoreceu a produção de SPE, nem de ALE, contrária as hipóteses inicialmente concebidas. Por fim, as eficiências de remoção de DQO, nitrogênio e fósforo foram semelhantes para os dois reatores, o que mostra que o NaCl não interferiu no desempenho operacional. Portanto, a adição de sal em pulsos pode ser considerada uma boa estratégia para acelerar a partida e granulação de sistemas LGA, mas estudos complementares devem ser realizados para um melhor entendimento dos pulsos salinos na questão da recuperação de recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Granular Aeróbio, Granulação, Pulsos Salinos, Substâncias Poliméricas Extracelulares, Recuperação de Biopolímeros.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água residuárias (AR) têm se tornado fontes de produtos com valor agregado como biogás, alginato, fósforo e estruvita (NACHARAIHAH E REDDY, 2018). Nesse contexto, uma tecnologia com destaque é o lodo granular aeróbio (LGA), uma opção mais compacta e eficiente no tratamento de AR, promovendo, em comparação com o sistema de lodo ativado (LA) convencional, uma redução dos custos operacionais, de 23 a 40% das demandas de eletricidade e de 50 a 75% dos requisitos de espaço (ROLLEMBERG, 2020).

No LGA, a formação dos grânulos depende da produção microbiana de substâncias poliméricas extracelulares (SPE), as quais consistem principalmente de proteínas (PN), polissacarídeos (PS), ácidos nucleicos, ácidos húmicos e lipídios e funcionam como reservas de carbono e água para as células, além de possibilitarem sua aderência umas às outras. Durante o cultivo do LGA, a estabilidade, a sedimentabilidade e a boa estrutura dos grânulos são mantidas pelas SPE, que são produzidas especialmente em situações ambientais adversas, quando há uma fonte de estresse para os microrganismos, sendo uma forma de defesa microbiana ao ambiente (FRUTUOSO *et al.*, 2022; ROLLEMBERG, 2020).

A eficiência do tratamento com LGA se dá em parte devido à presença de grânulos densos, de alta atividade biológica e elevada sedimentabilidade, com a possibilidade de remoção simultânea de carbono, nitrogênio e fósforo. No entanto, para que haja a granulação da biomassa, o tempo de partida pode ser elevado (ZHANG *et al.*, 2019). A literatura mostra diversas estratégias adotadas a fim de acelerar a granulação no LGA, como: cultivo a partir da mistura de LA e LGA triturado (LI *et al.*, 2020), adição de cátions bivalentes ou trivalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}) que aceleram a produção de SPE (CUI *et al.*, 2021) e adição de lodo seco em micropó (LI *et al.*, 2015). Pesquisas também têm avaliado o cultivo de LGA em meio salino, já que bactérias oceânicas mostraram a capacidade de absorver íons e compostos orgânicos e secretar compostos orgânicos poliméricos (FRUTUOSO *et al.*, 2022).

O NaCl adicionado em altas concentrações provou estimular a produção de SPE em microrganismos, porém esses benefícios dependem de concentrações adequadas, uma vez que o composto pode promover a quebra da estrutura polimérica, prejudicando as funções metabólicas (FRUTUOSO *et al.*, 2022). O estresse osmótico também influencia a produção de ALE (do inglês, *alginate like extracellular polymers*), uma vez que o NaCl interfere no funcionamento da enzima fosfomanomutase, que faz parte do mecanismo de biossíntese de alginato, sendo esta estimulada ou prejudicada a depender da concentração salina (ZAHRA *et al.*, 2022). Fan *et al.* (2022) afirmam que o LGA pode resistir a níveis de até 6,0% de salinidade, mantendo a estabilidade granular. Meng *et al.* (2019) relatam o aumento na produção de ALE no LGA em salinidade de 1 e 3%. Frutuoso *et al.* (2022) buscaram avaliar como o aumento do gradiente de NaCl (2,5 a 10 gNaCl/L) impactava no desempenho de um sistema LGA e na produção de SPE e biopolímeros, observando valores médios de 695 e 632 mgALE/gSSV em reator suplementado com cloreto de sódio em concentrações correspondentes a 2,5 e 5,0 g/L; no experimento de Frutuoso *et al.* (2022) baixas produções médias de ALE (209 e 141 mgALE/gSSV) foram notadas quando a adição de NaCl foi de 10 g/L, fator que relacionaram com a fragmentação e colapso dos grânulos.

