

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO pH de DE COAGULAÇÃO E DA DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO NA MORFOLOGIA DOS FLOCOS NA FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE

Neusa FERNANDES (1); Yovanka GINORIS (2); Cristina BRANDÃO (3)

(1) CEFET-PA, UnED -TUCURUÍ, Geraldo Prates, 25, Tucuruí, PA, (94) 91641875, fax (94) 37783131, e-mail: gomesneusa@hotmail.com

(2) Universidade Federal de Brasília, e-mail: yovanka.perez@gmail.com

(2) Universidade Federal de Brasília, e-mail: cbrandão@unb.br

RESUMO

Tendo em vista que o processo de coagulação tem uma influência significativa na remoção de partículas pelo processo de filtração o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do pH de coagulação e a dosagem de sulfato de alumínio na morfologia dos flocos formados durante o processo de coagulação na filtração direta descendente. O trabalho experimental foi realizado em uma estação piloto. Amostras de água coagulada foram coletadas na coluna de filtração, com o propósito de capturar os flocos formados no processo de coagulação para posterior análise de imagem. As imagens foram adquiridas em sistema de aquisição composto por um microscópio óptico e uma câmera de vídeo, e tratadas empregando um software específico que permitiu determinar vários parâmetros da geometria Euclidiana incluindo porosidade bidimensional, circularidade, fator de forma, convexidade e diâmetro equivalente dos flocos. De forma geral, os flocos obtidos em condições de dosagem ótima e pH baixo apresentaram uma estrutura mais regular e menos porosa em relação aos flocos formados em condições de super-dosagem de coagulante e pH entre 6,3 a 6,7 os quais exibiram uma estrutura irregular e porosa. A análise de variância confirmou o efeito significativo das condições de coagulação avaliadas na morfologia dos flocos formados.

Palavras-chave: filtração direta descendente, morfologia dos flocos, coagulação, análise digital de imagens

1. INTRODUÇÃO

A água contém substâncias que variam amplamente em sua origem, concentração e características. O tamanho das partículas pode ser de diversas ordens de grandeza, como os sólidos suspensos com diâmetros maiores que 1 μm , e as partículas coloidais que se encontram entre 10^{-3} a 1 μm . Essas partículas, na água, apresentam-se com cargas superficiais negativas, criando uma força repulsiva que impede a aproximação umas das outras e, conseqüentemente, evita a aglutinação das mesmas, dificultando sua separação do meio líquido. Dessa maneira, para viabilizar a separação dessas partículas faz-se necessária a minimização das forças de repulsão, caracterizando a coagulação com a conseqüente formação de flocos. O tamanho e a estrutura dos flocos são características que influenciam na eficiência de remoção, entretanto existe uma grande dificuldade em avaliar e descrever essas características geométricas devido à estrutura irregular e a natureza desordenada desses flocos.

Tradicionalmente, os estudos com relação à coagulação de alumínio têm focado principalmente nas cargas superficiais das partículas e flocos e na eficiência de separação sólido/líquido. Raros são os estudos que fornecem informações sobre as características morfológicas dos flocos, e a análise de imagens pode-se constituir em uma ferramenta importante no conhecimento dessas características e suas relações com a eficiência dos processos de separação sólido-líquido.

No campo da engenharia sanitária e ambiental o interesse pelo uso da análise digital de imagens tem crescido nos últimos anos, devido à possibilidade de implementação desta técnica de monitoramento nos processos de tratamento de águas residuárias e efluentes domésticos e industriais a partir da caracterização morfológica dos agregados microbianos formados nestes sistemas, por meio da estimativa de diferentes descritores da geometria euclidiana e fratal (Grijpspeerdt & Verstraete, 1997; 2006; Ginoris, 2006). No tratamento de água para consumo humano, a literatura é mais escassa e está associada ao uso da análise digital de imagens na caracterização morfológica dos flocos formados pelos diferentes mecanismos de coagulação (Chakraborti *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2006).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A morfologia dos flocos é caracterizada por vários parâmetros e pode ser determinada por meio da análise de imagem. De acordo com Grijpspeerdt e Verstraete (1997) o tamanho do floco é expresso pelo diâmetro equivalente de um círculo, calculado pela projeção real da área. Além desse parâmetro, os autores também descrevem outros quatro relativos à forma, o fator forma (FF), a relação de aspecto (AR), a circularidade (RD) e a dimensão fractal (FD) que é medida pela irregularidade do perímetro do objeto. Glasbey e Horgan (1994, *apud* Amaral *et al.*, 1997) definiram também a “convexidade” como parâmetro de forma.

