

I-132 - USO DE DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO COMO FERRAMENTA AVALIATIVA DA PERFORMANCE DE COAGULANTES ORGÂNICOS COMERCIAIS NA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ: UM ESTUDO DE CASO EM ÁGUAS NATURAIS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Lucas Alves Batista Pequeno⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

Thyago Nóbrega Silveira

Engenheiro Sanitarista e Ambiental (UEPB). Mestrando em Recursos Naturais (UFCG).

Amanda Laurentino Torquato

Engenheira Sanitarista e Ambiental (UEPB). Mestra em Engenharia Civil e Ambiental (UFCG). Doutoranda em Recursos Naturais (UFCG).

Whelton Brito dos Santos

Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (UFCG). Doutorando em Recursos Naturais (UFCG).

Weruska Brasileiro Ferreira

Engenheira Química. Doutora em Engenharia Química (UFCG). Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual da Paraíba - Universitário - Campina Grande - Paraíba - CEP: 58429-500 - Brasil - Tel: +55 (83) 98750-2402 - e-mail: lucaspequeno_alves@hotmail.com

RESUMO

O Semiárido Brasileiro caracteriza-se por ser uma região de clima seco, com baixa precipitação pluviométrica anual e elevada evapotranspiração, associado ao bioma da Caatinga. Como consequência das condições climáticas dominantes de semi-aridez, a hidrografia da região é formada predominantemente por rios intermitentes. No passado, essas condições fizeram com que a região semiárida fosse apontada até como inviável para a sobrevivência. No entanto, a caracterização recente do semiárido como um espaço rico em sua diversidade biológica sob a ótica da valorização do meio ambiente, tem mostrado uma forte influência da região na estrutura socioeconômica do país. Dentre as riquezas naturais de grande potencialidade do Semiárido Brasileiro, o cultivo da espécie vegetal *Acácia mearnsii* (Acácia Negra), recebe um grande destaque devido sua adaptação a climas secos e o seu uso na produção de coagulantes orgânicos para tratamento de água de abastecimento, por ser rica em tanino. Dessa forma, o objetivo deste estudo consistiu em analisar a eficiência dos coagulantes orgânicos comerciais produzidos a base de tanino (Tanfloc SG e SL) por meio de diagramas de coagulação, verificando as melhores faixas pH e concentração do coagulante, na remoção de cor aparente e turbidez da água bruta de reservatórios do Semiárido Paraibano. Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em equipamento jar test. Para os dois coagulantes estudados, a faixa de pH utilizada para a construção dos diagramas de coagulação foi de 5,5 a 9,0, e a variação da concentração de coagulante foi de 5 a 50 mg/L. Por meio da análise dos diagramas de coagulação, observou-se que o Tanfloc SL obteve os melhores resultados para a remoção da cor aparente e turbidez da água bruta dos reservatórios. Constatou-se também, que a melhor atuação desses coagulantes se dá, geralmente em pH acima de 7,0.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, Tratamento de Água, Coagulantes Orgânicos, Diagramas de Coagulação.

INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o Semiárido Brasileiro corresponde à 12% da área do país, sendo que 89,5% deste percentual está situado na região Nordeste. Caracteriza-se por ser uma região de clima seco, com baixa precipitação pluviométrica anual e elevada evapotranspiração, associado ao bioma da Caatinga. Como consequência das condições climáticas dominantes de semi-aridez, a hidrografia da região é de caráter irregular, formado predominantemente por rios intermitentes.

Essa é a região semiárida mais povoada do mundo, abrigando uma população de cerca de 27 milhões de pessoas (INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2018) e, em função das adversidades climáticas, associadas aos outros

fatores históricos, geográficos e políticos que remontam centenas de anos, abriga a parcela mais pobre da população do país. Grande parte da população que vive nessa área está diretamente vinculada a atividades agropastoris e busca seu sustento sobre a base de recursos naturais existentes em suas propriedades ou no entorno destas. Tais atividades são altamente dependentes da chuva e, em razão das adversidades climáticas, com ciclos de secas acentuados, resultam em forte degradação ambiental (SILVA, 2010).

