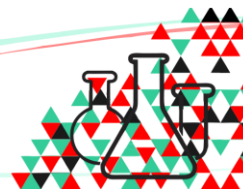




CONGRESSO BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA EM  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

21-24 Julho de 2019  
Uberlândia/MG



# **AValiação DA DISPERSÃO DE LíQUIDO EM UM LAVADOR VENTURI UTILIZANDO CFD E BALANÇO POPULACIONAL**

L. M. MARINI, V. G. G. BÉTTEGA e R. BÉTTEGA

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: [bettega@ufscar.br](mailto:bettega@ufscar.br)

**RESUMO** – Neste trabalho foi realizada uma análise da inclusão do Modelo de Balanço Populacional para a simulação da fluidodinâmica de um Lavador Venturi. Os resultados simulados utilizando balanço populacional sem a inclusão de efeitos de quebra e coalescência foram comparados com simulações incorporando estes efeitos. O número de *bins* utilizados para o balanço populacional também foi avaliado para uma das condições estudadas. Resultados de fração volumétrica de água, de frações volumétricas de gotas e quedas de pressão no equipamento utilizando o *software* ANSYS FLUENT indicaram que a inclusão do balanço populacional possibilitou a avaliação da variação de diâmetro de gota ao longo do equipamento, entretanto, pouca influência sob a queda de pressão foi observada.

## **1. INTRODUÇÃO**

A preocupação com emissões ambientais vem aumentando dentro do cenário industrial em virtude dos benefícios ambientais e legislações mais rigorosas. Um equipamento bastante utilizado na indústria para o controle da poluição do ar é o lavador de gases. Esses equipamentos são utilizados tanto para o controle da emissão de gases quanto para coleta de partículas, como por exemplo, a fuligem (SILVA, 2009).

São diversos os tipos de lavadores industriais, no entanto, o lavador Venturi é considerado um dos mais eficientes na coleta de partículas submicrométricas. O equipamento é constituído por três partes, sendo elas: a seção convergente, garganta (constricção) e seção divergente. O líquido de lavagem geralmente é introduzido no equipamento por bocais ou orifícios localizados na garganta. O líquido, ao entrar em contato com o gás em alta velocidade, rompe-se em inúmeras gotas que são responsáveis pela coleta das partículas (GUERRA et al. 2012). A eficiência de coleta é dependente da uniformidade e distribuição de tamanho de gotas ao longo do equipamento (VISWANATHAN, 1997). A dispersão do líquido é influenciada pelas condições operacionais e de projeto do lavador (GUERRA et al., 2017). Além disso, a ruptura e coalescência das gotas são fenômenos complexos que alteram a dispersão e distribuição das gotas ao longo do equipamento. Modelos para previsão da dispersão de líquido que permitam levar em consideração esses fenômenos são muito interessantes do ponto de visto do projeto de lavadores e a otimização das suas condições operacionais.

Neste contexto, o uso de programas de simulação computacional são uma alternativa viável aos protótipos, diminuindo o custo final de projeto e economizando tempo útil, assim também como possibilitando a obtenção de respostas mais completas que as obtidas pelos modelamentos matemáticos simplificados. Assim sendo, o objetivo desta pesquisa consiste na análise do perfil de frações volumétricas de água e da queda de pressão ao longo do equipamento, a partir de diferentes modelos aplicados no ANSYS Fluent 18.1. Foi avaliada a influência do balanço populacional nas respostas com e sem a inclusão da quebra e coalescência nos modelos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As simulações foram realizadas utilizando um computador ACER® NITRO AN515-51 Intel® CORE™ i7-7700HQ. A malha computacional foi construída no *software* GAMBIT e as simulações foram conduzidas no *software* ANSYS FLUENT. O equipamento simulado e as condições de operação seguiram o trabalho de (Guerra *et al.* 2012).

O teste de malha seguiu a metodologia GCI (*Grid Convergence Index*). Três diferentes configurações de malha foram testadas e a malha que apresentou um desvio aceitável e tempo de simulação adequado foi a malha escolhida para a condução do trabalho. Assim, este trabalho foi simulado em uma malha computacional contendo 741.314 elementos, conforme ilustrado na Figura 1.