A técnica de análise de imagens utilizada na caracterização da morfologia dos flocos não refere-se somente à análise de imagens propriamente dita e determinação dos parâmetros, mas também às etapas prévias de aquisição e processamento das mesmas, consideradas de grande importância. A primeira etapa é a aquisição da imagem digital, considerada crucial para o sucesso do processamento posterior das imagens (Russ, 1995 *apud* Ginoris, 2006). Após a obtenção e o armazenamento das imagens digitais, a próxima etapa trata do processamento das mesmas. Esta etapa envolve uma série de procedimentos que são geralmente expressos em forma de algoritmos, que na sua maioria, são implementados em software. A etapa de processamento pode ser subdividida em estágios conhecidos como pré-processamento, segmentação e pós-processamento.

Freqüentemente, durante o processo de aquisição se produz certa degradação das imagens. Devido aos problemas mecânicos, manchas e sujeiras fora de foco, movimentos vibratórios da câmera na hora da aquisição da imagem, iluminação inadequada e ruído, a qualidade da imagem digitalizada pode ser inferior à imagem original. O objetivo do pré-processamento é, precisamente, melhorar a imagem através da aplicação de técnicas para o realce de contraste, definição dos contornos dos objetos, remoção de ruído e distorções, bem como isolamento de regiões cuja textura indique a probabilidade de informação alfanumérica (Russ, 1995 *apud* Ginoris, 2006).

A próxima etapa no processamento das imagens digitais trata da segmentação, considerada uma das tarefas mais difíceis no processamento de imagens digitais. Definida em termos gerais, a segmentação subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. Mais especificamente, a segmentação pode ser definida como o processo de partição de uma imagem em diferentes regiões sendo cada região uniforme e homogênea com respeito a alguma propriedade, tal como valor do nível de cinza ou textura, e diferindo significativamente das regiões vizinhas. Desta forma é possível distinguir os objetos de interesse do resto da imagem (González e Wood, 1992 *apud* Ginoris, 2006).

O pós-processamento da imagem pode compreender operações tais como preenchimento de zonas, remoção de objetos das bordas da imagem, união e separação de objetos, entre outras. Após o processamento, a próxima etapa é precisamente a relacionada com a análise da imagem final obtida. Nesta etapa são realizadas as medições em função do tipo de imagem final obtida (binária ou em escala de cinza) bem como dos dados requeridos. Em imagens binárias, tipicamente são determinados os seguintes parâmetros morfológicos Euclidianos: Área, Diâmetro Equivalente, Perímetro, Comprimento, Largura, Excentricidade, Esfericidade, entre outros. Também podem ser determinadas as dimensões fractais dos objetos como Dimensão Fractal de Massa e Dimensão Fractal de Superfície, entre várias outras dimensões (Amaral *et al.*, 1997; Grijspeerd t e Verstraete, 1997; Ginoris, 2006)

Chakraborti *et al.* (2000) usaram o método da análise de imagens para testar a hipótese de que os mecanismos de neutralização de cargas e varredura produzem flocos com características diferentes, incluindo diferenças na dimensão fractal. Os autores encontraram que a dimensão fractal é mais baixa para flocos formados pelo mecanismo de varredura, onde são produzidos agregados maiores e mais irregulares.

A formação e características morfológicas dos flocos dependem de uma série de fatores como: qualidade da água, pH de coagulação; dosagem de coagulante, gradiente de velocidade, tempo de detenção, entre outras. Li *et al.* (2006) constataram os efeitos que os mecanismos de coagulação podem exercer sobre o tamanho e a dimensão fractal dos flocos. Os autores observaram que baixos gradientes de velocidade associados ao mecanismo de varredura resultaram na formação de flocos grandes com uma estrutura aberta, enquanto que gradientes mais elevados relacionados com o mecanismo de neutralização promoveram a formação de flocos menores, mais densos e compactos.

3. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Análises de Água (LAA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, no período de outubro de 2006 a abril de 2007. Os experimentos constaram de uma etapa em escala de bancada, no qual foram construídos diagramas de coagulação, e outra em escala piloto, para avaliar a morfologia dos flocos formados no processo de coagulação pela filtração direta descendente com meio filtrante de camada dupla (areia e antracito). A mistura do coagulante à água de estudo foi realizada por meio de um dispositivo de mistura rápida (DMR) do tipo hidráulico, ou seja, um injetor hidráulico. De acordo com Amirtharajah e Mills (1982) que estudaram a importância do gradiente de velocidade durante a mistura rápida nos mecanismos de coagulação, a intensidade dessa energia é fundamental para a eficiência da coagulação que ocorre pelo mecanismo de adsorção e neutralização de carga, mecanismo este indicado para a filtração direta. As dimensões do DMR foram projetadas com o intuito de garantir um gradiente de velocidade elevado. O gradiente de velocidade e o tempo de mistura rápida obtidos para este DMR, para a vazão de alimentação equivalente a taxa de filtração de $210 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, foram de 4000s^{-1} e $0,2 \text{ s}$, respectivamente.

A água utilizada no estudo foi proveniente da Represa do Torto, Brasília/DF. Na etapa de construção do diagrama de coagulação (escala de bancada) foi empregada água bruta *in natura*, e na etapa piloto a água bruta foi alcalinizada ou acidificada para correção do pH.

Foram testadas quatro condições de coagulação: i) dosagem ótima e valores de pH entre 6,0 a 7,0 ; ii) dosagem ótima e valores de pH entre 5,0 a 5,5; iii) super-dosagem e valores de pH entre 6,0 a 7,0; iv) super-dosagem e valores de pH entre 5,0 a 5,5. O termo de dosagem ótima foi adotado para as condições de coagulação que empregava a menor dosagem de coagulante na faixa de pH estabelecida e promovia a melhor remoção de turbidez, sempre com valor inferior a 0,5 UT. E o termo de super-dosagem para condições de coagulação que também recaiam na região otimizada de remoção de turbidez (< 0,5 UT) no diagrama de coagulação, entretanto utilizavam dosagens bem mais elevadas de coagulante.

Para a análise de imagens dos flocos eram coletadas duas amostras de água coagulada na coluna de água sobre o meio filtrante, utilizando um amostrador apropriado (Figura 1), com o propósito de capturar os flocos formados no processo de coagulação.

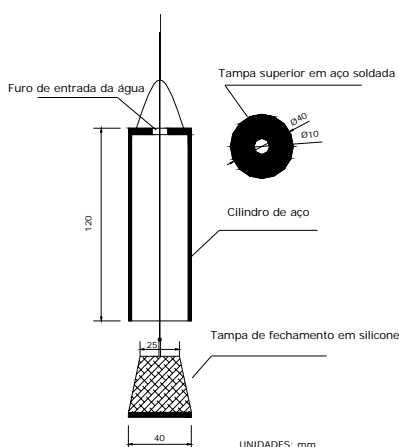


Figura 1 – Esquema do amostrador

As coletas aconteciam após uma hora do início da carreira de filtração. O amostrador descia lentamente de forma a possibilitar a troca de água dentro do mesmo e garantir uma coleta representativa e a preservação dos flocos. Uma amostra de 1 mL era cuidadosamente retirada do amostrador com o uso de uma pipeta e depositada em lâmina especial, conhecida como câmara de Sedgewick-Rafter, provida de um poço para não danificar os flocos e em seguida coberta com uma lamínula para posterior aquisição de imagens. Um total de 80 imagens eram adquiridas para cada amostra analisada.

O sistema de visualização e aquisição das imagens constava de um microscópio óptico Leica acoplado a uma câmera de vídeo Leica. A aquisição das imagens foi realizada em escala de cinza com dimensões de 1280 x 1024 pixels de 8 bit (256 níveis de cinza) e aumento total de 100 X usando o software comercial Leica. As imagens eram salvas em formato TIFF para posterior tratamento.

Uma vez adquiridas as imagens digitais dos flocos, as mesmas eram tratadas empregando o software comercial Leica Qwin Pro versão 3.2.0 (Leica Microsystem Image Solution, 2003), com vista a determinar vários parâmetros da geometria Euclidiana incluindo Porosidade Bidimensional (2D- ϵ), Circularidade (Circ), Fator de Forma (FF), Convexidade (Conv) e Diâmetro Equivalente dos flocos (Deq). O tratamento das imagens foi realizado por meio de procedimento semi-automático previamente desenvolvido por Ginoris (2006), com algumas modificações. Os parâmetros morfológicos que foram determinados são descritos de forma sucinta a seguir:

Diâmetro equivalente (Deq): calculado a partir da área projetada do objeto, pela seguinte equação:

$$D_{eq} = 2\sqrt{\frac{\text{Área}}{\pi}}$$

[Eq. 01]

Circularidade: é um fator adimensional que descreve a circularidade do objeto, um círculo apresenta o valor 1, enquanto outros objetos têm circularidade maior do que 1.

