

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

FRAÇÃO DE FILME LÍQUIDO NAS PAREDES DE UM LAVADOR
VENTURI

Maristela de Almeida Felício Daher

São Carlos – SP

2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

FRAÇÃO DE FILME LÍQUIDO NAS PAREDES DE UM LAVADOR
VENTURI

Maristela de Almeida Felício Daher

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos.

Orientador: José Renato Coury

São Carlos – SP

2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

D129ff

Daher, Maristela de Almeida Felício.

Formação de filme líquido nas paredes de um lavador venturi / Maristela de Almeida Felício Daher. -- São Carlos : UFSCar, 2008.

122 f.

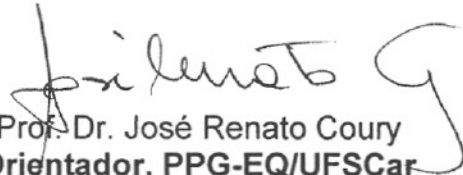
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2008.

1. Ar - poluição. 2. Lavador Venturi. 3. Coletas de partículas. 4. Limpeza de gases industriais. 5. Filme líquido. I. Título.


CDD: 628.53 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE **MARISTELA DE ALMEIDA FELÍCIO DAHER** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 10 DE JULHO DE 2008.

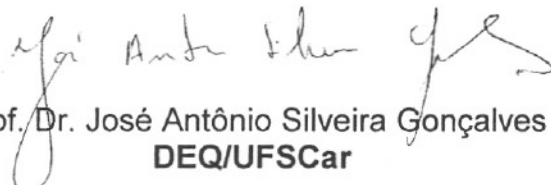
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. José Renato Coury
Orientador, PPG-EQ/UFSCar



Prof. Dr. Reinaldo Pisani Junior
UNAERP



Prof. Dr. José Antônio Silveira Gonçalves
DEQ/UFSCar

AGRADECIMENTOS

Confesso que levei algum tempo para escrever os agradecimentos dessa dissertação. Trabalho difícil este de descrever sentimentos em palavras. Não tem uma equação, tabela ou gráfico para ajudar...

Assim começo a encarar essa tarefa com o agradecimento a minha família.

Aos meus pais **Kamal e Márcia Maria**, por tudo! Aos meus irmãos, **Gulo, Marquim e Tetê**, que sempre me apoiaram em tudo e que são e sempre serão os meus melhores amigos. Agradeço pela paciência, compreensão, carinho mesmo nos momentos de “stress” maior (que não foram poucos) e apoio constante nesta jornada da vida. A todos vocês meu muito obrigada!

Meu reconhecimento e gratidão ao orientador **prof. Dr. José Renato Coury**, que sempre demonstrou acreditar no meu potencial, pela oportunidade oferecida, pela orientação e principalmente pelo bom convívio nestes anos de trabalho. Com ele tive a oportunidade de enriquecer meu conhecimento, com suas argumentações científicas e sugestões nos meus relatórios, artigos, entre outros.

Aos membros da banca de qualificação: prof. Dr. José Antônio e prof. Dr. Marcos Vinícius Rodrigues e aos membros da banca: novamente ao prof. Dr. José Antônio e prof. Dr. Reinaldo Pisani Junior, por terem aceitado a participar da avaliação deste trabalho. Em especial ao Sr. Pisani que foi meu professor e me acompanhou desde minha graduação.

Aos colegas do laboratório: Vádila, Néstor, Simone, Marina e Edinalda, pela alegre convivência e sugestões.

Um agradecimento especial deve ser feito à Vádila Giovana Guerra, que me auxiliou do começo ao fim neste trabalho

Agradeço também ao Oscar, pela sua disposição, criatividade e habilidade na fabricação e/ou conserto de algumas peças experimentais.

A FAPESP pelo auxílio financeiro.

Por fim fica o agradecimento a quem utilizar essa dissertação de qualquer forma, pois é isso que faz todo esse trabalho valer à pena.

E finalmente à Deus por sempre me iluminar e me guiar...

RESUMO

O estudo do filme líquido nas paredes de um lavador Venturi foi selecionado como alvo deste trabalho por representar um dos importantes fenômenos que influenciam a sua eficiência de coleta. Tal eficiência diminui pela presença do filme uma vez que este tem uma área superficial por volume muito menor do que as gotas e, com isso, contribui muito pouco na remoção de partículas. Além disso, perda de carga no Venturi depende da energia gasta para acelerar as gotas e também do atrito entre o gás e a superfície do filme. Esses dois importantes parâmetros dependem da fração de líquido na forma de filme. Por estes motivos é importante para o projeto de lavadores Venturi a quantificação da fração de filme. O presente trabalho realizou, portanto, uma investigação experimental dos efeitos que a injeção de líquido em múltiplos jatos exerce sobre a formação do filme líquido num lavador Venturi de seção retangular. Analisou-se o comportamento da fração de filme líquido em cada parede separadamente e da fração de filme líquido total extraído do lavador, variando a vazão do líquido entre 0,3 e 1,2 l/min para velocidade do gás de 59, 64, 69 e 74 m/s. Comprimentos da garganta de 100, 160 e 220 mm foram utilizados. Os resultados mostraram que a fração de filme varia com a velocidade do gás, com a configuração da injeção de líquido e com as vazões de líquido. A análise da extração de filme nas paredes individualmente segue um comportamento desigual diante de cada condição operacional, mostrando uma maior deposição de filme na parede inferior independentemente da configuração de injeção do líquido, indicando o efeito da gravidade na deposição de filme. Desse modo, a fração de líquido total extraída nas quatro paredes do lavador possibilitou uma interpretação mais satisfatória dos resultados. Nas condições operacionais investigadas neste trabalho, a configuração de injeção de líquido feita pelos quatro orifícios e a velocidade do gás de 74 m/s para as maiores vazões do líquido foram as que apresentaram a menor deposição de filme líquido nas paredes do lavador. Ficou também evidente que a deposição é dependente da penetração do jato: baixas penetrações tendem a depositar na própria parede de injeção enquanto altas penetrações depositam na parede oposta. Existe, portanto um ponto de mínima deposição, de penetração intermediária do jato. A melhor condição de operação, isto é, a menor fração de filme depositada nas paredes, foi obtida para a maior velocidade do gás e para a injeção de líquido feita pelas quatro paredes simultaneamente.

ABSTRACT

The study of the liquid film in the walls of a Venturi scrubber was chosen as the target of this work for representing one of the important phenomena that influence the collection efficiency of the equipment. Such efficiency decreases with the presence of the film once it has a superficial area per volume much smaller than the drops and, consequently, contributes very little in the removal of particles. Furthermore, the pressure drop on the Venturi depends on the energy spent to accelerate the drops and also of the attrition between the gas and the surface of the film. These two important parameters depend on the liquid fraction in the form of film. For these reasons, it is important for the project of Venturi scrubbers the quantification of the film fraction. The present work, therefore, carried out an experimental investigation of the effects that the liquid injection through multiple jets exerted in the formation of the liquid film in a Venturi scrubber of rectangular cross section. The behavior of the fraction of liquid film in each wall separately and of the total fraction of liquid film extracted were analyzed, varying the liquid flow rate from 0,3 to 1,2 l/min for gas velocities of 59, 64, 69 and 74 m/s. Throat lengths of 100, 160 and 220 mm were utilized. The results showed that the film fraction varies with the gas velocity, with the configuration of the liquid injection, with the liquid flow rate and with the axial distances along the throat. The analysis of the film extraction in the individual walls follows an asymmetric behavior in all operational conditions, showing a larger film deposition in the inferior wall independently of the injection configuration, thus indicating the effect of the gravity in the film deposition. Hence, the total fraction of liquid extracted from the four walls of the scrubber made possible a more satisfactory interpretation of the results. Within the experimental range investigated, the injection through four orifices at the gas velocity of 74 m/s at the higher liquid flow rates presented the smaller deposition of liquid in the scrubber walls. It was also evident that the deposition is dependent on the penetration of the jet: low penetrations tend to deposit in the jet injection wall while high penetrations deposit in the opposite wall. There is, therefore, a point of minimum deposition for the intermediate penetration of the jet. The best operational conditions, i.e. the smallest film fraction deposited in the walls, was obtained for the largest gas velocity and for the liquid being injected simultaneously through the four walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 -	Parâmetros de operação para alguns tipos de lavadores de gás.....	5
Figura 3.2 -	Lavador de bandejas (CALVERT, 1984).....	6
Figura 3.3 -	Lavador Venturi com spray pré-formado por bocais pneumáticos.....	6
Figura 3.4 -	Esquema dos processos que acontecem num lavador tipo Venturi (spray nebulizado pelo gás).....	7
Figura 3.5 -	Lavador Venturi típico.....	8
Figura 3.6 -	Corte da seção do Venturi para visualização do principal mecanismo de coleta.....	9
Figura 3.7 -	Ilustração do mecanismo de impactação inercial.....	10
Figura 4.1 -	Esquema do lavador Venturi. a) vista de cima; b) vista lateral.....	18
Figura 4.2 -	Vista geral do lavador Venturi.....	19
Figura 4.3 -	Diferentes tamanhos da garganta.....	19
Figura 4.4 -	Injeção na forma de jatos.....	20
Figura 4.5 -	Seção de teste contendo fendas para a remoção do filme líquido.....	21
Figura 4.6 -	Extração de filme pelo método da fenda.....	22
Figura 4.7 -	Vista geral do estrangulador.....	23
Figura 4.8 -	Diferentes configurações utilizadas para injeção de líquido.....	24
Figura 4.9 -	Circuito utilizado por COSTA (2002) para extrair o filme líquido do lavador Venturi de seção retangular.....	28
Figura 5.1 -	Numeração das paredes do lavador Venturi.....	30
Figura 5.2 -	Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	31
Figura 5.3 -	Imagem do jato para injeção de líquido feita por 1 orifício (orifício 1), $Q = 0,6$ l/min e $V = 59$ m/s.....	32

Figura 5.4 - Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	32
Figura 5.5 - Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	33
Figura 5.6 - Imagem do jato para injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.....	33
Figura 5.7 - Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	34
Figura 5.8 - Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	35
Figura 5.9 - Imagem do jato para injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	35
Figura 5.10 - Injeção de líquido feita por 1 orifício com $V = 64$ m/s, $Q = 0,6$ l/min e $Z = 100$ mm.....	36
Figura 5.11 - Injeção de líquido feita por 1 orifício com $V = 64$ m/s, $Q = 0,6$ l/min e $Z = 100$ mm.....	36
Figura 5.12 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 64$ m/s, $Q = 0,8$ l/min e $Z = 100$ mm.....	37
Figura 5.13 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 64$ m/s, $Q = 0,8$ l/min e $Z = 100$ mm.....	37
Figura 5.14 - Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V=59$ m/s e $Z= 100$ mm.....	38
Figura 5.15 - Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V=64$ m/s e $Z= 100$ mm.....	39
Figura 5.16 - Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V=69$ m/s e $Z= 100$ mm.....	40
Figura 5.17 - Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V=74$ m/s e $Z= 100$ mm.....	41

Figura 5.18 - Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato para a velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	42
Figura 5.19 - Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	44
Figura 5.20 - Fração de filme total em função de L/G para todas as velocidades e injeção de líquido feita por 4 orifícios e comprimento da garganta de 100 mm.....	44
Figura 5.21 - Fração de filme total em função do comprimento da garganta para injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade de 74 m/s.....	45
Figura 5.22 - Desempenho do modelo de GONÇALVES (2000).....	46
Figura 5.23 - Altura (H) e largura (L) do lavador.....	47
Figura 5.24 - Desempenho da correlação proposta na Equação (5.2).....	48
Figura B1 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm...	98
Figura B2 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 59 m/s e $Z=100$ mm.....	98
Figura B3 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	98
Figura B4 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	99
Figura B5 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.....	99
Figura B6 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm....	99
Figura B7 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.....	100

Figura B8 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.....	100
Figura B9 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.....	100
Figura B10 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.....	101
Figura B11 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm.....	101
Figura B12 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm.....	101
Figura B13 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm.....	102
Figura B14 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm.....	102
Figura B15 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm.....	102
Figura B16 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm.....	103
Figura B17 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm.....	103
Figura B18 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm.....	103

Figura B19 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm.....	104
Figura B20 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm.....	104
Figura B21 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 160$ mm.....	104
Figura B22 - Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 220$ mm.....	105
Figura D1 - Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato para a velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	111
Figura D2 - Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato para a velocidade do gás de 64 m/s e comprimento da garganta e 100 mm.....	111
Figura D3 - Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato para a velocidade do gás de 69 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	112
Figura D4 - Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato para a velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	112
Figura E1 - Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	114
Figura E2 - Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 64 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	114
Figura E3 - Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 69 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	115
Figura E4 - Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	115

Figura F1 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min.....	117
Figura F2 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,4$ l/min.....	117
Figura F3 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,5$ l/min.....	117
Figura F4 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	117
Figura F5 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 300$ l/min.....	118
Figura F6 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,4$ l/min.....	118
Figura F7 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,5$ l/min.....	118
Figura F8 - Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	118
Figura F9 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min.....	119
Figura F10 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	119
Figura F11 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,9$ l/min.....	119
Figura F12 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.....	119
Figura F13 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,3$ l/min.....	120
Figura F14 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	120
Figura F15 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,9$ l/min.....	120
Figura F16 - Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.....	120

Figura F17 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min.....	121
Figura F18 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	121
Figura F19 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,9$ l/min.....	121
Figura F20 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.....	121
Figura F21 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,3$ l/min.....	122
Figura F22 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.....	122
Figura F23 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,9$ l/min.....	122
Figura F24 - Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 -	Tamanho mínimo de partículas para vários tipos de lavadores.....	3
Tabela 4.1 -	Dimensões da geometria do lavador Venturi.....	20
Tabela 4.2 -	Velocidades de ar utilizadas.....	25
Tabela 4.3 -	Valores da razão L/G para as vazões líquidas utilizadas e para as diferentes velocidades.....	26
Tabela A1 -	Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	55
Tabela A2 -	Resultados das medições e da média feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita pelos 4 orifícios, $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm.....	57
Tabela A3 -	Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.	59
Tabela A4 -	Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	61
Tabela A5 -	Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.....	63
Tabela A6 -	Resultados das 3 medições feitas e das medias para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	65
Tabela A7 -	Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	66
Tabela A8 -	Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	68

Tabela A9 -	Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	70
Tabela A10 -	Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	72
Tabela A11 -	Resultados das 3 medições feitas e da média para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	74
Tabela A12 -	Resultados das 3 medições feitas e das medias para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	76
Tabela A13 -	Resultados das 3 medições e das medias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	78
Tabela A14 -	Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	80
Tabela A15 -	Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	82
Tabela A16 -	- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	84
Tabela A17 -	Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	85
Tabela A18 -	Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	87
Tabela A19 -	Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	89

Tabela A20 - Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	91
Tabela A21 - Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 160$ mm.....	93
Tabela A22 - Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 220$ mm.....	95
Tabela C1 - Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 59$ m/s.....	107
Tabela C2 - Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 64$ m/s.....	108
Tabela C3 - Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 69$ m/s.....	108
Tabela C4 - Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 74$ m/s.....	109

NOMENCLATURA

A_{th} área da garganta (m^2)

C_d é a concentração mássica de gotas (kg/m^3)

C_e concentração homogênea de equilíbrio hidrodinâmico (

D_d diâmetro das gotas (μm)

D_0 diâmetro do orifício de injeção de líquido (mm)

$D_{eq,th}$ diâmetro equivalente da garganta (m)

Deq : diâmetro equivalente da tubulação (m)

$deqor$: distância equivalente ao número e posição dos orifícios que estão sendo usados na injeção de líquido

D_v diâmetro local do lavador Venturi (m)

E_d difusividade da gota

E_{nt} taxa de desprendimento de gotas por superfície de parede ($kg/s.m^2$)

F_f fração de filme (adimensional)

H altura da garganta do lavador.

K coeficiente de transferência de massa determinado experimentalmente,

L , largura da garganta do lavador.

L/G razão entre as vazões volumétricas de líquido e gás. (l/m^3)

L_f vazão volumétrica do filme

$lmáx$: penetração máxima do jato em m

M massa em g do líquido coletado das paredes do lavador

m : número de orifícios ativos verticais

MW_g peso molecular do gás

n : número de orifícios ativos horizontais

N_0 : número de orifícios usados na injeção de líquido. (1, 2, 3 e 4)

$Ql(l/min)$ vazão de líquido utilizada na a injeção de líquido,

Qv vazão volumétrica do gás

Q_g vazão do gás,

R_0 metade da distância entre a parede pela qual o líquido está sendo injetado e a parede oposta

R_c : representa o recipiente de coleta do líquido cheio.

Re_g : Reynolds da garganta do lavador ($=\rho v D_{eq} / \mu$)

R_v : representa o recipiente de coleta do líquido vazio.

r distância radial (m).

V_g velocidade do gás na garganta.

v : velocidade do gás (m/s)

w_f vazão mássica do filme líquido (kg/s)

μ : viscosidade do gás (Ns/m²)

ρ_l densidade do líquido

ρ_g densidade do gás

ρ : massa específica do gás (Kg/m³)

SUMÁRIO

Resumo	II
Abstract	III
Lista de Figuras	IV
Lista de Tabelas	XI
Nomenclatura	XV
1 – Introdução	1
2 – Objetivos	2
2.1 – Objetivo Geral.....	2
2.2 – Objetivos Específicos.....	2
3 – Lavadores de Gases	3
3.1 – Tipos de Lavadores.....	3
3.2 – Parâmetros de Operação e Eficiência.....	4
3.3 – Lavador Venturi.....	7
3.4 – Vantagens e Desvantagens dos Lavadores Venturi.....	110
3.5 – Modelos para Deposição em Filmes Líquidos.....	12
3.5.1 - O modelo de AZZOPARDI e colaboradores.....	13
3.5.2 - O modelo de FATHIKALAJAHI e colaboradores (1995).....	14
3.5.3 - O modelo de VISWANATHAN e colaboradores (1997).....	15
3.5.4 - O modelo de GONÇALVES (2000).....	16
3.6 – Estudos Realizados por COSTA (2002).....	17
4 – Materiais e Métodos	18
4.1 – O lavador Venturi utilizado neste trabalho.....	18
4.2 – A seção de extração de filme das paredes.....	21

4.3 – Configurações de injeção de líquido.....	23
4.4 – Imagens do jato.....	23
4.5 – Variáveis e faixas.....	25
4.6 – Testes preliminares.....	27
4.6.1 – Metodologia utilizada por COSTA (2002).....	27
4.6.2 - Metodologia utilizada por GONÇALVES (2000).....	28
5 – Resultados e Discussões.....	30
5.1 – Fração de filme líquido em função da vazão de líquido para: $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm.....	30
5.2 – Ação da gravidade sobre o filme líquido.....	35
5.3 – Fração de filme total extraída das 4 paredes em função da vazão de líquido.....	38
5.3.1 – Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da vazão de líquido para : $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm	38
5.3.2 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da vazão de líquido para: $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.....	39
5.3.3 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da vazão de líquido para: $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.....	39
5.3.4 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da vazão de líquido para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	40
5.4 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da penetração do jato para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	41
5.5 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da razão L/G para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.....	43
5.6 – Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função da razão L/G com injeção de líquido feita pelos quatro orifícios e $V = 59$ m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s com $Z = 100$ mm.....	43

5.7 - Fração de filme total extraída das quatro paredes do lavador em função do comprimento da garganta com injeção de líquido feita pelos 4 orifícios e $V = 74$ m/s....	45
5.8 – Desempenho da F_{ftotal} x modelo proposto por GONÇALVES (2000).....	45
5.9 – Desempenho da F_{ftotal} x F_f estimada.....	46
6 – Conclusões.....	49
7 – Sugestões para Continuidade.....	50
Referências Bibliográficas.....	51
APÊNDICE A.....	54
APÊNDICE B.....	97
APÊNDICE C.....	106
APÊNDICE D.....	110
APÊNDICE E.....	113
APÊNDICE F.....	116

1 Introdução

A poluição do ar tem mostrado ser um fator causador de doenças crônicas do aparelho respiratório, em vários graus de gravidade que vão desde pequenas alergias até severas lesões pulmonares. Existe uma faixa de tamanho de partícula danosa ao sistema respiratório por seu alto poder de penetração em vias aéreas intrapulmonares, conhecida como poeira respirável, compreendendo de 0,5 μm a 5 μm .

Nos últimos anos a legislação ambiental 382/2006 vem se tornando mais rígida com o objetivo de minimizar a emissão de poluentes atmosféricos. Assim, os lavadores venturi surgem como alternativa de equipamentos com alta eficiência de separação numa ampla faixa granulométrica apresentando poucas restrições e habilidade tanto no controle de pó quanto de aerossóis. A poluição causada por aerossóis exige apenas a separação física entre partículas e gás. Apesar disso esse material pode causar inúmeros danos quando inalados pelo sistema respiratório humano. A lavagem das partículas suspensas no ar utilizando água é um dos métodos mais antigos de controle de poluição do ar, devido à simplicidade de lavagem e alta eficiência de coleta das partículas, este método vem sendo utilizado pelas indústrias para o controle da poluição atmosférica.

Os estudos com lavadores Venturi vêm sendo realizados pela Universidade Federal de São Carlos-UFSscar-São Carlos/SP, desde 1998, abrangendo vários tópicos como:

- Evolução do tamanho das gotas;
- Distribuição de concentração de gotas;
- Eficiência e queda de pressão;
- Fração de líquido na forma de filme;
- Trajetória de um jato transversal;

Lavadores Venturi são equipamentos utilizados para controle da poluição do ar, equipamentos absorvedores, no qual os gases passam em alta velocidade através de um tubo venturi em cujo gargalo se adiciona água em baixa pressão, esta água é atomizada em pequenas gotas coletoras. Durante seu funcionamento o gás em alta velocidade é atomizado em pequenas gotas que são as coletoras do material particulado presente na corrente gasosa, durante o seu movimento, uma fração das gotas atinge as paredes do equipamento, depositando-se e formando um filme. O líquido na forma de filme não contribui para a remoção de contaminantes, afetando assim a eficiência do equipamento.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho foi realizar um estudo sobre o fenômeno de deposição de filme líquido nas paredes de um lavador Venturi em função do número e posição de orifícios de injeção e de diferentes condições de vazão do líquido e do gás.

2.2 Objetivos Específicos

- Obtenção de uma correlação para prever a fração de líquido em função das condições operacionais.
- Analisar a deposição do filme líquido para cada parede individualmente e para o total das paredes do lavador, ou seja, soma das quatro paredes.
- Analisar a melhor configuração para a injeção de líquido e a melhor velocidade do gás utilizada para obter a menor deposição de filme líquido nas paredes diante das condições operacionais utilizadas.

Vazão do líquido: 0,3 a 1,2 l/min

Velocidade do gás: 59, 64, 69 e 74 m/s

Comprimento da garganta: 100, 160 e 220 mm

Configurações para injeção de líquido: 1 orifício superior, 2 orifícios verticais, 2 orifícios horizontais, 3 orifícios e 4 orifícios.

3 Lavadores de Gases

O objetivo deste capítulo é fazer uma apresentação dos lavadores de gases e de alguns estudos para a deposição de filme líquido, sendo dividido em 6 subítens (3.1 a 3.6).

3.1 Tipos de Lavadores

Os lavadores de gases são equipamentos que utilizam líquido com a finalidade de limpar gases. Esses equipamentos podem ser utilizados na remoção de contaminantes sólidos ou gasosos da corrente de efluentes gasosos, com as aplicações industriais incluindo o uso em efluentes de caldeiras, fornos de cal, incineradores de resíduo urbano e equipamentos de controle de odor, entre outros.

Os lavadores podem controlar simultaneamente os poluentes particulados e gasosos e podem apresentar diversas formas e configurações. Nos lavadores, os poluentes gasosos são absorvidos ou incorporados pelo líquido. Então o líquido e as partículas podem ser removidos da corrente de gás. A escolha do tipo de lavador é, todavia ditada pela restrição de espaço, utilização de certos tipos de poeira, diâmetro da partícula a ser coletada, equipamentos (bombas, dutos, etc.) e os aspectos da combinação poeira/lavador. A Tabela 2.1 apresenta alguns tipos de lavadores com respectiva faixa de queda de pressão operacional. Também é indicado o tamanho mínimo da partícula que pode ser coletada com eficiência de 90%.

Tabela 3.1-Tamanho mínimo de partículas para vários tipos de lavadores.

Tipos de lavadores	Queda de pressão (Kpa)	Tamanho mínimo da partícula (µm)
Torres de spray	0,12-0,38	10
Lavadores ciclônicos	0,5-0,25	2-10
Lavadores de orifício	1,2-25	1,0
Lavadores Venturi	1,2-25	0,8
Lavadores de leito fibroso	1,2-28	0,5

Fonte: FAYED, M. e OTTEN, L. (1984).

O lavador Venturi é um dos mais eficientes na remoção de partículas de diâmetro na faixa respirável (0,5 a 5,0 μ m).

3.2 Parâmetros de Operação e Eficiência

O lavador de gás ou *scrubber* é um dispositivo no qual se realiza a separação de um conjunto de particulados, ou de um contaminante gasoso de um gás, mediante a lavagem do mesmo com água, que na maioria dos casos é nebulizada para formar pequenas gotas. Segundo THEODORE & BUONICORE (1988) os lavadores de gás podem classificar-se em três grandes grupos:

- Torres de nebulização
 - Instalações de leito empacotado;
 - Lavadores Venturi.
- CALVERT (1984) propõe uma classificação mais detalhada:
- Lavadores de bandejas;
 - Lavadores com empacotamento maciço;
 - Lavadores com empacotamento fibroso;
 - Sprays pré-formados;
 - Sprays nebulizados por gás;
 - Lavadores centrífugos;
 - Lavadores de chicanas e fluxo secundário;
 - Lavadores de impacto;
 - Lavadores acionados mecanicamente;
 - Lavadores de leito em movimento.

A Figura 3.1 apresenta os parâmetros principais de alguns tipos de lavadores de gás. Nessa figura, o parâmetro L/G é a relação entre o fluxo de água utilizado para a limpeza do gás e o fluxo de ar que está sendo limpo, geralmente se expressa em l/m³. É o parâmetro mais importante do lavador de gás, conjuntamente com a queda de pressão no equipamento. Na prática industrial os tipos de lavadores mais utilizados são os lavadores de bandejas e as diferentes variantes existentes de lavadores tipo Venturi (sprays pré-formados e nebulizados por gás). Estes equipamentos serão mais detalhados a seguir.

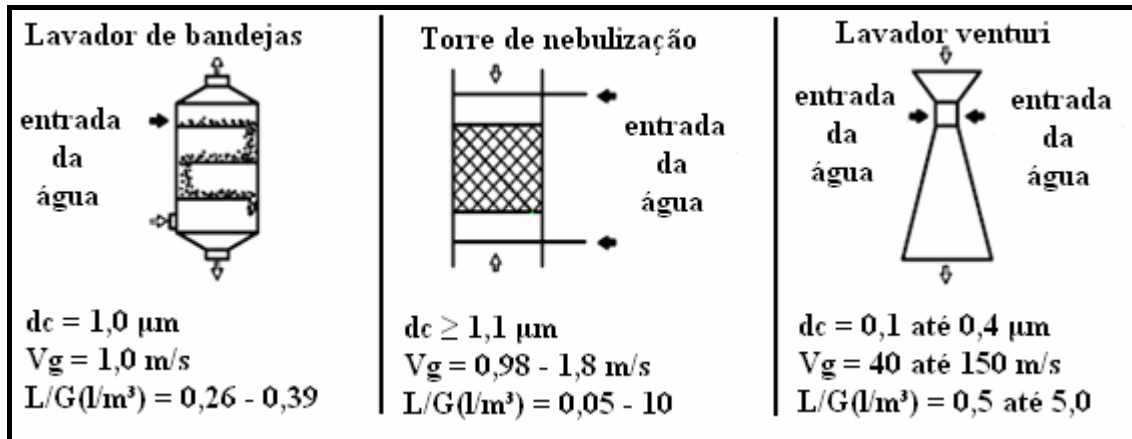
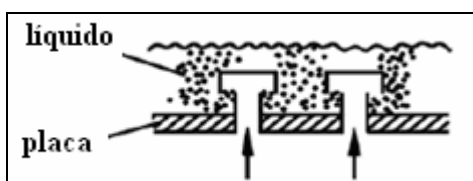
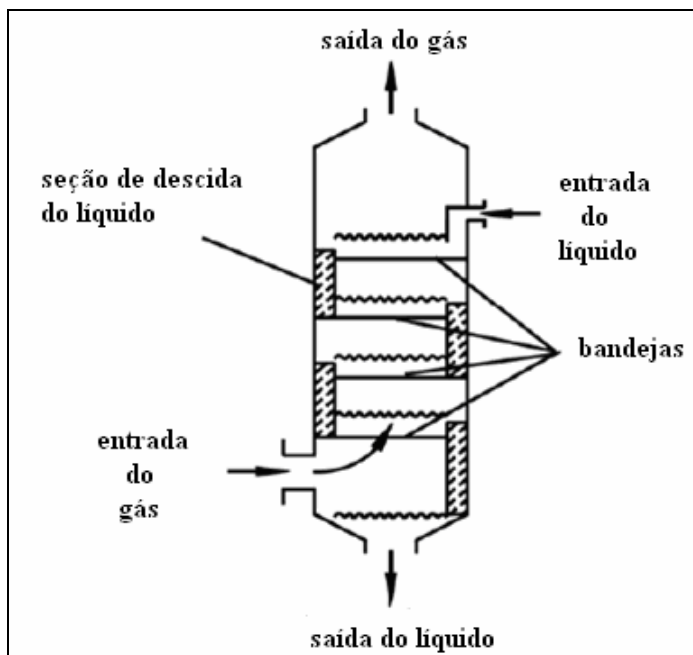
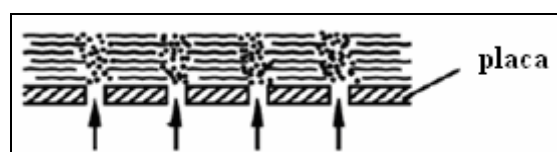


Figura 3.1-Parâmetros de operação para alguns tipos de lavadores de gás
(www.nest.unifei.edu.br).

- Lavadores de bandejas:** São construídos na forma de torre vertical com uma ou mais bandejas perfuradas em seu interior (Figura 3.2). A lavagem do gás acontece durante o contato do mesmo com as gotas de água no volume do lavador e durante o borbulhamento na camada de água que cobre as bandejas. A eficiência de separação aumenta com a diminuição do diâmetro dos orifícios das bandejas. Para orifícios de 3,2 mm o diâmetro de corte é de $d_{pc} = 1,0 \mu\text{m}$ (CALVERT, 1984);
- Venturi com sprays pré-formados:** Neste tipo de lavador de gás o líquido entra na garganta do Venturi já atomizado por um sistema de bocais (Figura 3.3). A eficiência de separação de particulados é função do tamanho e trajetória das gotas, da velocidade do gás e da relação líquido/gás. O diâmetro das gotas de água é de 100-500 μm , o diâmetro de corte $d_{pc} = 0,7-2,0 \mu\text{m}$, e a relação líquido/gás 4-13 l/m^3 (CALVERT, 1984);
- Venturi com sprays atomizados por gás:** É o mais comum dos lavadores tipo Venturi. A nebulização do líquido é causada pelo próprio gás, que alcança uma velocidade na garganta do Venturi de 60-120 m/s (Figura 3.4). O diâmetro de corte nestes equipamentos é $d_{pc} = 0,1-0,4 \mu\text{m}$.



(a)



(b)

(a) Bandeja com bubblecaps

(b) Bandeja perfurada.

Figura 3.2-Lavador de bandejas (CALVERT, 1984).

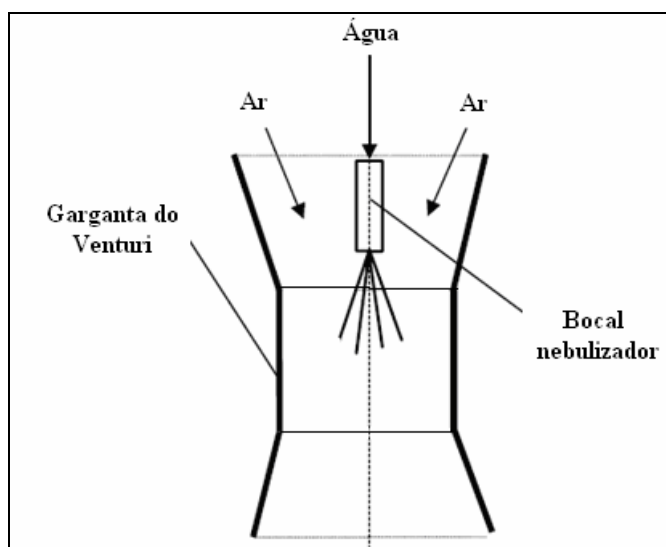


Figura 3.3-Lavador Venturi com spray pré-formado por bocais pneumáticos

(www.nest.unifei.edu.br).

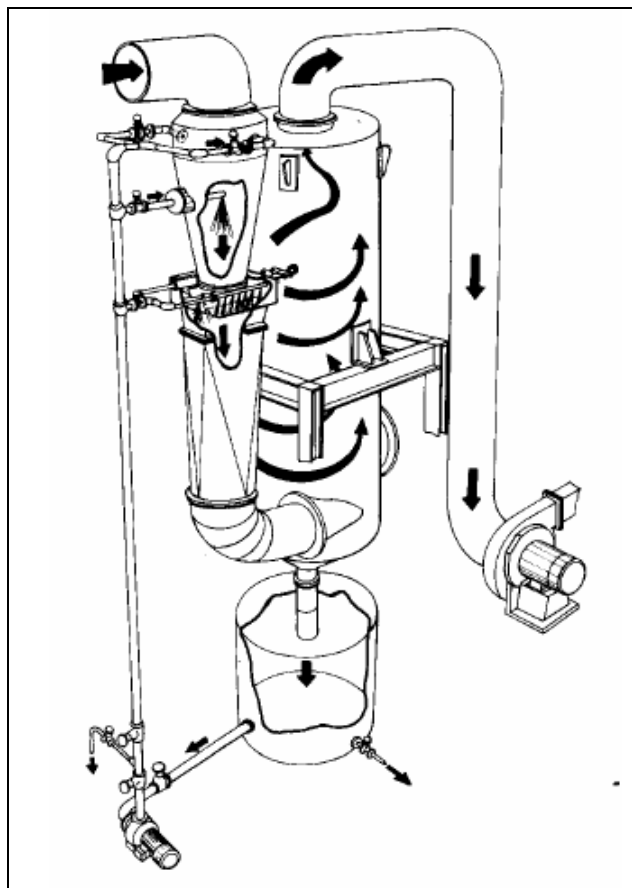


Figura 3.4-Esquema dos processos que acontecem num lavador tipo Venturi (spray nebulizado pelo gás) (www.nest.unifei.edu.br).

3.3 Lavador Venturi

Lavadores Venturi são equipamentos utilizados primordialmente para limpar gases. O desenvolvimento do lavador Venturi resultou da necessidade de separar, por um custo moderado, partículas extremamente finas presentes nos gases de exaustão industrial.

A configuração típica de um lavador Venturi é apresentada na Figura 3.5. Consiste basicamente em um tubo de seção transversal circular ou retangular, com uma constrição do tipo Venturi, apresentando 3 partes distintas: a seção convergente, a garganta e a seção divergente ou difusor.

Um gás é chamado de sujo quando contém algum contaminante, ou seja, algum elemento indesejável que se deseja remover. Os contaminantes podem ser de natureza particulada (sólidos ou líquidos, formando com o gás um aerossol) ou gasosa.

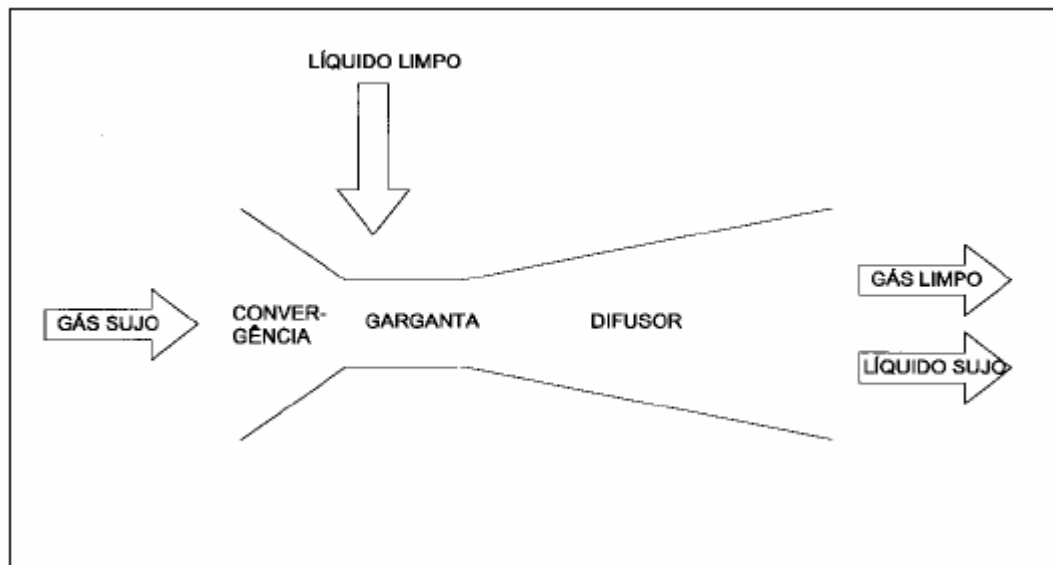


Figura 3.5-Lavador Venturi típico.

O funcionamento do equipamento consiste na entrada do gás sujo pela seção convergente, o qual é acelerado devido ao estreitamento do duto e atinge sua velocidade máxima na garganta, sofrendo desaceleração na seção divergente. Os lavadores Venturi operam com velocidades na garganta tipicamente entre 45 e 80 m/s, embora valores mínimos entre 14 m/s (ROBERTS E HILL, 1981) e máximos entre 201 m/s (JOHNSTONE *et al.* 1954) tenha sido relatados. Um líquido de lavagem é injetado no equipamento. Normalmente utiliza-se água, mas dependendo da natureza e afinidade dos contaminantes pode ser recomendável o uso de óleos ou soluções básicas.

Segundo GONÇALVES (2000), existem várias maneiras diferentes de injetar líquido; a mais comum é através de orifícios feitos nas paredes do equipamento, usualmente na garganta, ou em tubos colocados no interior do equipamento. Ao passar pelos orifícios, o líquido assume a forma de jatos. O líquido é rapidamente atomizado (fragmentando ou desintegrando), por causa da alta velocidade do gás. Na garganta do lavador ocorre colisão entre o gás em alta velocidade e o líquido, sendo este último atomizado em um grande número de pequenas gotas, as quais atuam como coletores de partículas (vide Figura 3.6).

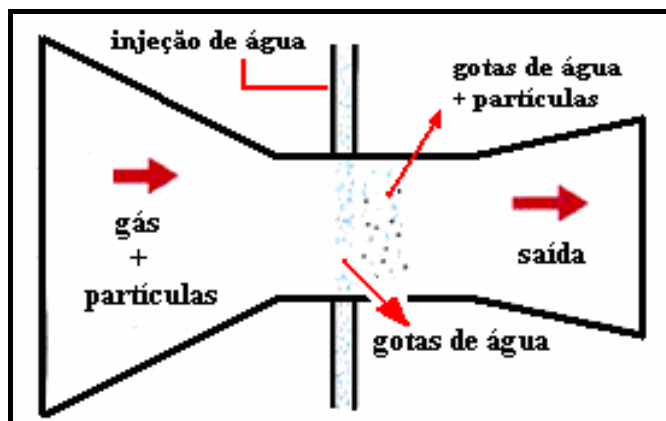


Figura 3.6-Corte da seção do Venturi para visualização do principal mecanismo de coleta
(www.revistameiofiltrante.com.br).

O escoamento no interior dos lavadores Venturi é turbulento, o que torna mais fácil a mistura e o contato entre as fases. As gotas, que logo após a sua formação podem estar concentradas em certas regiões no interior do equipamento, se espalham, alcançando, após certa distância da injeção, um perfil de concentração aproximadamente uniforme. Durante o seu movimento, uma fração das gotas atinge as paredes do equipamento, depositando-se e formando um filme. O líquido na forma de filme não contribui para a remoção de contaminantes, uma vez que sua área superficial por unidade de volume é muito menor do que a das gotas. A presença do filme também afeta o desempenho do lavador aumentando a perda de carga por atrito em relação a um tubo liso, já que o filme possui ondas em sua superfície que se comportam, do ponto de vista do escoamento do gás, como uma superfície rugosa. As gotas recém-formadas são em média muito maiores do que as partículas. As moléculas do gás, leves e, portanto com menor quantidade de movimento, desviam-se com facilidade das gotas em seu caminho. As partículas, com maior massa e inércia, não conseguem mudar rapidamente sua trajetória, e acabam por chocar-se com alguma gota. Uma vez aderida à gota, diz-se que a partícula foi coletada. O principal mecanismo de coleta de particulados é conhecido como impactação inercial, mostrado esquematicamente na Figura 3.7.

