

DINÂMICA DAS GOTAS NO PROCESSO DE EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO APLICADO AO MDIF

D. C. Santana¹, J. B. A. Paulo², R. F. S. Lima³

1, 2- UFRN - Departamento de Engenharia Química, Campus Universitário, s/n – Natal-RN
e-mail: des@eq.ufrn.br e jboseco@eq.ufrn.br

3- UFRN - Departamento de Geologia, Campus Universitário, s/n – Natal-RN
e-mail: raquel@geologia.ufrn.br

RESUMO

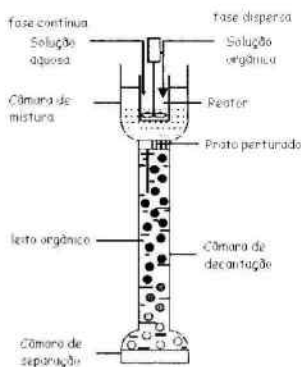
O trabalho apresenta uma revisão sobre o estudo do movimento das gotas no equipamento MDIF-Misturador Decantador à Inversão de Fases. Importantes relações matemáticas e gráficas mostram a significância das propriedades físicas no processo de separação líquido-líquido. A relação entre a velocidade do líquido no furo do distribuidor e sua relação com o diâmetro e o regime de formação das gotas é também objeto de estudo. Correlações sobre frequência de coalescência das gotas na câmara de mistura e na coluna de decantação são apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE: MDIF, coalescência, formação de gotas, separação de fases

1. INTRODUÇÃO

O movimento das gotas e seu comportamento em um outro meio líquido são de fundamental importância no processo de extração líquido-líquido. Neste processo, as etapas de: transferência de massa, através da geração de área superficial das gotas na câmara de mistura e separação das fases através do processo de coalescência das gotas, na câmara de decantação; as quais influenciam diretamente na eficiência do processo. Estas etapas citadas têm relação direta com o diâmetro da gota.

2. O EQUIPAMENTO



O equipamento MDIF – Misturador Decantador à Inversão de Fases tem característica de um misturador convencional (Mixer Settler) e de uma coluna de pulverização. Esse equipamento apresenta 4 partes distintas: câmara de mistura, distribuidor ou prato perfurado, coluna de decantação e a câmara de separação. Na Figura 1 está apresentado o equipamento.

Na câmara de mistura, as duas fases, orgânica e aquosa são contatadas. Esta dispersão primária, na qual a fase aquosa é a contínua, passa através do prato perfurado que está imerso em um leito orgânico, gerando gotas. Assim, na coluna de decantação ocorre a inversão de fase, onde a fase inicialmente contínua passa a ser a fase dispersa, já que existe um leito orgânico para as gotas se deslocarem. Ter-se-á na coluna de decantação dois diâmetros de gotas distintos, as gotas maiores denominadas de gotas transportadoras, as quais contêm em seu interior as gotículas. As gotas transportadoras se comportam como microdecantadores, onde as gotículas percorrem uma distância menor para coalescer na interface organo-aquosa da gota.

Figura 1- Desenho esquemático do MDIF

À medida que as gotas transportadoras se deslocam no leito orgânico, menor a quantidade de gotículas dentro das gotas. A separação das fases no decantador ocorre efetivamente devido ao processo de coalescência, que ocorre entre as gotas de uma mesma fase, entre a interface gotícula e gota transportadora e, gotas transportadoras e interface na câmara de mistura.

3. CÂMARA DE MISTURA

A agitação na câmara é responsável pela dispersão de um líquido em outro na forma de gotículas de grande área superficial. O fracionamento das gotículas é consequência das forças produzidas pela variação da turbulência e fricção viscosa existente no momento da agitação, ou seja, durante a agitação, a energia mecânica aplicada pelo agitador é então transformada em turbilhões com quantidades de energia cinética. Essa energia é transmitida a turbilhões menores até alcançar uma escala crítica onde se dissipa por fricção viscosa. Paulo (1996) cita que, o tamanho dos turbilhões menores, os quais são de dimensões inferiores ou próximas ao das gotas, é determinado pela escala dissipativa de Kolmogoroff, dado pela equação (1). Nesta escala (Kolmogoroff, 1941), dita local isotrópico ($u'_x = u'_y = u'_z$), os turbilhões não têm orientação privilegiada. A taxa média de dissipação viscosa é dada pela equação (2).

$$\eta = (\nu_c^3/\epsilon)^{1/4} \quad \epsilon = K_1 N^3 D^2 \quad (1) \text{ e } (2)$$

o que dá a dissipação média dentro do volume da câmara.