Fator de forma (FF): é sensível a irregularidade das bordas do objeto, e definido pela área do objeto e a área de um círculo com o mesmo perímetro que o objeto, conforme a seguinte equação.

$$FF = 4\pi \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}^2} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Convexidade (Conv): é definida pela relação entre o perímetro convexo de um objeto e o seu próprio perímetro. Objetos convexos apresentam valores em torno de 1 e para objetos irregulares os valores de convexidade são menores que 1.

Porosidade bidimensional (2D- ϵ): valor estimado e definido pela razão entre a área dos poros e área total dos flocos.

Os parâmetros morfológicos obtidos após o processamento e análise digital das imagens dos flocos foram analisados aplicando o software estatístico de análise de dados Statistica versão 6 (StatSoft, Inc., 2001), com vista a identificar as correlações existentes entre as condições de coagulação avaliadas e a morfologia dos flocos formados. A verificação da existência de influência significativa das condições de coagulação testadas sobre a morfologia dos flocos (diâmetro equivalente, circularidade, fator forma, convexidade e porosidade bidimensional) foi realizada pela aplicação do teste não paramétrico de análise de variância de Kruskal-Wallis por classificações múltiplas, ao nível de 95% de confiança.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

As imagens obtidas por análise digital de imagem revelam que os flocos formados nas distintas condições de coagulação estudadas exibiram diferenças no aspecto físico. A Figura 2 ilustra as imagens digitais representativas dos flocos obtidos nas quatro condições de coagulação estudadas.