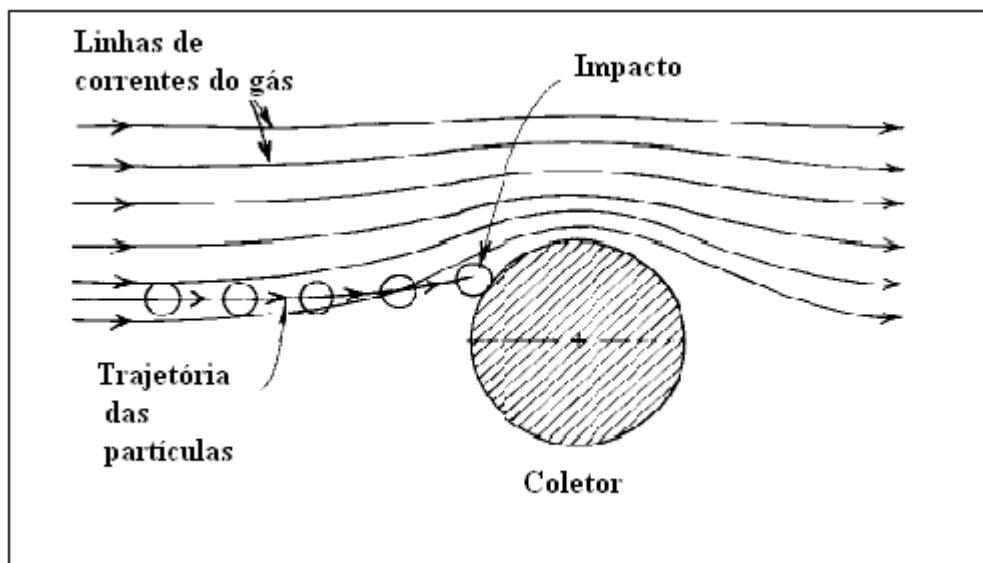


Figura 3.7-Illustração do mecanismo de impactação inercial (GONÇALVES 2000).

Dentre os diversos tipos de lavadores Venturi encontrados no mercado as principais diferenças entre eles dizem respeito ao modo de injeção do líquido na garganta, a forma geométrica da seção transversal, a maneira de conectar o ciclone separador ao lavador Venturi e ao comprimento da garganta.

Os mais comuns formatos de gargantas são retangulares, circulares, ovais e anulares. A largura e comprimento (ou diâmetro no caso da garganta circular) da garganta são muito importantes para alcançar completa cobertura da garganta com o líquido de lavagem.

A forma clássica de lavador Venturi é conhecida como *Pease-Anthony*. No qual o líquido é injetado na forma de jatos, através de orifícios normalmente situados na garganta, formando uma cortina de líquido através da mesma. A alta velocidade do gás atomiza o líquido em finas gotas, as quais capturam as partículas da corrente de gás. O Venturi *Pease-Anthony* pode ser montado horizontalmente ou verticalmente, dependendo do layout da planta. A garganta pode ser circular ou retangular na seção de corte e ele pode ser ajustado para obter alta eficiência de coleta em vazões de gás variadas. A conexão do Venturi com o ciclone pode ser tangencial ou turbinada.

No lavador Venturi tipo parede molhada a injeção do líquido é feita na forma de filme aderido as paredes do equipamento. A garganta pode ser oval, retangular, circular ou na forma anular. Recomenda-se a utilização desse tipo de lavador quando se tem partícula pegajosa ou corrosiva na corrente gasosa e torna-se necessário evitar o depósito das mesmas na parede do equipamento (AZZOPARDI, 1993).

No lavador Venturi do tipo ejetor ou spray pré-formado (Figura 3.3) o líquido já entra no equipamento na forma de spray devido a um bocal especial para atomização, diferentemente dos demais lavadores do tipo Venturi em que o líquido é atomizado devido à ação do gás. O líquido de lavagem entra no ejetor, sobre pressão, através de um orifício localizado no topo e é forçado em alta velocidade através de uma garganta de Venturi. A grande turbulência criada pela alta velocidade do líquido provoca um eficiente contato entre as duas fases. Este tipo de lavador é indicado para capturar gases (CALVERT, 1977b; ATAY *et al.*, 1987).

3.4 Vantagens e Desvantagens dos Lavadores Venturi

Em comparação com lavadores de gases de outros tipos bem como com outros equipamentos de limpeza de gases, o lavador Venturi apresenta vantagens e desvantagens (STRAUSS, 1996; CALVERT *et al.*, 1972a; SCHUMANN, 1974; CALVERT, 1977b; DULLIEN, 1989; HANLY e PETCHONKA, 1993).

Dentre as vantagens, estão:

- Alta eficiência na remoção de partículas na faixa chamada de pó respirável, ou seja, partícula cujos diâmetros estejam entre 0,5 e 5 μm . Para partículas deste tamanho, o lavador pode ser tão ou mais eficiente que qualquer outro equipamento. Para partículas maiores, recomenda-se, em geral, o uso de ciclones, que são capazes de remover tais partículas à menor custo. Para partículas menores, recomenda-se o uso de filtros de manga ou precipitadores eletrostáticos.
- É compacto, ocupando pouco espaço na instalação industrial. Como opera com velocidades de gás elevadas, não é necessário ser volumoso para lidar com uma grande vazão de gás.
- Pode reutilizar a água de lavagem. Lavadores que usam bocais especiais para formar sprays precisam de água clara e limpa, pois a presença de partículas sólidas na água pode causar obstrução nos bocais. Ao contrário, a introdução do líquido nos lavadores Venturi (exceto o tipo ejetor) requer apenas um orifício grande em comparação com as partículas, uma vez que o spray é formado pela ação do gás, e não pelo orifício.

- Pode remover ao mesmo tempo, contaminantes particulados e gasosos, resultando em economia de recursos em certas circunstâncias.
- Pode lidar com pós explosivos, inflamáveis, pegajosos e aderentes. Partículas deste tipo devem ser operadas com cuidado, pois podem danificar equipamentos industriais ou então criar situações de risco à segurança da fábrica. O lavador Venturi por operar com coletores líquidos, pode minimizar tais riscos.

Dentre as desvantagens do lavador Venturi, estão:

- Consome muita energia, contribuindo para um elevado custo operacional. A queda de pressão total no lavador Venturi é, em geral, maior do que nos outros lavadores. Isso significa que são necessários sopradores mais potentes, o que gera maiores gastos com energia.
- Após a transferência do contaminante da fase gasosa para a fase líquida, resta ainda o problema do destino final do efluente de líquido sujo. Este é um problema comum a todos os lavadores de gases. Algumas vezes os efluentes não podem ser descartados sem tratamento. Por exemplo, a limpeza de gases de combustão com lavadores pode gerar um efluente líquido contendo metais pesados e sais com cloretos e sulfitos de cálcio, o que impossibilita seu lançamento direto em rios.
- Visibilidade da pluma do gás tratado. Um problema menos sério do ponto de vista técnico, mas que pode ter importância diante do público leigo, diz respeito ao aumento da umidade de um gás tratado com lavadores. O vapor de líquido presente em um gás saturado, ao sair pela chaminé e encontrar uma atmosfera em geral mais fria, pode condensar, ocasionando uma pluma de fumaça densa e muito visível, de impacto negativo na população.

3.5 Modelos para Deposição em Filmes Líquidos

Qualquer que seja o sistema de injeção, uma parte do líquido em lavador Venturi escoar na forma de um filme aderido as paredes do equipamento. O desempenho do equipamento é afetado pela presença e características deste filme (AZZOPARDI, 1993).

Os modelos aqui apresentados são uma breve revisão dos principais modelos para deposição de filme líquido em lavadores Venturi descritos por GONÇALVES (2000). Um estudo mais detalhado sobre o assunto pode ser visto nos trabalhos realizados por GONÇALVES (2000).

3.5.1 O modelo de AZZOPARDI e colaboradores

AZZOPARDI e GOVAN (1984) e AZZOPARDI *et al.* (1991) foram os primeiros pesquisadores a propor um modelo para o escoamento do filme líquido em lavadores Venturi. Estes autores se basearam na teoria de escoamento anular em tubos de seção transversal constante. A mudança da taxa de escoamento do filme líquido é dada por um balanço de massa entre a taxa de deposição e a taxa de desprendimento de gotas do filme, conforme a Equação (3.1):

$$\frac{dw_f}{dz} = \pi D_v (D_{ep} - E_{nt}) \quad (3.1)$$

onde a w_f é a vazão mássica do filme líquido (kg/s), D_{ep} é a taxa de deposição de gotas por superfície de parede (kg/s.m²), E_{nt} é a taxa de desprendimento de gotas por superfície de parede (kg/s.m²) e D_v é o diâmetro local do lavador Venturi (m).

A taxa de deposição D_{ep} para cada posição axial e a taxa de desprendimento E_{nt} pode ser calculada pelas Equações (3.2) e (3.3) respectivamente:

$$D_{ep} = KC_d \quad (3.2)$$

$$E_{nt} = KC_e + E_{nt}' \quad (3.3)$$

onde K é um coeficiente de transferência de massa determinado experimentalmente, C_d é a concentração das gotas no núcleo do escoamento para uma determinada posição axial, C_e é uma concentração homogênea de equilíbrio hidrodinâmico e E_{nt}' é uma medida do

desprendimento extra que ocorre no início da garganta do Venturi, que dependendo do ângulo da seção convergente pode ser estimada através das correlações propostas por AZZOPARDI e GOVAN (1984) ou FERNÁNDEZ ALONSO *et al.* (1999).

Este modelo foi desenvolvido tendo em vista lavadores Venturi com injeção de líquido na forma de filme. Entretanto, ele se aplica também ao sistema de injeção na forma de jatos. Para tanto, basta considerar que a fração de líquido atomizado no início da garganta (E_{nt}) seja igual a 1. AZZOPARDI (1993) avaliou o desempenho de seu modelo na previsão das frações de filmes com base de dados obtidos em lavadores de diferentes escalas e sistemas de injeção de líquido. Os resultados foram melhores na estimativa da fração do filme na garganta dos lavadores de menor diâmetro, variando dentro da faixa de $\pm 25\%$ para a fração de filme ao final do difusor.

A principal limitação deste modelo é o fato de que o coeficiente de troca de massa, e a concentração de equilíbrio, foram obtidos a partir de estudos feitos por outros autores em escoamento anular em tubos retos, com perfil bem desenvolvido (longe de acidentes). Isto torna problemática a sua aplicação em lavadores Venturi. Sua principal vantagem é a possibilidade de calcular a vazão de filme para cada posição ao longo do lavador Venturi.

3.5.2 O modelo de FATHIKALAJAHI e colaboradores (1995)

TAHERI e SHEIH (1975), em seus estudos com lavadores Venturi de seção transversal retangular, com injeção na forma de jatos, observaram que há uma significativa não uniformidade na distribuição de concentração das gotas nas proximidades do ponto de injeção. Vários autores, então, propuseram a inclusão da não uniformidade na distribuição de concentração das gotas na modelagem para o desempenho dos lavadores Venturi, apresentando modelos tridimensionais, diferentes do modelo de AZZOPARDI *et al.* (1991), no entanto tão complexo quanto. A estimativa da fração de líquido que escoar na forma de filme surge naturalmente como um subproduto desse tipo de análise. A maioria destes modelos considera que as gotas depositadas não se desprendem retornando ao centro do escoamento. FATHIKALAJAHI *et al.* (1995) foram os primeiros autores a introduzir no modelo uma condição de contorno na parede que incluía uma taxa de re-atomização e compara os resultados assim calculados com valores experimentais. De acordo com estes autores, o fluxo de gotas que atinge a parede em uma determinada posição axial pode ser escrito como:

$$F_w = -E_d \left. \frac{\partial C_d}{\partial r} \right|_w \quad (3.4)$$

onde E_d é a difusividade da gota e C_d é a concentração mássica de gotas (kg/m^3) e r é a distância radial (m).

Se R_{ea} é a taxa de re-atomização, então a vazão volumétrica do filme (L_f) pode ser calculada através de uma integral ao longo das paredes do equipamento. No caso de um lavador Venturi de seção transversal retangular a vazão seria calculada pela Equação (3.5):

$$L_f = \frac{\pi}{6} D_d^3 \left[\int_z \int_x \left(-E_d \frac{\partial C_d}{\partial x} - R_{ea} \right) dx dz + \int_z \int_y \left(-E_d \frac{\partial C_d}{\partial y} - R_{ea} \right) dy dz \right] \quad (3.5)$$

onde D_d é o diâmetro das gotas. A derivada da concentração das gotas nas proximidades da parede é obtida através do algoritmo de cálculo de dispersão das gotas e E_d pode ser obtido através das correlações.

Com o modelo tridimensional de FATHIKALAJAHI *et al.* (1995), calcula-se satisfatoriamente a eficiência de um Venturi. No entanto, a sua aplicação no cálculo da fração de filme ainda precisa de mais comprovação experimental.

VISWANATHAN *et al.* (1997), posteriormente apresentam um modelo alternativo com o propósito de quantificar a fração de filme.

3.5.3 O modelo de VISWANATHAN e colaboradores (1997)

Este modelo consiste de um ajuste numérico a um conjunto específico de dados experimentais, obtidos em um lavador Venturi retangular, com injeção de líquidos na forma de jatos. O filme foi extraído através de uma parede porosa, colocada depois do ponto de injeção de líquido. Os autores propuseram a seguinte correlação para o cálculo da fração de filme:

$$F_f = 3,92 \times 10^5 \left[(L/G) (MW_g / \rho_g) (R_0 / D_0) \right]^{-1,7} (V_{g,th})^{-1,29} \quad (3.6)$$

onde F_f é a fração de filme, L/G é a razão entre as vazões volumétricas de líquido e gás, em l/m^3 , MW_g e ρ_g são o peso molecular e a densidade do gás, respectivamente, R_0 é a metade da distância entre a parede pela qual o líquido está sendo injetado e a parede oposta, D_0 é o diâmetro do orifício de injeção de líquido e V_g é a velocidade do gás na garganta.

A principal limitação do modelo de VISWANATHAN é que a correlação não inclui o número de orifícios. GONÇALVES *et al.* (2000) mostraram que, mantendo os demais parâmetros constantes, um diferente número de orifícios produz diferentes penetrações, e, portanto diferentes frações de filme. Além disso, a Equação (3.6) prevê uma fração de filme sempre decrescente com o aumento da razão L/G , enquanto que GONÇALVES *et al.* (2000) demonstraram que isso não corresponde à realidade.

3.5.4 O modelo de GONÇALVES (2000)

Para minimizar as presentes limitações do modelo de VISWANATHAN *et al.* (1997), GONÇALVES *et al.* (2000) sugeriram a utilização da correlação expressa pela Equação (3.7):

$$F_f = 200,5 \left[1,01 \frac{l_{\max}}{D_{eq,th}} - \left(\frac{l_{\max}}{D_{eq,th}} \right)^{1,75} \right]^{-1,66} (\text{Re}_{th})^{-0,80} \quad (3.7)$$

onde, L/G em l/m^3 , $D_{eq,th}$ é o diâmetro equivalente da garganta (m), A_{th} é a área da garganta (m^2) e l_{\max} é a penetração máxima da linha central do jato (m) e está representado na Equação (3.8).

$$l_{\max} = 1,458 \times 10^{-4} \cdot \frac{\rho_l}{\rho_g} \cdot \frac{L}{G} \cdot \frac{A_{th}}{D_0 \cdot N_0} \quad (3.8)$$

Esta equação é adimensional, inclui o número de orifícios através do parâmetro l_{\max} .

No entanto, esta nova correlação também falha na previsão da fração de filme em pontos próximos ao ponto da injeção, e, portanto não pode ser recomendada para esta finalidade. Para pontos distantes da injeção, as estimativas da Equação (3.7) são, no seu conjunto, melhor que as da Eq.(3.6), mas ainda não são totalmente satisfatórias. É difícil imaginar que uma única

correlação experimental possa prever em todos os casos um fenômeno tão complexo como a vazão de filme líquido em um lavador Venturi (GONÇALVES, 2000).

3.6 Estudos realizados por COSTA (2002)

COSTA (2002) realizou estudos experimentais para a determinação da quantidade de líquido que escoar no Venturi retangular na forma de filme com o lavador posicionado horizontalmente e com injeção de líquido feita por um orifício localizado na parede superior do equipamento. Em seus estudos utilizou seções de testes com as mesmas dimensões e geometria da garganta do lavador que possuíam lâminas e fendas para desviar o fluxo de filme, cada parede do equipamento foi amostrada por vez, sendo vedada às demais paredes. Devido à pressão interna de seu equipamento ser aproximadamente igual à atmosférica fez uso de um sistema a vácuo de sucção e coleta. As variáveis de processo foram: vazão do líquido, velocidade do gás, comprimento da garganta.

4 Materiais e Métodos

4.1 O Lavador Venturi Utilizado Neste Trabalho

A Figura 4.1 mostra de forma esquemática o lavador Venturi de seção transversal retangular utilizado nos experimentos realizados na Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, construído em acrílico, com o intuito de observar e filmar o escoamento no interior do equipamento.

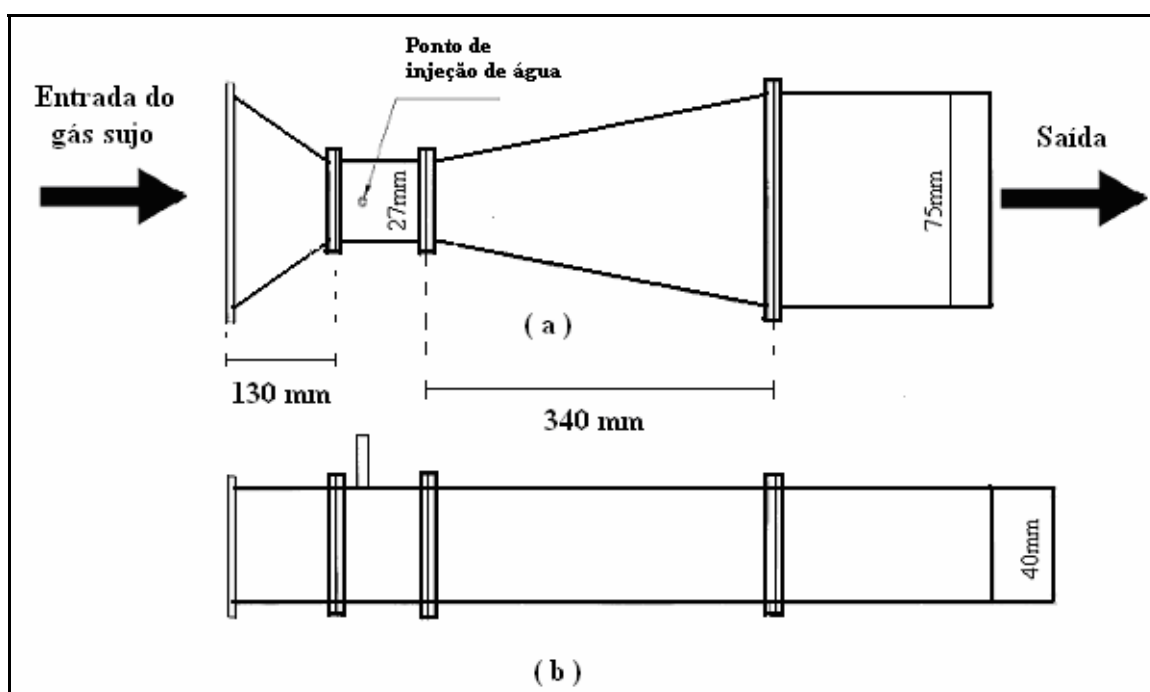


Figura 4.1-Esquema do lavador Venturi. a) vista de cima; b) vista lateral.

O lavador foi construído em módulos, de modo a tornar possível a inserção de outros módulos ou seção de teste. Os módulos eram fixados uns nos outros através de parafusos, anéis de borrachas, flanges e cola. Os módulos para a garganta eram distintos, com comprimentos diferentes possibilitando assim seu uso em diversas combinações, podendo variar o comprimento da garganta que é representado por (Z) em 100 mm, 160 mm e 220 mm, a partir do ponto de injeção de líquido e até o ponto de extração do filme, como mostram as Figuras 4.2.e 4.3.

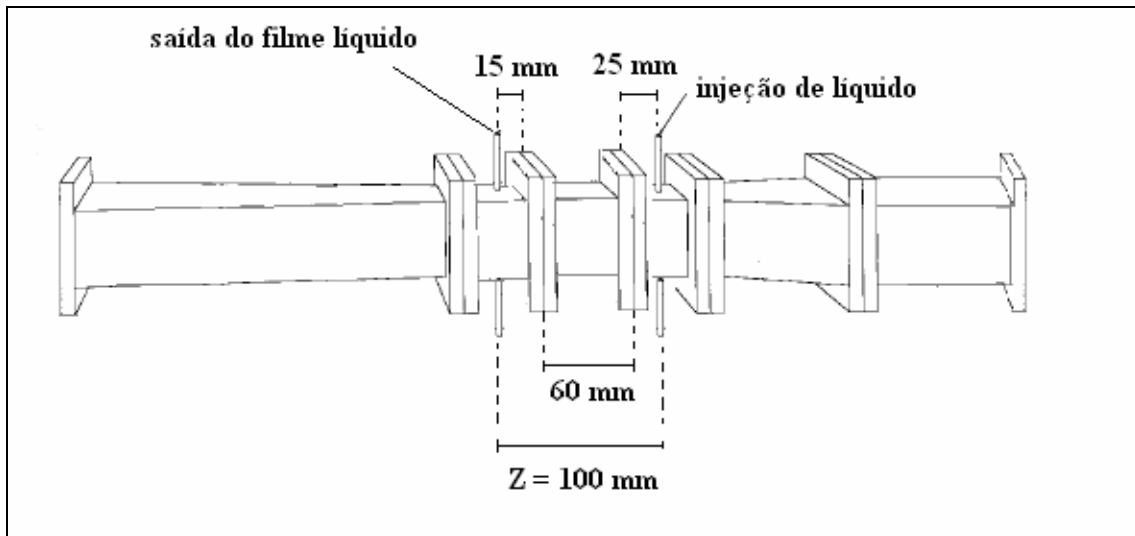


Figura 4.2-Vista geral do lavador Venturi.

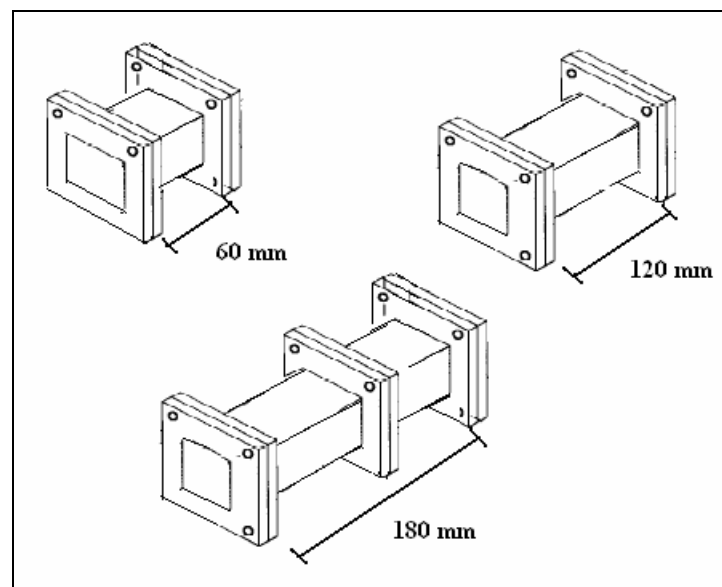


Figura 4.3-Diferentes tamanhos da garganta.

As medidas foram feitas em três posições diferentes ao longo do equipamento, sendo que, para a garganta de menor comprimento ($Z = 100$ mm) variaram-se as vazões de gás, líquido e o número de orifícios utilizados na injeção de líquido. Já para os outros dois comprimentos de garganta ($Z = 160$ mm e $Z = 220$ mm) as medidas foram feitas utilizando apenas a maior velocidade do gás ($V = 74$ m/s), injeção de líquido feita por 4 orifícios e variando as vazões de líquido.

As medidas do lavador descritas acima podem ser vistas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1-Dimensões da geometria do lavador Venturi.

Grandeza	Valor
Altura	40 mm
Largura na entrada e na saída	75 mm
Largura da garganta	27 mm
Comprimento da seção convergente	130 mm
Comprimento da garganta a partir do ponto de injeção e até o ponto de extração filme	100 mm, 160mm, 220mm
Comprimento da seção divergente	340 mm
Meio ângulo convergente	10,5°
Meio ângulo divergente	4,0°

Estes ensaios foram feitos com injeção de líquido na forma de jatos. A Figura 4.4 ilustra este tipo de injeção.

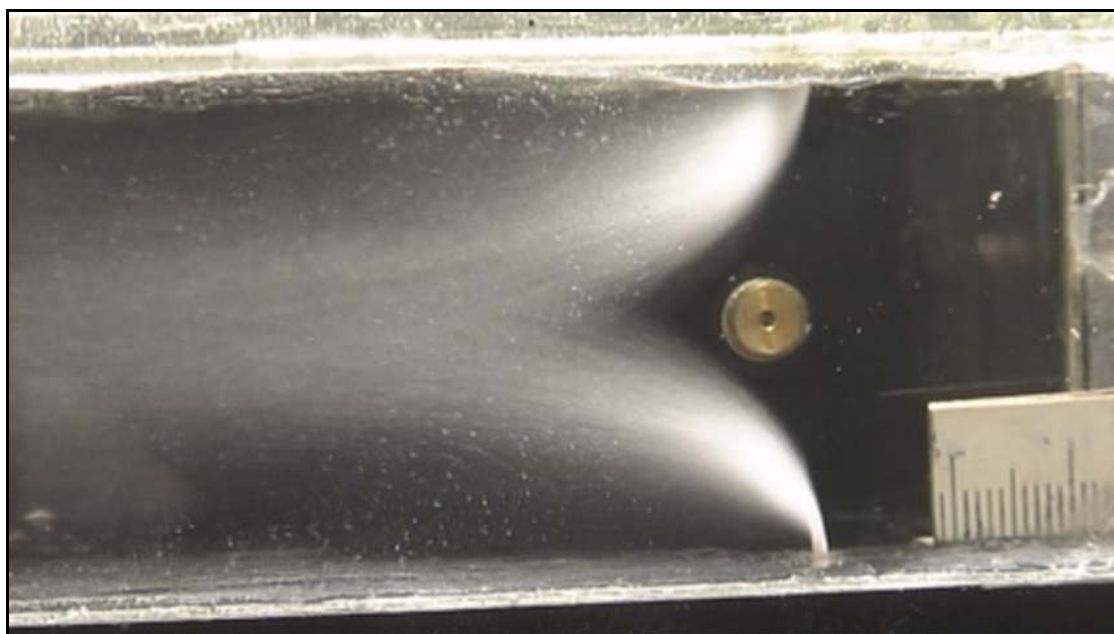


Figura 4.4-Injeção na forma de jatos.

Foi utilizada uma bomba helicoidal WEATHERFORD, modelo HD10 para alimentação da água aos orifícios. Essa água era armazenada em um tanque e a sua vazão de injeção era medida através de um rotâmetro KEY INSTRUMENTS capaz de medir vazões entre 100 e 1500 ml/min.

Na entrada do lavador Venturi foi utilizado um soprador radial IBRAM, modelo CRE05, com pressão de 6280 mmca e vazão máxima de 8,2 m³/min com a finalidade de capturar o ar de dentro do laboratório para o lavador. Na saída do lavador Venturi esta instalado um separador centrífugo (ciclone de entrada tangencial e fluxo reverso de diâmetro igual a 66 cm) que separava a fração líquida (gotas, etc.) do gás.

4.2 A Seção de Extração de Filme das Paredes

Foi construída uma seção de teste como mostra a Figura 4.5, possuindo as mesmas dimensões e geometria da garganta do Venturi

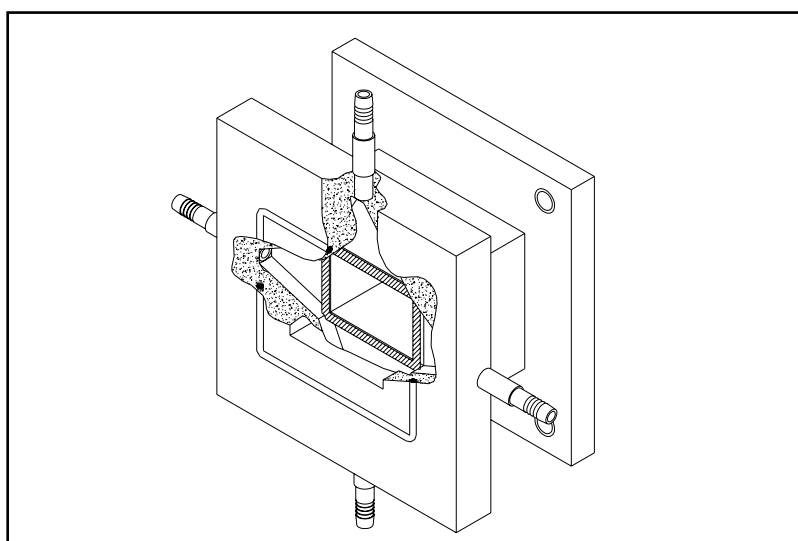
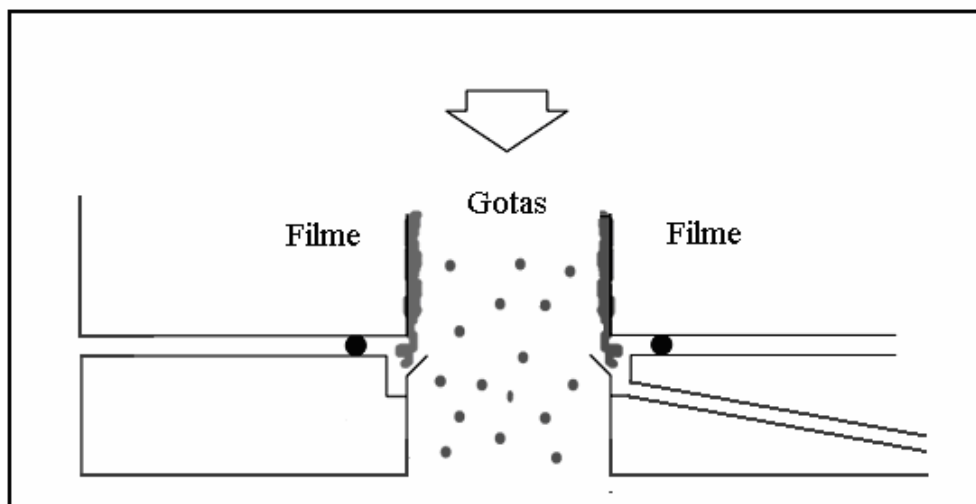


Figura 4.5-Seção de teste contendo fendas para a remoção do filme líquido.

A fração do líquido escoando na forma de filme foi medida experimentalmente no lavador Venturi de seção retangular utilizando o método da fenda.

O método da fenda pode ser visto esquematicamente pela Figura 4.6.



Fonte: GONÇALVES (2000)

Figura 4.6-Extração de filme pelo método da fenda.

Junto à fenda existe uma lâmina inclinada de aço inox que penetra 1 mm (HAY *et al.* 1996) para dentro do lavador. O filme líquido desvia pela lâmina em direção à fenda, acumula-se em um pequeno reservatório e escorre para fora do lavador Venturi, passando por um canal, uma mangueira.

Neste método, certa quantidade de ar, carrega consigo algumas gotas, que de maneira inevitável escapam pela fenda. Então, foi possível utilizar os estranguladores para controlar o processo. Na Figura 4.7 é mostrado o esquema de um dos estranguladores. Todos os estranguladores possuem as mesmas dimensões.

A extração do filme foi feita com os estranguladores posicionados em cada uma das mangueiras durante todo o processo.

O procedimento para obtenção dos dados, para cada condição testada, foi:

- 1) Posicionar os estranguladores nas quatro mangueiras;
- 2) Esperar o lavador entrar em regime permanente;
- 3) Pesar o recipiente de coleta;
- 4) Coletar o filme durante o tempo de 1 minuto para cada parede do lavador individualmente;
- 5) Pesar novamente o recipiente de coleta, obtendo-se assim a massa coletada do filme;
- 6) Calcular a fração de filme;
- 7) Os ensaios são feitos em tréplica e os dados relatados no texto correspondem às médias destes valores.

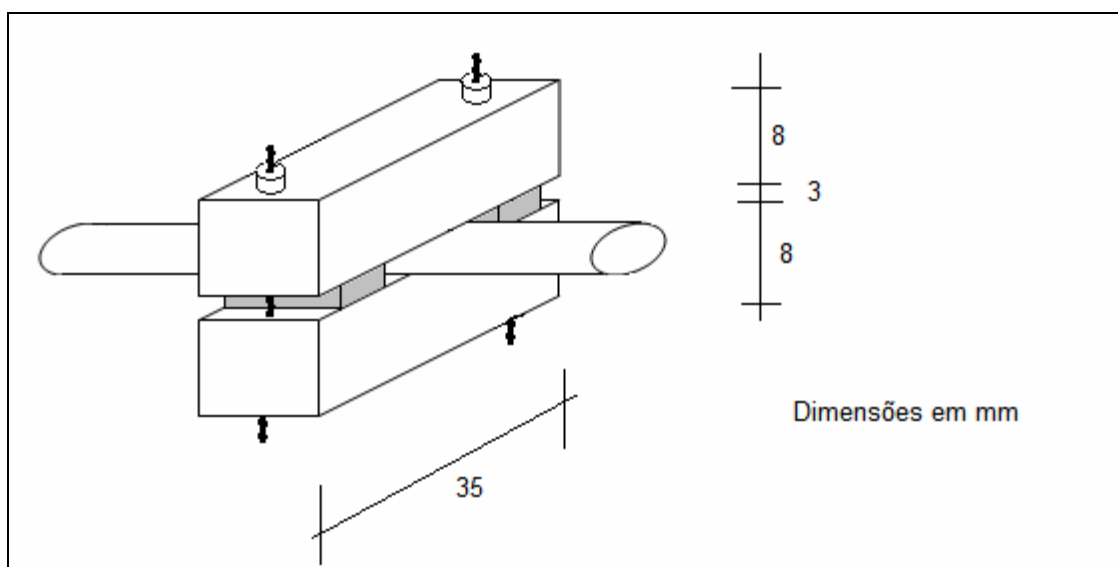


Figura 4.7-Vista geral do estrangulador.

4.3 Configurações de Injeção do Líquido

As diversas configurações utilizadas para a injeção do jato líquido na garganta do lavador podem ser vistas na Figura 4.8. Os valores das vazões de líquido utilizados neste experimento variaram entre 0,3 l/min a 1,2 l/min.

4.4 Imagens dos Jatos

As imagens dos jatos foram feitas utilizando uma garganta de vidro, onde suas paredes superior, inferior e uma das laterais foram pintadas de preto, permitindo assim uma melhor visibilidade do jato líquido ao ser fotografado por uma câmera digital SONY DCRDVD-430 com auxílio de um refletor pela parede onde o vidro não foi pintado

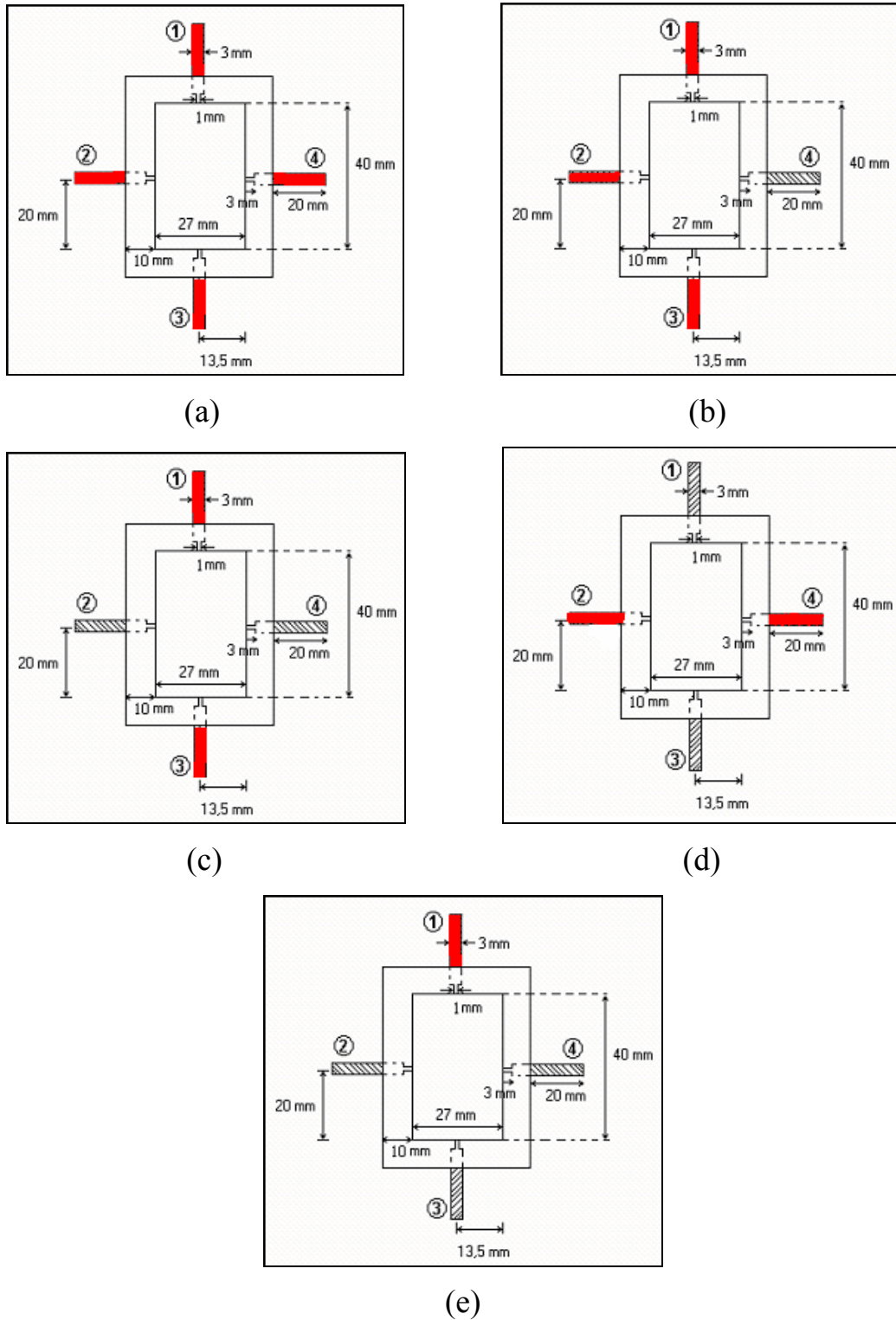


Figura 4.8-Diferentes configurações utilizadas para injeção de líquido: (a) por 4 orifícios, (b) por 3 orifícios, (c) por 2 orifícios verticais, (d) por 2 orifícios horizontais e (e) por 1 orifício.

4.5 Variáveis e Faixas

Os fluidos utilizados foram ar e água. O ar foi captado diretamente do ambiente do laboratório, por um soprador. A vazão de ar efetivamente injetada no equipamento foi ajustada por um conjunto de válvulas posicionadas próximas ao soprador. Esta vazão era medida com um tubo de Pitot padrão e um micromanômetro digital FURNESS CONTROLS, modelo FCO-012. Em um pequeno orifício no duto alguns centímetros antes do início da seção convergente era inserido o tubo de Pitot. Um ajuste com rolhas de borracha permitia que o orifício ficasse sempre fechado, seja durante a operação normal do equipamento, seja durante a inserção do equipamento para medir a velocidade.

As válvulas no circuito de ar eram ajustadas até que o valor da velocidade do ar lida diretamente no micromanômetro, atingia um valor especificado. As velocidades de ar utilizadas na garganta do lavador são mostradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2-Velocidades de ar utilizadas.