A grande dependência da Caatinga para a subsistência de uma parcela da população dessa região evidencia grande vulnerabilidade social, econômica e ambiental. Essa dependência leva à pressão crescente sobre os recursos naturais da região (MARIN, 2012). No entanto, a caracterização recente do semiárido como espaço rico em sua diversidade biológica e em seu consequente potencial econômico, tem mostrado que com práticas adequadas de reorganização social, sob a ótica da valorização do meio ambiente, a região que antes era apontada até como inviável para a sobrevivência, pode demonstrar uma forte influência na estrutura socioeconômica do país.

No passado, foram as desvantagens climáticas e a inóspita natureza local que impulsionaram a organização social desse território. Atualmente, é a valorização do semiárido, a riqueza do bioma Caatinga, que provoca sua transformação (TEIXEIRA, 2016). Dentre as riquezas naturais de grande potencialidade do Semiárido Brasileiro, os cultivos das espécies vegetais *Moringa oleífera* (Acácia Branca), *Schinopsis balansae* (Quebracho), *Castanea sativa* (Castanheiro) e *Acácia mearnsii* (Acácia Negra), recebem um grande destaque devido sua adaptação a climas secos e o seu uso na produção de coagulantes orgânicos para tratamento de água de abastecimento.

A Acácia Negra é uma das principais matérias-primas utilizadas na produção de coagulantes orgânicos, pois é rica em tanino. Taninos são compostos polifenólicos extraídos de uma grande variedade de plantas superiores, com características adstringentes e podem ser classificados em taninos hidrolisáveis e taninos condensados (CRUZ, 2004; PIANTÁ, 2008).

Após o tanino ser submetido a todos os processos de beneficiamento, modificação do extrato aquoso vegetal da casca da Acácia Negra, tem-se como produto final, o Tanfloc (SILVEIRA, 2018). A empresa TANAC com sede em Montenegro- RS é a responsável pela produção dos coagulantes orgânicos Tanfloc SG® e o Tanfloc SL®, e os definem como um produto extremamente natural e que não agride a natureza. O uso de coagulantes naturais, se comparado ao uso de coagulantes químicos, apresenta vantagens ambientais, como biodegradabilidade e possibilidade de produção local (ARANTES, 2014). Assim, o plantio dessas espécies vegetais que servem de matéria prima para a produção desses coagulantes torna-se uma alternativa viável de ganho econômico para a parcela da população que vive no semiárido e está diretamente vinculada à atividades agrícolas.

OBJETIVO

Analisar a eficiência dos coagulantes orgânicos comerciais produzidos a base de tanino (Tanfloc SG e SL) em diferentes faixas de pH e concentração, na remoção de cor aparente e turbidez da água bruta de reservatórios do Semiárido Paraibano, utilizando diagramas de coagulação como ferramenta avaliativa.

METODOLOGIA

A água bruta utilizada para a realização da pesquisa foi oriunda dos reservatórios Saulo Maia e Canafístula II, localizados nos municípios de Areia e Borborema respectivamente, no Estado da Paraíba. As águas foram coletadas nas Estações de Tratamento de Água de Areia e Bananairas, para os reservatórios Saulo Maia e Canafístula II, respectivamente, antes da unidade de mistura rápida. Em ambos os reservatórios, foram realizados ensaios de tratabilidade (coagulação/floculação/decantação) para cada coagulante. A Tabela 1 apresenta a descrição de cada ensaio.

As coletas foram realizadas com uma frequência semanal durante o período de 17 de abril a 24 de abril de 2018 no reservatório Canafístula II e de 28 de junho a 05 de julho de 2018 no reservatório Saulo Maia. Foram coletados 200L de água bruta para cada ensaio de tratabilidade.

Tabela 1: Descrição dos ensaios de tratabilidade

Ensaio	Reservatório	Coagulante
Ensaio 1	Saulo Maia	Tanfloc SG
Ensaio 2	Saulo Maia	Tanfloc SL
Ensaio 3	Canafístula II	Tanfloc SG
Ensaio 4	Canafístula II	Tanfloc SL

Com a utilização de um equipamento jar test PoliControl®, modelo Floc Control, que proporciona a simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação, foi possível a realização dos testes para avaliar a eficiência dos coagulantes na remoção de turbidez e cor aparente presentes nas águas de ambos os reservatórios, com a utilização dos coagulantes orgânicos, Tanfloc SL® e Tanfloc SG®, concedidos pela TANAC S.A.