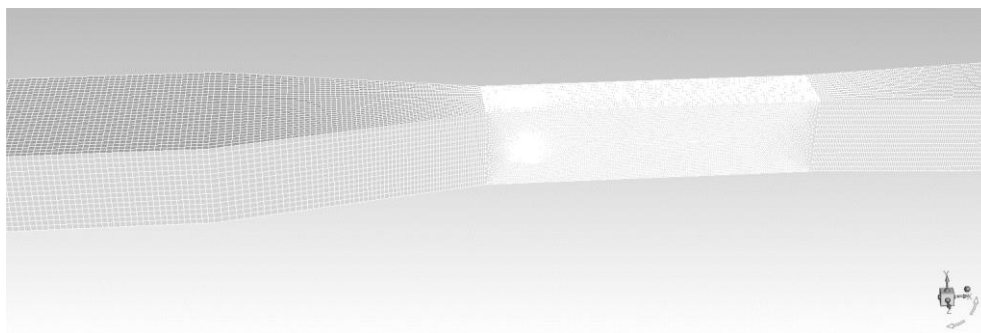


Figura 1 – Malha Computacional

O modelo matemático utilizado baseia-se em uma abordagem euleriana da fase particulada, a partir do modelo de mistura. A condição de contorno na entrada de ar foi de velocidade de ar prescrita, na velocidade de 23 m/s. A injeção de líquido foi realizada por meio da inclusão de pontos de injeção no domínio computacional. Para esta injeção, adotou-se uma velocidade de líquido (água) de 9,7 m/s. As características principais do modelo aplicado, bem como procedimento numérico de solução são apresentadas na Tabela 1. Considerando o modelo e o procedimento numérico proposto, os casos estudados neste trabalho são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Modelos matemáticos e parâmetros numéricos

<b>Modelo multifásico</b>	Euleriano – Mixture
<b>Modelo de turbulência</b>	k-epsilon – RNG
<b>PBE</b>	Discrete (w/ Aggregation Kernel and Breakage Kernel) – Hagesather
<b>Condições de contorno</b>	Bico de 1mm de diâmetro inferior: 9,7 m/s Bico de 1mm de diâmetro superior: 9,7 m/s Entrada de Ar: 23 m/s
<b>Formulação</b>	Permanente
<b>Discretização das equações</b>	PISO - <i>First Order Upwind</i>
<b>Parâmetros de relaxação</b>	0,1 a 0,4

Tabela 2 – Casos estudados

Caso	Modelo	Bins	Caso	Modelo	Bins
Caso 1	VOF (s/ PBE)	-	Caso 1PQ	Mixture (c/ PBE, Quebra)	1 bin
Caso 1.1	Mixture (s/ PBE)	-	Caso 1PQC	Mixture (c/ PBE, Quebra, Coalescência)	1 bin
Caso 1P	Mixture (c/ PBE)	1 bin	Caso 6P	Mixture (c/ PBE)	6 bins

Os chamados *bins* são classes de diâmetro em que as gotas podem adotar para si durante a simulação, dependendo da situação de estresse em que a mesma se encontra. Estes *bins* citados são inseridos pelo usuário nas condições de contorno, ou seja, caso sejam inseridos 6 (seis) *bins*, a gota pode adotar dentre 6 possibilidades de diâmetros. Entretanto, caso somente haja um *bin*, a gota não mudará de diâmetro, permanecendo com aquele tamanho durante toda a trajetória no equipamento. Para os casos de 1 *bin*, é injetado somente o *bin-2*, ou seja, fração volumétrica de 1. Entretanto, no caso de 6 *bins*, as frações para *bin 0*, 1, 2, 3, 4 e 5 foram, respectivamente, 0, 0,65, 0,33, 0,015, 0,005 e 0, sendo estes diâmetros, de 1.000E-03 m, 1.933E-04 m, 3.737E-05 m, 7.225E-06 m, 1.397E-06 m e 2.700E-07 m.

Para obtenção das respostas no formato de perfil de fração volumétrica dos *bins*, foi feito um plano cortando estrategicamente o Venturi e coletando valores utilizando uma *Custom Function* de *volume fraction of water* multiplicado por *bin-i-fraction*, sob uma escala de 0 (zero) a 0,001 para cada um dos 6 (seis) *bins* aplicados, sabendo que os *bins* são enumerados de modo decrescente em tamanho (*bin-0* > *bin-1* > *bin-2* > *bin-3* > *bin-4* > *bin-5*).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Queda de pressão total

Os resultados obtidos para a queda de pressão entre o início e o final do equipamento, são apresentados na Tabela 3.

Como visto na Tabela 3.1.1, os valores de queda de pressão variam de modo mais significativo durante a variação de modelo multifásico do que entre a variação de complexidade

da equação de *PBE*, demonstrando que não há necessidade de incorporar o Balanço Populacional em uma análise de queda de pressão para esta geometria de Lavador Venturi.