Nesse contexto, entende-se que ainda faltam respostas quanto à avaliação dos efeitos da adição de concentrações de NaCl em sistemas LGA, a fim de se buscarem estratégias que diminuam os tempos de partida e granulação e estimulem a produção de recursos, sem provocar a instabilidade do sistema com quebra dos grânulos. Assim, uma opção que vale a pena ser avaliada é a adição do cloreto de sódio em pulsos alternados, uma vez que a adição dispersa do NaCl pode provocar um estresse difuso ao longo da operação, ao mesmo tempo em que impõe uma pressão de seleção no sistema.

A fim de buscar estratégias que acelerem a granulação em sistemas LGA e incentivem a recuperação de ALE, o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência da adição de NaCl em pulsos salinos (2,5 g NaCl/L) em um sistema LGA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aparato experimental

A pesquisa consistiu na operação de dois reatores de acrílico com 7,8 L de volume útil e 1 m de altura (Figura 1), operados em bateladas sequenciais (RBS), alimentação convencional, tempo de detenção hidráulica (TDH) de 6 horas, troca volumétrica de 50%, velocidade do ar de 2,1 cm/s. A carga orgânica volumétrica aplicada foi de 2,0 gDQO/L/dia. O ciclo de operação teve duração total de 360 minutos, distribuídos em 20 minutos de

alimentação anaeróbia, 100 minutos de período anaeróbio, 215 a 225 minutos de período aeróbio, 10 minutos de período anóxico, 15 a 5 minutos de tempo de sedimentação e menos de 1 minuto para descarte. O tempo de sedimentação inicial foi de 15 minutos, com posterior redução para 10 minutos (com 7 dias de operação) e para 5 minutos (com 15 dias de operação).



Figura 1: Reatores utilizados na pesquisa, R1 (controle) no R2 (adição de NaCl).

O inóculo foi coletado de um sistema de lodo ativado do tipo carrossel tratando esgoto sanitário localizado em Fortaleza, Ceará. O lodo utilizado apresentou concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) de 5,5 g/L e índice volumétrico de lodo em 30 min (IVL₃₀) de 5,5 mL/g e ALE de 71,6 mg/gSSV.

A alimentação teve como fonte de carbono o propionato (1000 mgDQO/L), considerado por dos Santos *et al.* (2022), como o substrato capaz de proporcionar maior estabilidade na granulação e maturação, além de possuir considerável produção de recursos. O meio basal foi preparado utilizando água potável, solução de macro e micronutrientes e bicarbonato de sódio como tampão, respeitando a relação C:N de 20. Os reatores diferiram quanto à alimentação salina, sendo R1 o controle (sem adição de sal) e R2 o reator com adição de sal (2,5g/L) em pulsos com um ciclo operando com sal e um ciclo operando sem sal. A estratégia operacional dos pulsos salinos vislumbrava uma forma alternativa de pressão de seleção para estimular a produção de SPE e ALE.

A granulação foi considerada atingida quando a diferença entre IVL₅ e IVL₃₀ se tornou menor que 10% e quando mais de 80% da biomassa passou a ser composta por grânulos de diâmetro igual ou superior a 0,2 mm, critérios também adotados por Frutuoso *et al.* (2022).

Métodos analíticos

Amostras do afluente e efluente foram coletadas duas vezes por semana para análises de DQO, amônia, nitrito, nitrato, e fosfato, conforme metodologias descritas no *Standard Methods* (APHA, 2012) para avaliar o desempenho dos reatores. O pH e o oxigênio dissolvido (OD) foram monitorados usando uma sonda (YSI 5000, YSI Inc., EUA) e medidos uma hora após o início da fase aeróbia do ciclo.

Já para o licor misto, foram monitoradas duas vezes por semana a concentração de SSV e o IVL₅ e IVL₃₀, de acordo com APHA (2012). A idade de lodo foi calculada de acordo com Barros (2020). O desenvolvimento e as formas dos grânulos foram acompanhados semanalmente por meio de microscopia óptica e da análise de granulometria conforme dos Santos *et al.* (2022) com três peneiras de aberturas iguais a 0,2 mm, 0,6 mm e 1,0 mm.