Velocidade do ar lida no micromanômetro (velocidade no duto) (m/s)	Velocidade do ar na garganta do lavador (m/s)
21,3	59,0
23,0	64,0
24,8	69,0
26,6	74,0

Água da torneira foi utilizada como líquido de lavagem. A água era armazenada em um tanque e dali era levada ao lavador Venturi por meio de uma bomba helicoidal. A vazão de líquido total era dividida igualmente entre os orifícios em uso para a injeção de líquido na garganta do lavador. É importante ressaltar que os valores da razão L/G foram muito menores que a média relatada na literatura, isto se deve ao fato dos ensaios não terem sido planejados em termos desta razão.

A Tabela 4.3 mostra as combinações de vazões de gás (G) e líquido (L) utilizadas nos experimentos para as velocidades de 59 m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s e para as vazões líquidas de 0,3 a 1,2 l/min.

Detalhes relacionados aos cálculos desta tabela podem ser vistos no Apêndice C.

Tabela 4.3-Valores da razão L/G para as vazões do líquido utilizadas e para as diferentes velocidades.

V (m/s)	L (l/min)	L/G (l/m³)
59	0,3	0,07
	0,4	0,10
	0,5	0,13
	0,6	0,15
	0,9	0,23
	1,2	0,31
64	0,3	0,07
	0,4	0,09
	0,5	0,12
	0,6	0,14
	0,9	0,21
	1,2	0,28
69	0,3	0,06
	0,4	0,08
	0,5	0,11
	0,6	0,13
	0,9	0,20
	1,2	0,26
74	0,3	0,06
	0,4	0,08
	0,5	0,10
	0,6	0,12
	0,9	0,18
	1,2	0,25

4.6 Testes Preliminares

Como um estudo prévio, foram realizados alguns testes a fim de avaliar qual seria a metodologia mais adequada diante das condições operacionais para extração e coleta do filme líquido. Estes testes foram realizados adotando a metodologia utilizada por COSTA (2002) e a metodologia utilizada por GOÇALVES (2000). Assim, determinou-se que o método similar ao utilizado por GONÇALVES (2000), método da fenda, foi o que obteve resultados mais satisfatórios. Estes testes são descritos a seguir.

4.6.1 Metodologia Utilizada por COSTA (2002)

Na realização dos testes preliminares foi adotada primeiramente a metodologia usada por COSTA (2002),

Em seus estudos COSTA (2002) verificou que o filme não fluía de dentro do lavador para fora devido a pressão interna do equipamento ser aproximadamente igual a pressão atmosférica, por isso era preciso succionar este filme como mostra a Figura 4.9, onde o filme líquido era extraído do lavador juntamente com uma pequena vazão de ar e passava por um ciclone. O líquido era recolhido em um reservatório abaixo do ciclone, e o ar, que segue sendo sugado pela bomba, passava por uma coluna de sílica e um medidor de vazão. Após certo tempo, o circuito era interrompido, a bomba desligada e todo o sistema formado pelo ciclone, coluna de sílica e reservatório, era pesado simultaneamente e assim se determinava à quantidade de líquido coletado.

Este circuito para extração do filme não foi adequado, pois na realização dos testes preliminares deste trabalho o líquido foi injetado pelos 4 orifícios localizados na garganta do lavador, configuração essa diferente da estudada por COSTA (2002), já que em seus experimentos a injeção de líquido foi feita por apenas 1 orifício. Sendo assim, o ciclone que foi projetado para os experimentos feitos por COSTA (2002), tornou-se inadequado para o presente estudo, pois o filme líquido extraído do lavador que deveria ser recolhido no reservatório abaixo do ciclone transbordava fazendo com que este fosse succionado pela bomba junto a uma vazão de ar passando pela coluna de sílica e encharcando-a rapidamente podendo muitas vezes atingir o medidor de vazão e danificar o equipamento.

No atual lavador a pressão interna é maior que a pressão externa, tendo um valor em torno de 1,064 atm, tornando-se possível a extração do filme líquido sem o uso do circuito mostrado na Figura 4.9.

Por estes motivos, foram realizados novos testes adotando uma metodologia similar à utilizada por GONÇALVES (2000).

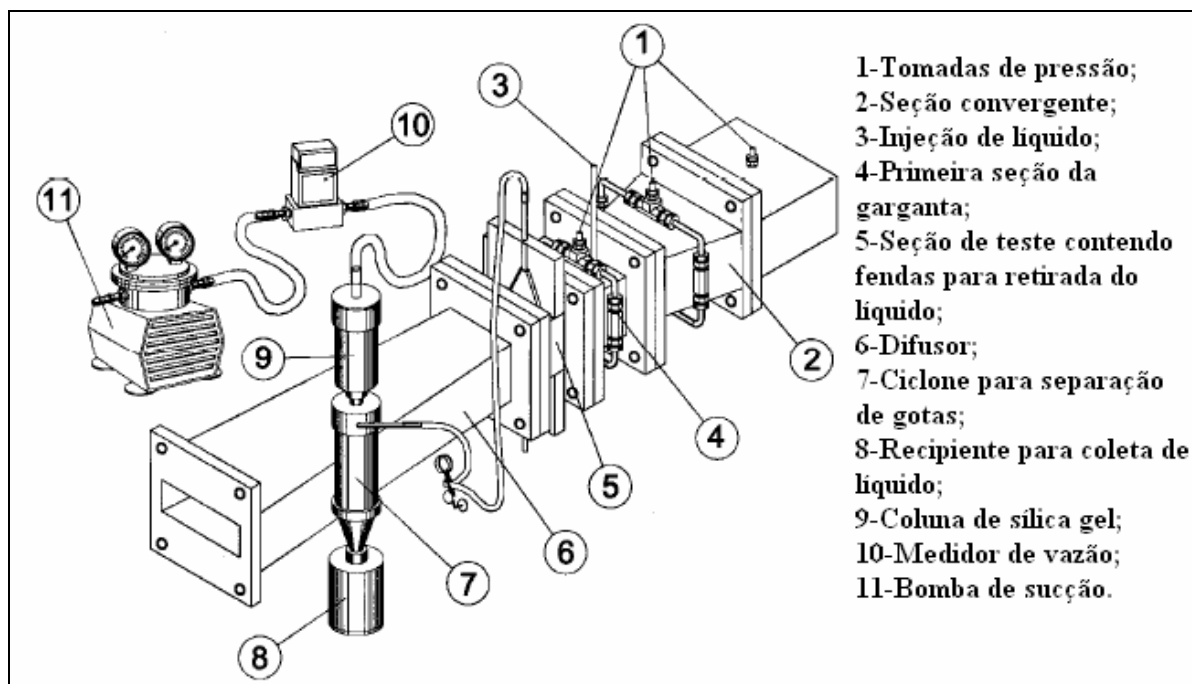


Figura 4.9-Circuito utilizado por COSTA (2002) para extrair o filme líquido do lavador Venturi de seção retangular.

4.6.2 Metodologia Utilizada por GONÇALVES (2000)

A metodologia utilizada por GONÇALVES (2000) para a extração do filme líquido foi denominada de método da fenda e foi inspirada no trabalho de HAY *et al.* (1996).

O método da fenda utiliza uma peça como a mostrada esquematicamente na Figura 4.6 para remoção do filme líquido. O filme líquido é desviado pela lâmina em direção à fenda, acumula-se em um pequeno reservatório, e escorre para fora do lavador Venturi, passando por um canal, uma mangueira e uma torneira. Nos ensaios realizados por GONÇALVES (2000), a pressão interna era positiva suficiente para empurrar o filme para fora.

No método da fenda, certa quantidade de ar, carrega consigo algumas gotas que inevitavelmente escapa pela fenda. Contudo, GONÇALVES (2000) utilizou uma torneira para controlar o processo. A extração do filme foi feita com a torneira aberta em uma posição ótima, de modo a minimizar a quantidade de ar extraído, e ao mesmo tempo garantir a extração de todo o filme. Com a torneira pouco aberta, pouco filme é extraído. Visualmente pode-se ver o

filme transbordando pela lâmina, neste caso. Com a torneira muito aberta, muito gás era retirado.

Obtendo como base a metodologia usada por GONÇALVES (2000), o desempenho dos testes realizados foi bastante satisfatório.

Os testes preliminares para avaliação do método da fenda foram feitos injetando líquido pelos quatro orifícios da garganta e sempre com a mesma vazão de líquido. A coleta do filme foi feita em um recipiente e o tempo cronometrado em um minuto.

Nos orifícios presentes na seção de teste foram conectadas as mangueiras e nestas um estrangulador, que teve como objetivo o mesmo efeito da torneira usada nos ensaios feitos por GONÇALVES (2000). Para estrangular de maneira padrão todas as mangueiras, foram fabricadas quatro peças idênticas, uma para cada mangueira.

Essas peças foram testadas de modo a obter uma espessura ótima, ou seja, estrangular as mangueiras de maneira que a vazão de ar fosse mínima e o filme estivesse escoando sem turbulência.

Estes testes foram mais satisfatórios e por isso adotados aqui.

5 Resultados e Discussões

A fração do líquido escoando na forma de filme foi medida experimentalmente no lavador Venturi retangular para diferentes posições ao longo do equipamento e para diversas combinações de velocidade do gás, injeção de líquido e razão L/G.

Os resultados dos dados experimentais serão apresentados na forma de gráficos para as diversas condições operacionais. As paredes do lavador são representadas pelos números de 1 a 4 de acordo com a Figura 5.1.

As Figuras a seguir mostram o comportamento da fração de filme líquido obtido para cada parede separadamente do lavador em função das vazões líquidas e das diferentes configurações de injeção de líquido. Estes resultados são apresentados apenas para uma das quatro velocidades avaliadas, já que o comportamento da fração de filme é semelhante em ambas as velocidades diferindo apenas na quantidade de fração de filme que se deposita nas paredes. Os gráficos referentes às demais velocidades podem ser vistos no Anexo B; assim como todas as imagens feitas do jato líquido que também podem ser vistas no Anexo F.

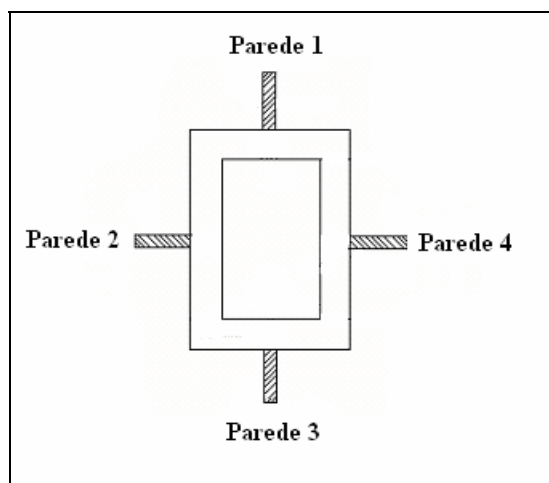


Figura 5.1-Numeração das paredes do lavador Venturi.

5.1 Fração de Filme Líquido em Função da Vazão de Líquido para: $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm

A Figura 5.2 representa o resultado da F_f (%) obtida de cada parede separadamente para a injeção de líquido feita por apenas 1 orifício que está localizado na parede 1, parede superior do lavador.

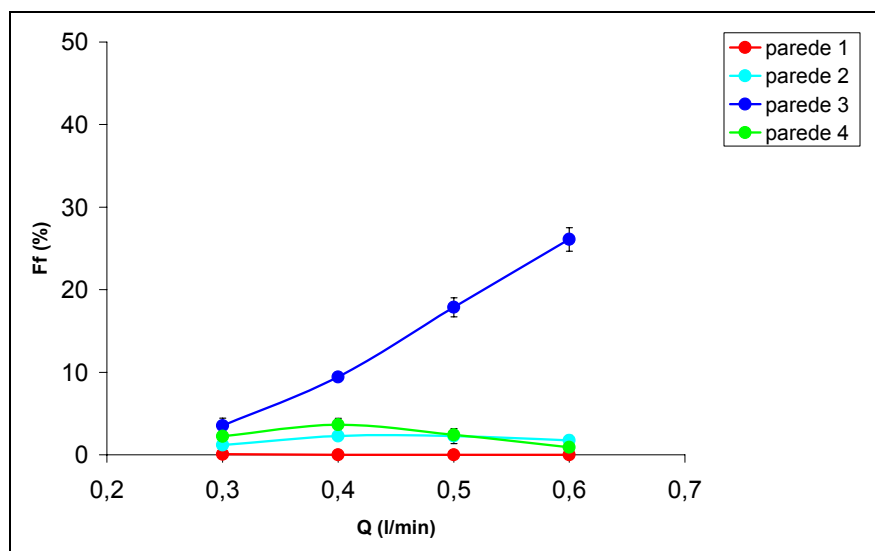


Figura 5.2-Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Observa-se uma alta extração de filme líquido na parede 3 do lavador. Isto ocorre devido a penetração excessiva do jato, pois a injeção de líquido está sendo feita apenas por 1 orifício (situado na parede 1) que é oposta a parede 3, fazendo com que haja maior deposição da fração de filme nesta parede e também devido a ação da gravidade sobre este filme. Quanto maior a vazão, maior será a penetração do jato e por isso a fração de filme na parede 3 está aumentando com o aumento da vazão de líquido.

Era esperado que para a menor vazão de líquido o filme se depositasse na parede superior, mas não foi isso que foi visto. Então, para verificar este resultado, foram feitos alguns testes a fim de questionar a ação da gravidade sobre o filme líquido dentro do equipamento, que estão descritos no item 5.2.

As paredes 2 e 4 seguem um comportamento constante independentemente do aumento da vazão de líquido. Já a parede 1, praticamente não extraiu nada da fração de filme, isto ocorre porque a injeção de líquido está sendo feita pelo orifício 1, localizado na própria parede 1.

A imagem da Figura 5.3 representa a injeção de líquido feita por 1 orifício com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min. Nesta imagem é fácil observar os resultados apresentados pela Figura 5.2.

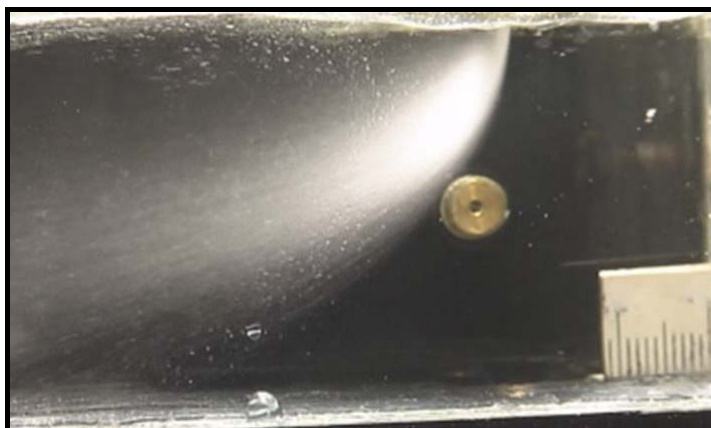


Figura 5.3-Imagem do jato para injeção de líquido feita por 1 orifício (orifício 1),
 $Q = 0,6 \text{ l/min}$ e $V = 59 \text{ m/s}$.

A Figura 5.4 representa o resultado da F_f (%) obtida de cada parede separadamente para a injeção de líquido feita pelos 4 orifícios.

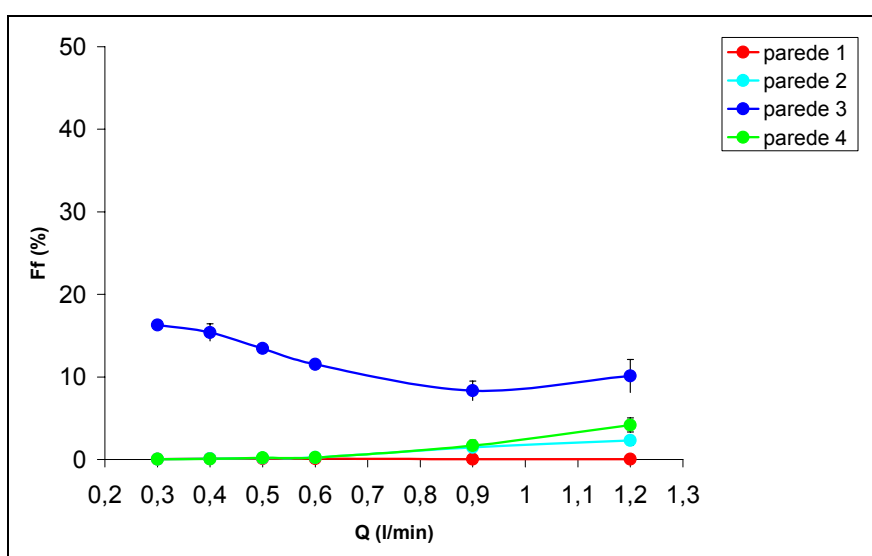


Figura 5.4-Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Nesta Figura 5.4 observa-se que para pequenas vazões o filme líquido se deposita praticamente todo na parede 3, parte das gotas que se depositam nas outras paredes (1, 2 e 4) deslizam para a parede 3 (que é a parede inferior do lavador), possivelmente devido ao lavador estar na horizontal o efeito da gravidade pode tornar-se relevante na deposição de filme nas paredes e conforme a vazão de líquido é aumentada esta fração de filme fica melhor distribuída dentro do equipamento. Este tipo de configuração para injeção de líquido (pelos 4 orifícios) se

torna mais satisfatória para altas vazões líquidas, pois a fração de filme líquido é menor tornando o equipamento mais eficiente

A Figura 5.5 representa a fração de filme em cada parede separadamente para a injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais (orifícios 1 e 3). Na Figura 5.5 observa-se que existe um ponto onde a fração de filme é mínima em ambas as paredes. Este ponto é para $Q = 0,5$ l/min e conforme a vazão vai sendo aumentada a fração de filme também aumentou. Para vazões acima de $0,6$ l/min nota-se um aumento significativo da fração de filme na parede 3, já que esta é uma das paredes opostas ao jato líquido, como foi explicado anteriormente, isto facilita a maior deposição de filme líquido e também parte das gotas que se depositam nas outras paredes deslizam para a parede inferior.

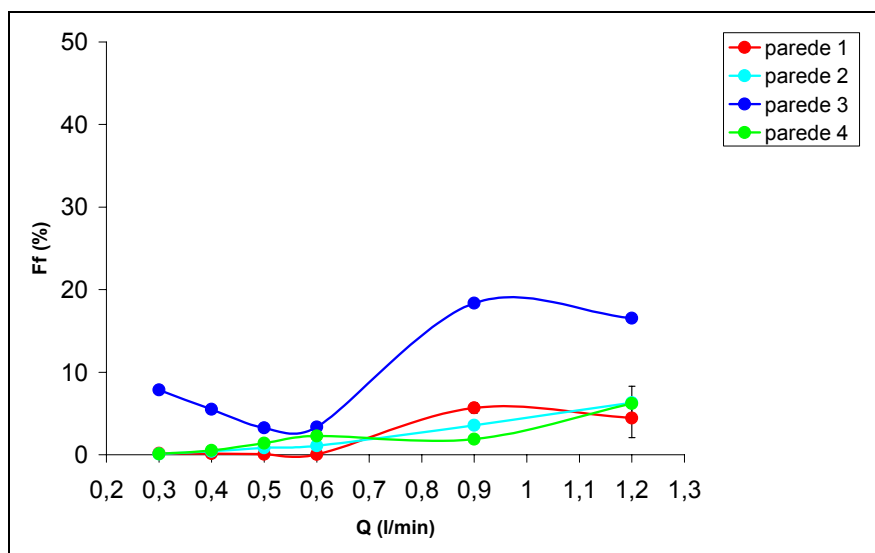


Figura 5.5-Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.

A imagem da Figura 5.6 representa a injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais com $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.

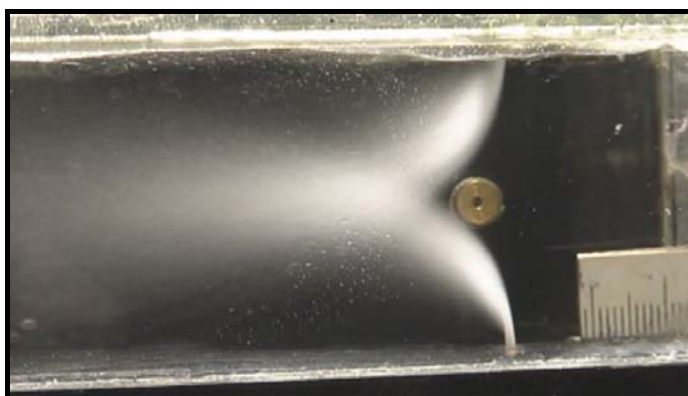


Figura 5.6-Imagem do jato para injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min.

A Figura 5.7 representa a fração de filme em cada parede separadamente para a injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais (orifícios 2 e 4).

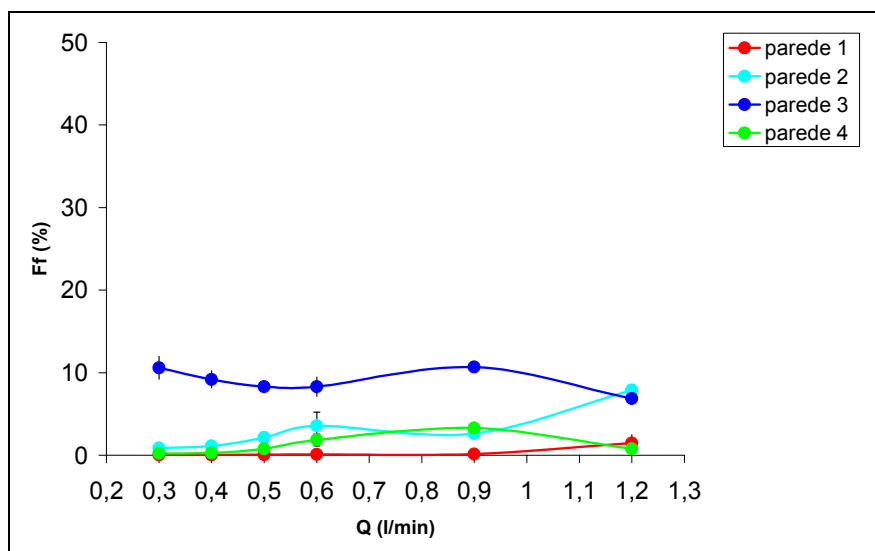


Figura 5.7-Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.

Assim como na Figura 5.5 a Figura 5.7 tem seus melhores resultados para a menor fração de filme quando a vazão de líquido é igual a 0,5 l/min. O aumento significativo da fração de filme na parede 3 observado anteriormente não é observado nesta configuração, isto porque a parede 3 não está oposta a nenhuma injeção de líquido, já que os orifícios para a injeção são 2 e 4.

A Figura 5.8 representa a fração de filme em cada parede separadamente para a injeção de líquido feita por 3 orifícios.

Na Figura 5.8 observa-se um ponto entre as vazões de 0,5 l/min e 0,6 l/min onde a fração de filme é menor, com o aumento da vazão de líquido houve também um aumento na fração de filme em relação a todas as paredes do lavador. Nota-se que a fração de filme na parede 4 aumenta significativamente mais do que a parede 2 (que as duas paredes laterais do equipamento), isto ocorre porque a injeção de líquido está sendo feita pelos orifícios 1, 2 e 3 e a parede 4 é oposta ao orifício 2. Já na parede 3 ocorre o mesmo explicado anteriormente, ela está oposta a um dos orifícios em uso e também sofre o efeito da gravidade.

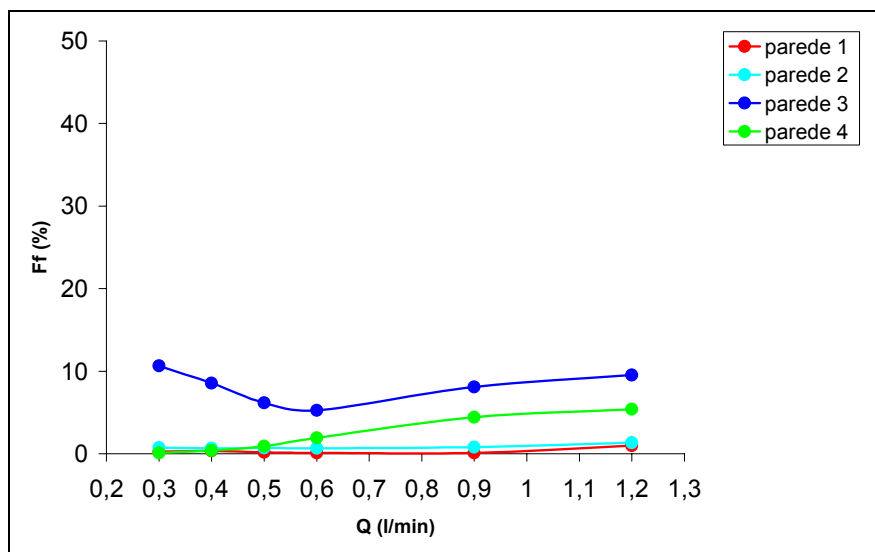


Figura 5.8-Fração de filme obtido de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios para velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.

A imagem da Figura 5.9 representa a injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

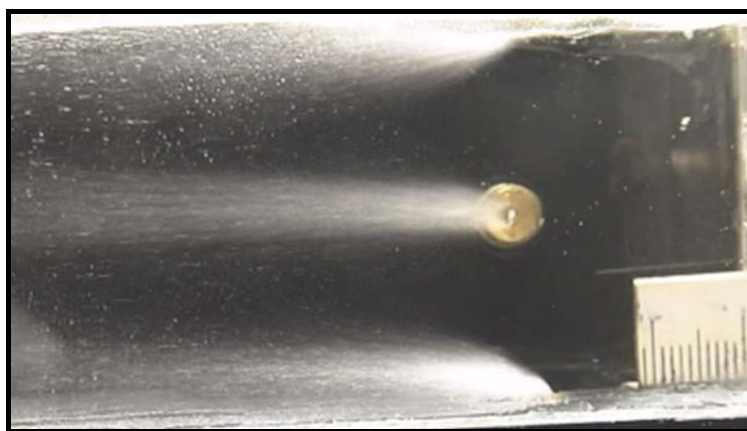


Figura 5.9-Imagem do jato para injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min.

5.2 Ação da Gravidade Sobre o Filme Líquido

Nestes testes, a injeção de líquido foi feita por 1 orifício (superior e inferior) e feita também por 3 orifícios (laterais + superior e laterais + inferior). A velocidade do gás utilizada foi de 64 m/s, escolhida por ser uma velocidade intermediária. As vazões líquidas utilizadas foram de 0,6 l/min para injeção de 1 orifício e 0,8 l/min para injeção de 3 orifícios. Os

resultados destes testes são mostrados a seguir, na forma de figuras para melhor visualização deste efeito.

- injeção feita por 1 orifício (superior)

$Q = 0,6 \text{ l/min}$

$V = 64 \text{ m/s}$

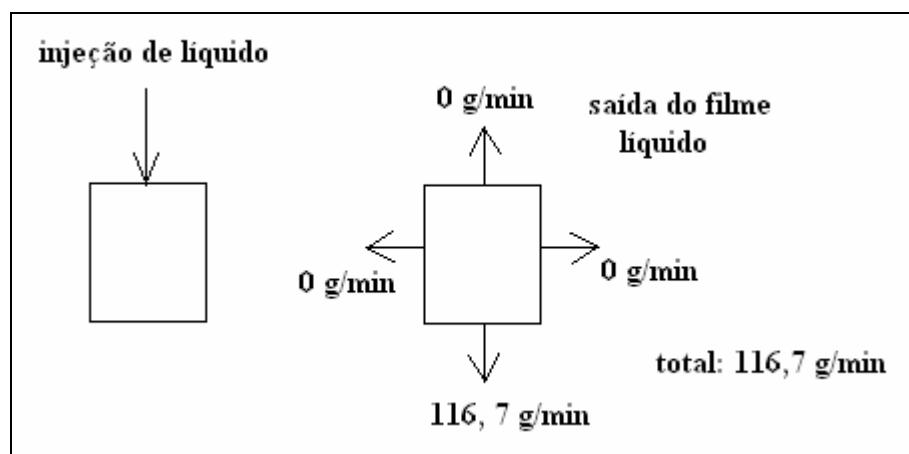


Figura 5.10-Injeção de líquido feita por 1 orifício com $V = 64 \text{ m/s}$, $Q = 0,6 \text{ l/min}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

- injeção feita por 1 orifício (inferior)

$Q = 0,6 \text{ l/min}$

$V = 64 \text{ m/s}$

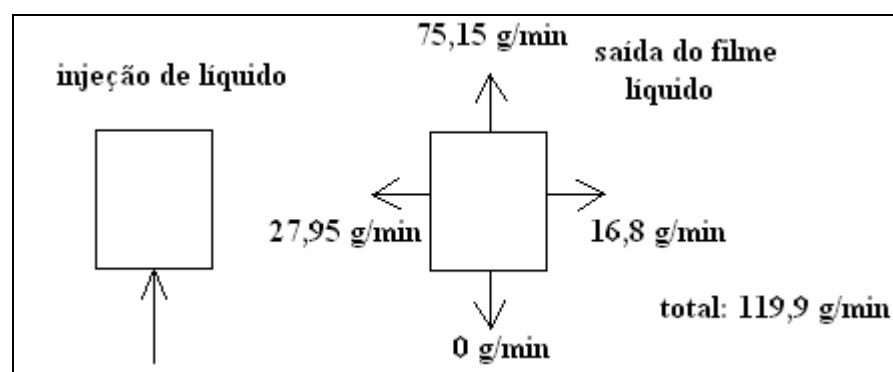


Figura 5.11-Injeção de líquido feita por 1 orifício com $V = 64 \text{ m/s}$, $Q = 0,6 \text{ l/min}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

Observando-se as Figuras 5.10 e 5.11, nota-se que, para a mesma vazão de líquido injetada no sistema, houve comportamento muito distinto de fração de filme nas paredes laterais que só foram significativos na injeção inferior. Por outro lado, nota-se que o total de líquido extraído das quatro paredes é muito similar nos dois casos. Isso indica que existe ação

da gravidade e que esta ação ocorre predominantemente no filme depositado e não no jato e/ou gotas.

- injeção feita por 3 orifícios

$$Q = 0,8 \text{ l/min}$$

$$V = 64 \text{ m/s}$$

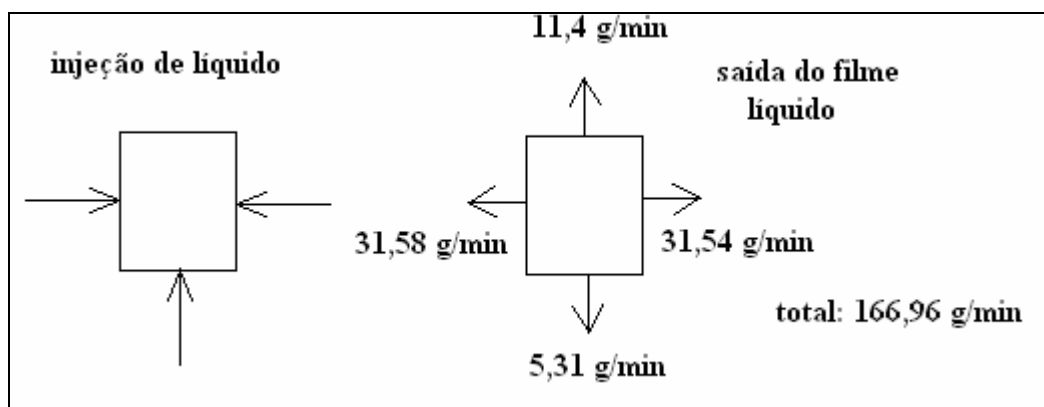


Figura 5.12-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 64 \text{ m/s}$, $Q = 0,8 \text{ l/min}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

- injeção feita por 3 orifícios

$$Q = 0,8 \text{ l/min}$$

$$V = 64 \text{ m/s}$$

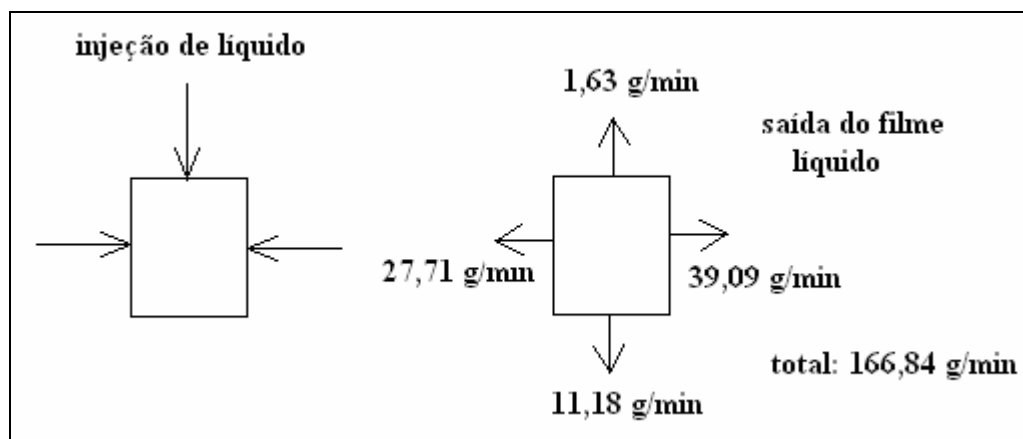


Figura 5.13-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 64 \text{ m/s}$, $Q = 0,8 \text{ l/min}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

Fenômeno similar ao anterior ocorre para o caso de injeção por 3 orifícios, ilustrado nas Figuras 5.12 e 5.13.

Estes resultados comprovam que o filme líquido sofre a ação da gravidade, mostrando que o filme líquido total que sai do lavador tem um valor confiável, mas quando se analisa as paredes individualmente é preciso ter cuidado, pois parte deste filme que se deposita nas

paredes desliza para a parede inferior. Desse modo, nas seções seguintes serão avaliados apenas o total de filme depositado nas 4 paredes.

5.3 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes em Função da Vazão do Líquido

5.3.1 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Vazão do Líquido para: $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm.

A Figura 5.14 representa a fração de filme líquido total extraído das quatro paredes do lavador com o comprimento de garganta de 100 mm, de acordo com as diferentes injeções de líquidos.

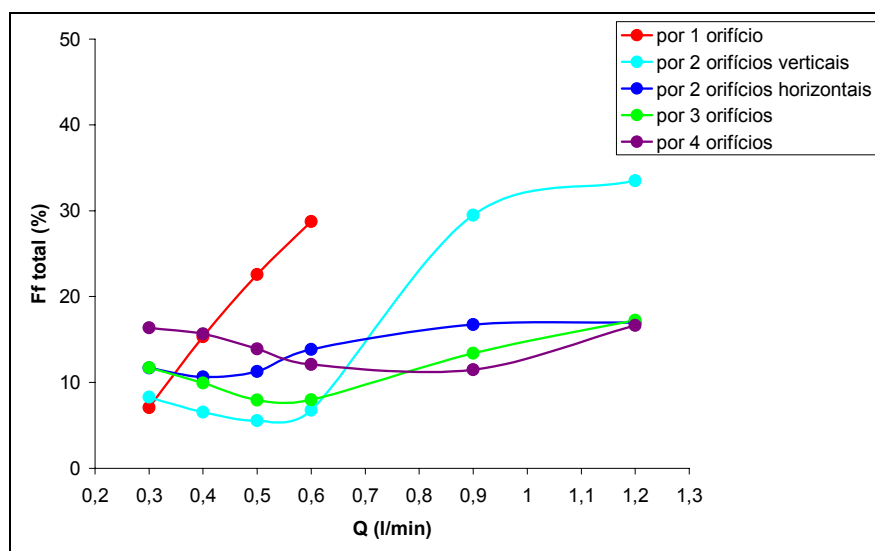


Figura 5.14-Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm.

Observa-se na Figura 5.14 que a melhor configuração para a menor deposição de filme líquido nas paredes do lavador depende da vazão de líquido que está sendo usada. Quando a vazão estiver entre 0,5 l/min e 0,6 l/min, a melhor configuração para a injeção de líquido é a feita por 2 orifícios verticais, mas quando se trata das altas vazões a melhor configuração da injeção de líquido é a feita pelos 4 orifícios.

Como os lavadores industriais operam em escalas maiores para vazões de líquido e a eficiência do lavador também é melhor quando a vazão é maior, então considera-se a configuração de injeção de líquido feita pelos 4 orifícios como a mais satisfatória.

5.3.2 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Vazão do Líquido para: $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.

A Figura 5.15 representa a fração de filme líquido total extraído das quatro paredes do lavador com o comprimento de garganta de 100 mm, de acordo com as diferentes injeções de líquidas.

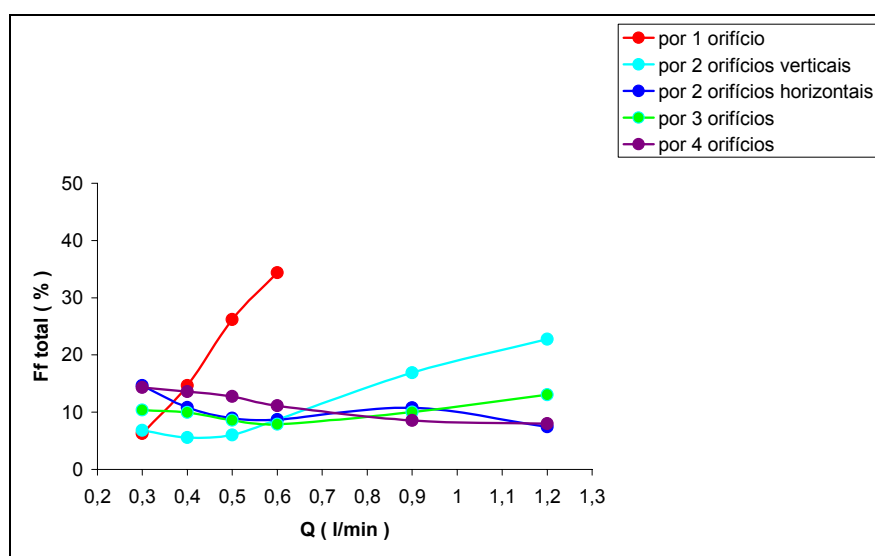


Figura 5.15-Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.

Na Figura 5.15 observa-se que para vazões entre 0,6 l/min e 0,9 l/min algumas configurações para a injeção de líquido como pelos 4 orifícios, por 2 orifícios horizontais e por 3 orifícios a fração de filme total praticamente possui os mesmos valores. No entanto, conforme houve o aumento da vazão de líquido a fração de filme total obtida pela injeção feita pelos 4 orifícios decresce, tornando-se assim mais adequada do que as outras configurações.

5.3.3 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Vazão do Líquido para: $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.

A Figura 5.16 representa a fração de filme líquido total extraído das quatro paredes do lavador com o comprimento de garganta de 100 mm, de acordo com as diferentes injeções de líquido.

Pela Figura 5.16 observa-se com nitidez que a configuração da injeção de líquido feita pelos 4 orifícios se torna mais adequada em relação às outras configurações, já que as maiores vazões de líquido são as que mais interessam neste estudo, pois como visto anteriormente, maiores vazões aumentam a eficiência do lavador.

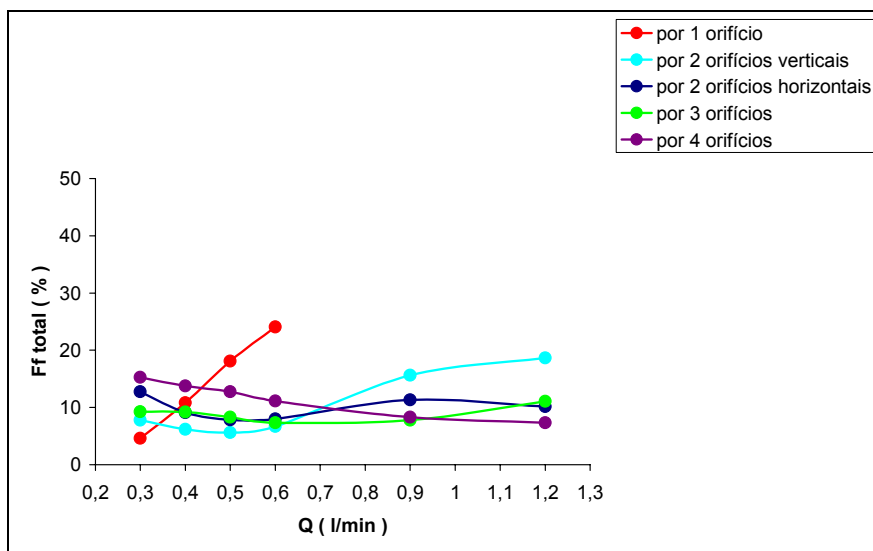


Figura 5.16-Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm.