Quando a agitação é mantida sob condições constantes, um equilíbrio dinâmico entre o processo de quebra e coalescência é obtido. A característica da dispersão de gotículas depende da: geometria e tamanho do agitador, intensidade de agitação, relação volumétrica entre as fases e propriedades físicas do sistema. Em tanques agitados, as gotas são fracionadas na extremidade da lâmina do agitador e movidas radialmente, devido ao movimento turbulento, para a extremidade do tanque onde elas tendem a coalescer. Laddha e Degaleesan (1983) afirmam que em geral, líquidos de baixa tensão interfacial (exemplo, ésteres orgânicos) são mais afetados pela coalescência moderadamente rápida e pela fácil redispersão subsequente pela lâmina do agitador. Tal coalescência entre gotas será maior quando o holdup da fase dispersa é alto. Entretanto, a coalescência repetida e a redispersão da fase dispersa pode ser de difícil caracterização. Nos misturadores, a frequência de coalescência é medida em termos da fração de todas as gotas coalescendo por segundo, f é expressa na equação 3, como uma função da velocidade do agitador e do holdup da fase dispersa:

$$f \propto N^p \epsilon^q \quad (3)$$

Os valores exatos dos expoentes p e q dependem das propriedades do sistema e o tipo do agitador, mas pode ser aproximado como 2,5 e 0,7, respectivamente para sistemas em que não exista nenhuma transferência de soluto ocorrendo entre as fases. Entretanto, se a transferência de massa ocorre da fase dispersa para a fase contínua, a frequência de coalescência pode aumentar significativamente.

O mecanismo de coalescência-redispersão é responsável por produzir uma distribuição de tamanho de gotas, que será de suma importância na etapa de separação das fases. Kumar (1983) cita que o parâmetro de interesse é o diâmetro médio de Sauter da gota, dado por:

$$\phi_{32} = \frac{6\epsilon}{S} \quad (4)$$

ou seja, a relação entre a retenção da fase dispersa $\epsilon=(O/O+A)$ e a área superficial por unidade de volume. Várias correlações são citadas para o diâmetro médio de Sauter, e na maior parte delas o número de Weber está presente. Uma observação cuidadosa deve ser dada a qualquer comparação, devido às condições de obtenção das mesmas. O número de Weber trazido à turbina é expresso em função das forças inerciais e as de rigidez é dado pela equação (5).

Paulo (1996) usou a correlação (6) apresentada por Coulaloglou e Tavlarides (1976) para determinação do diâmetro médio de Sauter, ou seja:

$$We_T = \rho_c N^2 D^4 / \sigma$$

$$\phi_{32}/D = a_1(1 + a_2 * \epsilon)(We_T)^{0.6} \quad (5) \text{ e } (6)$$

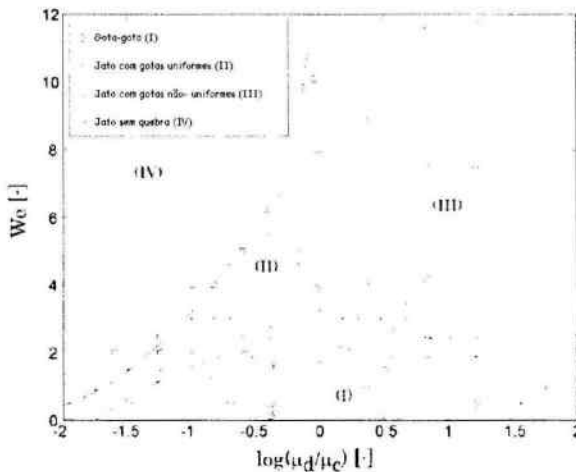
onde a_1 está relacionado com o tipo do agitador, a_2 com a tendência à coalescência do sistema, ou seja quanto maior o número, maior a tendência. Pácek (1999) relata o uso desta equação (6) por muitos pesquisadores. Kumar (1983) estudou a influência da agitação no tanque de mistura em função da distribuição do diâmetro de gotas e observou que o aumento da agitação afetou o mecanismo de quebra e coalescência, simultaneamente. O resultado final foi uma moderada mudança no diâmetro médio da gota e um efeito menos expressivo no final da distribuição de tamanhos, o que é relevante para a decantação contínua.