As SPE foram analisadas duas vezes por semana e extraídas pelo método modificado de extração por calor proposto por Yang *et al.* (2014). Para determinar o teor de proteína (PN) foi utilizado o método modificado de Lowry, e para o teor de conteúdo de polissacarídeos (PS) foi utilizado o método do ácido sulfúrico-fenol (HONG *et al.*, 2017).

O ALE em sua forma ácida foi obtido a partir de extração alcalina com carbonato de sódio em altas temperaturas e determinado de acordo com metodologias previamente descritas (LIN *et al.*, 2010; FELZ *et al.*, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de SSV e a relação IVL_{30}/IVL_5 estão representados na Figura 2, que mostra uma redução expressiva da concentração de sólidos em relação ao inóculo logo após a partida dos reatores. Essa redução de SSV se deu por conta do descarte dos microrganismos filamentosos, de baixa capacidade de sedimentação, presentes em flocos de sistemas de lodo ativado. Essa queda pontual também foi observada em R2 ao chegar próximo ao período de granulação, indicando a seleção da biomassa com melhores características de sedimentabilidade.

As maiores concentrações de SSV foram obtidas pelo R2, chegando a 4,8 g/L. No entanto, os resultados para sólidos foram mais constantes para R1, com resultados entre 1,1 e 2,4 g/L. R2 teve valores de SSV entre 1,7 e 4,8 g/L, com uma queda acentuada dos valores de sólidos a partir do dia 40.

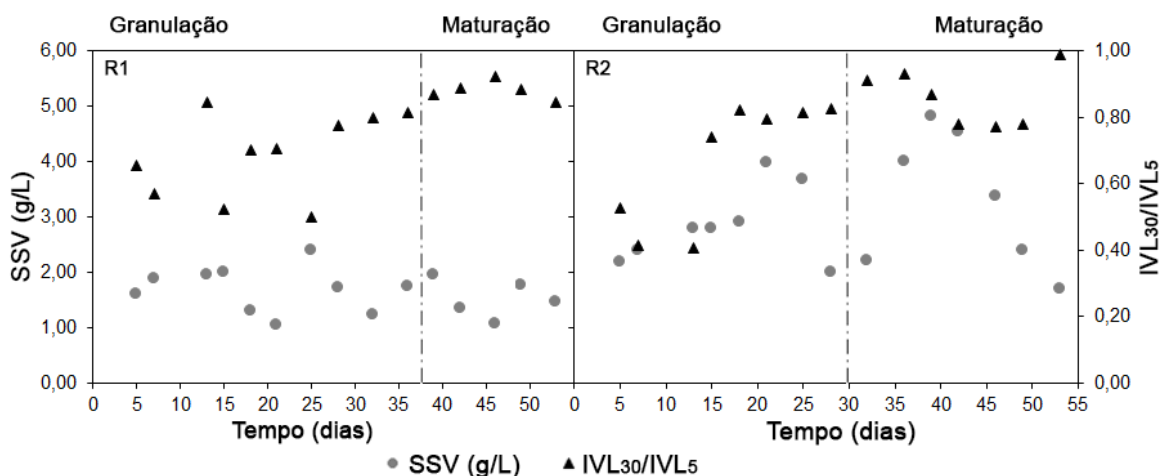


Figura 2: Relação IVL_{30}/IVL_5 e SSV do licor misto nos reatores R1 (controle) e R2 (adição de NaCl).

Os reatores mostraram uma elevação da relação IVL_{30}/IVL_5 nos primeiros dias de operação. R1 mostrou resultados acima de 80% entre os dias 28 e 32, chegando a 90% próximo ao dia 39, o que, a partir dos critérios de granulação, indica que R1 granulou entre 35 e 39 dias. Já R2 apresentou a relação de IVL acima de 80% entre 15 e 18 dias, apresentando 90% entre 28 e 32 dias. Esses resultados ficaram próximos a 80% entre 42 e 49 dias de operação. Quanto à granulometria, R2 apresentou 86% dos grânulos maiores que 0,2mm no dia 18, o que leva a constatação que entre os dias 28 e 32 o reator atendeu aos dois critérios de granulação adotados neste trabalho.