5.3.4 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Vazão do Líquido para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.

A Figura 5.17 representa a fração de filme líquido total extraído das quatro paredes do lavador com o comprimento de garganta de 100 mm, de acordo com as diferentes injeções de líquido.

Os resultados observados na Figura 5.17 são bem semelhantes aos observados na Figura 5.16, mas com os valores referentes a fração de filme líquido total menores.

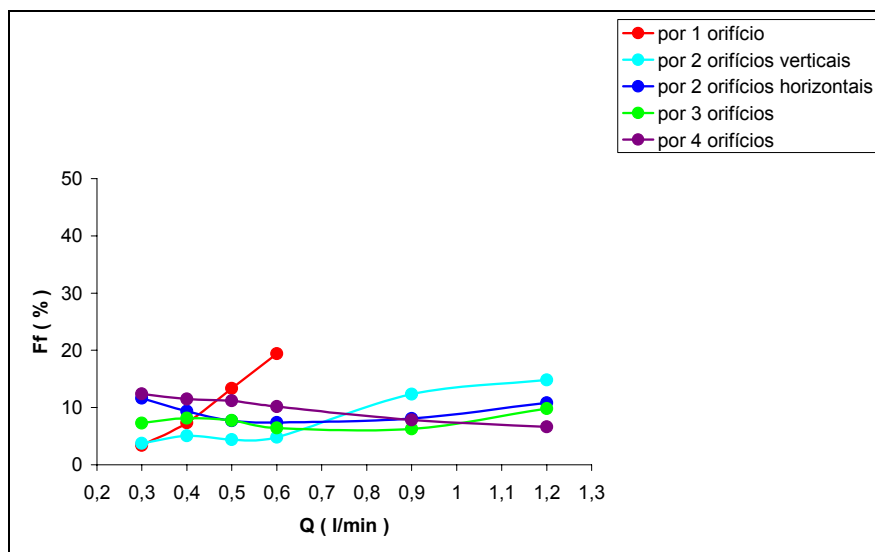


Figura 5.17-Fração de filme total extraída das 4 paredes do lavador em função da vazão de líquido para $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.

De acordo com os resultados obtidos e apresentados, observa-se pela Figura 5.17 que a melhor configuração para a menor extração de filme é a injeção de líquido feita pelos 4 orifícios e, como visto nas Figuras 5.14 a 5.17, a melhor velocidade do gás é a de 74 m/s, pois quanto menor for a extração de filme líquido melhor será o desempenho do equipamento.

A injeção de líquido feita por apenas 1 orifício foi a que obteve os piores resultados, já que apresentou uma grande deposição de filme líquido nas paredes do lavador.

O aumento da velocidade do gás na turbulência do meio deveria aumentar a deposição por difusão. Contudo, ao mesmo tempo as gotas são aceleradas mais rapidamente, passando pela garganta em menos tempo, e, portanto tendo menos tempo para se depositarem. Esse mesmo comportamento foi observado por GONÇALVES (2000) em seus estudos realizados com lavador Venturi de seção circular.

Tendo em vista que a velocidade do gás de 74 m/s é a mais satisfatória em relação a menor fração de filme extraída do lavador, os resultados apresentados a seguir serão em relação a $V = 74$ m/s. Todos os outros resultados referentes às velocidades de 59 m/s, 64 m/s e 69 m/s podem ser visto nos Apêndices B e D.

5.4 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Penetração do Jato para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.

A penetração do jato líquido é um parâmetro importante na distribuição do líquido dentro do lavador. Dependendo da penetração, as gotas recém formadas estão inicialmente

concentradas mais longe ou mais perto das paredes, e isso influencia a fração de filme. Em virtude disto, a Figura 5.18 mostra a penetração do jato adimensionalizada ($l_{\text{máx}}/Deq$) em função da fração de filme total depositada nas paredes. A penetração do jato ($l_{\text{máx}}$) foi calculada através da Equação (3.8). O valor de Deq da garganta do lavador foi calculado como:

$$Deq = \frac{(2 \times \text{altura} \times \text{largura})}{(\text{altura} \times \text{largura})}, \quad (5.1)$$

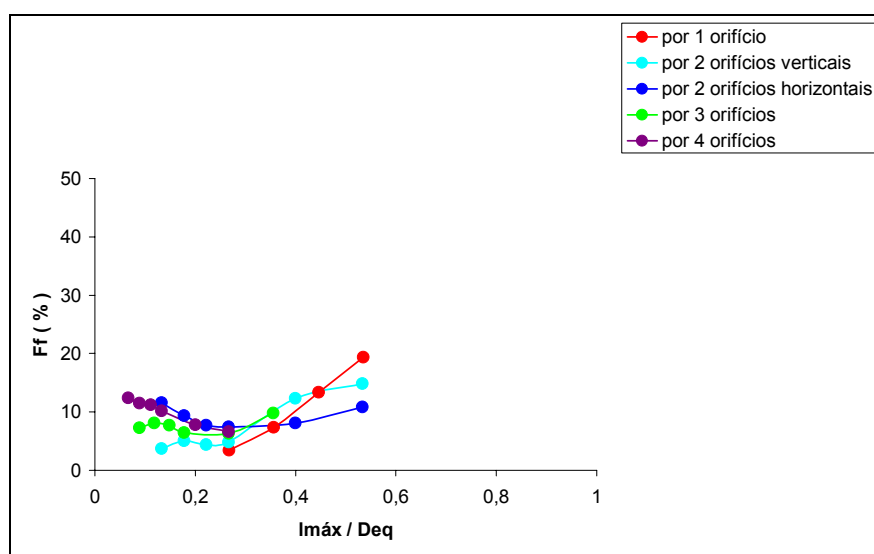


Figura 5.18-Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato/diâmetro equivalente para a velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Na Figura 5.18 pode-se observar que para maiores penetrações a fração de filme líquido total tende a aumentar para todas as configurações de injeção de líquido exceto para a injeção feita por 4 orifícios. Para a injeção através de 1 orifício obteve-se os maiores valores de penetração do jato e com o aumento da penetração do jato houve o aumento da fração de filme depositada. Nesta configuração a vazão total de líquido injetada no equipamento é feita toda pelo orifício superior (parede 1) fazendo com que haja penetração excessiva do jato (quando a “linha central do jato”, segundo VISWANATHAN (1983), ultrapassa a metade da distância entre a parede onde esta sendo injetado o jato e a parede oposta). Nas demais configurações os valores da penetração do jato foram menores que os obtidos para injeção de 1 orifício, já que a vazão total de líquido é dividida pelo número de orifícios em funcionamento. Neste caso, observou-se uma variação menos acentuada da fração de filme depositado com a penetração do jato, sendo verificado um ligeiro ponto de mínimo de acordo com cada configuração para

injeção de líquido e com a vazão de líquido injetado, indicando possivelmente um ponto de otimização para a penetração do jato diante de cada caso, de modo a minimizar a fração de líquido na forma de filme.

5.5 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Razão L/G para: $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.

A Figura 5.19 ilustra a influencia da razão L/G na fração de filme total. A razão L/G é um parâmetro de grande importância, tanto de operação como de projeto, pois é necessária para determinar o diâmetro do lavador e outras dimensões.

Para as condições operacionais deste trabalho a razão L/G variou entre 0,06 a 0,3 l/m³ como visto na Tabela 4.3.

A Figura 5.19 mostra a influência da razão L/G na fração de filme líquido total, para a velocidade de 74 m/s e injeção de líquido para todas as configurações utilizadas. Observa-se que para a injeção de líquido feita pelos 4 orifícios a fração de filme total nas paredes do lavador foi decrescendo com o aumento da razão L/G. Esta razão líquido gás é uma medida indireta da penetração do jato. Dependendo da penetração, as gotas recém formadas estão inicialmente mais longe ou mais perto das paredes, e isso influencia a fração de filme.

As demais velocidades estão no Apêndice C.

5.6 Fração de Filme Total Extraída das 4 Paredes do Lavador em Função da Razão L/G com Injeção de Líquido Feita pelos 4 Orifícios e $V = 59$ m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s com $Z = 100$ mm.

A Figura 5.20 mostra a influência da velocidade no comportamento da fração de filme total depositada nas paredes do lavador com injeção de líquido feita pelos 4 orifícios e comprimento da garganta de 100 mm.

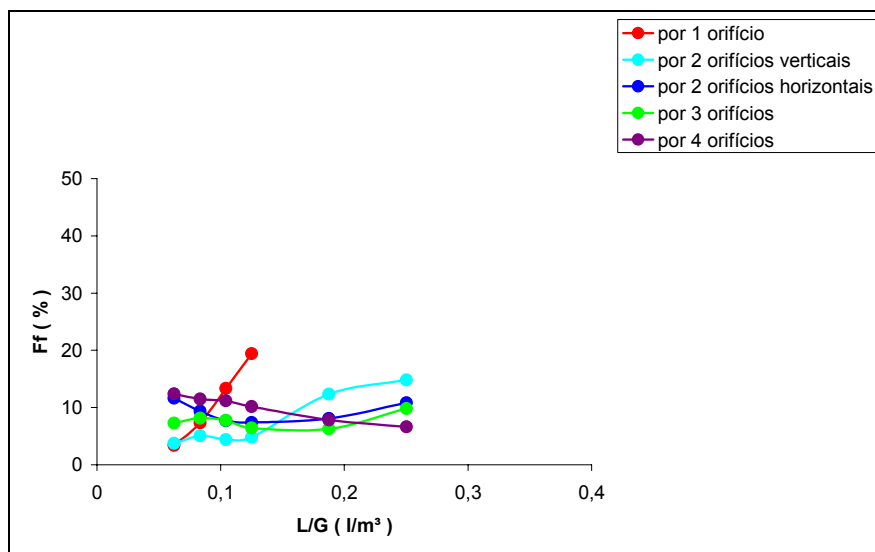


Figura 5.19-Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

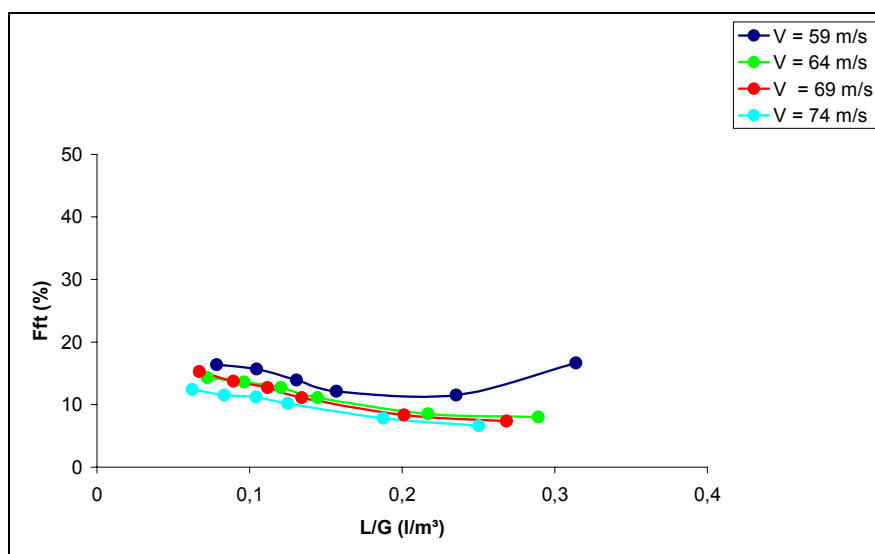


Figura 5.20-Fração de filme total em função de L/G para todas as velocidades e injeção de líquido feita por 4 orifícios e comprimento da garganta de 100 mm.

Os resultados da Figura 5.20 ilustram a influência da velocidade do gás e da razão L/G. Observa-se que com o aumento da velocidade de gás diminui a fração de filme. Na velocidade de 59 m/s observa-se que para valores mais altos da razão L/G a fração de filme total volta a aumentar, isto se deve a penetrações excessivas do jato líquido.

Já o fato da fração de filme ter se mostrado muito maior para todas as velocidades na razão L/G de 0,06 l/m³ deveu-se à baixa penetração dos jatos resultantes, o que sem dúvida ocasionou uma deposição mais intensa na região da parede adjacente.

5.7 Fração de Filme Total em Função do Comprimento da Garganta do Lavador com Injeção de Líquido feita pelos 4 Orifícios e $V = 74$ m/s.

A Figura 5.21 mostra os dados experimentais na forma de gráfico da fração de filme total em função da distância axial a partir do plano de injeção do líquido.

Esta análise da influência do comprimento da garganta em relação à fração de filme total foi feita para a velocidade de 74 m/s e injeção de líquido pelos 4 orifícios como mostra a Figura 5.21

Observa-se que com o aumento do comprimento da garganta a fração de filme líquido total depositado obteve uma pequena queda e depois um aumento, à medida que se afasta do ponto de injeção, não sendo observado uma tendência em relação a esse comportamento.

Segundo GONÇALVES (2000), apesar dos dados mostrarem que a fração de filme varia com a distância axial, parece existir uma região, longe do ponto de injeção, aonde a fração de filme permanece aproximadamente constante.

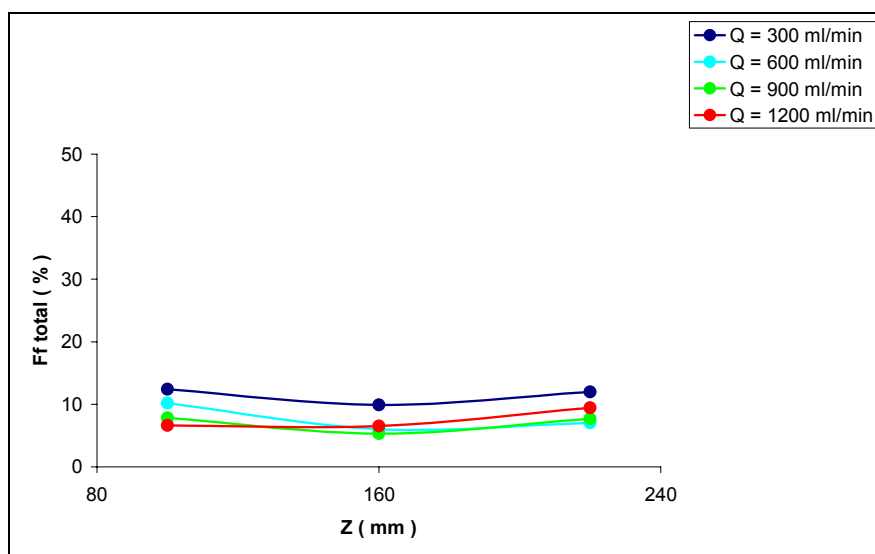


Figura 5.21-Fração de filme total em função do comprimento da garganta para injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade de 74 m/s.

5.8 Desempenho da F_{ftotal} x modelo proposto por Gonçalves (2000)

A Figura 5.22 compara os valores da F_{ftotal} com os previstos pelo modelo de GONÇALVES (2000) calculado através da Equação (3.7), com os dados experimentais obtidos neste trabalho.

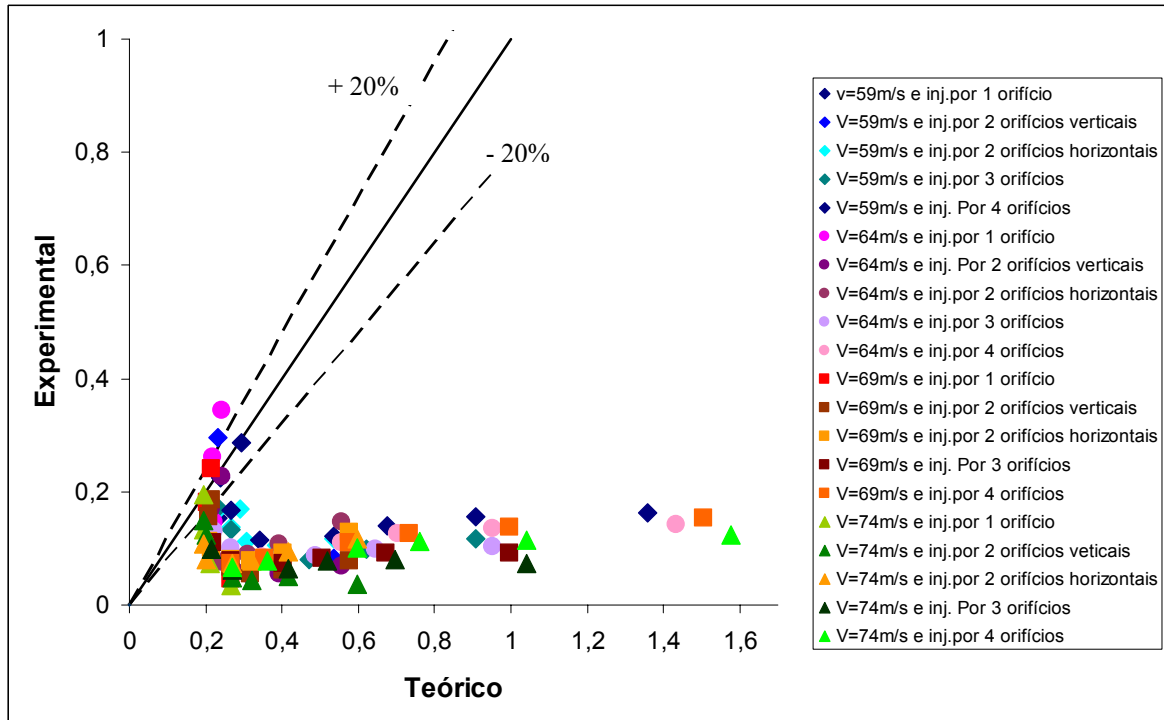


Figura 5.22-Desempenho do modelo de GONÇALVES (2000).

Pela Figura 5.22 pode-se observar que a correlação proposta por GONÇALVES (2000), a grande maioria do conjunto de dados experimentais estão bem abaixo da previsão teórica.

Na Equação (3.7) a configuração para a injeção de líquido não é levada em consideração e sim apenas o número de orifícios que estão sendo utilizados. Com isso, foi proposta uma nova correlação baseando-se no modelo de GONÇALVES (2000) e adicionando um novo termo que possibilite diferenciar o tipo de configuração utilizada na injeção de líquido.

5.9 Desempenho da F_{ftotal} x F_{ft} estimada.

A Figura 5.24 mostra os vários conjuntos de dados experimentais em função de uma nova correlação proposta neste trabalho. Esta correlação é mostrada pela Equação (4.2).

$$Ff = 10,68 \times 10^6 \times \left(9,99 \times \left(\frac{lm_{\acute{a}x}}{Deq} \right) + \left(\frac{lm_{\acute{a}x}}{Deq} \right)^{-0,7} \right)^{2,25} \times (Re g)^{-1,49} \times \left(\frac{deq_{or}}{Deq} \right)^{0,25} \quad (5.2)$$

onde:

$lm_{\acute{a}x}$: penetração máxima do jato em m; calculada pela Equação (3.8)

$Re g$: Reynolds da garganta do lavador ($= \rho v Deq / \mu$)

ρ : massa específica do gás (Kg/m^3)

v : velocidade do gás (m/s)

D_{eq} : diâmetro equivalente da tubulação (m) (eq. 5.1),

μ : viscosidade do gás (Ns/m²)

d_{eqor} : distância equivalente ao número e posição dos orifícios que estão sendo usados na injeção de líquido calculado pela Equação (5.1).

$$d_{eqor} = \frac{\left(\frac{mH + nL}{2} \right)}{m + n} \quad (5.3)$$

onde:

m : número de orifícios ativos verticais

n : número de orifícios ativos horizontais

$H = 40mm$, altura da garganta do lavador.

$L = 27mm$, largura da garganta do lavador.

A Figura 5.23 ilustra as posições de L e H referentes à Equação (5.3).

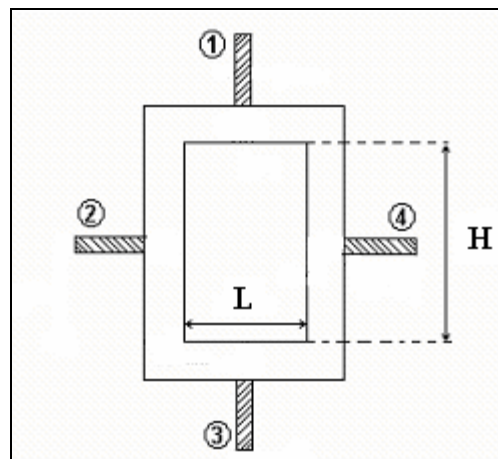


Figura 5.23-Altura (H) e largura (L) do lavador.

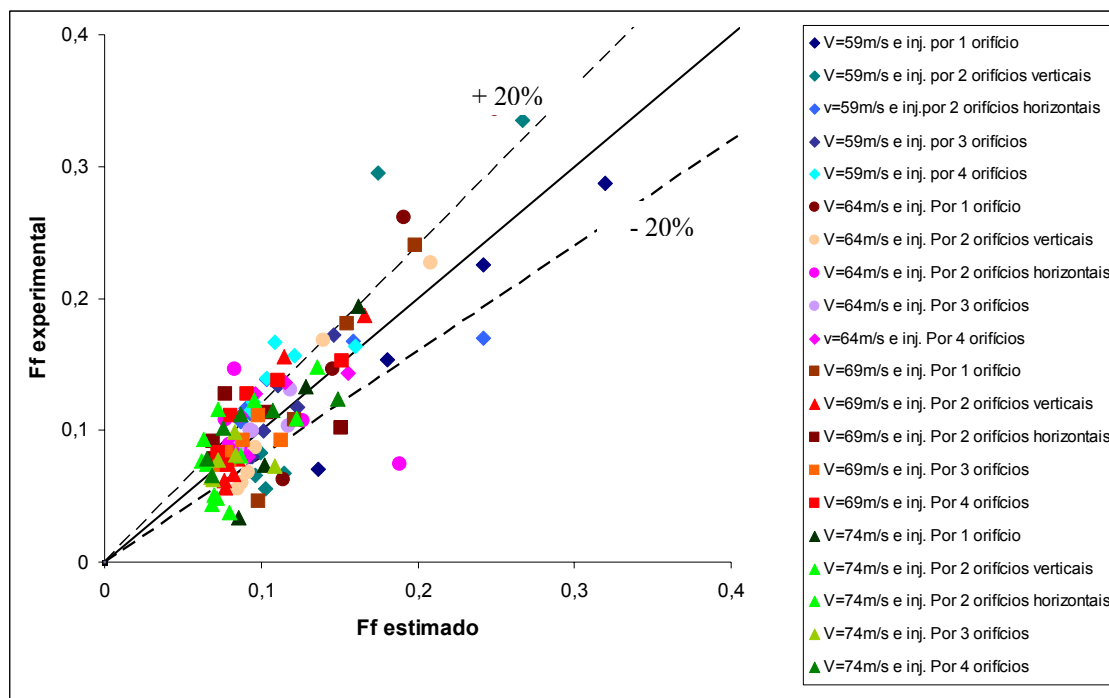


Figura 5.24-Desempenho da correlação proposta na Equação (5.2).

Observa-se pela Figura 5.24 que diferentemente da Figura 5.22, a maioria dos dados experimentais compreendem a faixa de $\pm 20\%$, tornando a aplicação da Equação (5.2) mais adequada para o conjunto de dados experimentais de acordo com as condições operacionais utilizadas neste trabalho.

6 Conclusões

Com base no exposto acima, conclui-se:

- A fração de filme varia com a velocidade do gás, com a configuração da injeção de líquido e com as vazões de líquido.
- A melhor configuração de injeção de líquido do tipo jato em um lavador Venturi de seção retangular para a menor deposição de filme líquido é a feita por 4 orifícios e a melhor velocidade do gás utilizada foi a maior, ou seja, $V = 74$ m/s.
- A análise da fração de filme em cada parede separadamente deve ser interpretada com cuidado, pois elas seguem um comportamento diferente em cada condição operacional não possibilitando uma conclusão satisfatória diante de cada parede, ou seja, os resultados são melhores interpretados quando se trata da fração de filme total extraída do lavador.
- A fração de filme varia com a penetração do jato tendo um ponto de mínimo (ideal).
- O desempenho da nova correlação proposta pela Equação (5.2) é satisfatório diante das condições operacionais utilizadas neste trabalho.

7 Sugestões para Continuidade

- Realização de novos testes com vazões maiores de líquido.
- Realização de testes experimentais com o lavador na posição vertical, para que possa evitar o efeito diferencial da gravidade nas paredes horizontais e verticais.
- Realização de novos testes com comprimentos maiores de gargantas para que possa verificar uma possível constância que o filme líquido atinge longe do ponto de injeção.
- Estudar um ajuste melhor para a Equação (5.2), assim como sua generalização para inclusão de dados de outros autores.

Referências Bibliográficas

ATAY, I.; LEWANDOWSKI, G.; TRATTNER, R. Fluid flow and gas absorption in an ejector Venturi scrubber. *Environmental Progress*, v.6, n.3, p.198-203, 1987.

AZZOPARDI, B.J. Liquid distribution in Venturi scrubbers: the importance of liquid films on the channel walls. *Chemical Engineering Science*, v.48, n.15, p.2807-2813, 1993.

AZZOPARDI, B.J.; GOVAN, A.H. The modelling of Venturi scrubbers. *Filtration and Separation*, v.21, p.196-200, May/June 1984.

AZZOPARDI, B.J.; TEIXEIRA S.F.C.F.; GOVAN A.H.; BOTT, T.R. An improved model for pressure drop in Venturi scrubbers. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, v.69, part B, p.237-245, November 1991.

CALVERT, S.; GOLDSHMID, J.; LEITH, D.; MEHTA, D. Scrubber Handbook. Springfield, Virginia, NTIS publication number PB 213-016, 1972a.

CALVERT, S. How to choose a particulate scrubber. *Chemical Engineering*, p.54-68, 29 August 1977b.

CALVERT, S., Particle control by scrubbing. Handbook of Air Pollution Technology, p. 215-248, 1984.

COSTA, M. A. M. Eficiência de coleta de partículas em lavadores Venturi. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, Brasil, 2002.

DULLIEN, F.A.L. *Industrial Gas Cleaning*. New York, Academic Press, 1989.

FATHIKALAJAHI, J.; TALAIE, M.R.; TAHERI, M. Theoretical study of liquid droplet dispersion in a Venturi scrubber. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v.45, p.181-185, 1995.

FERNÁNDEZ ALONSO, D.; AZZOPARDI B.J.; HILLS J.H. Gas / liquid flow in laboratory-scale venturis. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, v.77, part B, p.205-211, 1999a.

GONÇALVES, J.A.S.; MARTINS COSTA, M.A.; FERNÁNDEZ ALONSO, D.; COURY, J.R. Estimativa da fração de filme em lavadores Venturi. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, XIII, Águas de São Pedro, Brasil, Setembro 24-27, 2000b.

GONÇALVES, J. A. S. Aspectos da modelagem matemática de lavadores Venturi. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, Brasil, 2000.

HANLY, J.; PETCHONKA, J.J. Equipment selection for solid-gas separation. *Chemical Engineering*, pp. 83-85, Julho 1993.

HAY, K.J.; ZI-CHAO LIU; HANRATTY, T.J. Relation of deposition to drop size when the rate is nonlinear. *Int. J. Multiphase Flow*, v.22, n.5, p.829-848, 1996.

JOHNSTONE H.F.; FEILD R.B.; TASSLER M.C. Gas absorption and aerosol collection in Venturi scrubbers. *Industrial and Engineering Chemistry*, v.45, p.1601-1608, 1954.

ROBERTS, D.B.; HILL, J.C. Atomization in a Venturi scrubber. *Chemical Engineering Communication*, v.12, p.33-68, 1981.

SCHUMANN, J.L. Selección del equipo para eliminar partículas. In: R.D. Ross (ed.). *La industria y la contaminación del aire*. México, Editora Diana, 1974. Capítulo 8.

SHAH, I.S. Scrubbers. In: B.G. Lipták (ed.). *Environmental Engineers' Handbook*. Pennsylvania, Chilton Book Company, 1974. V.II, Section 5:12-17.

STRAUSS, W. *Industrial Gas Cleaning*. New York, Pergamon, 1966.

TAHERI, M.; SHEIH, C.M. Mathematical modelling of atomising scrubbers. *AIChE Journal*, v.21, p.153-157, 1975.

THEODORE, L., BUONICORE, A., *AIR POLLUTION CONTROL EQUIPMENT*. Vol. 1 and II, Edited by CRC Press, 1988.

VISWANATHAN S.; GNYP, A.W.; ST. PIERRE, C.C. Estimating film flow rate in a Venturi scrubber. *Particulate Science and Technology*, v.15, p.65-76, 1997.

www.nest.unifei.edu.br

www.revistameiofiltrante.com.br

APÊNDICE A

Resultados dos dados experimentais na forma de tabelas da fração de filme obtida em cada parede separadamente do lavador em função da vazão de líquido para as velocidades do gás de 59 m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s, e para todas as configurações de injeção de líquido.

A fração de filme líquido foi calculada através da seguinte Equação (1):

$$Ff(\%) = \frac{Q_v}{Q_l} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Q_l (l/min) é a vazão de líquido utilizada na a injeção de líquido,

Q_v é a vazão volumétrica calculada através da Equação(2)

$$Q_v(l/min) = \frac{M}{\rho_l} \quad (2)$$

M é a massa em g do líquido coletado das paredes do lavador Equação (3) e ρ_l é a densidade do líquido ($\rho_l = 990g/l$).

$$M(g) = R_c - R_v \quad (3)$$

* R_c : representa o recipiente de coleta do liquido cheio.

* R_v : representa o recipiente de coleta do líquido vazio.

● $V = 59$ m/s e $Z = 100$ mm

Tabela A.1-Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,24	0,000242	0,080808	102,51	102,75
	0,3	2	3,32	0,003354	1,117845	87,32	90,64
	0,3	3	9,77	0,009869	3,289562	102,57	112,34
	0,3	4	5,14	0,005192	1,73064	87,34	92,48
	0,4	1	0,03	3,03E-05	0,007576	102,56	102,59
	0,4	2	8,35	0,008434	2,108586	87,33	95,68
	0,4	3	37,15	0,037525	9,381313	102,55	139,7
	0,4	4	10,87	0,01098	2,744949	87,34	98,21
	0,5	1	0	0	0	102,6	102,6
	0,5	2	6,48	0,006545	1,309091	87,33	93,81
	0,5	3	94,85	0,095808	19,16162	102,6	197,45
	0,5	4	11,39	0,011505	2,30101	87,32	98,71
	0,6	1	0	0	0	102,57	102,57
	0,6	2	6,54	0,006606	1,10101	87,35	93,89
	0,6	3	164,17	0,165828	27,63805	102,57	266,74
	0,6	4	5,17	0,005222	0,87037	87,35	92,52

Medição 2: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,22	0,000222	0,074074	102,56	102,78
	0,3	2	3,24	0,003273	1,090909	87,29	90,53
	0,3	3	8,64	0,008727	2,909091	105,56	114,2
	0,3	4	7,4	0,007475	2,491582	87,3	94,7
	0,4	1	0,02	2,02E-05	0,005051	102,55	102,57
	0,4	2	11,38	0,011495	2,873737	87,3	98,68
	0,4	3	39,27	0,039667	9,916667	102,53	141,8
	0,4	4	16,07	0,016232	4,058081	87,3	103,37
	0,5	1	0	0	0	102,58	102,58
	0,5	2	15,4	0,015556	3,111111	87,33	102,73
	0,5	3	86,78	0,087657	17,53131	102,55	189,33
	0,5	4	13,05	0,013182	2,636364	87,31	100,36
	0,6	1	0	0	0	102,54	102,54
	0,6	2	13,63	0,013768	2,294613	87,32	100,95
	0,6	3	147,54	0,14903	24,83838	102,54	250,08
	0,6	4	5,98	0,00604	1,006734	87,31	93,29

Medição 3: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,31	0,000313	0,104377	102,49	102,8
	0,3	2	4,21	0,004253	1,417508	87,25	91,46
	0,3	3	12,98	0,013111	4,37037	102,5	115,48
	0,3	4	7,53	0,007606	2,535354	87,27	94,8
	0,4	1	0,01	1,01E-05	0,002525	102,49	102,5
	0,4	2	7,28	0,007354	1,838384	87,27	94,55
	0,4	3	35,37	0,035727	8,931818	102,52	137,89
	0,4	4	16,35	0,016515	4,128788	87,27	103,62
	0,5	1	0	0	0	102,55	102,55
	0,5	2	11,82	0,011939	2,387879	87,3	99,12
	0,5	3	83,85	0,084697	16,93939	102,51	186,36
	0,5	4	11,37	0,011485	2,29697	87,31	98,68
	0,6	1	0	0	0	102,54	102,54
	0,6	2	10,77	0,010879	1,813131	87,26	98,03
	0,6	3	153,22	0,154768	25,79461	102,48	255,7
	0,6	4	4,87	0,004919	0,819865	87,28	92,15

Média Injeção de líquido feita por 1 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
59	0,3	1	0,08642	0,015912	7,070707
	0,3	2	1,208754	0,181287	
	0,3	3	3,523008	0,942935	
	0,3	4	2,252525	0,452496	
	0,4	1	0,005051	0,002525	15,33249
	0,4	2	2,273569	0,537032	
	0,4	3	9,409933	0,493048	
	0,4	4	3,643939	0,77935	
	0,5	1	0	0	22,55825
	0,5	2	2,26936	0,906837	
	0,5	3	17,87744	1,150835	
	0,5	4	2,411448	0,194793	
	0,6	1	0	0	28,72559
	0,6	2	1,736251	0,06504	
	0,6	3	26,09035	1,423068	
	0,6	4	0,89899	0,096666	

Tabela A.2-Resultados das medições e da média feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita pelos 4 orifícios, $V = 59 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$.

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0	0	0	102,46	102,46
	0,3	2	0,09	9,09E-05	0,030303	87,3	87,39
	0,3	3	47	0,047475	15,82492	102,47	149,47
	0,3	4	0,03	3,03E-05	0,010101	87,26	87,29
	0,4	1	0,36	0,000364	0,090909	102,55	102,91
	0,4	2	0,38	0,000384	0,09596	87,34	87,72
	0,4	3	61,07	0,061687	15,42172	102,56	163,63
	0,4	4	0,31	0,000313	0,078283	87,31	87,62
	0,5	1	0,51	0,000515	0,10303	102,56	103,07
	0,5	2	0,71	0,000717	0,143434	87,37	88,08
	0,5	3	64,04	0,064687	12,93737	102,56	166,6
	0,5	4	0,59	0,000596	0,119192	87,37	87,96
	0,6	1	0,54	0,000545	0,090909	102,59	103,13
	0,6	2	1,29	0,001303	0,217172	87,34	88,63
	0,6	3	66,35	0,06702	11,17003	102,55	168,9
	0,6	4	0,97	0,00098	0,1633	87,35	88,32
	0,9	1	0,43	0,000434	0,04826	102,49	102,92
	0,9	2	10,53	0,010636	1,181818	87,22	97,75
	0,9	3	63,84	0,064485	7,164983	102,49	166,33
	0,9	4	7,96	0,00804	0,893378	87,26	95,22
1,2	1	0,54	0,000545	0,045455	102,45	102,99	
1,2	2	35,57	0,035929	2,994108	87,26	122,83	
1,2	3	92,85	0,093788	7,815657	102,53	195,38	
1,2	4	40,17	0,040576	3,381313	87,24	127,41	

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,11	0,000111	0,037037	102,55	102,66
	0,3	2	0,19	0,000192	0,063973	87,26	87,45
	0,3	3	49,59	0,050091	16,69697	102,58	152,17
	0,3	4	0,09	9,09E-05	0,030303	87,32	87,41
	0,4	1	0,29	0,000293	0,073232	102,58	102,87
	0,4	2	0,64	0,000646	0,161616	87,36	88
	0,4	3	65,01	0,065667	16,41667	102,59	167,6
	0,4	4	0,26	0,000263	0,065657	87,4	87,66
	0,5	1	0,48	0,000485	0,09697	102,57	103,05
	0,5	2	0,94	0,000949	0,189899	87,34	88,28
	0,5	3	68,64	0,069333	13,86667	102,63	171,27
	0,5	4	1,6	0,001616	0,323232	87,4	89
	0,6	1	0,53	0,000535	0,089226	102,59	103,12
	0,6	2	1,42	0,001434	0,239057	87,3	88,72
	0,6	3	67,91	0,068596	11,43266	102,55	170,46
	0,6	4	2,4	0,002424	0,40404	87,36	89,76
	0,9	1	0,4	0,000404	0,044893	102,5	102,9
	0,9	2	14,04	0,014182	1,575758	87,22	101,26
	0,9	3	84,66	0,085515	9,501684	102,51	187,17
	0,9	4	18,36	0,018545	2,060606	87,24	105,6
1,2	1	0,41	0,000414	0,034512	102,5	102,91	
1,2	2	22,2	0,022424	1,868687	87,24	109,44	
1,2	3	134,81	0,136172	11,34764	102,47	237,28	
1,2	4	48,19	0,048677	4,056397	87,31	135,5	

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,16	0,000162	0,053872	102,46	102,62
	0,3	2	0,07	7,07E-05	0,023569	87,31	87,38
	0,3	3	48,48	0,04897	16,32323	102,5	150,98
	0,3	4	0,18	0,000182	0,060606	87,24	87,42
	0,4	1	0,44	0,000444	0,111111	102,52	102,96
	0,4	2	0,25	0,000253	0,063131	87,35	87,6
	0,4	3	56,82	0,057394	14,34848	102,52	159,34
	0,4	4	0,31	0,000313	0,078283	87,3	87,61
	0,5	1	0,58	0,000586	0,117172	102,49	103,07
	0,5	2	0,86	0,000869	0,173737	87,3	88,16
	0,5	3	67,07	0,067747	13,54949	102,5	169,57
	0,5	4	0,68	0,000687	0,137374	87,33	88,01
	0,6	1	0,58	0,000586	0,097643	102,5	103,08
	0,6	2	1,54	0,001556	0,259259	87,26	88,8
	0,6	3	70,95	0,071667	11,94444	102,49	173,44
	0,6	4	1,22	0,001232	0,205387	87,29	88,51
	0,9	1	0,32	0,000323	0,035915	102,49	102,81
	0,9	2	14,51	0,014657	1,628507	87,27	101,78
	0,9	3	74,06	0,074808	8,312009	102,49	176,55
	0,9	4	18,21	0,018394	2,043771	87,26	105,47
1,2	1	0,38	0,000384	0,031987	102,54	102,92	
1,2	2	24,73	0,02498	2,08165	87,24	111,97	
1,2	3	132,99	0,134333	11,19444	102,54	235,53	
1,2	4	60,59	0,061202	5,100168	87,25	147,84	

Média					
Injeção de líquido feita pelos 4 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
59	0,3	1	0,030303	0,02756	16,38496
	0,3	2	0,039282	0,021647	
	0,3	3	16,28171	0,437508	
	0,3	4	0,03367	0,02542	
	0,4	1	0,091751	0,018953	15,66835
	0,4	2	0,106902	0,050146	
	0,4	3	15,39562	1,034338	
	0,4	4	0,074074	0,00729	
	0,5	1	0,105724	0,010367	13,91919
	0,5	2	0,169024	0,023588	
	0,5	3	13,45118	0,472383	
	0,5	4	0,193266	0,112921	
	0,6	1	0,092593	0,004454	12,10438
	0,6	2	0,238496	0,021049	
	0,6	3	11,51571	0,393829	
	0,6	4	0,257576	0,128576	
	0,9	1	0,043023	0,006382	11,49719
	0,9	2	1,462028	0,244098	
	0,9	3	8,326225	1,168415	
	0,9	4	1,665918	0,669092	
1,2	1	0,037318	0,007159	16,65067	
1,2	2	2,314815	0,597844		
1,2	3	10,11925	1,996439		
1,2	4	4,179293	0,865993		