Antes dos ensaios de jar test, foi realizada a caracterização da água bruta a partir dos parâmetros de cor aparente e turbidez, utilizando medidores nefelométricos da PoliControl® (Aquacolor Cor e Turbidímetro AP2000), e pH com medidor portátil da KASVI®, modelo K39-0014PA, a fim de avaliar a eficiência dos coagulantes orgânicos após o tratamento.

A faixa de pH para as análises variou entre 5,5 a 9,0, com escalonamento de 0,5. Para cada valor de pH, as dosagens dos coagulantes orgânicos, a 1%, variaram de 5 a 50 mg/L, com escalonamento de 5 mg/L. Para a alteração do pH foram utilizadas soluções de ácido clorídrico (1%) e hidróxido de sódio (0,5 N), sendo toleradas variações de $\pm 0,1$ no pH da água.

Após os ensaios de jar test, eram coletadas cerca de 100 mL de amostra de cada jarro do equipamento para as análises em triplicata dos parâmetros de estudo. Em seguida, com os valores médios das análises, foram construídos os diagramas de coagulação, a partir do Software MiniTab 15, para elaboração dos gráficos de contornos. Cada coagulante gerou dois diagramas distintos, um para turbidez e outro para cor aparente, para cada ensaio realizava-se 80 ensaios de jar test.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores de cor aparente, turbidez e pH da água bruta dos reservatórios Saulo Maia e Canafístula II, medidos antes dos ensaios.

Tabela 2: Valores de cor, turbidez e pH da água bruta dos reservatórios.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Cor Aparente (uH)	43,5	58,5	161	159
Turbidez (uT)	1,98	2,74	13,93	5,96
pH	7,8	7,7	6,8	6,7

Pode-se observar que para o reservatório Saulo Maia (Ensaio 1 e 2), os valores dos parâmetros ficaram próximos entre si e relativamente baixos. Em relação ao reservatório Canafístula II (Ensaio 3 e 4), observa-se principalmente uma diferença significativa no parâmetro da turbidez. Tal fato deve-se à recarga ocorrida no manancial devido as chuvas na região no período de coleta, que por meio de seus caminhos de escoamento carregaram partículas e substâncias de natureza orgânica e inorgânica. Além disso, as águas desse reservatório apresentam cor amarelada, indicando uma possível presença de ferro e manganês na água. Os diagramas de coagulação para a turbidez da água decantada utilizando o Tanfloc SG tanto na água bruta do Saulo Maia (Ensaio 1) como na água do Canafístula II (Ensaio 3) estão apresentados, na Figura 1.

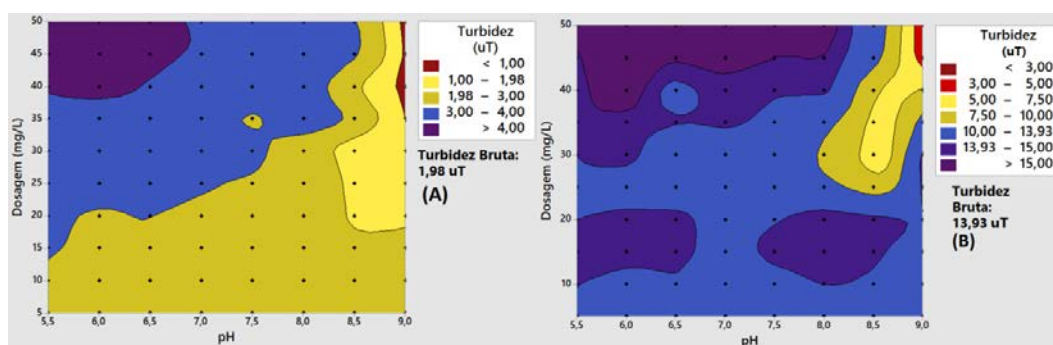


Figura 1: Diagramas de coagulação para turbidez referentes aos Ensaios 1 e 3 dos reservatórios Saulo Maia (A) e Canafístula II (B)

Para o reservatório Saulo Maia, o diagrama de coagulação (Figura 1A) ilustra que apenas para valores de pH acima de 8,5 e dosagens de coagulante acima de 15 mg/L, houve redução da turbidez, comparando-se com a água bruta. Todavia, observa-se que para valores de pH acima de 9,0 e em dosagens do Tanfloc SG acima de 35 mg/L, os valores de turbidez apresentaram-se abaixo de 1,0 uT, revelando-se esta faixa, mais eficiente.