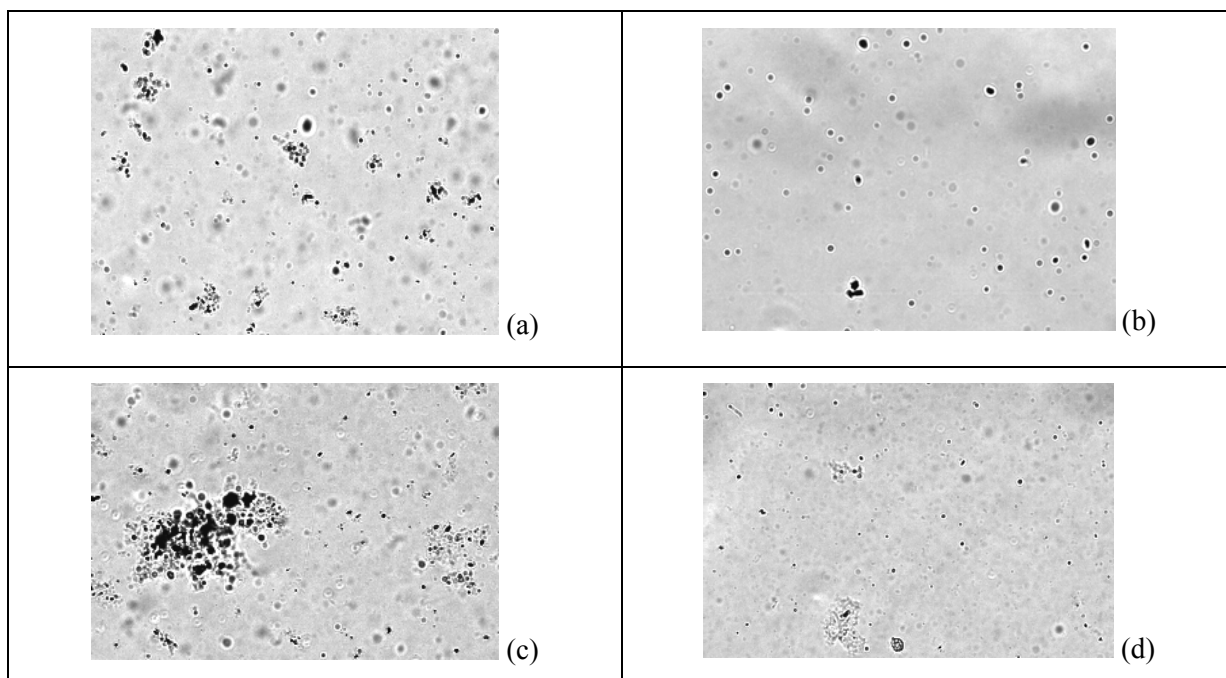


Figura 2 – Imagens digitais referentes aos flocos formados no processo de coagulação: (a) DO e pH de coagulação 6,8 - 6,9; (b) DO e pH de coagulação 5,0 – 5,5; (c) SD e pH de coagulação 6,3- 6,7; (d) SD e pH de coagulação 5,0 – 5,5. Técnica microscópica de campo claro e aumento de 100X

Para caracterizar a morfologia dos flocos foram realizadas duas réplicas de amostragem de imagem para cada condição experimental avaliada e, em todas as condições de coagulação analisadas, o histograma de frequências do tamanho dos flocos refletiu uma distribuição log-normal. A Figura 3 ilustra as distribuições de frequências relativas ao tamanho dos flocos obtidos no processo de coagulação em dois experimentos realizados aplicando dosagem ótima e super-dosagem.

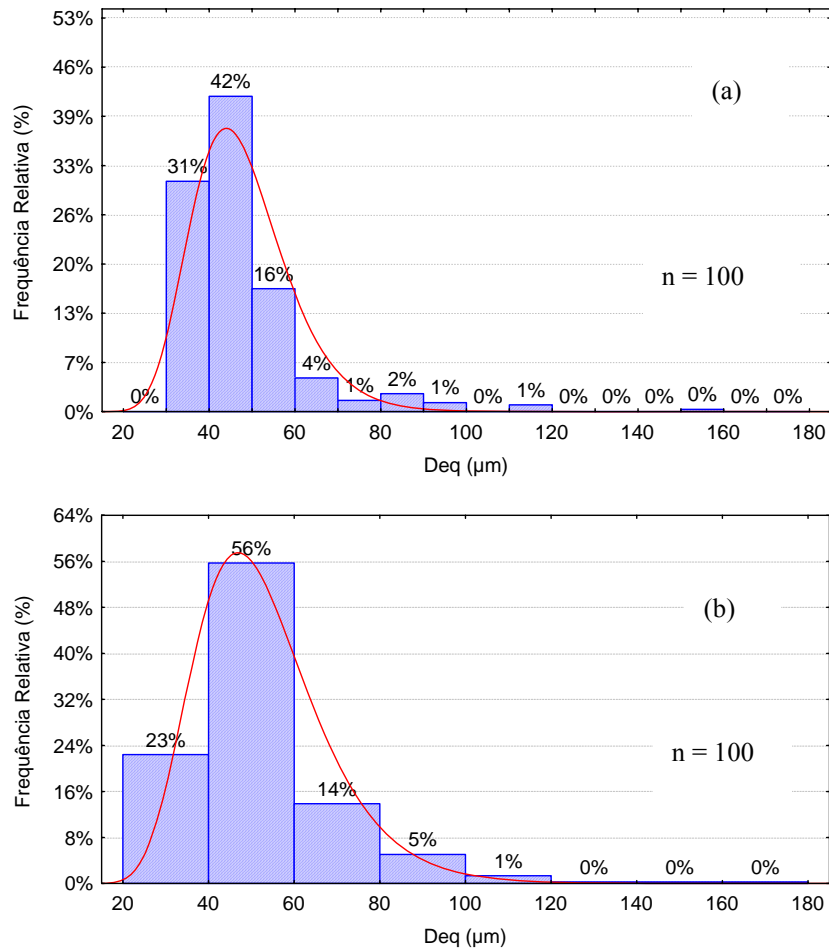


Figura 3 – Histograma de distribuição de frequências do Diâmetro Equivalente (Deq) dos flocos formados usando duas das condições de coagulação estudadas: (a) pH_{coagulação} = 6,8 e dose de coagulante = 9 mg/L; (b) pH_{coagulação} = 6,3 e dose de coagulante = 25 mg/L.