Tabela A.3-Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,54	0,000545	0,181818	102,48	103,02
	0,3	2	0,43	0,000434	0,144781	87,33	87,76
	0,3	3	24,3	0,024545	8,181818	102,52	126,82
	0,3	4	0,14	0,000141	0,047138	87,29	87,43
	0,4	1	0,53	0,000535	0,133838	102,55	103,08
	0,4	2	1,79	0,001808	0,45202	87,33	89,12
	0,4	3	23,61	0,023848	5,962121	102,6	126,21
	0,4	4	1,68	0,001697	0,424242	87,33	89,01
	0,5	1	0,33	0,000333	0,066667	102,54	102,87
	0,5	2	5,17	0,005222	1,044444	87,32	92,49
	0,5	3	16,11	0,016273	3,254545	102,61	118,72
	0,5	4	5,27	0,005323	1,064646	87,32	92,59
	0,6	1	0,3	0,000303	0,050505	102,54	102,84
	0,6	2	7,05	0,007121	1,186869	87,31	94,36
	0,6	3	19,06	0,019253	3,208754	102,54	121,6
	0,6	4	10,74	0,010848	1,808081	87,31	98,05
	0,9	1	44,16	0,044606	4,956229	102,54	146,7
	0,9	2	31,85	0,032172	3,574635	87,27	119,12
	0,9	3	164,88	0,166545	18,50505	102,5	267,38
	0,9	4	18,25	0,018434	2,04826	87,26	105,51
1,2	1	29,18	0,029475	2,456229	102,5	131,68	
1,2	2	74,63	0,075384	6,281987	87,26	161,89	
1,2	3	197,26	0,199253	16,60438	102,51	299,77	
1,2	4	94,37	0,095323	7,943603	87,29	181,66	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,52	0,000525	0,175084	102,59	103,11
	0,3	2	0,34	0,000343	0,114478	87,36	87,7
	0,3	3	23	0,023232	7,744108	102,58	125,58
	0,3	4	0,45	0,000455	0,151515	87,33	87,78
	0,4	1	0,5	0,000505	0,126263	102,6	103,1
	0,4	2	1,35	0,001364	0,340909	87,32	88,67
	0,4	3	20,5	0,020707	5,176768	102,6	123,1
	0,4	4	1,54	0,001556	0,388889	87,35	88,89
	0,5	1	0,35	0,000354	0,070707	102,57	102,92
	0,5	2	3,37	0,003404	0,680808	87,34	90,71
	0,5	3	18,52	0,018707	3,741414	102,59	121,11
	0,5	4	7,59	0,007667	1,533333	87,3	94,89
	0,6	1	0,24	0,000242	0,040404	102,6	102,84
	0,6	2	6,13	0,006192	1,031987	87,3	93,43
	0,6	3	20,51	0,020717	3,452862	102,57	123,08
	0,6	4	14,42	0,014566	2,427609	87,31	101,73
	0,9	1	52,22	0,052747	5,860831	102,51	154,73
	0,9	2	31,16	0,031475	3,497194	87,27	118,43
	0,9	3	161,78	0,163414	18,15713	102,53	264,31
	0,9	4	16,09	0,016253	1,805836	87,26	103,35
1,2	1	44,97	0,045424	3,785354	102,66	147,63	
1,2	2	77,52	0,078303	6,525253	87,27	164,79	
1,2	3	195,29	0,197263	16,43855	102,48	297,77	
1,2	4	80,38	0,081192	6,765993	87,24	167,62	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,56	0,000566	0,188552	102,52	103,08
	0,3	2	0,29	0,000293	0,097643	87,31	87,6
	0,3	3	22,68	0,022909	7,636364	102,52	125,2
	0,3	4	0,47	0,000475	0,158249	87,34	87,81
	0,4	1	0,44	0,000444	0,111111	102,61	103,05
	0,4	2	1,65	0,001667	0,416667	87,31	88,96
	0,4	3	21,11	0,021323	5,330808	102,59	123,7
	0,4	4	3,05	0,003081	0,770202	87,33	90,38
	0,5	1	0,3	0,000303	0,060606	102,6	102,9
	0,5	2	3,85	0,003889	0,777778	87,33	91,18
	0,5	3	13,77	0,013909	2,781818	102,61	116,38
	0,5	4	7,75	0,007828	1,565657	87,32	95,07
	0,6	1	0,27	0,000273	0,045455	102,56	102,83
	0,6	2	6,47	0,006535	1,089226	87,28	93,75
	0,6	3	20,17	0,020374	3,395623	102,61	122,78
	0,6	4	15,17	0,015323	2,553872	87,32	102,49
	0,9	1	55,2	0,055758	6,195286	102,5	157,7
	0,9	2	32,15	0,032475	3,608305	87,3	119,45
	0,9	3	164,13	0,165788	18,42088	102,55	266,68
	0,9	4	15,94	0,016101	1,789001	87,3	103,24
1,2	1	84,45	0,085303	7,108586	102,55	187	
1,2	2	72,51	0,073242	6,103535	87,28	159,79	
1,2	3	196,78	0,198768	16,56397	102,47	299,25	
1,2	4	45,99	0,046455	3,871212	87,28	133,27	

Média Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
59	0,3	1	0,181818	0,006734	8,27385
	0,3	2	0,118967	0,023888	
	0,3	3	7,854097	0,288883	
	0,3	4	0,118967	0,062297	
	0,4	1	0,123737	0,011572	6,544613
	0,4	2	0,403199	0,056767	
	0,4	3	5,489899	0,416146	
	0,4	4	0,527778	0,210688	
	0,5	1	0,065993	0,005084	5,547475
	0,5	2	0,834343	0,188302	
	0,5	3	3,259259	0,479815	
	0,5	4	1,387879	0,280394	
	0,6	1	0,045455	0,005051	6,763749
	0,6	2	1,102694	0,078315	
	0,6	3	3,352413	0,127662	
	0,6	4	2,263187	0,399158	
	0,9	1	5,670782	0,641018	29,47288
	0,9	2	3,50,645	0,056974	
	0,9	3	18,36102	0,181521	
	0,9	4	1,881033	0,145068	
1,2	1	4,450056	2,396347	33,48288	
1,2	2	6,303591	0,211687		
1,2	3	16,53563	0,086468		
1,2	4	6,193603	2,095666		

Tabela A.4-Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,11	0,000111	0,037037	60,16	60,27
	0,3	2	2,87	0,002899	0,96633	87,26	90,13
	0,3	3	26,96	0,027232	9,077441	102,47	129,43
	0,3	4	0,57	0,000576	0,191919	86,42	86,99
	0,4	1	0,21	0,000212	0,05303	60,25	60,46
	0,4	2	4,3	0,004343	1,085859	87,3	91,6
	0,4	3	32,74	0,033071	8,267677	102,53	135,27
	0,4	4	1,26	0,001273	0,318182	86,46	87,72
	0,5	1	0,58	0,000586	0,117172	60,25	60,83
	0,5	2	7,02	0,007091	1,418182	87,34	94,36
	0,5	3	42,66	0,043091	8,618182	102,57	145,23
	0,5	4	4,49	0,004535	0,907071	86,5	90,99
	0,6	1	0,89	0,000899	0,149832	60,33	61,22
	0,6	2	10,07	0,010172	1,695286	87,31	97,38
	0,6	3	56,87	0,057444	9,574074	102,56	159,43
	0,6	4	11,76	0,011879	1,979798	86,5	98,26
	0,9	1	1,11	0,001121	0,124579	102,55	103,66
	0,9	2	23,98	0,024222	2,691358	87,23	111,21
	0,9	3	94,99	0,095949	10,66105	102,48	197,47
	0,9	4	30,76	0,031071	3,452301	87,24	118
1,2	1	12,56	0,012687	1,057239	102,57	115,13	
1,2	2	90,07	0,09098	7,58165	87,24	177,31	
1,2	3	77,51	0,078293	6,524411	102,48	179,99	
1,2	4	14,25	0,014394	1,199495	87,21	101,46	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,05	5,05E-05	0,016835	60,33	60,38
	0,3	2	2,72	0,002747	0,915825	87,25	89,97
	0,3	3	32,61	0,032939	10,9798	102,56	135,17
	0,3	4	0,6	0,000606	0,20202	86,6	87,2
	0,4	1	0,12	0,000121	0,030303	60,32	60,44
	0,4	2	5,12	0,005172	1,292929	87,28	92,4
	0,4	3	40,83	0,041242	10,31061	102,49	143,32
	0,4	4	1,48	0,001495	0,373737	86,52	88
	0,5	1	0,21	0,000212	0,042424	60,32	60,53
	0,5	2	12,59	0,012717	2,543434	87,23	99,82
	0,5	3	37,78	0,038162	7,632323	102,55	140,33
	0,5	4	3,69	0,003727	0,745455	86,51	90,2
	0,6	1	0,61	0,000616	0,102694	60,35	60,96
	0,6	2	27,59	0,027869	4,644781	87,25	114,84
	0,6	3	43,26	0,043697	7,282828	102,51	145,77
	0,6	4	6,31	0,006374	1,06229	86,47	92,78
	0,9	1	1,05	0,001061	0,117845	102,52	103,57
	0,9	2	24,01	0,024253	2,694725	87,26	111,27
	0,9	3	95,82	0,096788	10,75421	102,44	198,26
	0,9	4	28,46	0,028747	3,194164	87,26	115,72
	1,2	1	8,14	0,008222	0,685185	102,53	110,67
	1,2	2	101,71	0,102737	8,561448	87,29	189
	1,2	3	86,59	0,087465	7,288721	102,51	189,1
	1,2	4	4,15	0,004192	0,349327	87,29	91,44

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,02	2,02E-05	0,006734	60,29	60,31
	0,3	2	2,13	0,002152	0,717172	87,26	89,39
	0,3	3	34,85	0,035202	11,73401	102,62	137,47
	0,3	4	0,62	0,000626	0,208754	86,46	87,08
	0,4	1	0,09	9,09E-05	0,022727	60,28	60,37
	0,4	2	3,97	0,00401	1,002525	87,29	91,26
	0,4	3	35,63	0,03599	8,997475	102,54	138,17
	0,4	4	0,79	0,000798	0,199495	86,51	87,3
	0,5	1	0,19	0,000192	0,038384	60,29	60,48
	0,5	2	12,13	0,012253	2,450505	87,29	99,42
	0,5	3	42,96	0,043394	8,678788	102,63	145,59
	0,5	4	3,44	0,003475	0,694949	86,47	89,91
	0,6	1	0,5	0,000505	0,084175	60,31	60,81
	0,6	2	26,29	0,026556	4,425926	87,28	113,57
	0,6	3	47,84	0,048323	8,053872	102,62	150,46
	0,6	4	14,85	0,015	2,5	86,43	101,28
	0,9	1	1,17	0,001182	0,131313	102,55	103,72
	0,9	2	22,67	0,022899	2,544332	87,21	109,88
	0,9	3	94,76	0,095717	10,63524	102,5	197,26
	0,9	4	29,12	0,029414	3,268238	87,21	116,33
1,2	1	31,34	0,031657	2,638047	102,55	133,89	
1,2	2	88,99	0,089889	7,490741	87,27	176,26	
1,2	3	80,73	0,081545	6,795455	102,53	183,26	
1,2	4	8,6	0,008687	0,723906	87,31	95,91	

Média Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
59	0,3	1	0,020202	0,01543	11,68462
	0,3	2	0,866442	0,131715	
	0,3	3	10,59708	1,36901	
	0,3	4	0,200898	0,008473	
	0,4	1	0,035354	0,01577	10,65152
	0,4	2	1,127104	0,149531	
	0,4	3	9,191919	1,035252	
	0,4	4	0,297138	0,089007	
	0,5	1	0,065993	0,044368	11,29562
	0,5	2	2,137374	0,624569	
	0,5	3	8,309764	0,587463	
	0,5	4	0,782492	0,110805	
	0,6	1	0,112233	0,033852	13,85185
	0,6	2	3,588664	1,643361	
	0,6	3	8,303591	1,165857	
	0,6	4	1,847363	0,727947	
	0,9	1	0,124579	0,006734	16,75645
	0,9	2	2,643472	0,085874	
	0,9	3	10,6835	0,06258	
	0,9	4	3,304901	0,132916	
1,2	1	1,460157	1,036906	16,96521	
1,2	2	7,877946	0,593672		
1,2	3	6,869529	0,387502		
1,2	4	0,757576	0,426083		

Tabela A.5-Resultados das 3 medições e da média entre elas feita para a fração de filme para cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 59$ m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,49	0,000495	0,164983	102,55	103,04
	0,3	2	2,28	0,002303	0,767677	86,35	88,63
	0,3	3	31,09	0,031404	10,46801	87,25	118,34
	0,3	4	0,27	0,000273	0,090909	60,13	60,4
	0,4	1	1,39	0,001404	0,35101	102,52	103,91
	0,4	2	2,65	0,002677	0,669192	86,41	89,06
	0,4	3	33,45	0,033788	8,44697	87,33	120,78
	0,4	4	1,63	0,001646	0,411616	60,24	61,87
	0,5	1	0,89	0,000899	0,179798	102,49	103,38
	0,5	2	3,46	0,003495	0,69899	86,5	89,96
	0,5	3	30,32	0,030626	6,125253	87,4	117,72
	0,5	4	4,91	0,00496	0,991919	60,25	65,16
	0,6	1	0,66	0,000667	0,111111	102,5	103,16
	0,6	2	4,07	0,004111	0,685185	86,48	90,55
	0,6	3	31,43	0,031747	5,291246	87,43	118,86
	0,6	4	12,13	0,012253	2,042088	60,25	72,38
	0,9	1	1,31	0,001323	0,147026	102,5	103,81
	0,9	2	6,99	0,007061	0,784512	86,48	93,47
	0,9	3	69,76	0,070465	7,829405	87,43	157,19
	0,9	4	39,26	0,039657	4,406285	60,23	99,49
1,2	1	11,78	0,011899	0,991582	102,51	114,29	
1,2	2	15,62	0,015778	1,314815	86,49	102,11	
1,2	3	112,57	0,113707	9,475589	87,34	199,91	
1,2	4	63,87	0,064515	5,376263	60,28	124,15	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	0,64	0,000646	0,215488	102,53	103,17
	0,3	2	2,13	0,002152	0,717172	86,41	88,54
	0,3	3	31,47	0,031788	10,59596	87,36	118,83
	0,3	4	0,33	0,000333	0,111111	60,24	60,57
	0,4	1	1,36	0,001374	0,343434	102,52	103,88
	0,4	2	2,69	0,002717	0,679293	86,46	89,15
	0,4	3	33,89	0,034232	8,558081	87,36	121,25
	0,4	4	1,45	0,001465	0,366162	60,21	61,66
	0,5	1	1,05	0,001061	0,212121	102,48	103,53
	0,5	2	3,32	0,003354	0,670707	86,51	89,83
	0,5	3	30,68	0,03099	6,19798	87,41	118,09
	0,5	4	3,94	0,00398	0,79596	60,25	64,19
	0,6	1	0,69	0,000697	0,116162	102,46	103,15
	0,6	2	4,03	0,004071	0,678451	86,46	90,49
	0,6	3	31,61	0,031929	5,321549	87,45	119,06
	0,6	4	11,55	0,011667	1,944444	60,26	71,81
	0,9	1	0,96	0,00097	0,107744	102,51	103,47
	0,9	2	7,07	0,007141	0,79349	86,47	93,54
	0,9	3	71,68	0,072404	8,044893	87,33	159,01
	0,9	4	38,43	0,038818	4,313131	60,19	98,62
1,2	1	11,42	0,011535	0,961279	102,55	113,97	
1,2	2	15,92	0,016081	1,340067	86,43	102,35	
1,2	3	113,97	0,115121	9,593434	87,27	201,24	
1,2	4	64,33	0,06498	5,414983	60,32	124,65	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
59	0,3	1	1,11	0,001121	0,373737	102,6	103,71
	0,3	2	2,11	0,002131	0,710438	86,42	88,53
	0,3	3	32,34	0,032667	10,88889	87,5	119,84
	0,3	4	0,25	0,000253	0,084175	60,29	60,54
	0,4	1	1,31	0,001323	0,330808	102,5	103,81
	0,4	2	2,7	0,002727	0,681818	86,46	89,16
	0,4	3	34,37	0,034717	8,679293	87,36	121,73
	0,4	4	1,36	0,001374	0,343434	60,21	61,57
	0,5	1	0,84	0,000848	0,169697	102,52	103,36
	0,5	2	3,39	0,003424	0,684848	86,46	89,85
	0,5	3	30,58	0,030889	6,177778	87,4	117,98
	0,5	4	4,74	0,004788	0,957576	60,29	65,03
	0,6	1	0,77	0,000778	0,12963	102,52	103,29
	0,6	2	3,81	0,003848	0,641414	86,44	90,25
	0,6	3	30,51	0,030818	5,136364	87,37	117,88
	0,6	4	10,85	0,01096	1,826599	60,22	71,07
	0,9	1	0,96	0,00097	0,107744	102,51	103,47
	0,9	2	7,53	0,007606	0,845118	86,45	93,98
	0,9	3	74,6	0,075354	8,372615	87,32	161,92
	0,9	4	39,91	0,040313	4,479237	60,22	100,13
1,2	1	11,49	0,011606	0,967172	102,5	113,99	
1,2	2	15,74	0,015899	1,324916	86,46	102,2	
1,2	3	113,03	0,114172	9,51431	87,27	200,3	
1,2	4	64,64	0,065293	5,441077	60,38	125,02	

Média Injeção de líquido feita por 3 orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
59	0,3	1	0,251403	0,108913	11,72952
	0,3	2	0,731762	0,031285	
	0,3	3	10,65095	0,21576	
	0,3	4	0,095398	0,014018	
	0,4	1	0,341751	0,010206	9,953704
	0,4	2	0,676768	0,006681	
	0,4	3	8,561448	0,116198	
	0,4	4	0,373737	0,034716	
	0,5	1	0,187205	0,022161	7,954209
	0,5	2	0,684848	0,014141	
	0,5	3	6,167003	0,037542	
	0,5	4	0,915152	0,104642	
	0,6	1	0,118967	0,009573	7,974747
	0,6	2	0,66835	0,023569	
	0,6	3	5,249719	0,099331	
	0,6	4	1,93771	0,107902	
	0,9	1	0,120838	0,022679	13,4104
	0,9	2	0,807707	0,032709	
	0,9	3	8,082305	0,273531	
	0,9	4	4,399551	0,083257	
1,2	1	0,973345	0,016067	17,2385	
1,2	2	1,326599	0,01271		
1,2	3	9,527778	0,00,666		
1,2	4	5,410774	0,032612		

• $V = 64 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

Tabela A.6-Resultados das 3 medições feitas e das medias para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 64 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,16	0,000162	0,053872	102,55	102,71
	0,3	2	4,59	0,004636	1,545455	87,31	91,9
	0,3	3	8,22	0,008303	2,767677	102,55	110,77
	0,3	4	6,16	0,006222	2,074074	87,32	93,48
	0,4	1	0,06	6,06E-05	0,015152	102,55	102,61
	0,4	2	14,6	0,014747	3,686869	87,33	101,93
	0,4	3	32,84	0,033172	8,292929	102,58	135,42
	0,4	4	13,37	0,013505	3,376263	87,34	100,71
	0,5	1	0	0	0	102,5	102,5
	0,5	2	23,57	0,023808	4,761616	87,27	110,84
	0,5	3	105,6	0,106667	21,33333	102,5	208,1
	0,5	4	16,54	0,016707	3,341414	87,27	103,81
	0,6	1	0	0	0	102,5	102,5
	0,6	2	26,57	0,026838	4,473064	87,27	113,84
	0,6	3	175,05	0,176818	29,4697	102,5	277,55
	0,6	4	12,69	0,012818	2,136364	87,28	99,97

Medição 2: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,25	0,000253	0,084175	60,52	60,77
	0,3	2	2,7	0,002727	0,909091	87,3	90
	0,3	3	7,79	0,007869	2,622896	102,64	110,43
	0,3	4	4,93	0,00498	1,659933	86,64	91,57
	0,4	1	0,05	5,05E-05	0,012626	60,4	60,45
	0,4	2	9,02	0,009111	2,277778	87,35	96,37
	0,4	3	35,85	0,036212	9,05303	102,57	138,42
	0,4	4	10,18	0,010283	2,570707	86,58	96,76
	0,5	1	0,02	2,02E-05	0,00404	60,45	60,47
	0,5	2	9,32	0,009414	1,882828	87,32	96,64
	0,5	3	106,13	0,107202	21,4404	102,64	208,77
	0,5	4	7,97	0,008051	1,610101	86,53	94,5
	0,6	1	0	0	0	60,42	60,42
	0,6	2	4,34	0,004384	0,73064	87,33	91,67
	0,6	3	191,59	0,193525	32,25421	102,55	294,14
	0,6	4	3,52	0,003556	0,592593	86,54	90,06

Medição 3: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,14	0,000141	0,047138	60,38	60,52
	0,3	2	4	0,00404	1,346801	87,29	91,29
	0,3	3	12,36	0,012485	4,161616	102,56	114,92
	0,3	4	4,48	0,004525	1,508418	86,5	90,98
	0,4	1	0,02	2,02E-05	0,005051	60,54	60,56
	0,4	2	8,21	0,008293	2,073232	87,31	95,52
	0,4	3	42,37	0,042798	10,69949	102,53	144,9
	0,4	4	7,57	0,007646	1,911616	86,44	94,01
	0,5	1	0,01	1,01E-05	0,00202	60,41	60,42
	0,5	2	7,39	0,007465	1,492929	87,31	94,7
	0,5	3	103,91	0,10496	20,99192	102,66	206,57
	0,5	4	8,16	0,008242	1,648485	86,67	94,83
	0,6	1	0,02	2,02E-05	0,003367	60,38	60,4
	0,6	2	5,5	0,005556	0,925926	87,27	92,77
	0,6	3	189,5	0,191414	31,90236	102,5	292
	0,6	4	3,6	0,003636	0,606061	86,58	90,18

Média Injeção de líquido feita por 1 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
64	0,3	1	0,061728	0,019729	6,260382
	0,3	2	1,267116	0,32558	
	0,3	3	3,184063	1,253567	
	0,3	4	1,747475	0,292813	
	0,4	1	0,010943	0,005257	14,65825
	0,4	2	2,679293	0,878559	
	0,4	3	9,348485	1,230187	
	0,4	4	2,619529	0,733543	
	0,5	1	0,00202	0,00202	26,1697
	0,5	2	2,712458	1,785299	
	0,5	3	21,25522	0,234224	
	0,5	4	2,2	0,98868	
	0,6	1	0,001122	0,001944	34,36476
	0,6	2	2,04321	2,10658	
	0,6	3	31,20875	1,516308	
	0,6	4	1,111672	0,887434	

Tabela A.7- Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,01	1,0101E-05	0,003367	102,47	102,48
	0,3	2	0,19	0,00019192	0,063973	87,32	87,51
	0,3	3	41,31	0,04172727	13,90909	102,47	143,78
	0,3	4	0,09	9,0909E-05	0,030303	87,26	87,35
	0,4	1	0,3	0,00030303	0,075758	102,49	102,79
	0,4	2	0,61	0,00061616	0,15404	87,33	87,94
	0,4	3	53,37	0,05390909	13,47727	102,55	155,92
	0,4	4	0,58	0,00058586	0,146465	87,34	87,92
	0,5	1	0,42	0,00042424	0,084848	102,51	102,93
	0,5	2	1,21	0,00122222	0,244444	87,33	88,54
	0,5	3	58,58	0,05917172	11,83434	102,57	161,15
	0,5	4	1,49	0,00150505	0,30101	87,32	88,81
	0,6	1	0,39	0,00039394	0,065657	102,53	102,92
	0,6	2	1,81	0,00182828	0,304714	87,29	89,1
	0,6	3	59,96	0,06056566	10,09428	102,55	162,51
	0,6	4	2,48	0,00250505	0,417508	87,33	89,81
	0,9	1	0,93	0,00093939	0,104377	102,47	103,4
	0,9	2	7,2	0,00727273	0,808081	87,3	94,5
	0,9	3	61,46	0,06208081	6,897868	102,52	163,98
	0,9	4	6,39	0,00645455	0,717172	87,27	93,66
	1,2	1	0,43	0,00043434	0,036195	102,6	103,03
	1,2	2	19,5	0,01969697	1,641414	87,29	106,79
	1,2	3	60,11	0,06071717	5,059764	102,55	162,66
	1,2	4	14,97	0,01512121	1,260101	87,28	102,25

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,09	9,0909E-05	0,030303	60,14	60,23
	0,3	2	0,77	0,00077778	0,259259	87,23	88
	0,3	3	41,78	0,04220202	14,06734	102,45	144,23
	0,3	4	0,13	0,00013131	0,043771	86,33	86,46
	0,4	1	0,5	0,00050505	0,126263	60,22	60,72
	0,4	2	1,21	0,00122222	0,305556	87,34	88,55
	0,4	3	50,01	0,05051515	12,62879	102,5	152,51
	0,4	4	0,35	0,00035354	0,088384	86,45	86,8
	0,5	1	0,75	0,00075758	0,151515	60,27	61,02
	0,5	2	1,62	0,00163636	0,327273	87,35	88,97
	0,5	3	59,32	0,05991919	11,98384	102,58	161,9
	0,5	4	1,04	0,00105051	0,210101	86,51	87,55
	0,6	1	0,77	0,00077778	0,12963	60,3	61,07
	0,6	2	2,28	0,00230303	0,383838	87,36	89,64
	0,6	3	59,62	0,06022222	10,03704	102,52	162,14
	0,6	4	3,55	0,00358586	0,597643	86,5	90,05
	0,9	1	0,73	0,00073737	0,08193	102,55	103,28
	0,9	2	6,44	0,00650505	0,722783	87,3	93,74
	0,9	3	61,83	0,06245455	6,939394	102,54	164,37
	0,9	4	6,15	0,00621212	0,690236	87,29	93,44
1,2	1	0,43	0,00043434	0,036195	102,68	103,11	
1,2	2	19,57	0,01976768	1,647306	87,29	106,86	
1,2	3	59,69	0,06029293	5,024411	102,65	162,34	
1,2	4	15,49	0,01564646	1,303872	87,33	102,82	

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,15	0,00015152	0,050505	60,44	60,59
	0,3	2	0,75	0,00075758	0,252525	87,34	88,09
	0,3	3	41,94	0,04236364	14,12121	102,51	144,45
	0,3	4	0,21	0,00021212	0,070707	86,57	86,78
	0,4	1	0,52	0,00052525	0,131313	60,38	60,9
	0,4	2	1,19	0,00120202	0,300505	87,4	88,59
	0,4	3	52,34	0,05286869	13,21717	102,57	154,91
	0,4	4	0,78	0,00078788	0,19697	86,57	87,35
	0,5	1	0,8	0,00080808	0,161616	60,32	61,12
	0,5	2	1,67	0,00168687	0,337374	87,35	89,02
	0,5	3	60,12	0,06072727	12,14545	102,55	162,67
	0,5	4	1,94	0,0019596	0,391919	86,59	88,53
	0,6	1	0,78	0,00078788	0,131313	60,32	61,1
	0,6	2	2,03	0,00205051	0,341751	87,35	89,38
	0,6	3	61,86	0,06248485	10,41414	102,59	164,45
	0,6	4	2,65	0,00267677	0,446128	86,54	89,19
	0,9	1	0,54	0,00054545	0,060606	102,58	103,12
	0,9	2	7,13	0,00720202	0,800224	87,3	94,43
	0,9	3	62,58	0,06321212	7,023569	102,55	165,13
	0,9	4	6,41	0,00647475	0,719416	87,36	93,77
1,2	1	0,52	0,00052525	0,043771	102,6	103,12	
1,2	2	19,25	0,01944444	1,62037	87,31	106,56	
1,2	3	60,16	0,06076768	5,063973	102,59	162,75	
1,2	4	15,12	0,01527273	1,272727	87,29	102,41	

Média Injeção de líquido feita pelos 4 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
4	0,3	1	0,028058	0,023649	14,30079
	0,3	2	0,191919	0,110856	
	0,3	3	14,03255	0,110258	
	0,3	4	0,04826	0,020573	
	0,4	1	0,111111	0,030721	13,61616
	0,4	2	0,253367	0,086056	
	0,4	3	13,10774	0,434698	
	0,4	4	0,143939	0,054337	
	0,5	1	0,13266	0,041713	12,72458
	0,5	2	0,30303	0,050988	
	0,5	3	11,98788	0,155595	
	0,5	4	0,30101	0,090909	
	0,6	1	0,108866	0,03743	11,12121
	0,6	2	0,343434	0,039589	
	0,6	3	10,18182	0,203223	
	0,6	4	0,487093	0,096803	
	0,9	1	0,082305	0,021888	8,521886
	0,9	2	0,77703	0,047143	
	0,9	3	6,95361	0,064045	
	0,9	4	0,708941	0,016238	
1,2	1	0,038721	0,004374	8,003367	
1,2	2	1,636364	0,01416		
1,2	3	5,049383	0,021728		
1,2	4	1,2789	0,022529		

Tabela A.8- Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, V = 64 m/s e Z=100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,44	0,000444	0,148148	102,51	102,95
	0,3	2	0,54	0,000545	0,181818	87,36	87,9
	0,3	3	14,87	0,01502	5,006734	102,57	117,44
	0,3	4	0,79	0,000798	0,265993	87,35	88,14
	0,4	1	0,41	0,000414	0,103535	102,5	102,91
	0,4	2	2,23	0,002253	0,563131	87,37	89,6
	0,4	3	14,5	0,014646	3,661616	102,57	117,07
	0,4	4	2,15	0,002172	0,542929	87,35	89,5
	0,5	1	0,3	0,000303	0,060606	102,54	102,84
	0,5	2	5,36	0,005414	1,082828	87,37	92,73
	0,5	3	11,81	0,011929	2,385859	102,56	114,37
	0,5	4	5,9	0,00596	1,191919	87,35	93,25
	0,6	1	0,24	0,000242	0,040404	102,51	102,75
	0,6	2	9,9	0,01	1,666667	87,31	97,21
	0,6	3	13,75	0,013889	2,314815	102,56	116,31
	0,6	4	11,41	0,011525	1,920875	87,31	98,72
	0,9	1	11,84	0,01196	1,328844	102,65	114,49
	0,9	2	35,95	0,036313	4,034792	87,34	123,29
	0,9	3	68,66	0,069354	7,705948	102,56	171,22
	0,9	4	29,46	0,029758	3,306397	87,29	116,75
	1,2	1	37,25	0,037626	3,135522	102,69	139,94
	1,2	2	69,62	0,070323	5,860269	87,39	157,01
	1,2	3	121,14	0,122364	10,19697	102,63	223,77
	1,2	4	38,81	0,039202	3,266835	87,35	126,16

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,59	0,000596	0,198653	60,3	60,89
	0,3	2	0,09	9,09E-05	0,030303	87,34	87,43
	0,3	3	21,5	0,021717	7,239057	102,53	124,03
	0,3	4	0,7	0,000707	0,23569	86,58	87,28
	0,4	1	0,54	0,000545	0,136364	60,33	60,87
	0,4	2	0,61	0,000616	0,15404	87,33	87,94
	0,4	3	18,45	0,018636	4,659091	102,52	120,97
	0,4	4	2,56	0,002586	0,646465	86,61	89,17
	0,5	1	0,28	0,000283	0,056566	60,39	60,67
	0,5	2	5,39	0,005444	1,088889	87,34	92,73
	0,5	3	18,11	0,018293	3,658586	102,52	120,63
	0,5	4	5,98	0,00604	1,208081	86,64	92,62
	0,6	1	0,33	0,000333	0,055556	60,44	60,77
	0,6	2	11,26	0,011374	1,895623	87,31	98,57
	0,6	3	33,79	0,034131	5,688552	102,53	136,32
	0,6	4	11,42	0,011535	1,922559	86,58	98
	0,9	1	10,87	0,01098	1,219978	102,61	113,48
	0,9	2	37,79	0,038172	4,241302	87,34	125,13
	0,9	3	73,11	0,073848	8,205387	102,61	175,72
	0,9	4	30,57	0,030879	3,430976	87,33	117,9
1,2	1	38,97	0,039364	3,280303	102,61	141,58	
1,2	2	68,08	0,068768	5,73064	87,37	155,45	
1,2	3	118,48	0,119677	9,973064	102,52	221	
1,2	4	38,97	0,039364	3,280303	87,32	126,29	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,57	0,000576	0,191919	60,45	61,02
	0,3	2	0,58	0,000586	0,195286	87,32	87,9
	0,3	3	19,54	0,019737	6,579125	102,5	122,04
	0,3	4	0,38	0,000384	0,127946	86,51	86,89
	0,4	1	0,4	0,000404	0,10101	60,63	61,03
	0,4	2	2,08	0,002101	0,525253	87,29	89,37
	0,4	3	20,14	0,020343	5,085859	102,54	122,68
	0,4	4	2,01	0,00203	0,507576	86,67	88,68
	0,5	1	0,4	0,000404	0,080808	60,41	60,81
	0,5	2	7,03	0,007101	1,420202	87,32	94,35
	0,5	3	21,43	0,021646	4,329293	102,57	124
	0,5	4	7,17	0,007242	1,448485	86,56	93,73
	0,6	1	0,38	0,000384	0,063973	60,54	60,92
	0,6	2	15,71	0,015869	2,644781	87,34	103,05
	0,6	3	34,96	0,035313	5,885522	102,55	137,51
	0,6	4	11,74	0,011859	1,976431	86,69	98,43
	0,9	1	11,29	0,011404	1,267116	102,72	114,01
	0,9	2	36,81	0,037182	4,131313	87,34	124,15
	0,9	3	73,77	0,074515	8,279461	102,62	176,39
	0,9	4	30,58	0,030889	3,432099	87,36	117,94
1,2	1	39,82	0,040222	3,351852	102,74	142,56	
1,2	2	73,06	0,073798	6,149832	87,42	160,48	
1,2	3	126,14	0,127414	10,61785	102,62	228,76	
1,2	4	39,96	0,040364	3,363636	87,4	127,36	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
64	0,3	1	0,179574	0,027423	6,800224
	0,3	2	0,135802	0,091613	
	0,3	3	6,274972	1,146821	
	0,3	4	0,209877	0,072554	
	0,4	1	0,113636	0,019723	5,56229
	0,4	2	0,414141	0,226049	
	0,4	3	4,468855	0,73093	
	0,4	4	0,565657	0,07218	
	0,5	1	0,065993	0,012988	6,00404
	0,5	2	1,197306	0,193057	
	0,5	3	3,457912	0,987136	
	0,5	4	1,282828	0,14369	
	0,6	1	0,053311	0,011944	8,691919
	0,6	2	2,069024	0,511593	
	0,6	3	4,62963	2,007106	
	0,6	4	1,939955	0,0316	
	0,9	1	1,271979	0,054596	16,8612
	0,9	2	4,135802	0,103328	
	0,9	3	8,063599	0,311941	
	0,9	4	3,389824	0,072252	
1,2	1	3,255892	0,110212	22,73569	
1,2	2	5,91358	0,214621		
1,2	3	10,26263	0,327366		
1,2	4	3,303591	0,052435		

Tabela A.9- Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,01	1,01E-05	0,003367	86,36	86,37
	0,3	2	0,22	0,000222	0,074074	60,21	60,43
	0,3	3	41,19	0,041606	13,86869	86,33	127,52
	0,3	4	0,21	0,000212	0,070707	60,18	60,39
	0,4	1	0,01	1,01E-05	0,002525	86,47	86,48
	0,4	2	0,43	0,000434	0,108586	60,24	60,67
	0,4	3	39,71	0,040111	10,02778	86,44	126,15
	0,4	4	0,57	0,000576	0,143939	60,24	60,81
	0,5	1	0,16	0,000162	0,032323	86,53	86,69
	0,5	2	0,67	0,000677	0,135354	60,29	60,96
	0,5	3	40,58	0,04099	8,19798	86,52	127,1
	0,5	4	1,34	0,001354	0,270707	60,21	61,55
	0,6	1	0,27	0,000273	0,045455	86,51	86,78
	0,6	2	1,23	0,001242	0,207071	60,25	61,48
	0,6	3	48,37	0,048859	8,143098	86,49	134,86
	0,6	4	2,07	0,002091	0,348485	60,26	62,33
	0,9	1	2,92	0,002949	0,327722	102,7	105,62
	0,9	2	37,39	0,037768	4,196409	87,39	124,78
	0,9	3	46,26	0,046727	5,191919	102,63	148,89
	0,9	4	7,42	0,007495	0,832772	87,38	94,8
1,2	1	8,1	0,008182	0,681818	102,8	110,9	
1,2	2	31,17	0,031485	2,623737	87,4	118,57	
1,2	3	44,4	0,044848	3,737374	102,64	147,04	
1,2	4	4,24	0,004283	0,356902	87,41	91,65	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0	0	0	86,63	86,63
	0,3	2	0,21	0,000212	0,070707	60,2	60,41
	0,3	3	43,88	0,044323	14,77441	86,51	130,39
	0,3	4	0,3	0,000303	0,10101	60,24	60,54
	0,4	1	0	0	0	86,53	86,53
	0,4	2	0,36	0,000364	0,090909	60,28	60,64
	0,4	3	42,39	0,042818	10,70455	86,56	128,95
	0,4	4	0,76	0,000768	0,191919	60,24	61
	0,5	1	0,04	4,04E-05	0,008081	86,95	86,99
	0,5	2	0,53	0,000535	0,107071	60,28	60,81
	0,5	3	43,3	0,043737	8,747475	86,61	129,91
	0,5	4	1,36	0,001374	0,274747	60,3	61,66
	0,6	1	0,29	0,000293	0,048822	86,6	86,89
	0,6	2	1,06	0,001071	0,178451	60,26	61,32
	0,6	3	47,76	0,048242	8,040404	86,55	134,31
	0,6	4	1,85	0,001869	0,311448	60,26	62,11
	0,9	1	2,48	0,002505	0,278339	102,79	105,27
	0,9	2	38,31	0,038697	4,299663	87,36	125,67
	0,9	3	48,19	0,048677	5,40853	102,75	150,94
	0,9	4	7,59	0,007667	0,851852	87,3	94,89
1,2	1	8,76	0,008848	0,737374	102,74	111,5	
1,2	2	31,31	0,031626	2,635522	87,31	118,62	
1,2	3	44,89	0,045343	3,77862	102,58	147,47	
1,2	4	4,14	0,004182	0,348485	87,33	91,47	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0	0	0	86,62	86,62
	0,3	2	0,24	0,000242	0,080808	60,24	60,48
	0,3	3	44,16	0,044606	14,86869	86,48	130,64
	0,3	4	0,33	0,000333	0,111111	60,21	60,54
	0,4	1	0	0	0	86,57	86,57
	0,4	2	0,34	0,000343	0,085859	60,24	60,58
	0,4	3	43,05	0,043485	10,87121	86,48	129,53
	0,4	4	0,71	0,000717	0,179293	60,23	60,94
	0,5	1	0,04	4,04E-05	0,008081	86,6	86,64
	0,5	2	0,8	0,000808	0,161616	60,14	60,94
	0,5	3	43,11	0,043545	8,709091	86,63	129,74
	0,5	4	1,12	0,001131	0,226263	60,57	61,69
	0,6	1	0,29	0,000293	0,048822	86,51	86,8
	0,6	2	1,29	0,001303	0,217172	60,21	61,5
	0,6	3	49,37	0,049869	8,311448	86,63	136
	0,6	4	1,47	0,001485	0,247475	60,24	61,71
	0,9	1	2,7	0,002727	0,30303	103,01	105,71
	0,9	2	39,05	0,039444	4,382716	87,4	126,45
	0,9	3	47,99	0,048475	5,386083	102,67	150,66
	0,9	4	7,38	0,007455	0,828283	87,35	94,73
1,2	1	8,11	0,008192	0,68266	102,75	110,86	
1,2	2	31,41	0,031727	2,643939	87,33	118,74	
1,2	3	44,71	0,045162	3,763468	102,54	147,25	
1,2	4	4,45	0,004495	0,374579	87,32	91,77	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
64	0,3	1	0,001122	0,001944	14,67452
	0,3	2	0,075196	0,005143	
	0,3	3	14,50393	0,552151	
	0,3	4	0,094276	0,021027	
	0,4	1	0,000842	0,001458	10,80219
	0,4	2	0,095118	0,011934	
	0,4	3	10,53451	0,446687	
	0,4	4	0,171717	0,024871	
	0,5	1	0,016162	0,013996	8,959596
	0,5	2	0,13468	0,027279	
	0,5	3	8,551515	0,306772	
	0,5	4	0,257239	0,026902	
	0,6	1	0,047699	0,001944	8,716049
	0,6	2	0,200898	0,020085	
	0,6	3	8,164983	0,136841	
	0,6	4	0,302469	0,0511	
	0,9	1	0,30303	0,024691	10,76244
	0,9	2	4,292929	0,093336	
	0,9	3	5,328844	0,11911	
	0,9	4	0,837636	0,012515	
1,2	1	0,700617	0,031835	7,454826	
1,2	2	2,6344	0,010148		
1,2	3	3,75982	0,020863		
1,2	4	0,359989	0,013318		