Já em relação ao diagrama do reservatório Canafístula II (Figura 1B), podemos observar que para uma faixa de pH entre 8,0 e 9,0 com dosagens entre 25 a 50 mg/L, os resultados obtidos para turbidez alcançaram valores próximos a 3,0 uT, considerado por Ferrari et al. (2012), como um valor ideal para águas decantadas, já que valores superiores, podem fazer com que as unidades de filtração, no tratamento convencional, sofram redução do seu tempo de carreira, acarretando em lavagens de filtro mais frequentes, e consequentemente, elevando os custos de operação. Ainda, observa-se que em pH 9,0 e dosagem acima de 45 mg/L, representados pela área vermelha do diagrama, os resultados configuraram-se mais satisfatórios, coincidindo com os testes já feitos por Silveira (2018) com o mesmo coagulante.

A Figura 2 apresenta os diagramas de coagulação para cor aparente da água decantada utilizando o Tanfloc SG para os Ensaios 1 e 3, respectivamente.

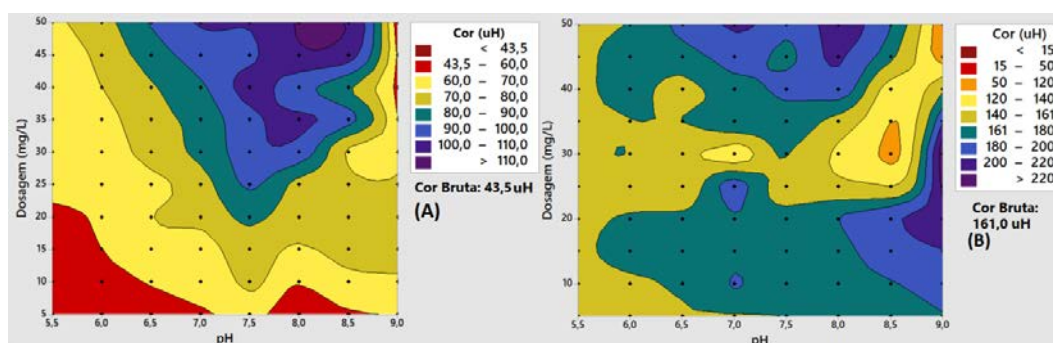


Figura 2: Diagramas de coagulação para cor aparente referentes aos Ensaios 1 e 3 dos reservatórios Saulo Maia (A) e Canafístula II (B)

Para o reservatório Saulo Maia (Figura 2A), observa-se que na faixa de pH e dosagens estudadas não houve remoção de cor aparente da água. Já para o reservatório Canafístula II (Figura 2B), as faixas que obtiveram remoção da cor aparente, corresponderam ao pH entre 5,5 e 6,5 com dosagens de coagulante abaixo de 10 mg/L, pH entre 5,5 e 9,0 para dosagens entre 25 e 35 mg/L e, em uma pequena faixa que corresponde a dosagens acima de 40 mg/L com pH de 5,5 e com pH entre 8,5 e 9,0. Porém, constatou-se que a faixa mais significativa de remoção de cor encontra-se em valores de pH igual a 7,0 com dosagens de coagulante de 30 mg/L e em pH entre 8,0 e 9,0 para dosagens acima de 25 mg/L. Para uma ampla faixa de pH e de dosagens houveram aumentos no valor da cor da água, nos dois reservatórios, principalmente para o Saulo Maia. A elevação dessa cor deve-se ao fato do Tanfloc SG acabar dissolvendo sólidos na água provenientes do próprio coagulante, o que confere a água uma coloração avermelhada, gerando aumento dos valores de cor verdadeira. Ressalta-se que os coagulantes taninos em dosagens mais elevadas podem conferir cor mais elevada, já que são a base de tanino que apresenta sua própria cor natural (SILVEIRA, 2018).

Os diagramas de coagulação para a turbidez da água decantada utilizando o Tanfloc SL, para os Ensaios 2 e 4, podem ser observados na Figura 3.