Entende-se que a adição de NaCl em pulsos acelerou o processo de granulação. Os picos de estresse ao sistema causados pelos pulsos salinos causaram uma desestabilização, levando as partículas e microrganismos presentes na água a se agregarem, observação que também foi feita por Frutuoso *et al.* (2022) ao adicionarem NaCl (5,0 g/L) em grânulos maduros. Essa característica pode ser confirmada pelo fato de o R2 ser o reator que apresentou maiores concentrações de SSV. Ao comparar três reatores RBS com cloreto de sódio adicionado em salinidades 0%, 1% e 3%, Meng *et al.* (2019) também observaram que a adição de NaCl provocou a melhoria da sedimentabilidade e do conteúdo total de biomassa no reator (com SSV em torno de 6, 9,6 e 11,8 g/L, respectivamente).

As morfologias dos grânulos no dia 55 do experimento podem ser observadas na Figura 3. Os dois reatores apresentaram grânulos com formato esférico pouco definido, tendo R2 a aparência de um grânulo mais denso que R1, cuja superfície é mais irregular.

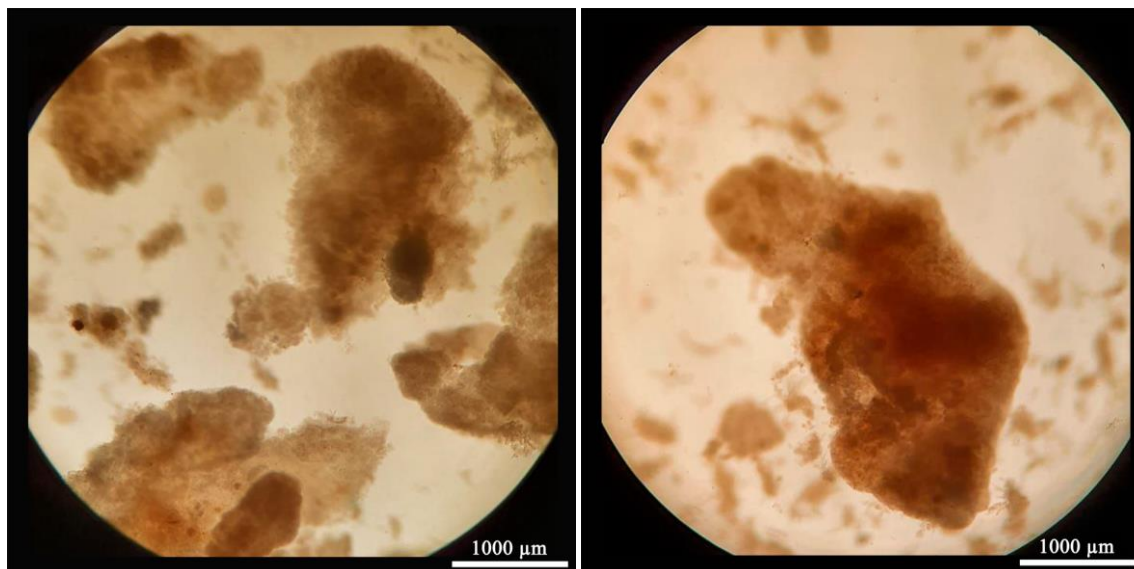


Figura 3: Imagens dos grânulos dos reatores R1 (controle) a esquerda e R2 (adição de NaCl) a direita no dia 55.

A remoção de DQO (Tabela 1) alcançou médias acima de 90% durante toda a operação de R1 e R2, indicando que a presença de NaCl não afetou a remoção de matéria orgânica nos reatores. Valores semelhantes de eficiência de remoção de DQO foram encontrados por Frutuoso *et al.* (2022) com adição de NaCl em concentrações de 2,5, 5,0 e 7,5 g/L. Já para concentrações acima de 10 g NaCl/L, os autores relataram uma queda na eficiência.