Tabela A.10- Resultados das médias feitas das medições para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,37	0,000374	0,124579	102,62	102,99
	0,3	2	0,19	0,000192	0,063973	87,36	87,55
	0,3	3	29,18	0,029475	9,824916	102,58	131,76
	0,3	4	0,25	0,000253	0,084175	87,35	87,6
	0,4	1	0,49	0,000495	0,123737	102,64	103,13
	0,4	2	0,42	0,000424	0,106061	87,29	87,71
	0,4	3	37,79	0,038172	9,542929	102,58	140,37
	0,4	4	0,9	0,000909	0,227273	87,32	88,22
	0,5	1	0,46	0,000465	0,092929	102,67	103,13
	0,5	2	0,68	0,000687	0,137374	87,34	88,02
	0,5	3	37,86	0,038242	7,648485	102,65	140,51
	0,5	4	3,62	0,003657	0,731313	87,34	90,96
	0,6	1	0,49	0,000495	0,082492	102,61	103,1
	0,6	2	1,1	0,001111	0,185185	86,4	87,5
	0,6	3	37,99	0,038374	6,395623	87,44	125,43
	0,6	4	7,32	0,007394	1,232323	60,29	67,61
	0,9	1	0,3	0,000303	0,03367	102,6	102,9
	0,9	2	2,36	0,002384	0,264871	86,51	88,87
	0,9	3	50,67	0,051182	5,686869	87,42	138,09
	0,9	4	33,79	0,034131	3,792368	60,34	94,13
	1,2	1	0,67	0,000677	0,056397	102,63	103,3
	1,2	2	11,54	0,011657	0,97138	86,48	98,02
	1,2	3	81,31	0,082131	6,844276	87,47	168,78
	1,2	4	61,59	0,062212	5,184343	60,3	121,89

Medição 2: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,36	0,000364	0,121212	102,65	103,01
	0,3	2	0,2	0,000202	0,06734	87,34	87,54
	0,3	3	30,82	0,031131	10,3771	102,59	133,41
	0,3	4	0,25	0,000253	0,084175	87,36	87,61
	0,4	1	0,5	0,000505	0,126263	102,57	103,07
	0,4	2	0,42	0,000424	0,106061	87,34	87,76
	0,4	3	37,71	0,038091	9,522727	102,63	140,34
	0,4	4	0,73	0,000737	0,184343	87,35	88,08
	0,5	1	0,46	0,000465	0,092929	102,81	103,27
	0,5	2	0,67	0,000677	0,135354	86,39	87,06
	0,5	3	38,2	0,038586	7,717172	87,36	125,56
	0,5	4	3,46	0,003495	0,69899	60,14	63,6
	0,6	1	0,42	0,000424	0,070707	102,65	103,07
	0,6	2	1,04	0,001051	0,175084	86,52	87,56
	0,6	3	38	0,038384	6,397306	87,47	125,47
	0,6	4	7,54	0,007616	1,26936	60,31	67,85
	0,9	1	0,3	0,000303	0,03367	102,58	102,88
	0,9	2	4,93	0,00498	0,553311	86,56	91,49
	0,9	3	50,79	0,051303	5,700337	87,37	138,16
	0,9	4	33,97	0,034313	3,81257	60,33	94,3
1,2	1	0,6	0,000606	0,050505	102,63	103,23	
1,2	2	11,17	0,011283	0,940236	86,62	97,79	
1,2	3	82,16	0,08299	6,915825	87,42	169,58	
1,2	4	61,13	0,061747	5,145623	60,32	121,45	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
64	0,3	1	0,35	0,000354	0,117845	102,77	103,12
	0,3	2	0,19	0,000192	0,063973	87,4	87,59
	0,3	3	29,89	0,030192	10,06397	102,69	132,58
	0,3	4	0,25	0,000253	0,084175	87,36	87,61
	0,4	1	0,44	0,000444	0,111111	102,65	103,09
	0,4	2	0,39	0,000394	0,098485	87,32	87,71
	0,4	3	37,51	0,037889	9,472222	102,59	140,1
	0,4	4	0,73	0,000737	0,184343	87,31	88,04
	0,5	1	0,48	0,000485	0,09697	102,64	103,12
	0,5	2	0,67	0,000677	0,135354	86,44	87,11
	0,5	3	38,01	0,038394	7,678788	87,41	125,42
	0,5	4	3,22	0,003253	0,650505	60,26	63,48
	0,6	1	0,46	0,000465	0,077441	102,57	103,03
	0,6	2	1,04	0,001051	0,175084	86,52	87,56
	0,6	3	38,08	0,038465	6,410774	87,34	125,42
	0,6	4	7,16	0,007232	1,205387	60,28	67,44
	0,9	1	0,3	0,000303	0,03367	102,65	102,95
	0,9	2	5,01	0,005061	0,56229	86,5	91,51
	0,9	3	51,49	0,05201	5,7789	87,4	138,89
	0,9	4	33,94	0,034283	3,809203	60,34	94,28
1,2	1	0,67	0,000677	0,056397	102,61	103,28	
1,2	2	11,67	0,011788	0,982323	86,63	98,3	
1,2	3	82,62	0,083455	6,954545	87,38	170	
1,2	4	60,33	0,060939	5,078283	60,31	120,64	

Média					
Injeção de líquido feita por 3 orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
64	0,3	1	0,121212	0,003367	10,35915
	0,3	2	0,065095	0,001944	
	0,3	3	10,08866	0,276921	
	0,3	4	0,084175	0	
	0,4	1	0,12037	0,008118	9,935185
	0,4	2	0,103535	0,004374	
	0,4	3	9,512626	0,03642	
	0,4	4	0,198653	0,024785	
	0,5	1	0,094276	0,002333	8,605387
	0,5	2	0,136027	0,001166	
	0,5	3	7,681481	0,034423	
	0,5	4	0,693603	0,040673	
	0,6	1	0,07688	0,005912	7,892256
	0,6	2	0,178451	0,005832	
	0,6	3	6,401235	0,008305	
	0,6	4	1,23569	0,032119	
	0,9	1	0,03367	9,21E-16	10,02058
	0,9	2	0,460157	0,169182	
	0,9	3	5,722035	0,049705	
	0,9	4	3,804714	0,010823	
1,2	1	0,054433	0,003402	13,00,64	
1,2	2	0,964646	0,021837		
1,2	3	6,904882	0,055943		
1,2	4	5,136083	0,05367		

• V = 69 m/s e Z = 100 mm

Tabela A.11-Resultados das 3 medições feitas e da média para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, V = 69 m/s e Z = 100 mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,3	0,000303	0,10101	102,62	102,92
	0,3	2	3,2	0,003232	1,077441	87,27	90,47
	0,3	3	5,5	0,005556	1,851852	102,53	108,03
	0,3	4	4,19	0,004232	1,410774	87,28	91,47
	0,4	1	0,1	0,000101	0,025253	102,54	102,64
	0,4	2	7,46	0,007535	1,883838	87,3	94,76
	0,4	3	26,24	0,026505	6,626263	102,58	128,82
	0,4	4	10,01	0,010111	2,527778	87,35	97,36
	0,5	1	0,03	3,03E-05	0,006061	102,58	102,61
	0,5	2	14,52	0,014667	2,933333	87,33	101,85
	0,5	3	61,63	0,062253	12,45051	102,58	164,21
	0,5	4	13,65	0,013788	2,757576	87,3	100,95
	0,6	1	0	0	0	102,62	102,62
	0,6	2	13,53	0,013667	2,277778	87,32	100,85
	0,6	3	121,95	0,123182	20,5303	102,59	224,54
	0,6	4	7,34	0,007414	1,23569	87,31	94,65

Medição 2: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,35	0,000354	0,117845	102,56	102,91
	0,3	2	3,23	0,003263	1,087542	87,21	90,44
	0,3	3	7,69	0,007768	2,589226	102,56	110,25
	0,3	4	3,13	0,003162	1,053872	87,26	90,39
	0,4	1	0,05	5,05E-05	0,012626	102,65	102,7
	0,4	2	9,55	0,009646	2,411616	87,33	96,88
	0,4	3	24,37	0,024616	6,15404	102,47	126,84
	0,4	4	9,85	0,009949	2,487374	87,31	97,16
	0,5	1	0,06	6,06E-05	0,012121	102,63	102,69
	0,5	2	13,78	0,013919	2,783838	87,3	101,08
	0,5	3	63,94	0,064586	12,91717	102,6	166,54
	0,5	4	13,48	0,013616	2,723232	87,25	100,73
	0,6	1	0,06	6,06E-05	0,010101	102,89	102,95
	0,6	2	13,01	0,013141	2,190236	87,37	100,38
	0,6	3	124,28	0,125535	20,92256	102,6	226,88
	0,6	4	7,23	0,007303	1,217172	87,33	94,56

Medição 3: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,31	0,000313	0,104377	102,55	102,86
	0,3	2	2,59	0,002616	0,872054	102,51	105,1
	0,3	3	5,97	0,00603	2,010101	87,24	93,21
	0,3	4	4,51	0,004556	1,518519	87,23	91,74
	0,4	1	0,12	0,000121	0,030303	102,65	102,77
	0,4	2	8,62	0,008707	2,176768	87,31	95,93
	0,4	3	22,89	0,023121	5,780303	102,65	125,54
	0,4	4	9,1	0,009192	2,29798	87,34	96,44
	0,5	1	0,04	4,04E-05	0,008081	102,64	102,68
	0,5	2	14,01	0,014152	2,830303	87,37	101,38
	0,5	3	61,31	0,061929	12,38586	102,69	164
	0,5	4	12,48	0,012606	2,521212	87,31	99,79
	0,6	1	-0,03	-3E-05	-0,00505	102,77	102,74
	0,6	2	13,4	0,013535	2,255892	87,4	100,8
	0,6	3	120,23	0,121444	20,24074	102,71	222,94
	0,6	4	7,58	0,007657	1,276094	87,37	94,95

Média Injeção de líquido feita por 1 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
69	0,3	1	0,107744	0,008908	4,598204
	0,3	2	1,012346	0,121601	
	0,3	3	2,150393	0,512541	
	0,3	4	1,327722	0,243202	
	0,4	1	0,022727	0,009105	10,80471
	0,4	2	2,157407	0,264421	
	0,4	3	6,186869	0,423934	
	0,4	4	2,43771	0,122685	
	0,5	1	0,008754	0,003086	18,10976
	0,5	2	2,849158	0,07651	
	0,5	3	12,58451	0,2899	
	0,5	4	2,66734	0,12771	
	0,6	1	0,001684	0,007715	24,05051
	0,6	2	2,241302	0,045558	
	0,6	3	20,56453	0,342196	
	0,6	4	1,242985	0,030131	

Tabela A.12- Resultados das 3 medições feitas e das medias para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 69 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$.

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,01	1,01E-05	0,003367	102,46	102,47
	0,3	2	0,19	0,000192	0,063973	87,3	87,58
	0,3	3	49,87	0,050374	16,79125	102,47	152,34
	0,3	4	0,09	9,09E-05	0,030303	87,28	87,31
	0,4	1	0,3	0,000303	0,075758	102,53	102,86
	0,4	2	0,61	0,000616	0,15404	87,42	88,07
	0,4	3	54,99	0,055545	13,88636	102,54	157,53
	0,4	4	0,58	0,000586	0,146465	87,34	87,63
	0,5	1	0,42	0,000424	0,084848	102,54	102,92
	0,5	2	1,21	0,001222	0,244444	87,39	88,38
	0,5	3	58,58	0,059172	11,83434	102,56	165,06
	0,5	4	1,49	0,001505	0,30101	87,37	87,82
	0,6	1	0,39	0,000394	0,065657	102,52	103,01
	0,6	2	1,81	0,001828	0,304714	87,36	88,86
	0,6	3	59,96	0,060566	10,09428	102,62	168,86
	0,6	4	2,48	0,002505	0,417508	87,39	88,38
	0,9	1	0,43	0,000434	0,04826	102,51	102,94
	0,9	2	2,46	0,002485	0,276094	87,32	89,78
	0,9	3	68,5	0,069192	7,687991	102,55	171,05
	0,9	4	8,35	0,008434	0,937149	87,27	95,62
1,2	1	0,26	0,000263	0,021886	102,71	102,97	
1,2	2	10,93	0,01104	0,920034	87,36	98,29	
1,2	3	61,13	0,061747	5,145623	102,64	163,77	
1,2	4	13,88	0,01402	1,16835	87,33	101,21	

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,09	9,09E-05	0,030303	102,46	102,5
	0,3	2	0,77	0,000778	0,259259	87,26	87,32
	0,3	3	41,78	0,042202	14,06734	102,47	148,31
	0,3	4	0,13	0,000131	0,043771	87,26	87,36
	0,4	1	0,5	0,000505	0,126263	102,58	102,94
	0,4	2	1,21	0,001222	0,305556	87,29	87,51
	0,4	3	50,01	0,050515	12,62879	102,58	162,94
	0,4	4	0,35	0,000354	0,088384	87,27	87,46
	0,5	1	0,75	0,000758	0,151515	102,63	103,11
	0,5	2	1,62	0,001636	0,327273	87,29	87,64
	0,5	3	59,32	0,059919	11,98384	102,6	167,57
	0,5	4	1,04	0,001051	0,210101	87,35	87,73
	0,6	1	0,77	0,000778	0,12963	102,55	103,1
	0,6	2	2,28	0,002303	0,383838	87,3	87,72
	0,6	3	59,62	0,060222	10,03704	102,58	168,01
	0,6	4	3,55	0,003586	0,597643	87,29	88
	0,9	1	0,33	0,000333	0,037037	102,69	103,02
	0,9	2	3,79	0,003828	0,425365	87,37	91,16
	0,9	3	63,27	0,063909	7,10101	102,59	165,86
	0,9	4	5,6	0,005657	0,628507	87,36	92,96
	1,2	1	0,28	0,000283	0,023569	102,69	102,97
	1,2	2	10,77	0,010879	0,906566	87,33	98,1
	1,2	3	63,49	0,064131	5,344276	102,63	166,12
	1,2	4	13,69	0,013828	1,152357	87,32	101,01

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,15	0,000152	0,050505	102,57	102,64
	0,3	2	0,75	0,000758	0,252525	87,32	87,38
	0,3	3	41,94	0,042364	14,12121	102,57	150,48
	0,3	4	0,21	0,000212	0,070707	87,29	87,34
	0,4	1	0,52	0,000525	0,131313	102,63	103,04
	0,4	2	1,19	0,001202	0,300505	87,32	87,49
	0,4	3	52,34	0,052869	13,21717	102,56	160,01
	0,4	4	0,78	0,000788	0,19697	87,31	87,57
	0,5	1	0,8	0,000808	0,161616	102,57	102,98
	0,5	2	1,67	0,001687	0,337374	87,31	87,63
	0,5	3	60,12	0,060727	12,14545	102,56	167,46
	0,5	4	1,94	0,00196	0,391919	87,32	87,69
	0,6	1	0,78	0,000788	0,131313	102,48	103,02
	0,6	2	2,03	0,002051	0,341751	87,3	87,79
	0,6	3	61,86	0,062485	10,41414	102,5	168,77
	0,6	4	2,65	0,002677	0,446128	87,29	88,09
	0,9	1	0,39	0,000394	0,043771	102,68	103,07
	0,9	2	3,71	0,003747	0,416386	87,37	91,08
	0,9	3	59,25	0,059848	6,649832	102,58	161,83
	0,9	4	6,03	0,006091	0,676768	87,35	93,38
1,2	1	0,37	0,000374	0,031145	102,69	103,06	
1,2	2	10,48	0,010586	0,882155	87,36	97,84	
1,2	3	62,15	0,062778	5,231481	102,65	164,8	
1,2	4	14,38	0,014525	1,210438	87,34	101,72	

Média					
Injeção de líquido feita por 4orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
69	0,3	1	0,028058	0,023649	15,2615
	0,3	2	0,191919	0,110856	
	0,3	3	14,99327	1,557329	
	0,3	4	0,04826	0,020573	
	0,4	1	0,111111	0,030721	13,75253
	0,4	2	0,253367	0,086056	
	0,4	3	13,24411	0,62922	
	0,4	4	0,143939	0,054337	
	0,5	1	0,13266	0,041713	12,72458
	0,5	2	0,30303	0,050988	
	0,5	3	11,98788	0,155595	
	0,5	4	0,30101	0,090909	
	0,6	1	0,108866	0,03743	11,12121
	0,6	2	0,343434	0,039589	
	0,6	3	10,18182	0,203223	
	0,6	4	0,487093	0,096803	
	0,9	1	0,043023	0,005649	8,30939
	0,9	2	0,372615	0,08371	
	0,9	3	7,146278	0,520558	
	0,9	4	0,747475	0,166026	
1,2	1	0,025533	0,004932	7,34596	
1,2	2	0,902918	0,019201		
1,2	3	5,24046	0,09963		
1,2	4	1,177048	0,030001		

Tabela A.13- Resultados das 3 medições e das medias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,49	0,000495	0,164983	102,53	103,02
	0,3	2	0,27	0,000273	0,090909	87,33	87,6
	0,3	3	22,78	0,02301	7,670034	102,54	125,32
	0,3	4	0,61	0,000616	0,205387	87,32	87,93
	0,4	1	0,49	0,000495	0,123737	102,56	103,05
	0,4	2	0,8	0,000808	0,20202	87,3	88,1
	0,4	3	22,98	0,023212	5,80303	102,55	125,53
	0,4	4	1,64	0,001657	0,414141	87,36	89
	0,5	1	0,4	0,000404	0,080808	102,58	102,98
	0,5	2	2,72	0,002747	0,549495	87,3	90,02
	0,5	3	19,82	0,02002	4,00404	102,56	122,38
	0,5	4	6,39	0,006455	1,290909	87,31	93,7
	0,6	1	0,32	0,000323	0,053872	102,57	102,89
	0,6	2	6,54	0,006606	1,10101	87,27	93,81
	0,6	3	20,32	0,020525	3,420875	102,58	122,9
	0,6	4	18,67	0,018859	3,143098	87,28	105,95
	0,9	1	4,66	0,004707	0,523008	102,65	107,31
	0,9	2	33,99	0,034333	3,814815	87,38	121,37
	0,9	3	69,55	0,070253	7,805836	102,61	172,16
	0,9	4	30,64	0,030949	3,438833	87,36	118
1,2	1	26,01	0,026273	2,189394	102,74	128,75	
1,2	2	57,21	0,057788	4,815657	87,26	144,47	
1,2	3	107,3	0,108384	9,031987	102,51	209,81	
1,2	4	39,99	0,040394	3,366162	87,32	127,31	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,58	0,000586	0,195286	102,71	103,29
	0,3	2	0,14	0,000141	0,047138	87,36	87,5
	0,3	3	21,92	0,022141	7,380471	102,64	124,56
	0,3	4	0,11	0,000111	0,037037	87,35	87,46
	0,4	1	0,39	0,000394	0,098485	102,67	103,06
	0,4	2	0,63	0,000636	0,159091	87,16	87,79
	0,4	3	21,28	0,021495	5,373737	102,44	123,72
	0,4	4	1,59	0,001606	0,401515	87,34	88,93
	0,5	1	0,47	0,000475	0,094949	102,63	103,1
	0,5	2	3,58	0,003616	0,723232	87,33	90,91
	0,5	3	18,76	0,018949	3,789899	102,77	121,53
	0,5	4	4,72	0,004768	0,953535	87,34	92,06
	0,6	1	0,24	0,000242	0,040404	102,84	103,08
	0,6	2	7,91	0,00799	1,33165	87,39	95,3
	0,6	3	20,85	0,021061	3,510101	102,75	123,6
	0,6	4	9,48	0,009576	1,59596	87,32	96,8
	0,9	1	4,61	0,004657	0,517396	102,65	107,26
	0,9	2	33,03	0,033364	3,707071	87,33	120,36
	0,9	3	67,54	0,068222	7,580247	102,64	170,18
	0,9	4	32,21	0,032535	3,615039	87,33	119,54
	1,2	1	23,97	0,024212	2,017677	102,57	126,54
	1,2	2	54,92	0,055475	4,622896	87,31	142,23
	1,2	3	102,85	0,103889	8,657407	102,48	205,33
	1,2	4	37,76	0,038141	3,178451	87,33	125,09

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,58	0,000586	0,195286	102,58	103,16
	0,3	2	0,07	7,07E-05	0,023569	87,33	87,4
	0,3	3	21,88	0,022101	7,367003	102,58	124,46
	0,3	4	0,1	0,000101	0,03367	87,35	87,45
	0,4	1	0,47	0,000475	0,118687	102,63	103,1
	0,4	2	0,6	0,000606	0,151515	87,29	87,89
	0,4	3	20,93	0,021141	5,285354	102,58	123,51
	0,4	4	1,5	0,001515	0,378788	87,18	88,68
	0,5	1	0,41	0,000414	0,082828	102,77	103,18
	0,5	2	3,38	0,003414	0,682828	87,33	90,71
	0,5	3	18,52	0,018707	3,741414	102,64	121,16
	0,5	4	4,25	0,004293	0,858586	87,29	91,54
	0,6	1	0,21	0,000212	0,035354	102,87	103,08
	0,6	2	7,03	0,007101	1,183502	87,43	94,46
	0,6	3	19,05	0,019242	3,207071	102,81	121,86
	0,6	4	8,42	0,008505	1,417508	87,35	95,77
	0,9	1	4,99	0,00504	0,50,645	102,72	107,71
	0,9	2	34,21	0,034556	3,839506	87,44	121,65
	0,9	3	68,89	0,069586	7,731762	102,68	171,57
	0,9	4	32,68	0,03301	3,667789	87,44	120,12
1,2	1	20,27	0,020475	1,706229	102,35	122,62	
1,2	2	53,88	0,054424	4,535354	87,27	141,15	
1,2	3	104,85	0,105909	8,825758	102,52	207,37	
1,2	4	36,7	0,037071	3,089226	87,13	123,83	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
69	0,3	1	0,185185	0,017495	7,803591
	0,3	2	0,053872	0,034171	
	0,3	3	7,472503	0,171199	
	0,3	4	0,092031	0,098183	
	0,4	1	0,113636	0,013362	6,170034
	0,4	2	0,170875	0,027237	
	0,4	3	5,487374	0,276916	
	0,4	4	0,398148	0,017916	
	0,5	1	0,086195	0,007648	5,617508
	0,5	2	0,651852	0,090917	
	0,5	3	3,845118	0,13975	
	0,5	4	1,034343	0,227208	
	0,6	1	0,04321	0,009573	6,680135
	0,6	2	1,205387	0,116867	
	0,6	3	3,379349	0,155725	
	0,6	4	2,052189	0,948959	
	0,9	1	0,533483	0,023174	15,0,645
	0,9	2	3,787131	0,070424	
	0,9	3	7,705948	0,114989	
	0,9	4	3,573887	0,119897	
1,2	1	1,9711	0,244927	18,67873	
1,2	2	4,657969	0,143405		
1,2	3	8,838384	0,187608		
1,2	4	3,211279	0,141357		

Tabela A.14- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0	0	0	102,47	102,47
	0,3	2	0,26	0,000263	0,087542	87,29	87,55
	0,3	3	37,29	0,037667	12,55556	102,47	139,76
	0,3	4	0,65	0,000657	0,218855	87,25	87,9
	0,4	1	0	0	0	102,6	102,6
	0,4	2	0,51	0,000515	0,128788	87,35	87,86
	0,4	3	35,04	0,035394	8,848485	102,6	137,64
	0,4	4	0,65	0,000657	0,164141	87,32	87,97
	0,5	1	0,06	6,06E-05	0,012121	102,58	102,64
	0,5	2	0,95	0,00096	0,191919	87,29	88,24
	0,5	3	35,56	0,035919	7,183838	102,58	138,14
	0,5	4	2,16	0,002182	0,436364	87,29	89,45
	0,6	1	0,22	0,000222	0,037037	102,63	102,85
	0,6	2	1,83	0,001848	0,308081	87,35	89,18
	0,6	3	40,55	0,04096	6,826599	102,6	143,15
	0,6	4	3,69	0,003727	0,621212	87,35	91,04
	0,9	1	3,19	0,003222	0,358025	102,52	105,71
	0,9	2	24,53	0,024778	2,753086	87,25	111,78
	0,9	3	63,49	0,064131	7,125701	102,47	165,96
	0,9	4	9,87	0,00997	1,107744	87,25	97,12
1,2	1	10,07	0,010172	0,847643	102,75	112,82	
1,2	2	43,1	0,043535	3,627946	87,29	130,39	
1,2	3	58,98	0,059576	4,964646	102,55	161,53	
1,2	4	9,61	0,009707	0,808923	87,27	96,88	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0	0	0	102,7	102,7
	0,3	2	0,31	0,000313	0,104377	87,26	87,57
	0,3	3	35,5	0,035859	11,95286	102,59	138,09
	0,3	4	0,47	0,000475	0,158249	87,52	87,99
	0,4	1	0	0	0	102,68	102,68
	0,4	2	0,44	0,000444	0,111111	87,32	87,76
	0,4	3	34,07	0,034414	8,603535	102,68	136,75
	0,4	4	1,47	0,001485	0,371212	87,34	88,81
	0,5	1	0,1	0,000101	0,020202	102,7	102,8
	0,5	2	0,8	0,000808	0,161616	87,38	88,18
	0,5	3	35,21	0,035566	7,113131	102,61	137,82
	0,5	4	2,26	0,002283	0,456566	87,4	89,66
	0,6	1	0,19	0,000192	0,031987	102,63	102,82
	0,6	2	3,27	0,003303	0,550505	87,31	90,58
	0,6	3	41,5	0,041919	6,986532	102,58	144,08
	0,6	4	3,24	0,003273	0,545455	87,35	90,59
	0,9	1	3,35	0,003384	0,375982	102,63	105,98
	0,9	2	25,26	0,025515	2,835017	87,28	112,54
	0,9	3	63,12	0,063758	7,084175	105,96	169,08
	0,9	4	10,09	0,010192	1,132435	87,27	97,36
	1,2	1	10,26	0,010364	0,863636	102,62	112,88
	1,2	2	43,09	0,043525	3,627104	87,35	130,44
	1,2	3	58,58	0,059172	4,930976	102,51	161,09
	1,2	4	9,35	0,009444	0,787037	87,25	96,6

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0	0	0	102,61	102,61
	0,3	2	0,33	0,000333	0,111111	87,36	87,69
	0,3	3	38,21	0,038596	12,86532	102,5	140,71
	0,3	4	0,43	0,000434	0,144781	87,37	87,8
	0,4	1	0,02	2,02E-05	0,005051	102,64	102,66
	0,4	2	0,5	0,00051	0,12626	87,83	88,33
	0,4	3	35,38	0,035737	8,934343	102,53	137,91
	0,4	4	1,26	0,001273	0,318182	87,32	88,58
	0,5	1	0,07	7,07E-05	0,014141	102,74	102,81
	0,5	2	0,85	0,000859	0,171717	87,36	88,21
	0,5	3	36	0,036364	7,272727	102,57	138,57
	0,5	4	2,09	0,002111	0,422222	87,39	89,48
	0,6	1	0,22	0,000222	0,037037	102,51	102,73
	0,6	2	3,21	0,003242	0,540404	87,27	90,48
	0,6	3	41,4	0,041818	6,969697	102,51	143,91
	0,6	4	3,21	0,003242	0,540404	87,3	90,51
	0,9	1	3,41	0,003444	0,382716	102,58	105,99
	0,9	2	24,33	0,024576	2,73064	87,3	111,63
	0,9	3	62,73	0,063364	7,040404	102,51	165,24
	0,9	4	9,92	0,01002	1,113356	87,29	97,21
1,2	1	9,94	0,01004	0,8367	102,63	112,57	
1,2	2	41,99	0,042414	3,534512	87,24	129,23	
1,2	3	58,15	0,058737	4,894781	102,57	160,72	
1,2	4	9,63	0,009727	0,810606	87,24	96,87	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
69	0,3	1	0	0	12,73288
	0,3	2	0,10101	0,01214	
	0,3	3	12,45791	0,463999	
	0,3	4	0,173962	0,039458	
	0,4	1	0,001684	0,002916	9,119529
	0,4	2	0,037879	0,142425	
	0,4	3	8,795455	0,171661	
	0,4	4	0,284512	0,107563	
	0,5	1	0,015488	0,041633	7,818855
	0,5	2	0,175084	0,051316	
	0,5	3	7,189899	0,606987	
	0,5	4	0,438384	0,434089	
	0,6	1	0,035354	0,002916	7,998316
	0,6	2	0,46633	0,137141	
	0,6	3	6,927609	0,087881	
	0,6	4	0,569024	0,045267	
	0,9	1	0,372241	0,012764	11,34643
	0,9	2	2,772914	0,054941	
	0,9	3	7,083427	0,042654	
	0,9	4	1,117845	0,012943	
1,2	1	0,849327	0,013547	10,17817	
1,2	2	3,596521	0,053703		
1,2	3	4,930135	0,03494		
1,2	4	0,802189	0,013149		

Tabela A.15- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 69 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,36	0,000364	0,121212	102,53	102,89
	0,3	2	0,18	0,000182	0,060606	87,29	87,47
	0,3	3	26,36	0,026626	8,875421	102,54	128,9
	0,3	4	0,14	0,000141	0,047138	87,32	87,46
	0,4	1	0,5	0,000505	0,126263	102,62	103,12
	0,4	2	0,45	0,000455	0,113636	86,38	86,83
	0,4	3	35,22	0,035576	8,893939	87,31	122,53
	0,4	4	0,49	0,000495	0,123737	60,2	60,69
	0,5	1	0,49	0,000495	0,09899	102,56	103,05
	0,5	2	0,63	0,000636	0,127273	86,48	87,11
	0,5	3	38,37	0,038758	7,751515	87,37	125,74
	0,5	4	1,79	0,001808	0,361616	60,28	62,07
	0,6	1	0,47	0,000475	0,079125	102,54	103,01
	0,6	2	0,99	0,00099	0,166667	86,5	87,49
	0,6	3	37,65	0,03803	6,338384	87,39	125,04
	0,6	4	4,56	0,004606	0,767677	60,27	64,83
	0,9	1	0,29	0,000293	0,032548	102,56	102,85
	0,9	2	3,96	0,00396	0,444444	86,56	90,52
	0,9	3	40,2	0,040606	4,511785	87,38	127,58
	0,9	4	24,67	0,024919	2,768799	60,29	84,96
1,2	1	0,31	0,000313	0,026094	102,56	102,87	
1,2	2	8,42	0,008505	0,708754	86,64	95,06	
1,2	3	75,65	0,076414	6,367845	87,33	162,98	
1,2	4	50,27	0,050778	4,231481	60,2	110,47	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,34	0,000343	0,114478	102,67	103,01
	0,3	2	0,22	0,000222	0,074074	87,29	87,51
	0,3	3	25,85	0,026111	8,703704	102,6	128,45
	0,3	4	0,19	0,000192	0,063973	87,33	87,52
	0,4	1	0,52	0,000525	0,131313	102,55	103,07
	0,4	2	0,43	0,000434	0,108586	86,44	86,87
	0,4	3	34,82	0,035172	8,792929	87,4	122,22
	0,4	4	0,63	0,000636	0,159091	60,23	60,86
	0,5	1	0,51	0,000515	0,10303	102,53	103,04
	0,5	2	0,68	0,000687	0,137374	86,48	87,16
	0,5	3	38,16	0,038545	7,709091	87,37	125,53
	0,5	4	1,79	0,001808	0,361616	60,27	62,06
	0,6	1	0,52	0,000525	0,087542	102,53	103,05
	0,6	2	0,95	0,00095	0,159933	86,51	87,46
	0,6	3	37,56	0,037939	6,323232	87,33	124,89
	0,6	4	4,6	0,004646	0,774411	60,29	64,89
	0,9	1	0,31	0,000313	0,034792	102,55	102,86
	0,9	2	3,95	0,00395	0,443322	86,61	90,56
	0,9	3	40,02	0,040424	4,491582	87,36	127,38
	0,9	4	25,22	0,025475	2,830527	60,26	85,48
	1,2	1	0,34	0,000343	0,02862	102,57	102,91
	1,2	2	8,43	0,008515	0,709596	86,58	95,01
	1,2	3	72,78	0,073515	6,126263	87,3	160,08
	1,2	4	48,81	0,049303	4,108586	60,24	109,05

Medição 3: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
69	0,3	1	0,37	0,000374	0,124579	102,54	102,91
	0,3	2	0,24	0,000242	0,080808	87,29	87,53
	0,3	3	28,23	0,028515	9,505051	102,6	130,83
	0,3	4	0,16	0,000162	0,053872	87,33	87,49
	0,4	1	0,52	0,000525	0,131313	102,53	103,05
	0,4	2	0,38	0,000384	0,09596	86,44	86,82
	0,4	3	34,72	0,035071	8,767677	87,36	122,08
	0,4	4	0,6	0,000606	0,151515	60,24	60,84
	0,5	1	0,52	0,000525	0,105051	102,54	103,06
	0,5	2	0,69	0,000697	0,139394	86,47	87,16
	0,5	3	37,95	0,038333	7,666667	87,36	125,31
	0,5	4	1,83	0,001848	0,369697	60,24	62,07
	0,6	1	0,5	0,000505	0,084175	102,52	103,02
	0,6	2	0,96	0,00097	0,161616	86,45	87,41
	0,6	3	37,43	0,037808	6,301347	87,33	124,76
	0,6	4	4,54	0,004586	0,76431	60,27	64,81
	0,9	1	0,33	0,000333	0,037037	102,53	102,86
	0,9	2	3,89	0,003929	0,436588	86,51	90,4
	0,9	3	40,02	0,040424	4,491582	87,37	127,39
	0,9	4	24,81	0,025061	2,784512	60,23	85,04
1,2	1	0,33	0,000333	0,027778	102,58	102,91	
1,2	2	8,21	0,008293	0,691077	86,52	94,73	
1,2	3	72,4	0,073131	6,094276	87,32	159,72	
1,2	4	49,23	0,049727	4,143939	60,3	109,53	

Média Injeção de líquido feita por 3 orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
69	0,3	1	0,12009	0,005143	9,274972
	0,3	2	0,071829	0,010286	
	0,3	3	9,028058	0,421916	
	0,3	4	0,054994	0,008473	
	0,4	1	0,12963	0,002916	9,198653
	0,4	2	0,106061	0,009105	
	0,4	3	8,818182	0,066812	
	0,4	4	0,144781	0,018614	
	0,5	1	0,102357	0,003086	8,310438
	0,5	2	0,13468	0,006494	
	0,5	3	7,709091	0,042424	
	0,5	4	0,36431	0,004665	
	0,6	1	0,083614	0,004237	7,336139
	0,6	2	0,162738	0,003504	
	0,6	3	6,320988	0,01862	
	0,6	4	0,768799	0,005143	
	0,9	1	0,034792	0,002245	7,769173
	0,9	2	0,441452	0,004249	
	0,9	3	4,498316	0,011664	
	0,9	4	2,794613	0,03208	
1,2	1	0,027497	0,001286	11,0881	
1,2	2	0,703143	0,010457		
1,2	3	6,196128	0,149569		
1,2	4	4,161336	0,063268		

• $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

Tabela A.16- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício, $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,28	0,000283	0,094276	102,53	102,81
	0,3	2	2,89	0,002919	0,973064	87,33	90,22
	0,3	3	1,99	0,00201	0,670034	102,55	104,54
	0,3	4	5,29	0,005343	1,781145	87,31	92,6
	0,4	1	0,04	4,04E-05	0,010101	102,47	102,51
	0,4	2	7,69	0,007768	1,941919	87,28	94,97
	0,4	3	8,72	0,008808	2,20202	102,48	111,2
	0,4	4	13,51	0,013646	3,411616	87,3	100,81
	0,5	1	0,01	1,01E-05	0,00202	102,48	102,49
	0,5	2	14,78	0,014929	2,985859	87,26	102,04
	0,5	3	22,58	0,022808	4,561616	102,48	125,06
	0,5	4	24,17	0,024414	4,882828	87,28	111,45
	0,6	1	0,01	1,01E-05	0,001684	102,48	102,49
	0,6	2	22,62	0,022848	3,808081	87,28	109,9
	0,6	3	71,07	0,071788	11,96465	102,47	173,54
	0,6	4	23,43	0,023667	3,944444	87,31	110,74

Medição 2: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,36	0,000364	0,121212	102,46	102,82
	0,3	2	1,7	0,001717	0,572391	87,33	89,03
	0,3	3	0,72	0,000727	0,242424	102,53	103,25
	0,3	4	4,97	0,00502	1,673401	87,26	92,23
	0,4	1	0,11	0,000111	0,027778	102,5	102,61
	0,4	2	5,86	0,005919	1,479798	87,32	93,18
	0,4	3	6,69	0,006758	1,689394	102,51	109,2
	0,4	4	12,82	0,012949	3,237374	87,31	100,13
	0,5	1	0	0	0	102,54	102,54
	0,5	2	15,17	0,015323	3,064646	87,33	102,5
	0,5	3	27,54	0,027818	5,563636	102,53	130,07
	0,5	4	24,5	0,024747	4,949495	87,31	111,81
	0,6	1	0,01	1,01E-05	0,001684	102,5	102,51
	0,6	2	20,19	0,020394	3,39899	87,35	107,54
	0,6	3	63,69	0,064333	10,72222	102,51	166,2
	0,6	4	25,24	0,025495	4,249158	87,33	112,57

Medição 3: Injeção de líquido feita por 1 orifício							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,3	0,000303	0,10101	102,51	102,81
	0,3	2	3,46	0,003495	1,164983	87,33	90,79
	0,3	3	2,44	0,002465	0,821549	102,52	104,96
	0,3	4	5,84	0,005899	1,96633	87,34	93,18
	0,4	1	0,12	0,000121	0,030303	102,5	102,62
	0,4	2	8,06	0,008141	2,035354	87,33	95,39
	0,4	3	7,75	0,007828	1,957071	102,52	110,27
	0,4	4	15,86	0,01602	4,005051	87,3	103,16
	0,5	1	0	0	0	102,51	102,51
	0,5	2	16,08	0,016242	3,248485	87,31	103,39
	0,5	3	28,85	0,029141	5,828283	102,47	131,32
	0,5	4	24,33	0,024576	4,915152	87,29	111,62
	0,6	1	0	0	0	102,53	102,53
	0,6	2	22,87	0,023101	3,850168	87,3	110,17
	0,6	3	74,55	0,075303	12,55051	102,51	177,06
	0,6	4	3,6	0,003636	0,606061	86,58	90,18

Média Injeção de líquido feita por 1 orifício					
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,105499	0,014018	3,393939
	0,3	2	0,903479	0,302362	
	0,3	3	0,578002	0,540887	
	0,3	4	1,806958	0,148161	
	0,4	1	0,022727	0,011007	7,342593
	0,4	2	1,819024	0,297469	
	0,4	3	1,949495	0,256397	
	0,4	4	3,551347	0,402462	
	0,5	1	0,000673	0,001166	13,33401
	0,5	2	3,099663	0,134769	
	0,5	3	5,317845	0,668148	
	0,5	4	4,915825	0,033338	
	0,6	1	0,001122	0,000972	19,39506
	0,6	2	3,685746	0,249228	
	0,6	3	11,74579	0,933583	
	0,6	4	3,962402	0,278213	

Tabela A.17- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,13	0,000131	0,043771	102,46	102,59
	0,3	2	0,09	9,09E-05	0,030303	87,3	87,39
	0,3	3	28,91	0,029202	9,734007	102,45	131,36
	0,3	4	0,16	0,000162	0,053872	87,26	87,42
	0,4	1	0,36	0,000364	0,090909	102,46	102,82
	0,4	2	0,22	0,000222	0,055556	87,35	87,57
	0,4	3	37,82	0,038202	9,550505	102,49	140,31
	0,4	4	0,37	0,000374	0,093434	87,26	87,63
	0,5	1	0,54	0,000545	0,109091	102,44	102,98
	0,5	2	0,3	0,000303	0,060606	87,38	87,68
	0,5	3	48,91	0,049404	9,880808	102,56	151,47
	0,5	4	0,55	0,000556	0,111111	87,36	87,91
	0,6	1	0,55	0,000556	0,092593	102,46	103,01
	0,6	2	0,57	0,000576	0,09596	87,29	87,86
	0,6	3	45,06	0,045515	7,585859	102,47	147,53
	0,6	4	2,08	0,002101	0,350168	87,32	89,4
	0,9	1	0,48	0,000485	0,053872	60,15	60,63
	0,9	2	3,28	0,003313	0,368126	86,34	89,62
	0,9	3	64,76	0,065414	7,268238	87,25	152,01
	0,9	4	4,27	0,004313	0,479237	102,49	106,76
1,2	1	0,33	0,000333	0,027778	60,18	60,51	
1,2	2	6,8	0,006869	0,572391	86,54	93,34	
1,2	3	59,86	0,060465	5,038721	102,53	162,39	
1,2	4	10,48	0,010586	0,882155	87,28	97,76	