4. DISTRIBUIDOR OU PRATO PERFURADO

É no prato perfurado que as gotas transportadoras são formadas e dispersas no leito orgânico da coluna de decantação. Quando as gotas são formadas a partir de um conjunto de orifícios, furos adjacentes podem afetar o tamanho das gotas formadas, já que as gotas ao crescerem podem tocar umas nas outras e coalescerem. Outro dado importante é que, para se obter reprodutibilidade dos dados é necessário que o material do distribuidor seja molhado preferencialmente pela fase contínua da coluna de decantação.

O diâmetro da gota está relacionado inversamente à velocidade do líquido no furo, graficamente expresso por uma curva na forma de "S". Três regiões distintas na formação da gota são observadas:

- em baixa velocidade no furo as gotas são formadas na saída do furo, região denominada gota-gota. O diâmetro da gota decresce lentamente com o aumento da velocidade no furo.
- após certa velocidade no furo, um jato é formado e a gota é formada na ponta do jato, ou seja pela desintegração do jato. O jato aumenta o comprimento com o aumento da velocidade até um valor crítico de velocidade. Esta região é



tais como a força inercial, a tensão interfacial e a força cizalhante.

Figura 2 – Diagrama apresentado os regimes de formação de gotas (Homma e outros, 2006).

Kumar (1983) relata a existência de uma falta de credibilidade nas correlações para predizer o diâmetro das gotas na região de jato e muitos estudos são direcionados para a determinação do início do jato e o comprimento máximo do jato. Kumar e Hartland (1982) e Dalingeros e outros (1986), citados por Paulo (1996), apresentaram correlações em que a utilização das equações está restrita a faixas abrangidas pelo número de We, ou seja para regime de gotas e regime de jato.

- conhecida como região de jato e o diâmetro da gota decresce exponencialmente com a velocidade no furo.
- Após atingir o valor crítico de velocidade o jato desaparece e a gota é formada novamente na saída do furo. Esta é a região de atomização onde a formação da gota é menos uniforme.
- Homma e outros (2006) identificaram e localizaram os regimes de formação da gota em um diagrama, apresentado na Figura 2, relacionando o número de Weber e a razão entre as viscosidades dos fluidos. O trabalho foi realizado através de simulações numéricas diretas, onde foi levado em consideração as principais forças atuantes nesse processo dinâmico.

5. COLUNA DE DECANTAÇÃO

5.1. Forças atuantes em uma gota

Durante o deslocamento da gota em um meio contínuo, várias forças atuam na mesma:

- Força de arraste ou de resistência, a qual é composta pela força de atrito (fricção com a superfície) e pela forma.
- Força inercial e.
- Força de tensão superficial que age na direção tangente à interface.

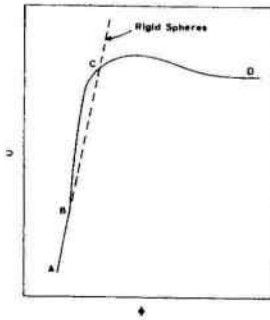
5.2. Movimento da gotícula e da gota transportadora

As gotas durante o deslocamento em um fluido deformam e oscilam, a não ser quando são muito pequenas, ou seja quando a força de tensão interfacial predomina. Essas gotas pequenas comportam-se como esfera rígidas e sua velocidade de sedimentação ou terminal pode ser calculada pela Lei de Stokes, dado pela equação (7). Já a força de arraste, dada pela equação (8), composta pela fricção e efeito de forma pode ser calculada pela equação de Navier-Stokes.