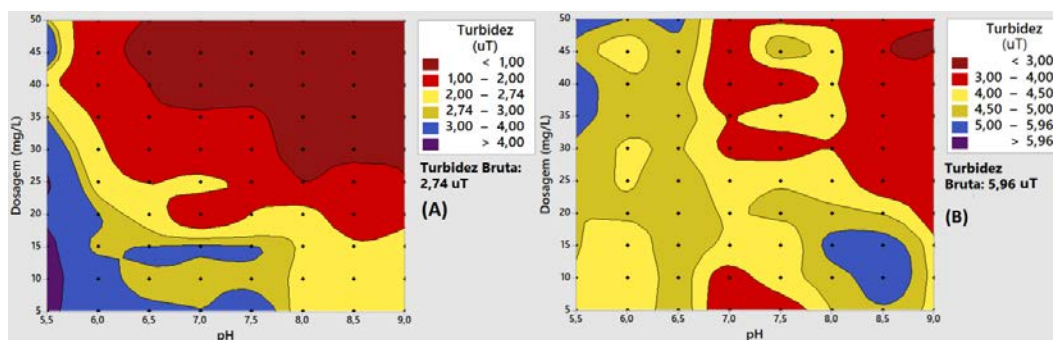


Figura 3: Diagramas de coagulação para turbidez referentes aos Ensaios 2 e 4 dos reservatórios Saulo Maia (A) e Canafístula II (B)

Constata-se, que para o reservatório Saulo Maia (Figura 3A) a utilização do Tanfloc SL, forneceu resultados satisfatórios na remoção da turbidez da água, uma vez que, para uma ampla faixa de pH (6,0 a 9,0), assim como, uma ampla faixa de dosagens do coagulante (20 a 50 mg/L) a remoção da turbidez ficou bem abaixo de 3,0 uT, valor estabelecido por Ferrari et al. (2012), chegando a valores inferiores a 1,0 uT.

Para o reservatório Canafístula II (Figura 3B), observa-se que em todas as faixas de pH estudadas houve remoção de turbidez da água bruta, destacando-se a faixa de pH entre 7,0 e 7,5, que em dosagens abaixo de 10 mg/L conseguiu resultados de turbidez entre 3,0 e 4,0 uT, bem próximos ao valor considerado por Ferrari et al. (2012) como referência para a água clarificada na saída dos decantadores. No entanto, pode-se notar também, que em dosagens acima de 20 mg/L com uma faixa mais ampla de pH, de 7,0 a 9,0, os resultados de turbidez também ficaram próximos ao valor de referência. Nepomuceno (2018) obteve valores satisfatórios de turbidez para a água decantada utilizando o Tanfloc SL ficando bem próximos do estabelecido pela Portaria de consolidação nº 5/2017 na saída das estações de tratamento de água (0,92 uT e 0,96 uT para 50 mg/L e 60 mg/L, respectivamente). Ressalta-se, que a água decantada ainda seria submetida a etapa de filtração, sendo possível atender aos níveis de turbidez estabelecidos pela portaria.

A eficiência de remoção do parâmetro cor utilizando o Tanfloc SL, para os Ensaios 2 e 4, pode ser observada nos diagramas de coagulação da Figura 4.

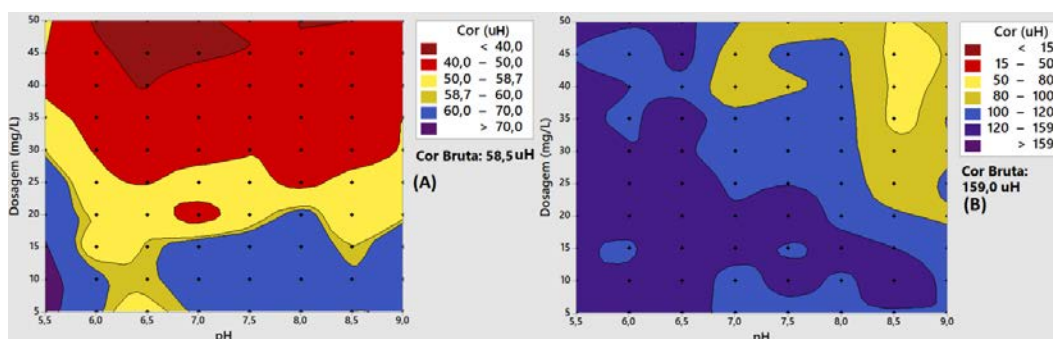


Figura 4: Diagramas de coagulação para cor aparente referentes aos Ensaios 2 e 4 dos reservatórios Saulo Maia (A) e Canafístula (B)