Tabela 3 – Valores de queda de pressão (Pa) para cada caso simulado

Caso	Modelo	$\Delta P$ [Pa]	Caso	Modelo	$\Delta P$ [Pa]
Caso 1	VOF (s/ PBE)	1388,74	Caso 1PQ	Mixture (c/ PBE, Quebra)	1315,00
Caso 1.1	Mixture (s/ PBE)	1314,91	Caso 1PQC	Mixture (c/ PBE, Quebra, Coalescência)	1066,578
Caso 1P	Mixture (c/ PBE)	1315,00	Caso 6P	Mixture (c/ PBE)	1314,96

### 3.2 Distribuição de concentração

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os contornos de distribuição de fração volumétrica de fase considerando os diferentes casos simulados. A alteração no número de *bins* da simulação promoveu a resposta apresentada na Figura 2.

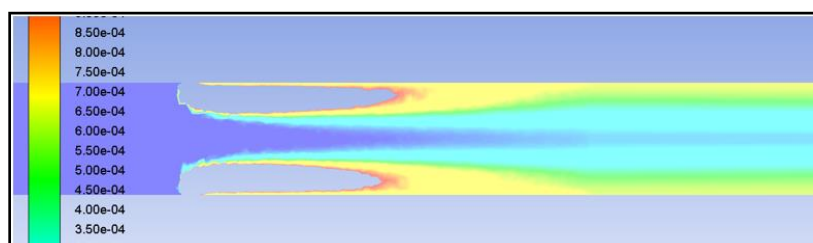


Figura 2 - Perfil de fração de bin-2 (escala de 0 a 0,001) da simulação 1P, sendo esta obtida pela multiplicação da fração volumétrica de água pela opção “bin-2-fraction”.

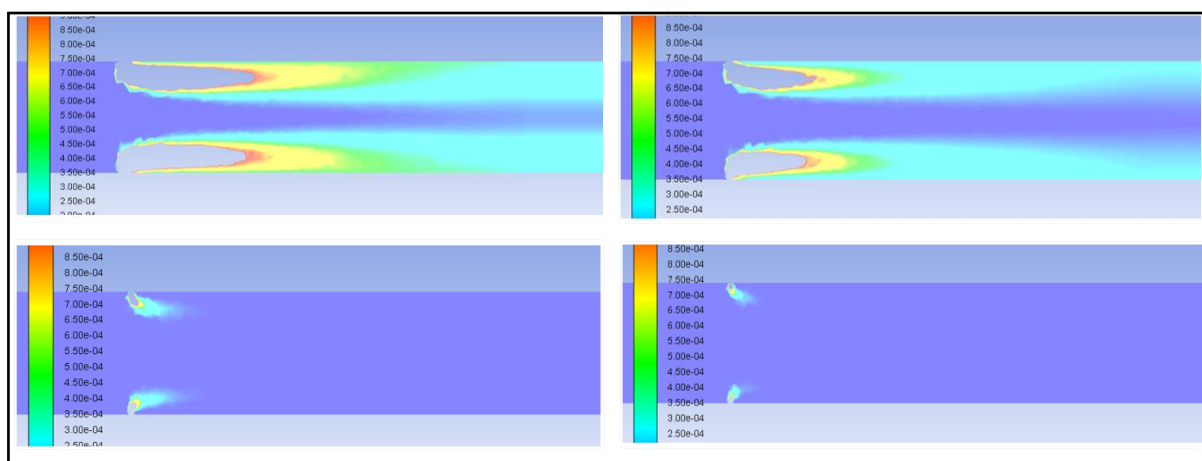


Figura 3 – Perfil de fração dos *bins* 1 à 4 (escala de 0 a 0,001) da simulação 6P, sendo esta obtida pela multiplicação da fração volumétrica de água pela opção “bin-i-fraction”.

Na Figura 4 é ilustrada a influência do modelo de Quebra e Coalescência, levando em consideração que entraram somente gotas de *bin-2* pelos jatos.