A distribuição log-normal de tamanho de flocos formados em sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados e no tratamento de água para consumo humano já foi relatada por Grijspeerdt e Verstraete (1997) e Chakraborti *et al* (2003). De acordo com Li e Ganczarczyk (1991 *apud* Ginoris, 2006), este tipo de distribuição é típico de grupos de dados, nos quais, parte dos valores referentes à dimensão dos flocos tem sido arbitrariamente excluídos da análise. No presente estudo, foram excluídos da análise de imagens da distribuição de tamanho, os flocos com área projetada menor que 1% da área total das imagens, a fim de diminuir o erro de medição dos parâmetros morfológicos. A distribuição de tamanho dos flocos formados no processo de coagulação está indicada na Figura 4.

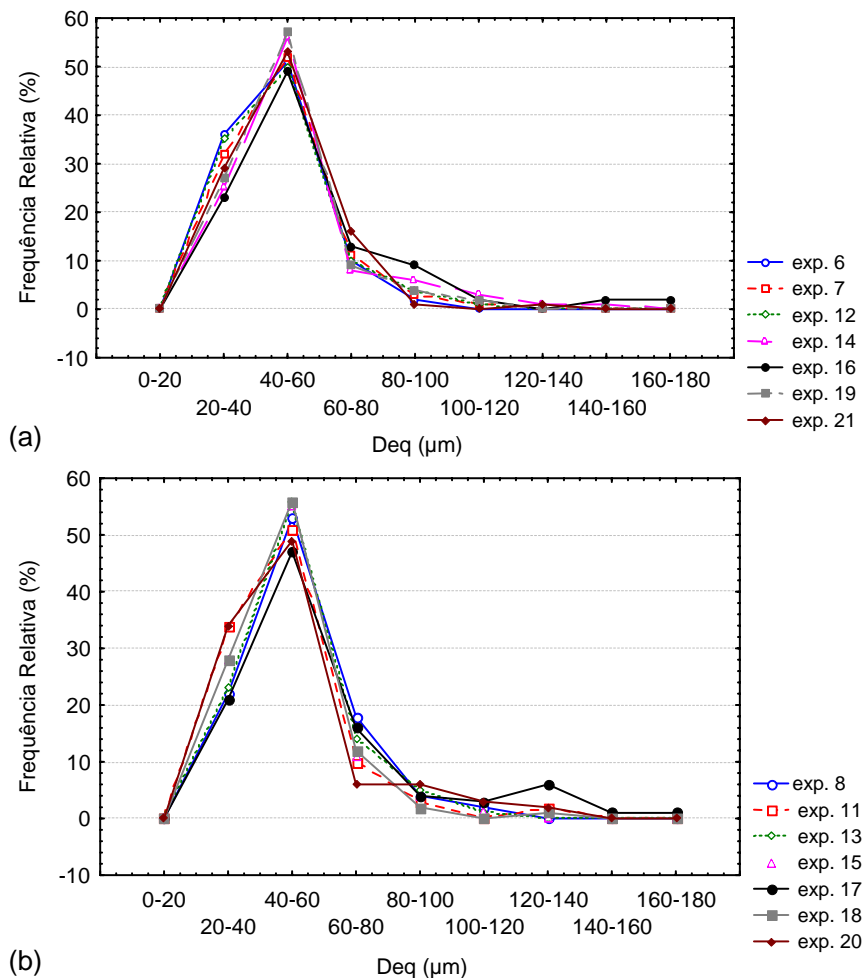


Figura 4 - Distribuição de tamanho dos flocos formados nos ensaios de filtração direta descendente: (a) Experimentos efetuados em condição de dosagem ótima de coagulante; (b) Experimentos efetuados em condição de super-dosagem de coagulante.

Dos dados de distribuição de tamanho dos flocos formados no processo de coagulação (Figura 4), observa-se que em todas as condições de coagulação avaliadas, de modo geral, os flocos presentes nas amostras analisadas apresentaram tamanhos na faixa de 20 a 160 μm e a maior frequência de tamanhos correspondeu ao intervalo compreendido entre 40 e 60 μm , com percentuais que oscilaram entre 48 e 59 %.