A atuação do Tanfloc SL com relação a cor aparente foi mais eficiente, quando comparado com o Tanfloc SG. Para o reservatório Saulo Maia (Figura 4A), a cor da água foi substancialmente reduzida a valores inferiores a 50 uH em toda a faixa de pH estudada, com concentrações do coagulante acima de 30 mg/L. Em relação a água do reservatório Canafístula II (Figura 4B), que apresentava uma cor aparente bruta mais elevada, obteve-se remoções que atingiram valores absolutos entre 50 e 80 uH em pH em torno de 8,5, com dosagens de coagulante entre 35 e 50 mg/L. É possível identificar que o Tanfloc SL atuou com uma maior eficiência uma vez que, houve significativa redução da cor aparente, assim como, da turbidez. Neste estudo de caso, o Tanfloc

SL permitiu a formação de flocos densos, se aproximando dos valores ideais para turbidez e cor aparente na etapa de decantação (SILVEIRA, 2018).

CONCLUSÕES

No que se refere à eficiência dos coagulantes Tanfloc SG e Tanfloc SL, notou-se que a turbidez e a cor aparente foram removidas de forma satisfatória em ambos os reservatórios, em especial, com a utilização do Tanfloc SL. No entanto, foi possível observar que os dois coagulantes orgânicos mostraram-se mais eficientes em águas brutas de baixa cor e baixa turbidez, ou seja, as análises feitas com a água do reservatório Saulo Maia obtiveram os melhores resultados. Constatou-se também, que a melhor atuação desses coagulantes se dá, geralmente em pH acima de 7,0 e, sugere-se, estudos com o coagulante Tanfloc SG em pH acima de 9,0, para verificar uma possível faixa eficiente de redução de cor e turbidez. No geral, a aplicação de coagulantes orgânicos a base de tanino no tratamento de água para a remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez, é uma alternativa natural e eficiente de purificação, além de ser uma possibilidade de fonte de renda para o Semiárido Brasileiro, considerando as centenas de famílias, socialmente e economicamente vulneráveis, que apresentam alta dependência da Caatinga para sua subsistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; TATEOKA, M. S. S.; SILVA, G. K. E. Uso de coagulantes naturais à base de moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 780-788, jul/ago, 2014.
2. CRUZ, J. G. H. Alternativa para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
3. FERRARI, T. N.; JULIO, M. de.; JULIO, T. S. de.; JÚNIOR, W. C. S. Estudos de tratabilidade das águas do Rio Paraíba do Sul que abastecem o município de São José dos Campos/SP. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 5, n. 2, p. 45-58, agosto, 2012.
4. IBGE, 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE atualiza a listagem dos municípios que integram os recortes territoriais brasileiros. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/10132-ibge-atualiza-a-listagem-dos-municipios-que-integram-os-recortes-territoriais-brasileiros-2>> Acesso em: 02 de outubro de 2018.
5. INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2018. Ministério da Integração Nacional. Semiárido Brasileiro. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.
6. MARIN, A. M. P.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S. de.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Revista Parc. Estrat*, Brasília, v. 17, n. 34, p. 87-106, jan./jun, 2012.
7. NEPOMUCENO, T. C.; FERREIRA, W. B.; PAIVA, W. de.; DINIZ, T. R.; SANTOS, W. B. dos. Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 7, ago./set, 2018.
8. PIANTÁ, C. A. V. Emprego de coagulantes naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
9. SILVA, P. C. G. da. et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 1, p. 18-48.
10. SILVEIRA, T. N. Uso de diagramas de coagulação como ferramenta de avaliação de desempenho de coagulantes orgânicos e inorgânicos em águas naturais de características distintas. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.
11. TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. *Revista Sociedade e Estado*, v. 31, n. 3, p. 769-797, set./dez, 2016.