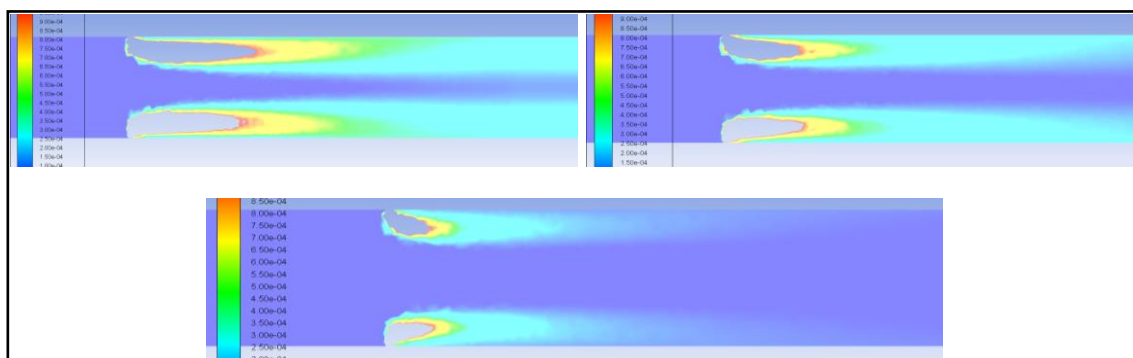


Figura 4 – Perfil de fração dos *bins* 0 à 2 (escala de 0 a 0,001) da simulação 1PQC, sendo esta obtida pela multiplicação da fração volumétrica de água pela opção “*bin-i-fraction*”.

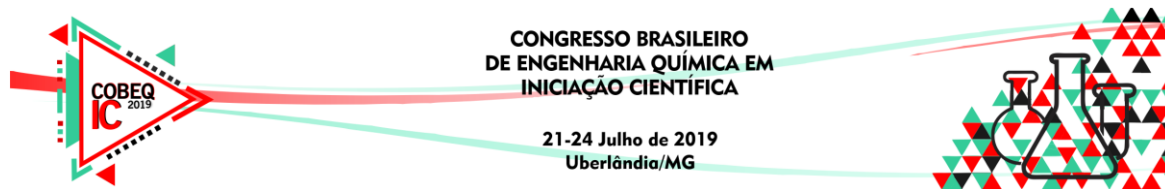
Os resultados demonstram que o modelo de balanço populacional possibilitou avaliar a localização da concentração de gotas de determinado diâmetro no interior do equipamento, para verificar se a geometria possibilita uma boa dispersão do(s) fluido(s) injetado(s). Além da localização, a detecção de uma possível quebra ou coalescência pode ser prevista.

## 4. CONCLUSÃO

O balanço populacional apresentou-se como uma importante ferramenta de análise para o Lavador Venturi. A distribuição de gotas viabilizada pela inclusão do balanço mostrou-se importante para a descrição da distribuição de gotas. Pouca influência da inclusão do balanço populacional foi observada sobre a resposta simulada para a queda de pressão.

## 5. REFERÊNCIAS

- D. A. L. SILVA; Lavadores Venturi Na Coleta De Particulados Finos Emitidos Com A Queima De Resíduos Madeiráveis: Influência Das Principais Variáveis De Processo Na Eficiência Fracionária Para Partículas De 0 A 10µm. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Câmpus Experimental De Itapeva, 2009.
- Guerra, V.G.; Bettega, R.; Gonçalves, J.A.S.; Coury, J.R. Pressure Drop and Liquid Distribution in a Venturi Scrubber: Experimental Data and CFD Simulation, Industrial and Engineering Chemistry Research, v.51, p 8049-8060, 2012.
- R. B. DAMIAN, Acoplamento de Balanço Populacional à Simulação Computacional de Escoamentos Multifásicos Polidispersos. Dissertação submetida ao corpo docente da coordenação dos programas de pós-graduação de engenharia da universidade federal do rio de



janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em ciências em engenharia química, 2007.

V. G. GUERRA, A. E. ACHILES, R. BETTEGA; Influence of Droplet Size Distribution on Liquid Dispersion in a Venturi Scrubber: Experimental Measurements and CFD Simulation. Department of Chemical Engineering, Federal University of Sao Carlos, 2017.

Viswanathan, S. Modeling of Venturi scrubber performance. Industrial and Engineering Chemistry Research, v.36, n.10, p.4308-4317, 1997.

V. K. HONDA, R. BÉTTEGA, V. G. GUERRA; Avaliação da Hidrodinâmica de um Lavador Venturi: Dados Experimentais e Simulação Numérica. XXXVII ENEMP, 2015.

V. QUEDEVILLE, H. OUZAITE, B. POLIZZI , R.O. FOX, P. VILLEDIEU, P. FEDE , F.LÉTISSE, J. MORCHAIN; A two-dimensional population balance model for cell growth including multiple uptake systems. Chemical Engineering Research and Design, 2018.