A média de remoção de nitrogênio total (NT) foi acima de 60% nos dois reatores (Tabela 1). Uma ligeira melhora na remoção pode ser observada entre a fase de granulação e maturação nos dois reatores. As médias de remoção de amônia ficaram acima de 90% durante a operação de R1 e R2. A remoção do NT na granulação se dá também pela formação dos grânulos, cujas zonas estratificadas permitem áreas aeróbias, anóxicas e anaeróbias, que permitem a presença de bactérias nitrificantes e desnitrificantes.

A remoção de fósforo (Tabela 1) pode ser considerada baixa, sendo o maior valor obtido para R2 no período de maturação. Apesar de não ter sido realizado o descarte seletivo de lodo nos sistemas, as idades de lodo no sistema permaneceram baixas (médias entre 3 e 6 dias), o que leva a acreditar que houve predominância dos organismos acumuladores de glicogênio (GAOs) em relação aos organismos acumuladores de fósforo (PAOs).

Isso foi observado por Frutuoso *et al.* (2022) para os reatores operados sem condições salina. Por sua vez, Frutuoso *et al.* (2022) obtiveram melhorias significativas na remoção de fósforo durante a adição contínua de cloreto de sódio em reatores LGA, chegando a uma eficiência de 72% em reator com 2,5 gNaCl/L e acetato como fonte de matéria orgânica. Já Wang *et al.* (2017) observaram uma queda na remoção de fósforo em sistemas LGA com 5 gNaCl/L e associaram o resultado à uma possível predominância de GAOs em sistemas sob pressão osmótica.

Através da Tabela 2, que indica os valores de PN, PS e PN/PS para R1 e R2, é possível observar que os reatores tiveram a predominância de PN em relação a PS e a média da relação PN/PS (Tabela 2) foi maior na granulação para os dois reatores.

É possível observar valores médios de PN e PS na granulação expressivamente maiores que o lodo de inóculo, o que é consistente, uma vez que grânulos de LGA possuem uma produção maior de SPE do que flocos de lodo ativado (FRUTUOSO *et al.*, 2022). Os resultados seguem a tendência de maior concentração de PN que PS que

é esperada em grânulos aeróbios (ROLLEMBERG, 2020). Ademais, os dois reatores mostraram uma maior geração de SPE na fase de granulação que na fase de maturação, fator provavelmente decorrente da instabilidade do sistema nessa fase, o que estimula os microrganismos a produzirem a matriz polimérica (NANCHARAI AH E REDDY, 2018). Diferente dos trabalhos de Frutuoso *et al.* (2022) e Meng *et al.* (2019), o NaCl adicionado na forma de pulsos salinos não estimulou a produção de SPE, o que leva a acreditar que a concentração salina utilizada foi baixa.

Tabela 1: Desempenho dos reatores R1 (controle) e R2 (adição de NaCl) ao longo de 55 dias de operação.

	Reator	R1		R2		
		Etapas	Granulação	Maturação	Granulação	Maturação
DQO	Afluente (mg L ⁻¹)		1048 ± 182	1122 ± 124	1019 ± 130	1058 ± 118
	Efluente (mg L ⁻¹)		43 ± 33	117 ± 53	22 ± 18	33 ± 25
	Eficiência (%)		96 ± 3	90 ± 5	97 ± 2	96 ± 2
Frações nitrogenadas	NH ₄ ⁺ afluente (mg NH ₄ ⁺ -N L ⁻¹)		59,1 ± 5,7	56,4 ± 0,8	58,1 ± 3,4	59,8 ± 6,6
	NH ₄ ⁺ efluente (mg NH ₄ ⁺ -N L ⁻¹)		5,0 ± 2,2	1,3 ± 0,4	3,1 ± 1,5	2,7 ± 0,9
	NO ₂ ⁻ efluente (mg NO ₂ ⁻ -N L ⁻¹)		8,3 ± 1,1	7,1 ± 0,8	7,5 ± 1,2	7,3 ± 0,8
	NO ₃ ⁻ efluente (mg NO ₃ ⁻ -N L ⁻¹)		7,8 ± 0,4	9,1 ± 1,4	9,5 ± 1,6	8,0 ± 0,3
	Eficiência de nitrificação (%)		92 ± 4	98 ± 1	95 ± 3	96 ± 2
	Eficiência de remoção de nitrogênio (%)		60 ± 5	68 ± 4	65 ± 2	69 ± 3
Fósforo	Afluente (mg PO ₄ ³⁻ -P L ⁻¹)		13,5 ± 0,9	14,3 ± 0,3	13,9 ± 0,9	15,0 ± 0,8
	Efluente (mg PO ₄ ³⁻ -P L ⁻¹)		12,0 ± 0,6	13,1 ± 0,6	12,8 ± 0,9	12,3 ± 0,8
	Eficiência (%)		11 ± 3	9 ± 5	8 ± 4	18 ± 4

Tabela 2: Médias de PN, PS e PN/PS ao longo da operação dos reatores R1 (controle) e R2 (adição de NaCl).