$$U = \frac{\phi^2 \Delta \rho g}{18\mu_c} \quad F_D = 3\pi\mu_c \phi U \quad (7) \text{ e } (8)$$

Hadamard (1911) e Rybczinski (1911), citado por Kumar (1983), considerou o modelo ideal de circulação interna e determinou um fator de correção para a velocidade de sedimentação, fazendo assim a correção para a velocidade terminal e a força de arraste.

$$U = \frac{\phi^2 \Delta \rho g}{18\mu_c} \left(\frac{3\mu_d + 3\mu_c}{3\mu_d + 2\mu_c} \right) \quad F_D = 3\pi\mu_c \phi U \left(\frac{3\mu_d + 2\mu_c}{3\mu_d + 3\mu_c} \right) \quad (9) \text{ e } (10)$$



Para exemplificar as correlações dadas, entre uma esfera rígida e uma gota de diâmetro equivalente, observemos o gráfico dado por Kumar (1983), apresentado na Figura 3. Nele é dada a relação de velocidade de sedimentação com o diâmetro equivalente da gota ou esfera.

A \Rightarrow B: mesmo comportamento para diâmetros pequenos;

B \Rightarrow C: devido à deformação da forma esférica para a elipsoidal com o menor eixo orientado na direção do movimento. Daí a maior velocidade.

C \Rightarrow D: a gota em um dado diâmetro alcança a velocidade máxima de sedimentação, atingindo uma relativa constância. Em seguida redução da velocidade pode ser atribuída aos movimentos zig-zag ou espirais da gota.

Figura 3 – Velocidade de sedimentação em função do diâmetro de gota (Kumar, 1983).

Segundo Hadjiev, Limousy e Sabiri (2004), existe uma circulação interna dentro das gotas transportadoras, causada durante o processo de formação da gota, a qual foi filmada por um sistema de vídeo de alta velocidade. Essa circulação interna decresce durante a decantação. Outro fato é que, a coalescência da gota transportadora-gotícula é retardada pela presença desse movimento interno.

Durante o deslocamento, grandes gotas transportadoras assumem forma elipsoidal achatadas e caem em um padrão zig-zag ou espiral.

5.3. Separação das fases

A separação das fases depende: das propriedades físico-químicas dos líquidos (densidade, tensão interfacial e viscosidade), das variáveis de processo (diâmetro das gotas, velocidade no furo, velocidade superficial, holdup, vazão efetiva total, razão entre as fases, agitação na câmara de mistura, regime do leito) e da geometria do equipamento (altura da coluna de decantação, diâmetro e arranjo dos furos no distribuidor). Estes parâmetros podem ter efeito significativo sobre a eficiência de separação, entretanto eles podem estar inter-relacionados e, portanto dificilmente avaliados isoladamente.

Para que ocorra a separação das fases é necessário um tempo de permanência dessas gotas nessa coluna, denominado tempo de residência. Para avaliar a separação de fases na coluna de decantação do MDIF, Hadjiev e Aurelle (1995) levaram em consideração:

- tempo de residência de uma gota transportadora no leito orgânico (t_R) ou seja, para se deslocar da saída do prato perfurado até a interface orgânico-aquoso, conforme Figura 4. A relação é dada pela equação (11).
- O tempo de residência de uma gotícula dentro da gota transportadora (t_{der}), ou seja para se deslocar da parte mais baixa da gota transportadora até a interface gota/gotícula na parte superior, conforme apresentado na Figura 5, é dado pela equação (12):

$$t_R = H_0 / V_{d1}$$

$$t_{der} = D / V_{der} \quad (11) \text{ e } (12)$$

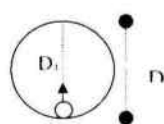
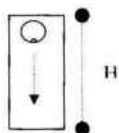


Figura 4 - Gota transportadora no interior da coluna

Figura 5 – Gotícula no interior da gota transportadora

Na velocidade de sedimentação das gotículas dentro das gotas transportadoras, denominada de velocidade de ascensão, dada pela equação (13), foi utilizado os fundamentos da correlação (9), para os trabalhos de Chiavenato (1999) e Hadjiev e Aurelle (1995).