Os parâmetros morfológicos obtidos após a análise digital das imagens dos flocos formados nos experimentos de filtração realizados sob diferentes condições de coagulação estão apresentados na Tabela 1. De acordo com esses dados observa-se que os flocos formados em condições de dosagem ótima, de modo geral, apresentaram valores de Convexidade e Fator de Forma mais próximos da unidade quando comparados com os valores obtidos para os mesmos parâmetros em condições de super-dosagem de coagulante. Essa diferença sugere que os flocos formados sob condição de dosagem ótima tendem a apresentar estrutura mais regular do que os flocos originários da super-dosagem. Essas características na estrutura dos flocos ficaram mais evidenciadas nos experimentos efetuados com pH de coagulação na faixa de 5,0 a 5,5.

A porosidade (2D- ϵ) dos flocos formados em condições de dosagem ótima também foi, de um modo geral, menor do que a porosidade dos flocos desenvolvidos em condições de super-dosagem, o que sugere a existência de relação entre a irregularidade dos flocos e a porosidade dos mesmos. Observa-se também que as condições de super-dosagem e pH de coagulação na faixa de 6,3 a 6,7 favoreceram a formação de flocos com maior irregularidade e porosidade entre as condições de coagulação avaliadas.

Tabela 1 – Valores médios e desvios padrão relativos aos flocos formados nos experimentos de filtração sob diferentes condições de coagulação, (n = 100).

Dosagem $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	pH	Nº	Deq (μm) média $\pm\sigma$	2D- ϵ média $\pm\sigma$	Circ. média $\pm\sigma$	Conv média $\pm\sigma$	FF média $\pm\sigma$
Dosagem ótima	6,8 a 6,9	6	47,6 \pm 13,41	0,054 \pm 0,0342	3,2 \pm 1,09	0,75 \pm 0,071	0,33 \pm 0,099
		7	47,8 \pm 14,36	0,073 \pm 0,0409	4,0 \pm 1,52	0,71 \pm 0,083	0,25 \pm 0,095
		12	48,9 \pm 14,39	0,105 \pm 0,0625	3,2 \pm 1,25	0,75 \pm 0,073	0,33 \pm 0,110
		14	51,8 \pm 20,33	0,091 \pm 0,0854	3,3 \pm 1,34	0,75 \pm 0,078	0,32 \pm 0,112
	5,0 a 5,5	16	56,7 \pm 27,83	0,067 \pm 0,0631	4,0 \pm 2,18	0,72 \pm 0,112	0,31 \pm 0,161
		19	50,1 \pm 15,11	0,028 \pm 0,0347	2,3 \pm 0,94	0,84 \pm 0,091	0,47 \pm 0,174
		21	48,7 \pm 13,72	0,043 \pm 0,0465	2,7 \pm 1,10	0,81 \pm 0,085	0,41 \pm 0,153
Super- dosagem	6,3 a 6,7	8	52,3 \pm 17,83	0,141 \pm 0,0742	4,5 \pm 1,80	0,67 \pm 0,088	0,24 \pm 0,093
		11	47,5 \pm 16,30	0,121 \pm 0,0711	4,1 \pm 1,76	0,70 \pm 0,082	0,27 \pm 0,102
		13	53,1 \pm 19,88	0,168 \pm 0,0850	5,0 \pm 2,21	0,65 \pm 0,088	0,22 \pm 0,091
		15	49,6 \pm 14,24	0,148 \pm 0,0832	4,5 \pm 1,87	0,67 \pm 0,087	0,25 \pm 0,098
	5,0 a 5,5	17	59,7 \pm 28,42	0,065 \pm 0,0545	3,1 \pm 1,28	0,76 \pm 0,088	0,35 \pm 0,132
		18	50,3 \pm 19,04	0,108 \pm 0,0737	4,4 \pm 1,90	0,69 \pm 0,099	0,26 \pm 0,116
		20	50,0 \pm 18,72	0,103 \pm 0,0827	3,3 \pm 1,42	0,76 \pm 0,090	0,34 \pm 0,127

Legenda: Deq - Diâmetro Equivalente; 2D- ϵ – Porosidade bidimensional; Circ. – Circularidade; Conv – Convexidade; FF - Fator de Forma; Nº - número do experimento

Para a avaliação da influência das condições de coagulação na morfologia dos flocos os resultados obtidos foram tratados estatisticamente aplicando o teste não paramétrico de análise de variância de Kruskal-Wallis por Classificações para múltiplas amostras (grupos) independentes, dado o pequeno número de observações realizado em cada condição experimental analisada. Este teste constitui uma alternativa não-paramétrica da análise paramétrica de variância univariável entre grupos (one-way ANOVA) e avalia a hipótese de que diferentes amostras na comparação foram retiradas da mesma distribuição ou de distribuições com a mesma mediana. Portanto, a interpretação do teste de Kruskal-Wallis é basicamente idêntica à interpretação do teste paramétrico ANOVA univariável, exceto que este se baseia em classificações das variáveis medidas e não em médias amostrais.