Reator	Etapa	Unidade	Inóculo	R1		R2	
				Granulação	Maturação	Granulação	Maturação
PN		mgPN/gSSV	173	381 ± 180	286 ± 28	265 ± 144	154 ± 82
PS		mgPS/gSSV	77	92 ± 30	59 ± 13	109 ± 43	52 ± 16
PN/PS		-	2,2	5,1 ± 2,5	5,4 ± 1,9	2,6 ± 0,8	4,4 ± 3,2

Uma vez que grânulos mais estáveis possuem maiores valores de relação PN/PS, é possível inferir que R1 apresentou uma maior estabilidade granular que R2. Esses resultados contrastam com os obtidos por Meng *et al.* (2019), cujo reator com salinidade de 1% mostrou uma maior relação PN/PS, maiores tamanhos de partículas, uma forma mais esférica e uma resistência granular aprimorada em relação aos reatores sem adição de cloreto de sódio e com 3% de salinidade.

Todos os reatores apresentaram um aumento no ALE gerado em relação ao inóculo (Figura 4), logo após a partida dos reatores e foi possível observar uma produção expressiva de ALE ao longo do experimento, o que corrobora com outras pesquisas que indicam o LGA como tecnologia adequada para a produção desse recurso (ROLLEMBERG, 2020; FRUTUOSO *et al.*, 2022; dos SANTOS *et al.*, 2022). A adição do período anóxico de 10 minutos também é um fator relevante na produção de ALE, uma vez que provou estimular a produção do biopolímero (ZAHRA *et al.*, 2022). No entanto, R1 funcionou de maneira excelente na produção de ALE,

produzindo ainda mais que R2, o que contrasta com a pesquisa realizada por Frutuoso *et al.* (2022) e Meng *et al.* (2019), nas quais diferentes concentrações de NaCl incentivaram a produção do recurso.

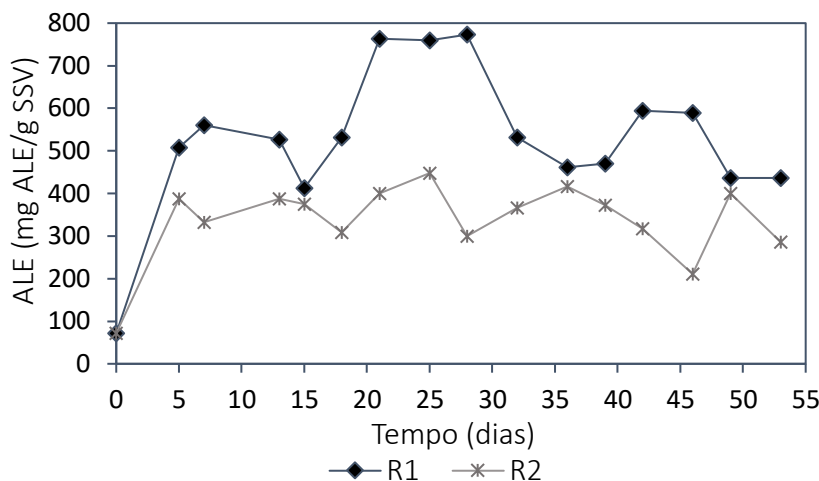


Figura 4: Produção de ALE nos reatores R1 (controle) no R2 (adição de NaCl).

CONCLUSÕES

A adição de NaCl em pulsos alternados acelerou a granulação, tendo o reator controle R1 granulado entre 35 e 39 dias de operação e o reator com pulsos salinos R2 entre 28 e 32 dias. Foi observado uma melhoria nas características de sedimentabilidade do R2.