$$D_1 = V_{der} t_R = \frac{X \Delta \rho g (d_{cr})^2 H_0}{18 \mu_c V_d} \quad (13)$$

Hadjiev, Limousy e Sabiri (2004), utilizaram de 50 a 60 medidas no estado estacionário do equipamento para obterem uma correlação para eficiência de separação, na qual incluem a tensão interfacial. Na correlação (14), estão contidos dois números adimensionais, o de Morton que relaciona as forças atuantes na gota e, o número de Oshnesorge que reporta o efeito do movimento da gota. Paulo, Fernandes e Hadjiev (2006) utilizaram a mesma correlação no trabalho realizado para o sistema aguarrás-água, obtendo um desvio médio de aproximadamente 7% entre a equação proposta e os dados experimentais.

$$E = 587.73 + 19.245 * \ln \left[\left(\frac{d}{d_N} \right) \left(\frac{D}{H_0} \right)^{0.4} \left(\frac{d}{D} \right)^{2.7} * Z * N_{M_o}^{0.149} \left(\frac{\mu_0}{\mu_{org}} \right)^{0.14} \right] \quad (14)$$

Sendo, o número de Morton e o número de Oshnesorge, dados respectivamente por:

$$N_{Mv} = \frac{g\Delta\rho\mu_{iq}^4}{\rho_{iq}^2\sigma^3} \quad Z = \frac{\mu_{iq}^2}{d_N\rho_{iq}^2\sigma} \quad (15) \text{ e } (16)$$

Uma possibilidade de aumentar o tempo de residência da dispersão e atenuar a circulação interna das gota é pela formação de um leito não coalescente de gotas acima da interface, segundo Paulo e outros (2006). Foi relatado nos trabalhos um aumento da eficiência com o aumento da vazão efetiva.

5.4. Coalescência

Allak and Jeffrey (1974), observaram que o denso leito de gotículas consiste em três zonas distintas, como mostrada na Figura 6:

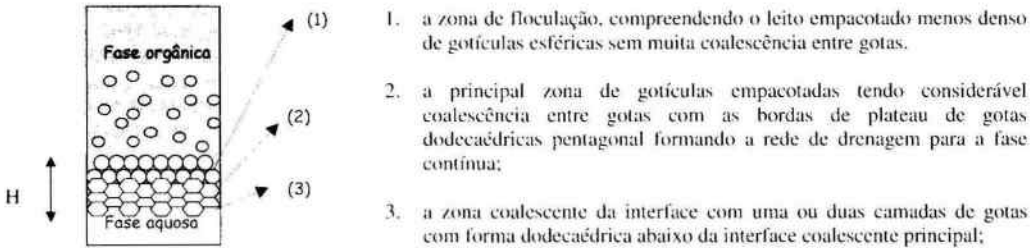


Figura 6 – Desenho esquemático de um leito de gotas coalescendo em uma interface.

Laddha e Degaleesan (1983) citam Smith e Davies (1970), os quais investigaram o aumento gradual do leito denso de gotas sob a interface principal antes de coalescer com a interface principal e, sugerem calcular a profundidade do leito H pela seguinte relação (17):

$$H/d_0 = 15,1(10^3) (\mu_d*\mu_c/\sigma)^{1,10} *(d_0^2 \Delta\rho g/\sigma)^{-1,38} * (\mu_d/\mu_c)^{1,13} \quad (17)$$

A freqüência da coalescência entre gotas ω na zona (2), dada pela equação (18) está relacionada ao grupo $(\mu_d*\mu_c/\sigma)$, a profundidade total do leito de gotas H, e ao tamanho médio das gotas:

$$\omega = 1 - 0,559 (\sigma/\mu_d*\mu_c)^{0,984} * (d_0/H)^{0,19} \quad (18)$$

onde: ω é a freqüência de coalescência expressa como uma fração do número total de gotas de tamanho médio que coalesce em um plano do leito de profundidade H.