Os resultados referentes ao teste de Kruskal-Wallis por Classificações para os parâmetros avaliados nas quatro condições de coagulação estudadas são mostrados na Tabela 2, em que os valores tabelados correspondem à hipótese H (3, N = 14).

Tabela 2 – Influência das condições de coagulação na morfologia dos flocos formados, na remoção de turbidez, de coliformes totais, de E. coli e oocistos de *Cryptosporidium*: Análise de Variância univariável não-paramétrico de Kruskal-Wallis por Classificações – (4 condições)

Parâmetros	Soma das classificações				H (3, N = 14)	Prob. (p)
	DO	DO	SD	SD		
Porosidade (2D-ε)	25,5	6,5	50,0	23,0	10,9	0,01*
Circularidade	25,0	10,0	49,0	21,0	8,6	0,03*
Convexidade	33,0	34,0	11,0	27,0	8,2	0,04*
Fator de Forma	31,0	34,0	12,0	28,0	7,7	0,05*
Deq	24,0	27,0	22,0	32,0	3,5	0,32

*Efeitos significativos ao nível de 95 % de confiança

Como pode ser visto na Tabela 2, as condições de coagulação influenciaram de forma estatisticamente significativa, ao nível de 95% de confiança, na morfologia dos flocos formados, indicado pelo valor de probabilidade ($p < 0,05$) obtido para os parâmetros Porosidade, Circularidade, Convexidade e Fator de Forma, porém não influenciaram no tamanho dos flocos estimado pelo Diâmetro Equivalente. Os valores das somas das classificações dos parâmetros morfológicos referentes à regularidade dos flocos conjuntamente com os valores médios desses parâmetros (Tabela 1) indicam estrutura mais irregular e porosa para os flocos obtidos sob condição de super-dosagem e pH próximo da neutralidade, estrutura mais regular e menos porosa para flocos obtidos sob condição de dosagem ótima e pH baixo e uma estrutura intermediária para as outras duas condições de coagulação. Os dados das Tabelas 1 indicam uma grande variabilidade nos valores do diâmetro equivalente dos flocos obtidos em todas as condições de coagulação avaliadas e os valores da Tabela 2 confirmam que as condições de coagulação não influenciaram estatisticamente nas dimensões dos flocos.

5. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de imagens mostrou-se uma ferramenta adequada para efetuar a análise morfológica de flocos obtidos pelo processo de coagulação na filtração direta descendente empregando sulfato de alumínio.

A análise estatística revelou que as diferentes condições de coagulação testadas não influenciaram significativamente no diâmetro equivalente do floco, porém, de forma geral, os flocos obtidos em condições de dosagem ótima e pH baixo apresentaram uma estrutura mais regular e menos porosa em relação aos flocos formados em condições de super-dosagem de coagulante e pH entre 6,3 a 6,7 os quais exibiram uma estrutura irregular e porosa.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.L.; ALVES, M.M.; MOTA, M.; FERREIRA, E.C. **Morphological characterization of microbial aggregates by image analysis**. 1997. In: RECPAD'97 – 9th Portuguese Conference on Pattern Recognition, (APRP, Eds.), Coimbra, Anals of RECPAD'97 – 9th Portuguese Conference on Pattern Recognition, Coimbra, 95-100.
- CHAKRABORTI, R.K.; ATKINSON, J.; VANBESCHOTEN, J. **Characterization of Alum Flocc by Image Analysis**. 2000. Environmental Science & Technology **34**, 3969-3976.

- GINORIS, Y. P. **Aplicação de Técnicas de Análise de Imagens no Monitoramento de Sistemas de Lodo Ativado**. 2006. 194p. Tese de Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímico, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GRIJSPEERDT, K. e VERSTRAETE, W. **Image analysis to estimate the settleability and concentration of activated sludge**. 1997. Water Research, **31**(5), 1126-1134.
- LI T., ZHU, Z., WANG, D., YAO, C. e TANG, H. **Characterization of floc size, strength and structure under various coagulation mechanisms**. 2006. Powder technology, **168**, 104-110.