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,02	2,02E-05	0,006734	102,51	102,53
	0,3	2	0,06	6,06E-05	0,020202	87,31	87,37
	0,3	3	39,92	0,040323	13,44108	102,51	142,43
	0,3	4	0,11	0,000111	0,037037	87,26	87,37
	0,4	1	0,34	0,000343	0,085859	102,5	102,84
	0,4	2	0,13	0,000131	0,032828	87,34	87,47
	0,4	3	48,17	0,048657	12,16414	102,51	150,68
	0,4	4	0,32	0,000323	0,080808	87,34	87,66
	0,5	1	0,51	0,000515	0,10303	102,52	103,03
	0,5	2	0,43	0,000434	0,086869	87,3	87,73
	0,5	3	58,93	0,059525	11,90505	102,5	161,43
	0,5	4	0,53	0,000535	0,107071	87,34	87,87
	0,6	1	0,57	0,000576	0,09596	102,51	103,08
	0,6	2	1,03	0,00104	0,173401	87,27	88,3
	0,6	3	64,61	0,065263	10,8771	102,52	167,13
	0,6	4	1,06	0,001071	0,178451	87,34	88,4
	0,9	1	0,38	0,000384	0,042649	60,26	60,64
	0,9	2	3,01	0,00304	0,337823	86,49	89,5
	0,9	3	61,41	0,06203	6,892256	102,64	164,05
	0,9	4	4,23	0,004273	0,474747	87,32	91,55
1,2	1	0,42	0,000424	0,035354	60,28	60,7	
1,2	2	7,16	0,007232	0,602694	86,63	93,79	
1,2	3	61,3	0,061919	5,159933	102,64	163,94	
1,2	4	10,24	0,010343	0,861953	87,3	97,54	

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,05	5,05E-05	0,016835	102,51	102,56
	0,3	2	0,32	0,000323	0,107744	87,32	87,64
	0,3	3	40,65	0,041061	13,68687	102,5	143,15
	0,3	4	0,07	7,07E-05	0,023569	87,31	87,38
	0,4	1	0,3	0,000303	0,075758	102,52	102,82
	0,4	2	0,62	0,000626	0,156566	87,32	87,94
	0,4	3	47,7	0,048182	12,04545	102,57	150,27
	0,4	4	0,27	0,000273	0,068182	87,37	87,64
	0,5	1	0,46	0,000465	0,092929	102,54	103
	0,5	2	1	0,00101	0,20202	87,36	88,36
	0,5	3	53,37	0,053909	10,78182	102,52	155,89
	0,5	4	0,44	0,000444	0,088889	87,39	87,83
	0,6	1	0,64	0,000646	0,107744	102,54	103,18
	0,6	2	1,54	0,001556	0,259259	87,35	88,89
	0,6	3	62,55	0,063182	10,5303	102,53	165,08
	0,6	4	0,78	0,000788	0,131313	87,38	88,16
	0,9	1	0,48	0,000485	0,053872	60,3	60,78
	0,9	2	3,24	0,003273	0,363636	86,57	89,81
	0,9	3	58,93	0,059525	6,613917	102,59	161,52
	0,9	4	4,59	0,004636	0,515152	87,33	91,92
1,2	1	0,41	0,000414	0,034512	60,39	60,8	
1,2	2	7	0,007071	0,589226	86,6	93,6	
1,2	3	61,78	0,062404	5,200337	102,69	164,47	
1,2	4	9,88	0,00998	0,83165	87,38	97,26	

Média					
Injeção de líquido feita por 4orificios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,022447	0,019146	12,40067
	0,3	2	0,05275	0,047894	
	0,3	3	12,28732	2,214645	
	0,3	4	0,038159	0,015183	
	0,4	1	0,084175	0,007715	11,5
	0,4	2	0,08165	0,065867	
	0,4	3	11,25337	1,475915	
	0,4	4	0,080808	0,012626	
	0,5	1	0,101684	0,008165	11,17643
	0,5	2	0,116498	0,075219	
	0,5	3	10,85589	1,014152	
	0,5	4	0,102357	0,011837	
	0,6	1	0,098765	0,007956	10,15937
	0,6	2	0,176207	0,081686	
	0,6	3	9,664422	1,808421	
	0,6	4	0,219978	0,115186	
	0,9	1	0,050131	0,00648	7,821175
	0,9	2	0,356528	0,016354	
	0,9	3	6,924804	0,328373	
	0,9	4	0,489712	0,022145	
1,2	1	0,032548	0,004152	6,612233	
1,2	2	0,588103	0,015183		
1,2	3	5,132997	0,084108		
1,2	4	0,858586	0,02542		

Tabela A.18- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orificios verticais, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orificios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,49	0,000495	0,164983	102,46	102,95
	0,3	2	0,09	9,09E-05	0,030303	87,34	87,43
	0,3	3	4,23	0,004273	1,424242	102,52	106,75
	0,3	4	0,62	0,000626	0,208754	87,31	87,93
	0,4	1	0,43	0,000434	0,108586	102,46	102,89
	0,4	2	0,67	0,000677	0,169192	87,33	88
	0,4	3	25,41	0,025667	6,416667	102,5	127,91
	0,4	4	1,19	0,001202	0,300505	87,31	88,5
	0,5	1	0,33	0,000333	0,066667	102,5	102,83
	0,5	2	2	0,00202	0,40404	87,3	89,3
	0,5	3	21,58	0,021798	4,359596	102,51	124,09
	0,5	4	2,88	0,002909	0,581818	87,3	90,18
	0,6	1	0,24	0,000242	0,040404	102,49	102,73
	0,6	2	4,09	0,004131	0,688552	87,29	91,38
	0,6	3	20,03	0,020232	3,372054	102,51	122,54
	0,6	4	7,7	0,007778	1,296296	87,33	95,03
	0,9	1	0,47	0,000475	0,05275	60,27	60,74
	0,9	2	28,65	0,028939	3,215488	86,52	115,17
	0,9	3	42,44	0,042869	4,763187	102,62	145,06
	0,9	4	29,41	0,029707	3,300786	87,34	116,75
1,2	1	3,34	0,003374	0,281145	60,35	63,69	
1,2	2	64,6	0,065253	5,43771	86,53	151,13	
1,2	3	69,9	0,070606	5,883838	102,59	172,49	
1,2	4	39	0,039394	3,282828	87,3	126,3	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,53	0,000535	0,178451	102,5	103,03
	0,3	2	0,07	7,07E-05	0,023569	87,28	87,35
	0,3	3	12,36	0,012485	4,161616	102,48	114,84
	0,3	4	0,17	0,000172	0,057239	87,26	87,43
	0,4	1	0,63	0,000636	0,159091	102,5	103,13
	0,4	2	0,57	0,000576	0,143939	87,3	87,87
	0,4	3	12,51	0,012636	3,159091	102,49	115
	0,4	4	1,22	0,001232	0,308081	87,3	88,52
	0,5	1	0,37	0,000374	0,074747	102,5	102,87
	0,5	2	2,63	0,002657	0,531313	87,33	89,96
	0,5	3	12,15	0,012273	2,454545	102,53	114,68
	0,5	4	4,52	0,004566	0,913131	87,31	91,83
	0,6	1	0,29	0,000293	0,048822	102,48	102,77
	0,6	2	5,22	0,005273	0,878788	87,28	92,5
	0,6	3	11,19	0,011303	1,883838	102,5	113,69
	0,6	4	8,98	0,009071	1,511785	87,32	96,3
	0,9	1	0,57	0,000576	0,063973	60,3	60,87
	0,9	2	32,29	0,032616	3,624018	86,53	118,82
	0,9	3	49,73	0,050232	5,581369	102,61	152,34
	0,9	4	33	0,033333	3,703704	87,32	120,32
1,2	1	3,52	0,003556	0,296296	60,32	63,84	
1,2	2	63,33	0,06397	5,330808	86,53	149,86	
1,2	3	68,37	0,069061	5,755051	102,6	170,97	
1,2	4	39,19	0,039586	3,298822	87,36	126,55	

Medição 3 Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,6	0,000606	0,20202	102,64	103,24
	0,3	2	0,04	4,04E-05	0,013468	87,34	87,38
	0,3	3	14,07	0,014212	4,737374	102,51	116,58
	0,3	4	0,07	7,07E-05	0,023569	87,36	87,43
	0,4	1	0,61	0,000616	0,15404	102,51	103,12
	0,4	2	0,73	0,000737	0,184343	87,4	88,13
	0,4	3	15,19	0,015343	3,835859	102,52	117,71
	0,4	4	1,2	0,001212	0,30303	87,38	88,58
	0,5	1	0,45	0,000455	0,090909	102,49	102,94
	0,5	2	2,57	0,002596	0,519192	87,35	89,92
	0,5	3	11,52	0,011636	2,327273	102,54	114,06
	0,5	4	4,04	0,004081	0,816162	87,37	91,41
	0,6	1	0,36	0,000364	0,060606	102,48	102,84
	0,6	2	5,69	0,005747	0,957912	87,36	93,05
	0,6	3	11,51	0,011626	1,93771	102,51	114,02
	0,6	4	10,72	0,010828	1,804714	87,31	98,03
	0,9	1	0,57	0,000576	0,063973	60,32	60,89
	0,9	2	31,12	0,031434	3,492705	86,62	117,74
	0,9	3	48,97	0,049465	5,496072	102,64	151,61
	0,9	4	32,14	0,032465	3,607183	87,18	119,32
1,2	1	5,05	0,005101	0,425084	60,29	65,34	
1,2	2	62,18	0,062808	5,234007	86,57	148,75	
1,2	3	70,29	0,071	5,916667	102,8	173,09	
1,2	4	39,07	0,039465	3,288721	87,35	126,42	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,181818	0,018747	3,741863
	0,3	2	0,022447	0,008473	
	0,3	3	3,441077	1,770195	
	0,3	4	0,096521	0,098644	
	0,4	1	0,140572	0,027816	5,080808
	0,4	2	0,165825	0,020411	
	0,4	3	4,470539	1,71903	
	0,4	4	0,303872	0,003857	
	0,5	1	0,077441	0,012344	4,379798
	0,5	2	0,484848	0,070244	
	0,5	3	3,047138	1,138402	
	0,5	4	0,77037	0,170337	
	0,6	1	0,049944	0,010148	4,82716
	0,6	2	0,841751	0,138447	
	0,6	3	2,397868	0,8441	
	0,6	4	1,537598	0,25519	
	0,9	1	0,060232	0,00648	12,32174
	0,9	2	3,44407	0,208562	
	0,9	3	5,28021	0,449781	
	0,9	4	3,537224	0,210372	
1,2	1	0,334175	0,079093	14,81033	
1,2	2	5,334175	0,101894		
1,2	3	5,851852	0,085424		
1,2	4	3,290123	0,008088		

Tabela A.19- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm

Medição 1: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0	0	0	60,15	60,15
	0,3	2	0	0	0	87,84	87,84
	0,3	3	34,29	0,034636	11,54545	102,47	136,76
	0,3	4	0,37	0,000374	0,124579	86,34	86,71
	0,4	1	0,02	2,02E-05	0,005051	60,15	60,17
	0,4	2	1,22	0,001232	0,308081	87,29	88,51
	0,4	3	32,8	0,033131	8,282828	102,51	135,31
	0,4	4	0,8	0,000808	0,20202	86,51	87,31
	0,5	1	0,07	7,07E-05	0,014141	60,16	60,23
	0,5	2	2,4	0,002424	0,484848	87,3	89,7
	0,5	3	33,93	0,034273	6,854545	102,52	136,45
	0,5	4	1,39	0,001404	0,280808	86,57	87,96
	0,6	1	0,28	0,000283	0,047138	60,21	60,49
	0,6	2	3,71	0,003747	0,624579	87,32	91,03
	0,6	3	39,4	0,039798	6,632997	102,6	142
	0,6	4	1,72	0,001737	0,289562	86,53	88,25
	0,9	1	0,77	0,000778	0,08642	102,48	103,25
	0,9	2	14,59	0,014737	1,637486	87,32	101,91
	0,9	3	49,55	0,050051	5,561167	102,63	152,18
	0,9	4	8,56	0,008646	0,960718	87,24	95,8
1,2	1	4,05	0,004091	0,340909	102,64	106,69	
1,2	2	48,19	0,048677	4,056397	87,28	135,47	
1,2	3	60,5	0,061111	5,092593	102,58	163,08	
1,2	4	13,46	0,013596	1,132997	87,3	100,76	

Medição 2: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0	0	0	60,27	60,27
	0,3	2	0,76	0,000768	0,255892	87,31	88,07
	0,3	3	33,04	0,033374	11,12458	102,51	135,55
	0,3	4	0,43	0,000434	0,144781	86,52	86,95
	0,4	1	0,05	5,05E-05	0,012626	60,18	60,23
	0,4	2	1,38	0,001394	0,348485	87,3	88,68
	0,4	3	35,08	0,035434	8,858586	102,52	137,6
	0,4	4	1,53	0,001545	0,386364	86,55	88,08
	0,5	1	0,35	0,000354	0,070707	60,22	60,57
	0,5	2	2,3	0,002323	0,464646	87,32	89,62
	0,5	3	36,54	0,036909	7,381818	102,63	139,17
	0,5	4	2,26	0,002283	0,456566	86,56	88,82
	0,6	1	0,14	0,000141	0,023569	60,29	60,43
	0,6	2	3,79	0,003828	0,638047	87,25	91,04
	0,6	3	34,11	0,034455	5,742424	102,52	136,63
	0,6	4	2,29	0,002313	0,385522	86,58	88,87
	0,9	1	0,74	0,000747	0,083053	102,59	103,33
	0,9	2	12,85	0,01298	1,4422	87,32	100,17
	0,9	3	48,77	0,049263	5,473625	102,59	151,36
	0,9	4	8,74	0,008828	0,98092	87,29	96,03
1,2	1	5,63	0,005687	0,473906	102,77	108,4	
1,2	2	49,33	0,049828	4,152357	87,27	136,6	
1,2	3	61,23	0,061848	5,15404	102,54	163,77	
1,2	4	13,24	0,013374	1,114478	87,26	100,5	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0	0	0	60,41	60,41
	0,3	2	0,63	0,000636	0,212121	87,31	87,94
	0,3	3	33,51	0,033848	11,28283	102,56	136,07
	0,3	4	0,39	0,000394	0,131313	86,52	86,91
	0,4	1	0	0	0	60,39	60,39
	0,4	2	1,71	0,001727	0,431818	87,31	89,02
	0,4	3	35,47	0,035828	8,957071	102,56	138,03
	0,4	4	0,92	0,000929	0,232323	86,48	87,4
	0,5	1	0,17	0,000172	0,034343	60,35	60,52
	0,5	2	2,91	0,002939	0,587879	87,35	90,26
	0,5	3	30,93	0,031242	6,248485	102,56	133,49
	0,5	4	1,1	0,001111	0,222222	86,52	87,62
	0,6	1	0,56	0,000566	0,094276	60,31	60,87
	0,6	2	5	0,005051	0,841751	87,33	92,33
	0,6	3	38,17	0,038556	6,425926	102,59	140,76
	0,6	4	2,7	0,002727	0,454545	86,53	89,23
	0,9	1	0,78	0,000788	0,087542	102,73	103,51
	0,9	2	12,25	0,012374	1,37486	87,26	99,51
	0,9	3	48,64	0,049131	5,459035	102,61	151,25
	0,9	4	9,31	0,009404	1,044893	87,31	96,62
1,2	1	6,77	0,006838	0,569865	102,58	109,35	
1,2	2	49,41	0,049909	4,159091	87,28	136,69	
1,2	3	61,12	0,061737	5,144781	102,56	163,68	
1,2	4	13,56	0,013697	1,141414	87,33	100,89	

Média					
Injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0	0	11,60718
	0,3	2	0,150,64	0,136865	
	0,3	3	11,31762	0,212584	
	0,3	4	0,133558	0,010286	
	0,4	1	0,005892	0,006355	9,341751
	0,4	2	0,362795	0,063098	
	0,4	3	8,699495	0,364188	
	0,4	4	0,273569	0,098851	
	0,5	1	0,039731	0,028665	7,700337
	0,5	2	0,512458	0,066093	
	0,5	3	6,828283	0,567123	
	0,5	4	0,319865	0,121956	
	0,6	1	0,054994	0,030,62	7,400112
	0,6	2	0,701459	0,121683	
	0,6	3	6,267116	0,466042	
	0,6	4	0,376543	0,082857	
	0,9	1	0,085672	0,002336	8,063973
	0,9	2	1,484848	0,136409	
	0,9	3	5,497942	0,055238	
	0,9	4	0,995511	0,043943	
1,2	1	0,46156	0,114976	10,84428	
1,2	2	4,122615	0,057445		
1,2	3	5,130471	0,033129		
1,2	4	1,12963	0,01378		

Tabela A.20- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios, $V = 74$ m/s e $Z = 100$ mm.

Medição 1: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,3	0,000303	0,10101	102,41	102,71
	0,3	2	0,14	0,000141	0,047138	86,32	86,46
	0,3	3	18,79	0,01898	6,326599	87,21	106
	0,3	4	0,11	0,000111	0,037037	60,13	60,24
	0,4	1	0,42	0,000424	0,106061	102,56	102,98
	0,4	2	0,62	0,000626	0,156566	86,52	87,14
	0,4	3	30,43	0,030737	7,684343	87,43	117,86
	0,4	4	0,7	0,000707	0,176768	60,22	60,92
	0,5	1	0,41	0,000414	0,082828	102,61	103,02
	0,5	2	0,54	0,000545	0,109091	86,48	87,02
	0,5	3	35,95	0,036313	7,262626	87,56	123,51
	0,5	4	1,65	0,001667	0,333333	60,23	61,88
	0,6	1	0,46	0,000465	0,077441	102,61	103,07
	0,6	2	0,86	0,000869	0,144781	86,47	87,33
	0,6	3	34,3	0,034646	5,774411	87,41	121,71
	0,6	4	3,42	0,003455	0,575758	60,31	63,73
	0,9	1	0,39	0,000394	0,043771	102,58	102,97
	0,9	2	1,7	0,001717	0,190797	86,46	88,16
	0,9	3	34,88	0,035232	3,914703	87,5	122,38
	0,9	4	16,28	0,016444	1,82716	60,32	76,6
	1,2	1	0,3	0,000303	0,025253	102,51	102,81
	1,2	2	7,63	0,007707	0,642256	87,26	94,89
	1,2	3	56,47	0,05704	4,753367	102,53	159
	1,2	4	51,99	0,052515	4,376263	87,3	139,29

Medição 2: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,25	0,000253	0,084175	102,55	102,8
	0,3	2	0,14	0,000141	0,047138	86,45	86,59
	0,3	3	21,81	0,02203	7,343434	87,39	109,2
	0,3	4	0,17	0,000172	0,057239	60,19	60,36
	0,4	1	0,38	0,000384	0,09596	102,58	102,96
	0,4	2	0,3	0,000303	0,075758	86,47	86,77
	0,4	3	30,79	0,031101	7,775253	87,37	118,16
	0,4	4	0,84	0,000848	0,212121	60,24	61,08
	0,5	1	0,43	0,000434	0,086869	102,58	103,01
	0,5	2	0,54	0,000545	0,109091	86,49	87,03
	0,5	3	35,33	0,035687	7,137374	87,39	122,72
	0,5	4	1,5	0,001515	0,30303	60,28	61,78
	0,6	1	0,43	0,000434	0,072391	102,64	103,07
	0,6	2	0,73	0,000737	0,122896	86,47	87,2
	0,6	3	33,85	0,034192	5,698653	87,5	121,35
	0,6	4	1,81	0,001828	0,304714	60,37	62,18
	0,9	1	0,39	0,000394	0,043771	102,61	103
	0,9	2	1,76	0,001778	0,197531	86,81	88,57
	0,9	3	36,22	0,036586	4,065095	87,47	123,69
	0,9	4	18,82	0,01901	2,112233	60,3	79,12
1,2	1	0,27	0,000273	0,022727	102,6	102,87	
1,2	2	7,72	0,007798	0,649832	87,27	94,99	
1,2	3	57,56	0,058141	4,845118	102,58	160,14	
1,2	4	51,36	0,051879	4,323232	87,25	138,61	

Medição 3: Injeção de líquido feita por 3 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,29	0,000293	0,097643	102,55	102,84
	0,3	2	0,2	0,000202	0,06734	86,44	86,64
	0,3	3	22,38	0,022606	7,535354	87,35	109,73
	0,3	4	0,14	0,000141	0,047138	60,24	60,38
	0,4	1	0,4	0,000404	0,10101	102,54	102,94
	0,4	2	0,3	0,000303	0,075758	86,48	86,78
	0,4	3	30,64	0,030949	7,737374	87,34	117,98
	0,4	4	0,61	0,000616	0,15404	60,24	60,85
	0,5	1	0,38	0,000384	0,076768	102,62	103
	0,5	2	0,54	0,000545	0,109091	86,46	87
	0,5	3	36,22	0,036586	7,317172	87,42	123,64
	0,5	4	1,46	0,001475	0,294949	60,27	61,73
	0,6	1	0,47	0,000475	0,079125	102,61	103,08
	0,6	2	0,86	0,000869	0,144781	86,51	87,37
	0,6	3	34,49	0,034838	5,806397	87,45	121,94
	0,6	4	2,85	0,002879	0,479798	60,34	63,19
	0,9	1	0,32	0,000323	0,035915	102,68	103
	0,9	2	1,77	0,001788	0,198653	86,59	88,36
	0,9	3	35,56	0,035919	3,991021	87,44	123
	0,9	4	19,95	0,020152	2,239057	60,34	80,29
1,2	1	0,29	0,000293	0,024411	102,56	102,85	
1,2	2	7,9	0,00798	0,664983	87,26	95,16	
1,2	3	56,92	0,057495	4,791246	102,56	159,48	
1,2	4	51,89	0,052414	4,367845	87,29	139,18	

Média Injeção de líquido feita por 3 orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,094276	0,008908	7,263749
	0,3	2	0,053872	0,011664	
	0,3	3	7,068462	0,649599	
	0,3	4	0,047138	0,010101	
	0,4	1	0,10101	0,005051	8,117003
	0,4	2	0,102694	0,046655	
	0,4	3	7,732323	0,045664	
	0,4	4	0,180976	0,029268	
	0,5	1	0,082155	0,005084	7,740741
	0,5	2	0,109091	1,65E-15	
	0,5	3	7,239057	0,092187	
	0,5	4	0,310438	0,020236	
	0,6	1	0,076319	0,003504	6,427048
	0,6	2	0,137486	0,012636	
	0,6	3	5,75982	0,055334	
	0,6	4	0,453423	0,137433	
	0,9	1	0,041152	0,004536	6,286569
	0,9	2	0,19566	0,004249	
	0,9	3	3,990273	0,075199	
	0,9	4	2,059484	0,210954	
1,2	1	0,02413	0,001286	9,828844	
1,2	2	0,652357	0,011572		
1,2	3	4,796577	0,046107		
1,2	4	4,35578	0,0285		

• V = 74 m/s e Z = 160 mm

Tabela A.21- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, V = 74 m/s e Z = 160 mm

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,55	0,000556	0,185185	102,46	103,01
	0,3	2	11,77	0,011889	3,962963	87,38	99,15
	0,3	3	8,44	0,008525	2,841751	102,59	111,03
	0,3	4	7,85	0,007929	2,643098	87,27	95,12
	0,6	1	1,91	0,001929	0,321549	102,65	104,56
	0,6	2	13,13	0,013263	2,210438	87,33	100,46
	0,6	3	5,94	0,006	1	102,57	108,51
	0,6	4	12,86	0,01299	2,164983	87,42	100,28
	0,9	1	3,48	0,003515	0,390572	102,59	106,07
	0,9	2	19,58	0,019778	2,197531	87,28	106,86
	0,9	3	2,47	0,002495	0,277217	102,56	105,03
	0,9	4	18,92	0,019111	2,123457	87,31	106,23
	1,2	1	3,78	0,003818	0,318182	102,56	106,34
	1,2	2	32,66	0,03299	2,749158	87,29	119,95
	1,2	3	2,77	0,002798	0,233165	102,65	105,42
	1,2	4	38,64	0,03903	3,252525	87,29	125,93

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,61	0,000616	0,205387	102,62	103,23
	0,3	2	12,33	0,012455	4,151515	87,34	99,67
	0,3	3	8,5	0,008586	2,861953	102,61	111,11
	0,3	4	8,36	0,008444	2,814815	87,35	95,71
	0,6	1	1,83	0,001848	0,308081	102,61	104,44
	0,6	2	13,6	0,013737	2,289562	87,33	100,93
	0,6	3	5,78	0,005838	0,973064	102,59	108,37
	0,6	4	15,07	0,015222	2,537037	87,32	102,39
	0,9	1	3,44	0,003475	0,386083	102,68	106,12
	0,9	2	19,98	0,020182	2,242424	87,33	107,31
	0,9	3	2,59	0,002616	0,290685	102,54	105,13
	0,9	4	22,02	0,022242	2,47138	87,35	109,37
	1,2	1	4,07	0,004111	0,342593	102,61	106,68
	1,2	2	31	0,031313	2,609428	87,31	118,31
	1,2	3	2,79	0,002818	0,234848	102,6	105,39
	1,2	4	39,46	0,039859	3,321549	87,41	126,87

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	1,02	0,00103	0,343434	102,62	103,64
	0,3	2	14,28	0,014424	4,808081	87,31	101,59
	0,3	3	8,43	0,008515	2,838384	102,62	111,05
	0,3	4	6,1	0,006162	2,053872	87,31	93,41
	0,6	1	2,14	0,002162	0,360269	102,65	104,79
	0,6	2	13,61	0,013747	2,291246	87,4	101,01
	0,6	3	5,83	0,005889	0,981481	102,6	108,43
	0,6	4	15,23	0,015384	2,563973	87,32	102,55
	0,9	1	3,56	0,003596	0,399551	102,69	106,25
	0,9	2	19,83	0,02003	2,225589	87,4	107,23
	0,9	3	2,52	0,002545	0,282828	102,59	105,11
	0,9	4	23,83	0,024071	2,674523	87,37	111,2
	1,2	1	4,34	0,004384	0,36532	102,62	106,96
	1,2	2	31,19	0,031505	2,625421	87,39	118,58
	1,2	3	2,7	0,002727	0,227273	102,61	105,31
	1,2	4	39,04	0,039434	3,286195	87,34	126,38

Média Injeção de líquido feita por 4 orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,244669	0,086128	9,903479
	0,3	2	4,30752	0,443632	
	0,3	3	2,847363	0,012747	
	0,3	4	2,503928	0,399105	
	0,6	1	0,329966	0,027093	6,000561
	0,6	2	2,263749	0,046176	
	0,6	3	0,984848	0,01378	
	0,6	4	2,421998	0,222988	
	0,9	1	0,392069	0,006858	5,320614
	0,9	2	2,221848	0,022679	
	0,9	3	0,283577	0,006765	
	0,9	4	2,42312	0,278685	
	1,2	1	0,342031	0,023574	6,521886
	1,2	2	2,661336	0,076476	
	1,2	3	0,231762	0,003978	
	1,2	4	3,286756	0,034515	

- $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 220 \text{ mm}$

Tabela A.22- Resultados das 3 medições e das médias feitas para a fração de filme em cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios, $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 220 \text{ mm}$

Medição 1: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,55	0,000556	0,185185	87,27	87,82
	0,3	2	8,57	0,008657	2,885522	102,5	111,07
	0,3	3	14,57	0,014717	4,905724	87,36	101,93
	0,3	4	12,43	0,012556	4,185185	102,46	114,89
	0,6	1	1,53	0,001545	0,257576	87,32	88,85
	0,6	2	10,7	0,010808	1,801347	102,52	113,22
	0,6	3	7,87	0,007949	1,324916	87,36	95,23
	0,6	4	19,54	0,019737	3,289562	102,53	122,07
	0,9	1	4,56	0,004606	0,511785	87,37	91,93
	0,9	2	29,48	0,029778	3,308642	102,53	132,01
	0,9	3	4,19	0,004232	0,470258	87,36	91,55
	0,9	4	29,63	0,029929	3,325477	102,56	132,19
	1,2	1	8,88	0,00897	0,747475	87,37	96,25
	1,2	2	55,15	0,055707	4,642256	102,53	157,68
	1,2	3	5,61	0,005667	0,472222	87,45	93,06
	1,2	4	42,03	0,042455	3,537879	102,52	144,55

Medição 2: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	0,78	0,000788	0,262626	87,45	88,23
	0,3	2	8,65	0,008737	2,912458	102,55	111,2
	0,3	3	12,68	0,012808	4,26936	87,38	100,06
	0,3	4	12,46	0,012586	4,195286	102,55	115,01
	0,6	1	2,26	0,002283	0,380471	87,38	89,64
	0,6	2	11,02	0,011131	1,855219	102,56	113,58
	0,6	3	8,93	0,00902	1,503367	87,33	96,26
	0,6	4	19,97	0,020172	3,361953	102,59	122,56
	0,9	1	6,48	0,006545	0,727273	87,37	93,85
	0,9	2	25,2	0,025455	2,828283	102,55	127,75
	0,9	3	4,03	0,004071	0,452301	87,33	91,36
	0,9	4	30,85	0,031162	3,462402	102,59	133,44
	1,2	1	10,15	0,010253	0,854377	87,4	97,55
	1,2	2	54,02	0,054566	4,547138	102,45	156,47
	1,2	3	5,47	0,005525	0,460438	87,28	92,75
	1,2	4	43,62	0,044061	3,671717	102,53	146,15

Medição 3: Injeção de líquido feita pelos 4 orifícios							
V (m/s)	Ql (l/min)	Parede	M (g)	Qv (l/min)	Ff (%)	Rv (g)	Rc (g)
74	0,3	1	1,25	0,001263	0,420875	87,37	88,62
	0,3	2	8,98	0,009071	3,023569	102,52	111,5
	0,3	3	14,19	0,014333	4,777778	87,43	101,62
	0,3	4	11,72	0,011838	3,946128	102,53	114,25
	0,6	1	2,98	0,00301	0,501684	87,41	90,39
	0,6	2	12,4	0,012525	2,087542	102,52	114,92
	0,6	3	7,78	0,007859	1,309764	87,4	95,18
	0,6	4	20,53	0,020737	3,456229	102,57	123,1
	0,9	1	7,68	0,007758	0,861953	87,31	94,99
	0,9	2	28,27	0,028556	3,17284	102,49	130,76
	0,9	3	4,09	0,004131	0,459035	87,34	91,43
	0,9	4	30,5	0,030808	3,42312	102,52	133,02
	1,2	1	10,2	0,010303	0,858586	87,42	97,62
	1,2	2	53,03	0,053566	4,463805	102,56	155,59
	1,2	3	5,41	0,005465	0,455387	87,38	92,79
	1,2	4	42,49	0,042919	3,576599	102,59	145,08

Média					
Injeção de líquido feita por 4orifícios					
V (m/s)	Ql (l/min)	Orifício	Ff (%)	Desvio Padrão	Ff total (%)
74	0,3	1	0,289562	0,120132	11,9899
	0,3	2	2,940516	0,073176	
	0,3	3	4,650954	0,336605	
	0,3	4	4,108866	0,141026	
	0,6	1	0,37991	0,122055	7,04321
	0,6	2	1,914703	0,152088	
	0,6	3	1,379349	0,10767	
	0,6	4	3,369248	0,083572	
	0,9	1	0,700337	0,176631	7,667789
	0,9	2	3,103255	0,247624	
	0,9	3	0,460531	0,009072	
	0,9	4	3,403666	0,070505	
	1,2	1	0,820146	0,06297	9,429293
	1,2	2	4,551066	0,08929	
	1,2	3	0,462682	0,008639	
	1,2	4	3,595398	0,068871	

APÊNDICE B

Resultados dos dados experimentais na forma de gráficos da fração de filme obtida em cada parede separadamente do lavador em função da vazão de líquido para as velocidades do gás de 59 m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s, e para todas as configurações de injeção de líquido.

● $V = 59 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

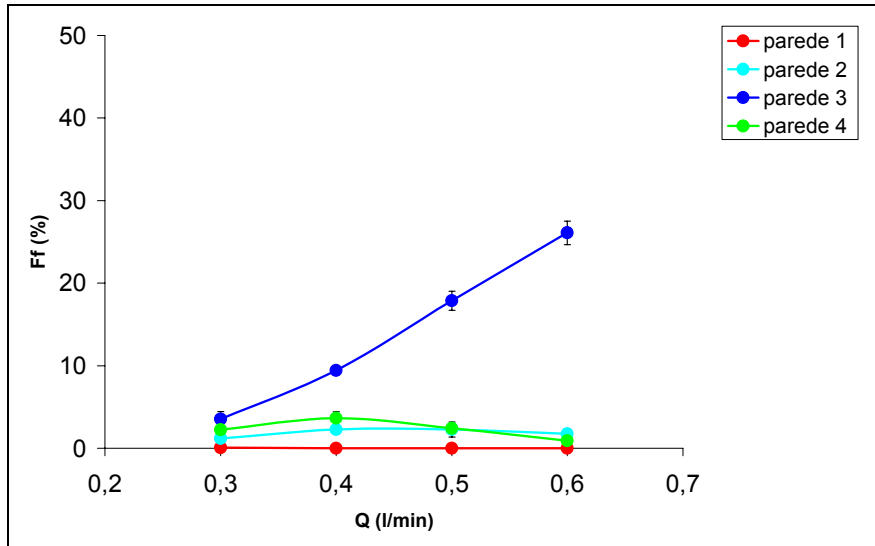


Figura B1-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$.

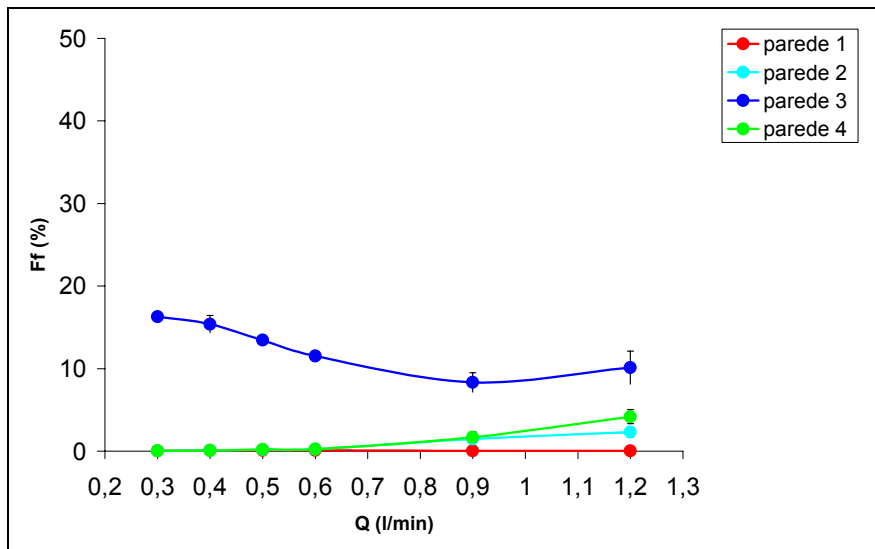


Figura B2-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$.

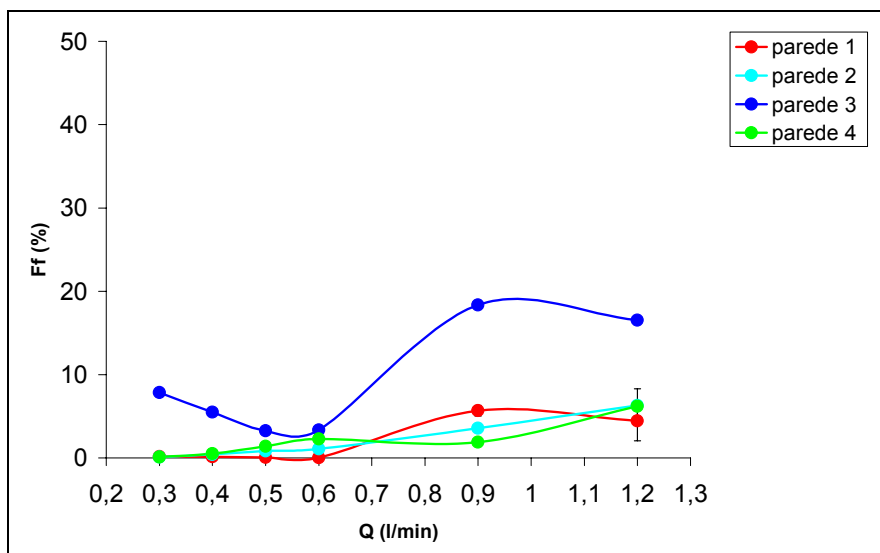


Figura B3-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$.

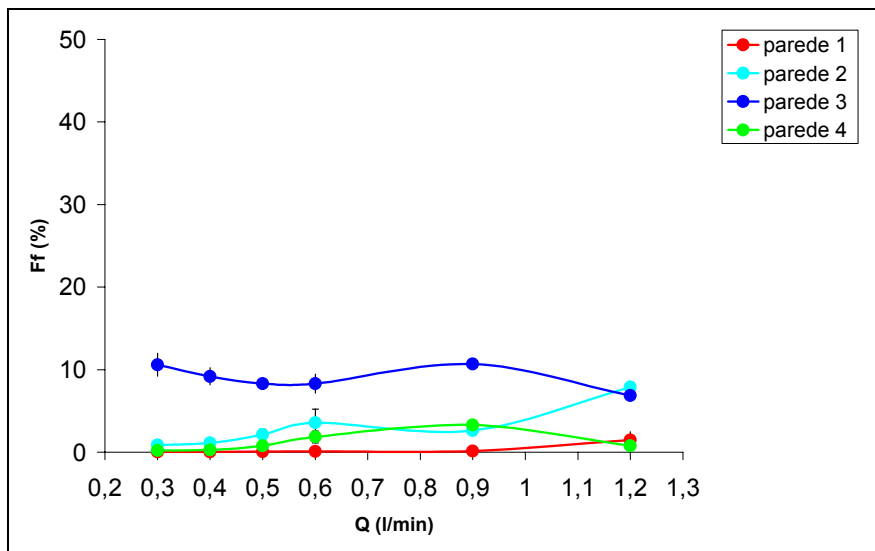


Figura B4-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.

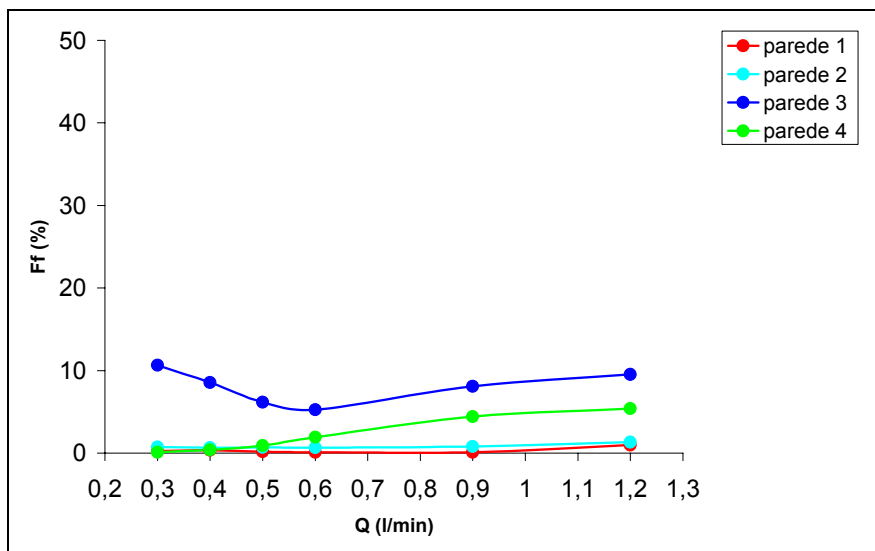


Figura B5-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 59 m/s e $Z = 100$ mm.