Ramamoorthy e Treybal (1978) sugeriram a seguinte correlação empírica para a freqüência de coalescência, dada pela relação (19):

$$(\omega\phi/v_c)^* 10^5 = 0,02 (\sigma/v_c*\mu_c)^{1,18} * (\mu_d/\mu_c)^{0,45} \quad (19)$$

Segundo Laddha e Degaleesan (1983), a coalescência de gotas em uma interface é controlada principalmente pelos fatores abaixo relacionados, ao quais afetam a espessura do filme e a processo de ruptura: tamanho da gota; distância da queda da gota para a interface; curvatura da gota na interface; relação de viscosidade das fases; efeitos de tensão interfacial; efeitos de temperatura; efeitos elétricos e vibracionais; presença de dupla camada elétrica; efeitos de transferência de soluto.

Pesquisadores como Chiavenato (1999), Eow e Ghadiri (2003), Paulo e outros (2006) atribuem a coalescência parcial como um dos fatores que reduz a eficiência de separação no processo. A coalescência parcial ocorre quando uma gota

secundária de tamanho muito menor é produzida na interface após a coalescência da gota original. Este processo pode ocorrer repetidas vezes, produzindo gotas menores e menores até a gota residual tornar-se muito pequena. Eow e Ghadiri (2003) afirmam que a coalescência parcial de uma gota com a interface líquido-líquido pode ocorrer quando a relação entre a viscosidade do líquido mais viscoso e aquele menos viscoso é muito menor que 11. Coalescência parcial entre gotas também foi observado, como citado por Laddha e Degaleesan (1983). Segundo eles, isto ocorre quando a razão do diâmetro (d_2/d_1) das gotas aproximando uma da outra, é maior que 3,5.

6. CONCLUSÃO

O MDIF é um equipamento patenteado desde 1985, e devido a isso muitas correlações e informações utilizadas são provenientes da literatura, relacionadas ao misturador convencional e a coluna de pulverização que guardam características comuns com o mesmo. Porém, estudos frequentes neste equipamento, permitirão aos pesquisadores através dos dados gerados, criar e adequar correlações e informações com a identidade do equipamento. O comportamento hidrodinâmico do aparelho parece ter grande influência na eficiência de separação. Uma melhor compreensão deste comportamento favorecerá a determinação de condições ótimas de operação. A modelagem determinística é uma tarefa difícil por envolver fenômenos físicos de complexidade como formação, transporte e coalescência de gotas. As equações mostradas neste trabalho podem contribuir na compreensão destes fenômenos. A equipe que desenvolve os estudos com este aparelho tem procurado também usar modelos estatísticos com base em Planejamento Experimental para explicar o seu funcionamento.

7. UNIDADES

η = escala dissipativa de Kolmogoroff (m)
 ν_c = viscosidade cinemática da fase contínua ($m^2.s^{-1}$)
 ϵ = taxa de dissip. turb. por unidade de massa ($m^2.s^{-3}$)
 N = velocidade do agitador (rps)
 D = diâmetro do Agitador (m)
 u = velocidade instantânea em um dado ponto ($m.s^{-1}$)
 f = frequência de coalescência na câmara de mistura
 ϵ = holdup médio da fase dispersa (%)
 ϕ_{32} = diâmetro médio de Sauter (m)
 S = área superficial por unidade de volume
 We_T = número de Weber trazido à turbina. ($\rho_c N^2 D^3 / \sigma$)
 We = número de Weber ($\rho d g v^2 / \sigma$)
 ϕ = diâmetro da gota equivalente ao da esfera (m)
 $\Delta\rho$ = diferença de densidade entre as fase
 g = aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$)
 μ_c = viscosidade da fase contínua ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)
 U = Veloc. terminal de uma gota em um meio infinito
 FD = força de arraste
 μ_d = viscosidade da fase dispersa ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)
 H_o = Altura do leito orgânico
 V_d = vel. de sed. da gota transportadora ($m.s^{-1}$)
 t_R = tempo de residência da gota transportadora (s)
 t_{dei} = tempo de residência da gotícula (s)