A adição de NaCl não interferiu no desempenho do reator, uma vez que R1 e R2 obtiveram eficiências de remoção de DQO (médias entre 90 e 97%), nitrogênio (médias entre 60 e 68%) e fósforo (médias entre 8 e 18%) semelhantes.

A baixa concentração de cloreto de sódio (2,5g/L) utilizado e a forma de adição nos reatores (em pulsos) não favoreceu a produção de SPE, nem de ALE, sendo R2 superado por R1 nesses dois parâmetros. Esses fatores aliados à falta de conhecimento sobre a influência dos picos de estresse (provocados pelos pulsos) na granulação e desempenho mostram a necessidade de maiores investigações quanto às concentrações e forma de adição de NaCl em sistemas de LGA.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis e do Laboratório de Saneamento (LABOSAN) da UFC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
2. BARROS, A. R. M. Lodo Granular Aeróbio (LGA): Efeito de cátions divalentes e micropoluentes emergentes na formação, remoção, microbiologia e estabilidade operacional. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
3. CUI, Y.W. *et al.* Fast granulation of halophilic activated sludge treating low-strength organic saline wastewater via addition of divalent cations. *Chemosphere*, v. 264, 128396, 2021.
4. dos SANTOS, A.F. *et al.* Carbon source affects the resource recovery in aerobic granular sludge systems treating wastewater. *Bioresour. Technol*, 127355, 2022.

5. FAN, J. *et al.* Unravelling the biodegradation performance and mechanisms of acid orange 7 by aerobic granular sludge at different salinity levels. *Bioresource Technology*, v. 357, 2022.
6. FELZ, S. *et al.* Extraction of structural extracellular polymeric substances from aerobic granular sludge. *J. Vis. Exp.*, v. 115, 54534, 2016.
7. FRUTUOSO, F.K.A. *et al.* Influence of salt addition to stimulating biopolymers production in aerobic granular sludge systems. *Chemosphere*, v. 311, 2023.
8. HONG, P.N. *et al.* Optimum selection of extraction methods of extracellular polymeric substances in activated sludge for effective extraction of the target components. *Biochem. Eng. J.*, v. 127, p. 136–146, 2017.
9. LI, J. *et al.* Accelerating aerobic sludge granulation by adding dry sewage sludge micropowder in sequencing batch reactors. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 12, p. 10056–10065, 2015.
10. LI, D.-C. *et al.* Enhanced granulation process, a more effective way of aerobic granular sludge cultivation in pilot-scale application comparing to normal granulation process: From the perspective of microbial insights. *Science of The Total Environment*, v. 707, 136106, 2020.
11. LIN, Y. *et al.* Characterization of alginate-like exopolysaccharides isolated from aerobic granular sludge in pilot-plant. *Water Res.*, v. 44, p. 3355–3364, 2010.
12. MENG, F. *et al.* Enhanced amount and quality of alginate-like exopolysaccharides in aerobic granular sludge for the treatment of salty wastewater. *BioResources*, v. 14, n. 1, p. 139–165, 2019.
13. NANCHARAI, Y.V.; REDDY, G.K.K. Aerobic granular sludge technology: Mechanisms of granulation and biotechnological applications. *Bioresource Technology*, v. 247, p. 1128–1143, 2018.
14. ROLLEMBERG, S. L. S. Aerobic granular sludge: formation/maintenance, system optimization and resource recovery possibilities. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
15. YANG, Y.C. *et al.* Accelerated aerobic granulation using alternating feed loadings: Alginate-like exopolysaccharides. *Bioresource Technology*, v. 171, p. 360–366, 2014.
16. WANG, Z. *et al.* Gradual adaptation to salt and dissolved oxygen: strategies to minimize adverse effect of salinity on aerobic granular sludge. *Water Res.*, v. 124, p. 702–712, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.026>.
17. ZAHRA, S.A. *et al.* Alginate-like exopolysaccharides in aerobic granular sludge: A review. *Materials today: Proceedings*, v. 65, p. 3046–3053, 2022.
18. ZHANG, Y. *et al.* Rapid granulation of aerobic granular sludge: A mini review on operation strategies and comparative analysis. *Bioresource Technology Reports*, v. 7, 100206, 2019.