V_{dci} = vel. de sed. ou de ascensão da gotícula ($m.s^{-1}$)
 D_i^* = distância percorrida pela gotícula dentro da gota transportadora, como uma função do diâm. da gotícula
 $dei < dec$ para uma dado tempo de residência(m)
 χ = fator de correção do movimento interno na gota
 dei ou d = diâmetro da gotícula(m)
 E = eficiência (%)
 d_N = diâmetro do furo (m)
 Z = número de Oshnesorge
 N_{mi} = número de Morton
 μ_o = viscosidade do orgânico ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)
 μ_{aq} = viscosidade do aquoso ($kg.m^{-1}.s^{-1}$)
 σ = tensão interfacial ($kg.m^{-1}.s^{-2}$)
 ρ_{aq} = densidade da fase aquosa ($kg.m^{-3}$)
 ρ_o = densidade da fase orgânica ($kg.m^{-3}$)
 H = alt. da cam. de gotas coalescendo na interface (m)
 d_o = tamanho médio da gota entrando na zona de sedimentação (m)
 ω = frequência de coalescência expressa como uma fração do número total de gotas de tamanho médio que coalesce em um plano do leito de profundidade H na coluna de decantação
 v_r = velocidade relativa ($m.s^{-1}$)

8. CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Allak A.M. A. and Jeffreys G.V., *AIChE J.* 20, p.564, 1974.

Chiavenato, M.C. Utilização de um novo design de mixer-settler à inversão de fases para tratamento de dispersões e/ou emulsões do tipo óleo bruto/água de formação. Natal-RN. 146p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 1999.

Coulaloglou C. A and Tavlarides L. L. Drop size distributions and coalescence frequencies of liquid-liquid dispersions in flow vessels. *AIChE J.*, 22, p. 289, 1976.

Dalingaros, W., Kumar, A., Hartland, S.- Effect of physical properties and dispersed-phase velocity on the size of drops produced at a multi-nozzle distributor. *Chem. Eng. Process.*, (1986), 20, pp. 95-102.

Eow, J. S. and Ghadiri M. The behaviour of a liquid-liquid interface and drop interface coalescence under the influence of an electric field. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Aspects* 215, p.101-123, 2003.

Hadamard J. Mouvement permanent lent d'une sphère liquide et visqueuse dans un liquid visqueux. *Compt. Rend. Hebd. Séances Acad. Sci., Paris*, 152, 1735(1911).

Hadjiev, D. and Aurelle, Y. Phase inversion: a method for separation of fine liquid-liquid dispersions. *The chemical engineering journal*. N.58, p.45-51, 1995.

Hadjiev D. Limousy L. and Sabiri N. E. The design of separators based on phase inversion at low velocities in the nozzles. *Separation and Purification Technology*, 38, p.181-189, 2004.

Homma S., Koga J. and Matsumoto S., *Proceedings of 7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow – Scotland*, 10-14 July 2005.

Kolmogoroff A.N. Dissipation of energy in the locally isotropic turbulence. *Compt. Rend. Acad. Sci. URRS*, 32, 19(1941b).

Kumar A. Droplet Behaviour in Liquid/liquid Extraction, 181p. Tese de Doutorado, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 1983.

Kumar A. and Hartland S. Prediction of drop size produced by a multiorifice distributor. *TransIChemE*, 60, 35(1982).

Laddha, G. S. and Degaleesan, T. E. *Handbook of Solvent Extraction: Dispersion and Coalescence*. John Wiley & Sons, p. 125-149, 1983.

Pacek A. W. et alli. The influence of impeller type on mean drop size distribution in an agitated vessel. *Chemical Engineering Science*, 54, p.4211-4222, 1999.

Paulo, J. B. A. Mise au Point d'un Nouveau Mélangeur-Decaunteur à Inversion de Phase Application à l'Extraction du Cuivre. 189p. Tese de Doutorado, l'INP – ENSIGC, Toulouse, 1996.

Paulo J. B. A., Fernandes Jr., W. E. and Hadjiev, D., *Proceedings of 7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow – Scotland*, 10-14 July 2006.

Ramamoorthy P. and Treybal R. E., *AIChE J.* 24, p.985, 1978.

Rybczynski W. Ueber die fortschreitende bewegung einer flüssigen kugel in einem zähen medium. *Bull. Int. Acad. Sci., Cracovie, Ser. A*, 40(1911).

Smith D. V. and Davies G. A., *Can. J. Chem. Eng.* 48, p.628, 1970.