● $V = 64$ m/s e $Z = 100$ mm

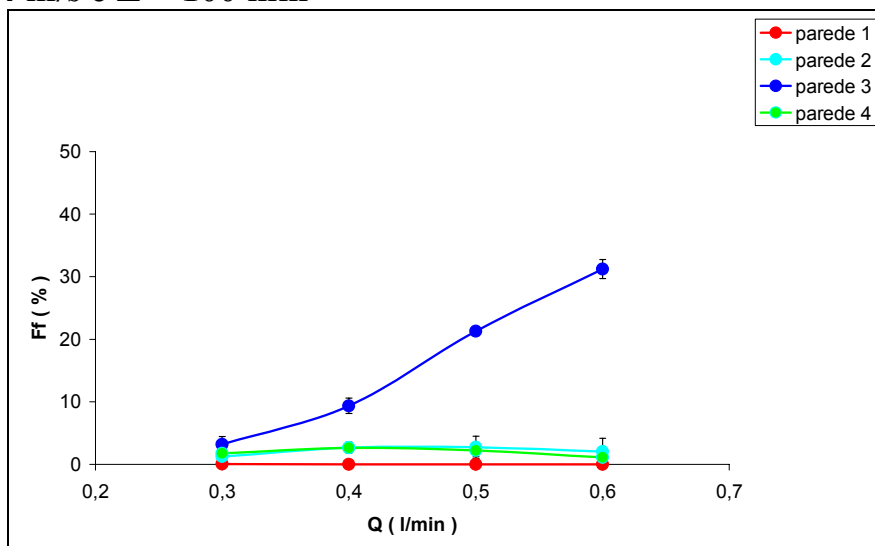


Figura B6-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.

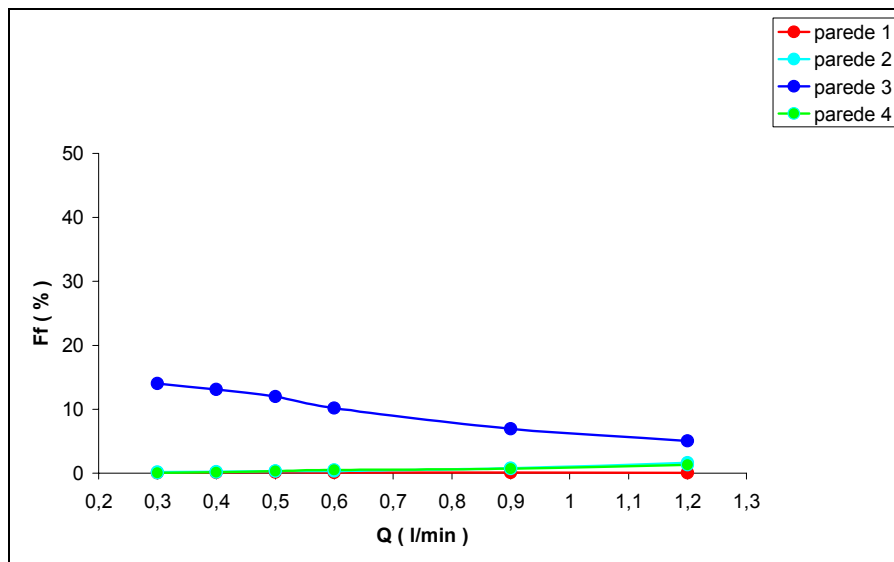


Figura B7-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.

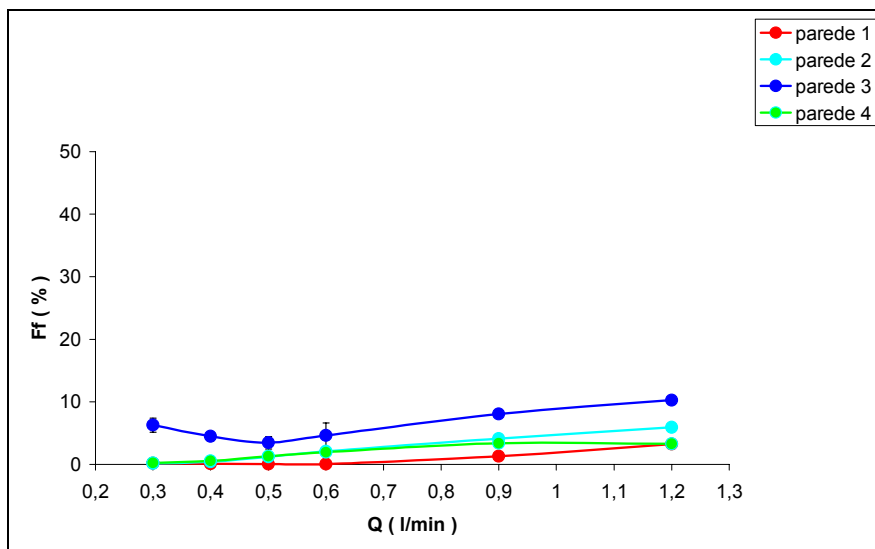


Figura B8-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm.

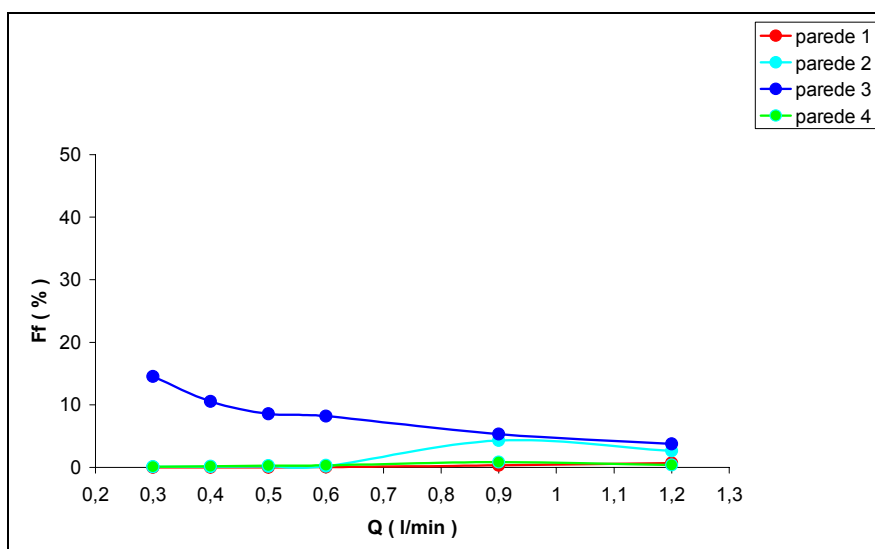


Figura B9-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm

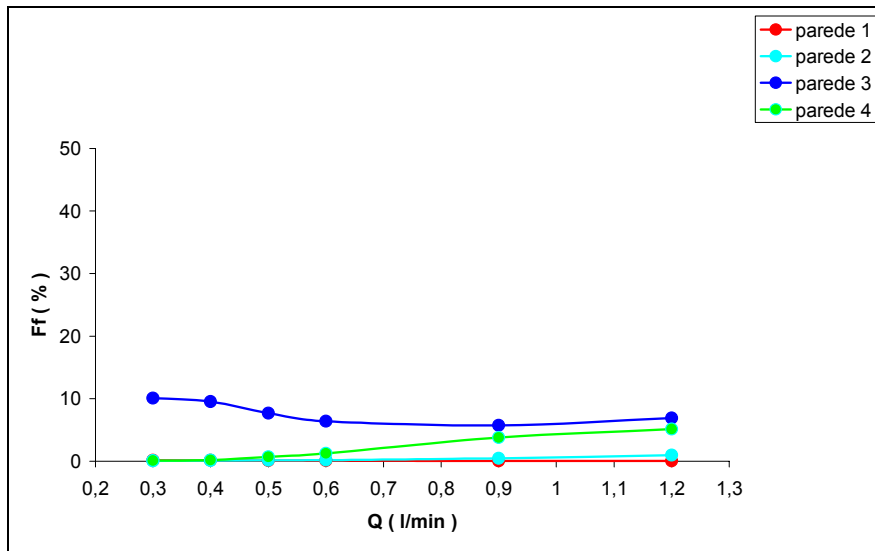


Figura B10-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 64 m/s e $Z = 100$ mm

● $V = 69$ m/s e $Z = 100$ mm

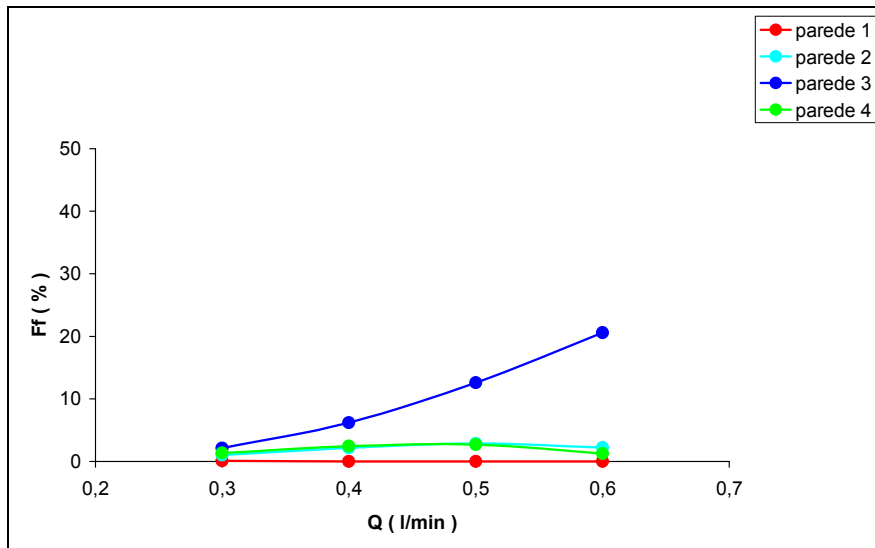


Figura B11-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm

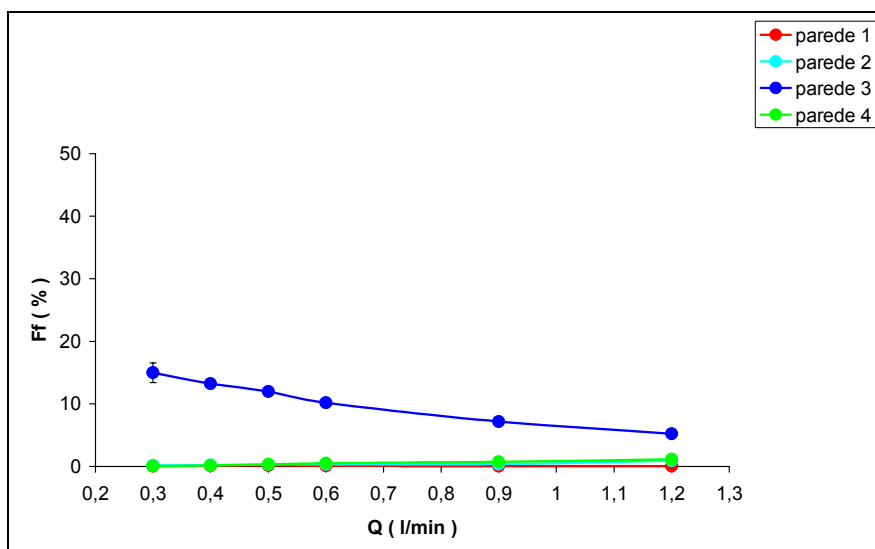


Figura B12-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm

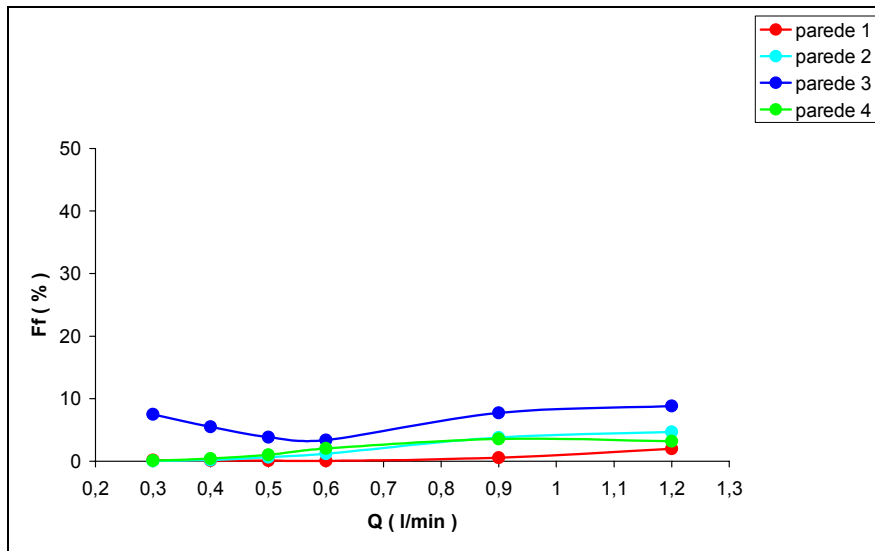


Figura B13-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm

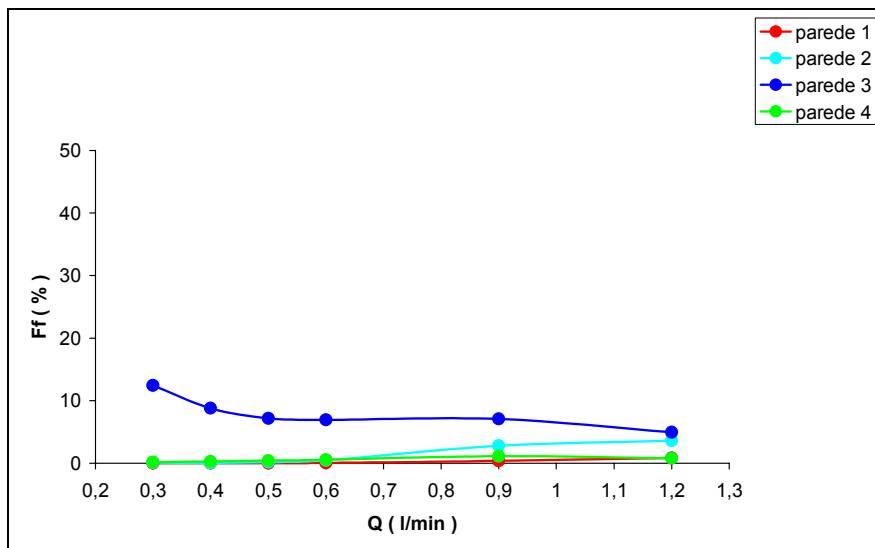


Figura B14-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm

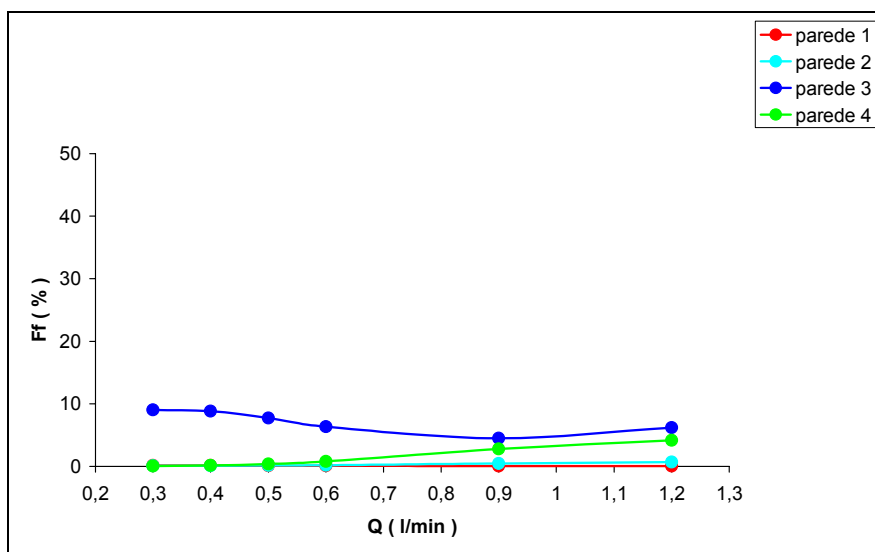


Figura B15-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 69 m/s e $Z = 100$ mm

• $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

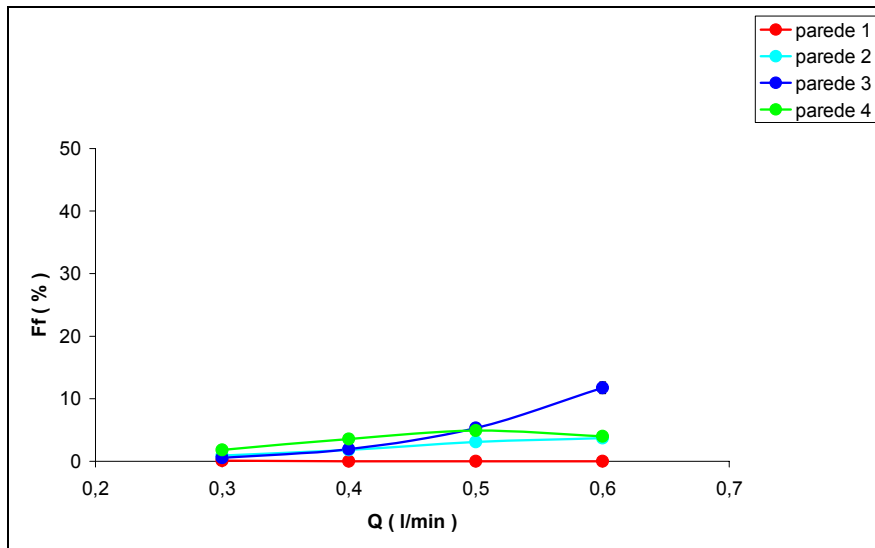


Figura B16-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 1 orifício e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$

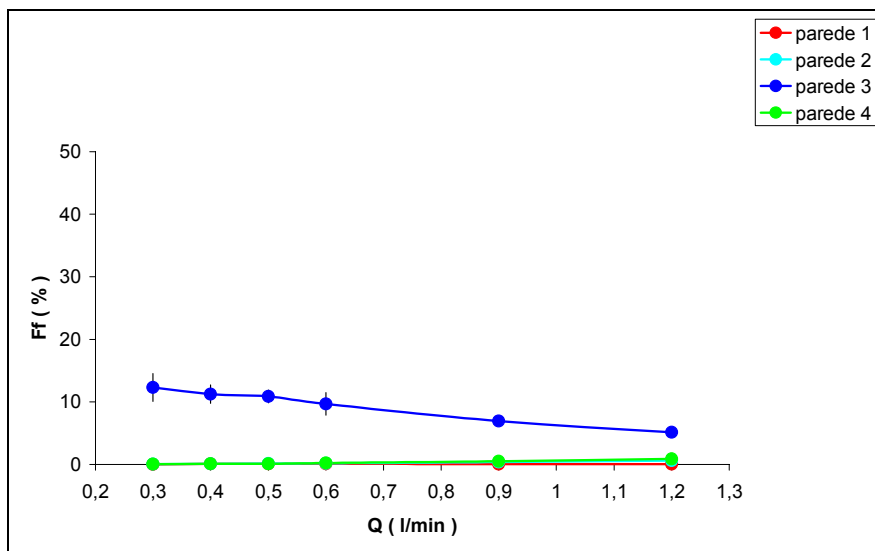


Figura B17-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$

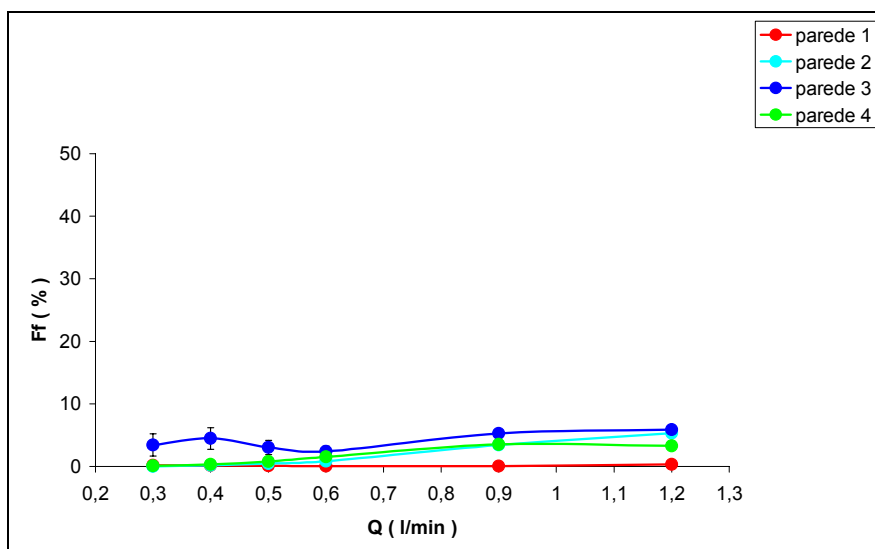


Figura B18-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios verticais e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100 \text{ mm}$

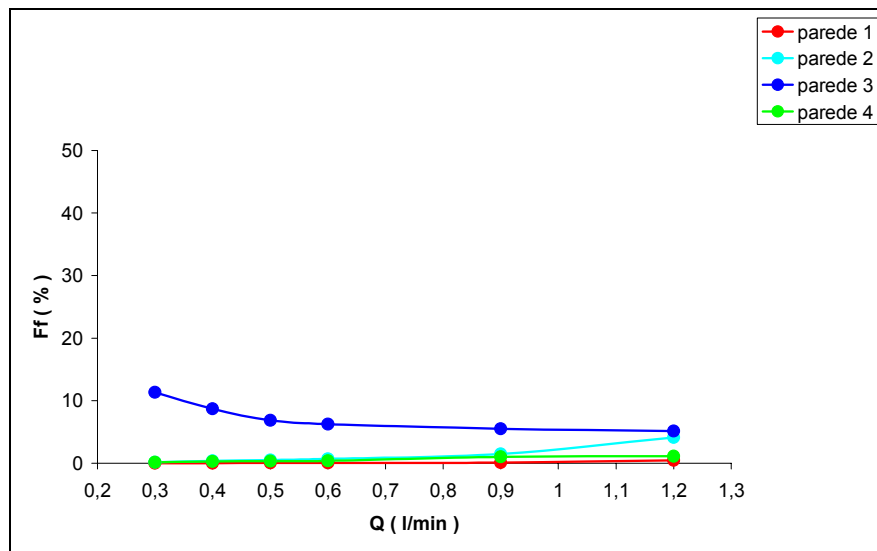


Figura B19-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 2 orifícios horizontais e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm

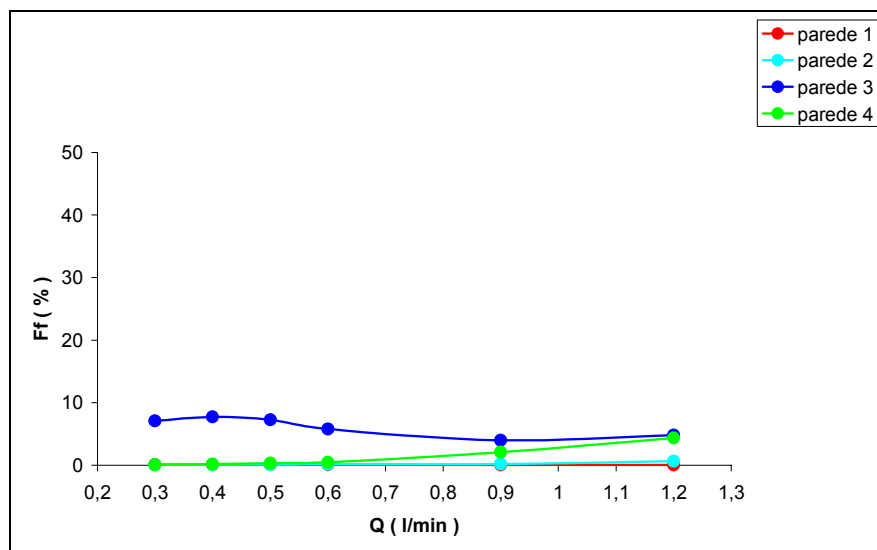


Figura B20-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 3 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 100$ mm

● $V = 74$ m/s e $Z = 160$ mm

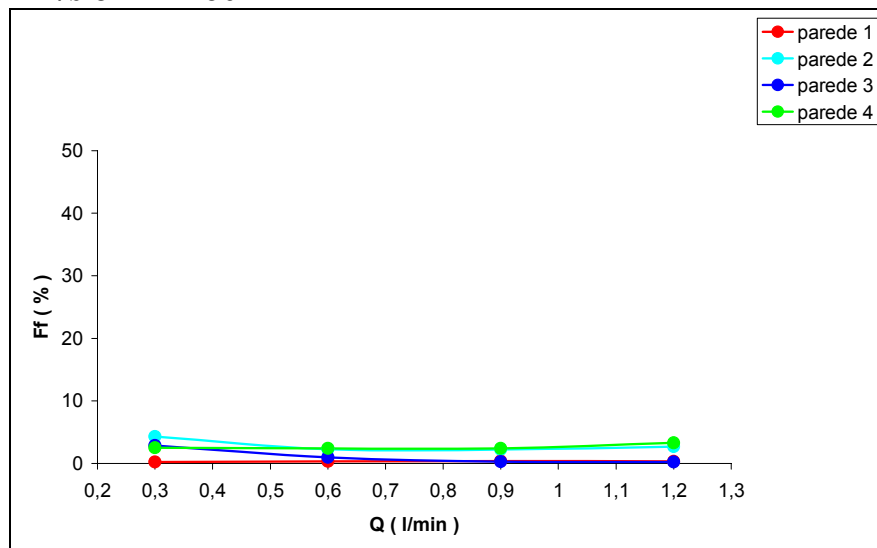


Figura B21-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 160$ mm

• $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 220 \text{ mm}$

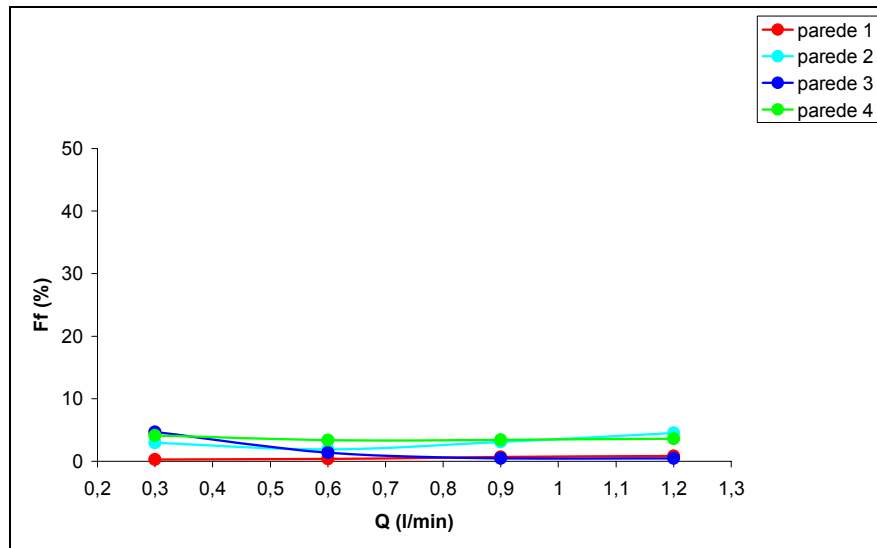


Figura B22-Fração de filme obtida de cada parede separadamente com injeção de líquido feita por 4 orifícios e velocidade do gás de 74 m/s e $Z = 220 \text{ mm}$

APÊNDICE C

Tabelas referentes aos cálculos da penetração do jato e da razão L/G.

A penetração do jato foi calculada de acordo com a Equação (3.8).

$$l_{\max} = 1,458 \times 10^{-4} \cdot \frac{\rho_l}{\rho_g} \cdot \frac{L}{G} \cdot \frac{A_{th}}{D_0 \cdot N_0} \quad (3.8)$$

Onde;

$$\rho_l = 990 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_g = 1,135 \text{ kg/m}^3$$

Q_l (L/min), vazão de líquido

$Q_g = A_{th} \times V$ (m³/min), vazão do gás,

V (m/min) : velocidade do gás na garganta do lavador

$A_{th} = 0,00108 \text{ m}^2$ (altura \times largura), da garganta do lavador.

$D_0 = 1 \text{ mm}$ (diâmetro dos orifícios)

N_0 : número de orifícios usados na injeção de líquido. (1, 2, 3 e 4)

$$\frac{L}{G} = \frac{Q_l}{Q_g} \text{ (l/m}^3\text{)}, \text{ razão líquido gás.}$$

Tabela C1-Valores referentes aos cálculos de l_{\max} e L/G, para $V = 59$ m/s.

V (m/s)	V (m/min)	Ql (l/min)	Qg (m ³ /min)	L/G (l/m ³)	l _{máx} (mm)	
59	3540	0,3	3,8232	0,078468	10,81453	Por 1 orifício
		0,4		0,104624	14,41937	
		0,5		0,13078	18,02422	
		0,6		0,156937	21,62906	
		0,3		0,078468	5,388731	Por 2 orifícios Verticais e/ou Horizontais
		0,4		0,104624	7,184975	
		0,5		0,13078	8,981218	
		0,6		0,156937	10,77746	
		0,9		0,235405	16,16619	
		1,2		0,313873	21,55492	
		0,3		0,078468	3,592487	Por 3 orifícios
		0,4		0,104624	4,789983	
		0,5		0,13078	5,987479	
		0,6		0,156937	7,184975	
		0,9		0,235405	10,77746	
		1,2		0,313873	14,36995	
		0,3		0,078468	2,694365	Por 4 orifícios
		0,4		0,104624	3,592487	
		0,5		0,13078	4,490609	
		0,6		0,156937	5,388731	
		0,9		0,235405	8,083096	
		1,2		0,313873	10,77746	

Tabela C2-Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 64$ m/s.

V (m/s)	V (m/min)	Ql (l/min)	Qg (m³/min)	L/G (l/m³)	l_{máx} (mm)	
64	3840	0,3	4,1472	0,072338	9,969645	Por 1 orifício
		0,4		0,096451	13,29286	
		0,5		0,120563	16,61607	
		0,6		0,144676	19,93929	
		0,3		0,072338	4,967736	Por 2 orifícios Verticais e/ou Horizontais
		0,4		0,096451	6,623648	
		0,5		0,120563	8,279561	
		0,6		0,144676	9,935473	
		0,9		0,217014	14,90321	
		1,2		0,289352	19,87095	
		0,3		0,072338	3,311824	Por 3 orifícios
		0,4		0,096451	4,415766	
		0,5		0,120563	5,519707	
		0,6		0,144676	6,623648	
		0,9		0,217014	9,935473	
		1,2		0,289352	13,2473	
		0,3		0,072338	2,483868	Por 4 orifícios
		0,4		0,096451	3,311824	
		0,5		0,120563	4,13978	
		0,6		0,144676	4,967736	
0,9	0,217014	7,451604				
1,2	0,289352	9,935473				

Tabela C3-Valores referentes aos cálculos de $l_{máx}$ e L/G , para $V = 69$ m/s.

V (m/s)	V (m/min)	Ql (l/min)	Qg (m³/min)	L/G (l/m³)	l_{máx} (mm)	
69	4140	0,3	4,4712	0,067096	9,247207	Por 1 orifício
		0,4		0,089461	12,32961	
		0,5		0,111827	15,41201	
		0,6		0,134192	18,49441	
		0,3		0,067096	4,607755	Por 2 orifícios Verticais e/ou Horizontais
		0,4		0,089461	6,143674	
		0,5		0,111827	7,679592	
		0,6		0,134192	9,215511	
		0,9		0,201288	13,82327	
		1,2		0,268384	18,43102	
		0,3		0,067096	3,071837	Por 3 orifícios
		0,4		0,089461	4,095783	
		0,5		0,111827	5,119728	
		0,6		0,134192	6,143674	
		0,9		0,201288	9,215511	
		1,2		0,268384	12,28735	
		0,3		0,067096	2,303878	Por 4 orifícios
		0,4		0,089461	3,071837	
		0,5		0,111827	3,839796	
		0,6		0,134192	4,607755	
0,9	0,201288	6,911633				
1,2	0,268384	9,215511				

Tabela C4-Valores referentes aos cálculos de $l_{m\acute{a}x}$ e L/G , para $V = 74$ m/s.

V (m/s)	V (m/min)	Ql (l/min)	Qg (m³/min)	L/G (l/m³)	l_{máx} (mm)	
74	4440	0,3	4,7952	0,062563	8,622395	Por 1 orifício
		0,4		0,083417	11,49653	
		0,5		0,104271	14,37066	
		0,6		0,125125	17,24479	
		0,3		0,062563	4,296421	Por 2 orifícios Verticais e/ou Horizontais
		0,4		0,083417	5,728561	
		0,5		0,104271	7,160701	
		0,6		0,125125	8,592841	
		0,9		0,187688	12,88926	
		1,2		0,25025	17,18568	
		0,3		0,062563	2,86428	Por 3 orifícios
		0,4		0,083417	3,819041	
		0,5		0,104271	4,773801	
		0,6		0,125125	5,728561	
		0,9		0,187688	8,592841	
		1,2		0,25025	11,45712	
		0,3		0,062563	2,14821	Por 4 orifícios
		0,4		0,083417	2,86428	
		0,5		0,104271	3,580351	
		0,6		0,125125	4,296421	
0,9	0,187688	6,444631				
1,2	0,25025	8,592841				

APÊNDICE D

Resultados dos dados experimentais na forma de gráficos da fração de filme líquido total em função da penetração máxima do jato calculada a partir da Equação (3.8) para as velocidades do gás de 59 m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s, e para todas as configurações de injeção de líquido.

- $V = 59 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

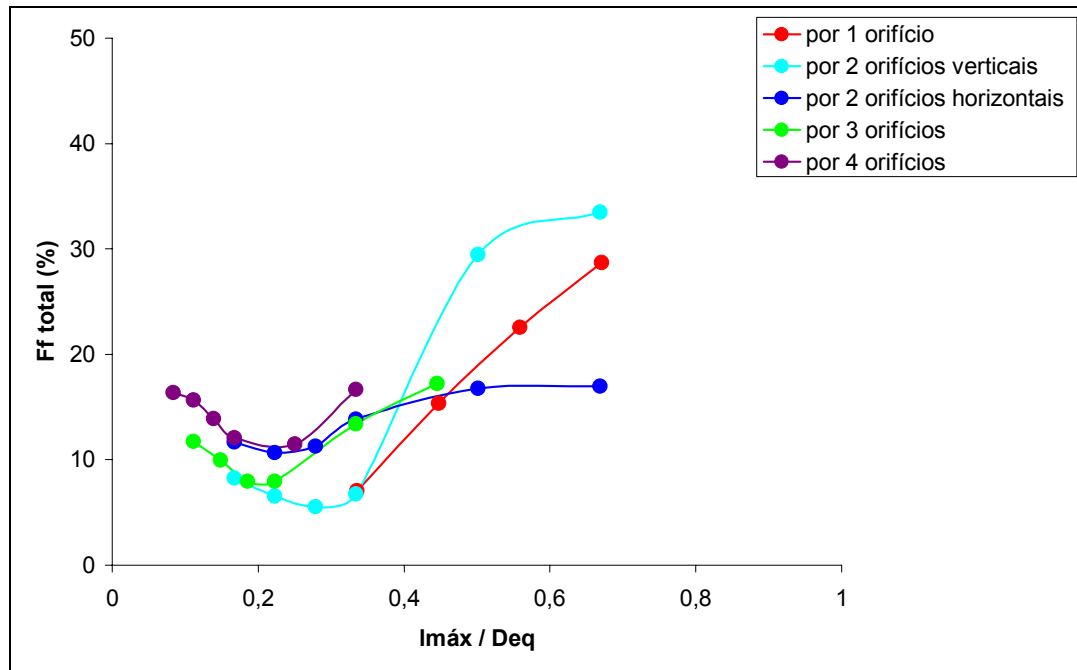


Figura D1-Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato/diâmetro equivalente para a velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

- $V = 64 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

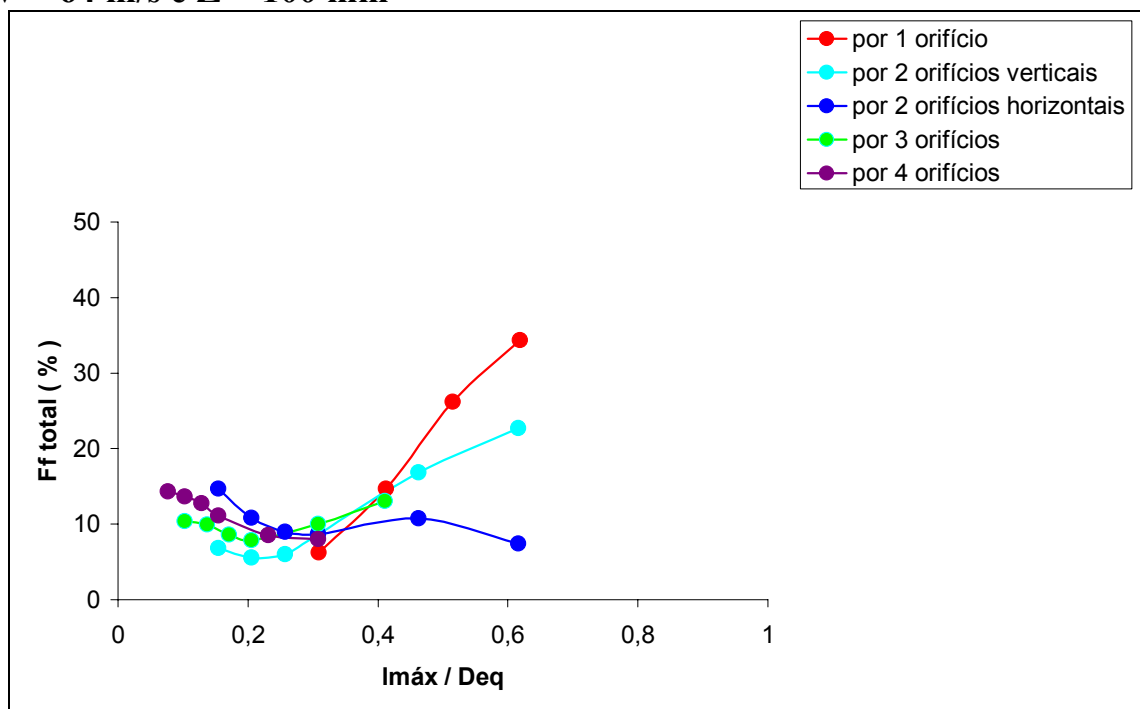


Figura D2-Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato/ diâmetro equivalente para a velocidade do gás de 64 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

- $V = 69 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

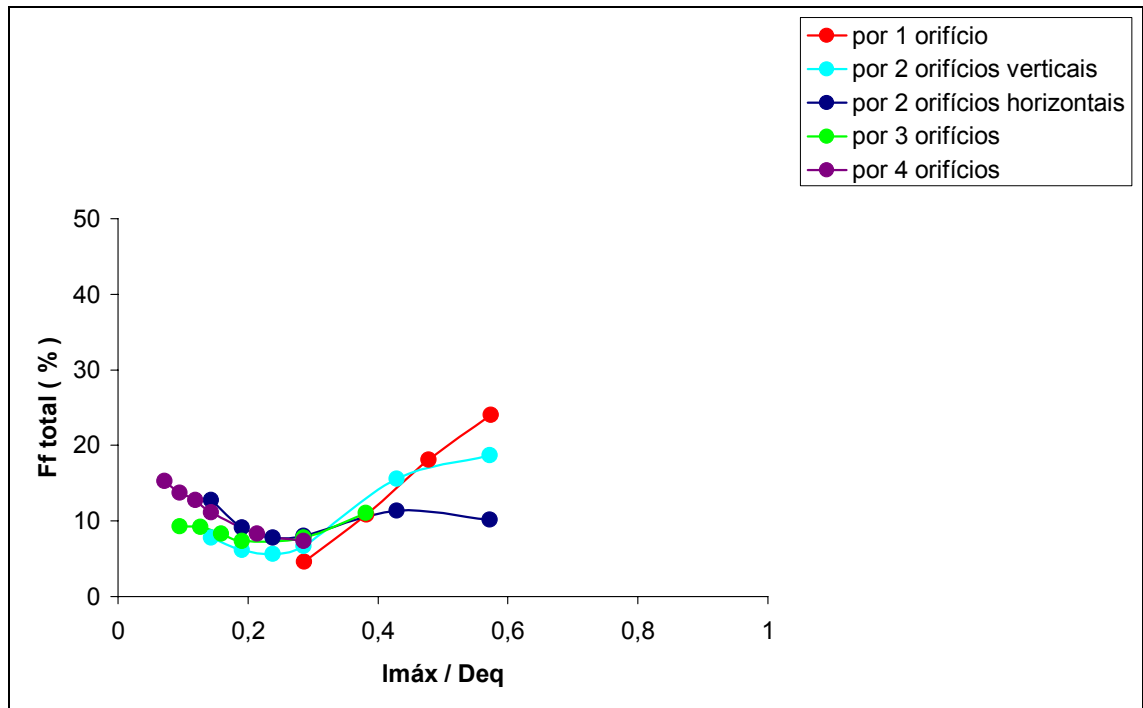


Figura D3-Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato/ diâmetro equivalente para a velocidade do gás de 69 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

- $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

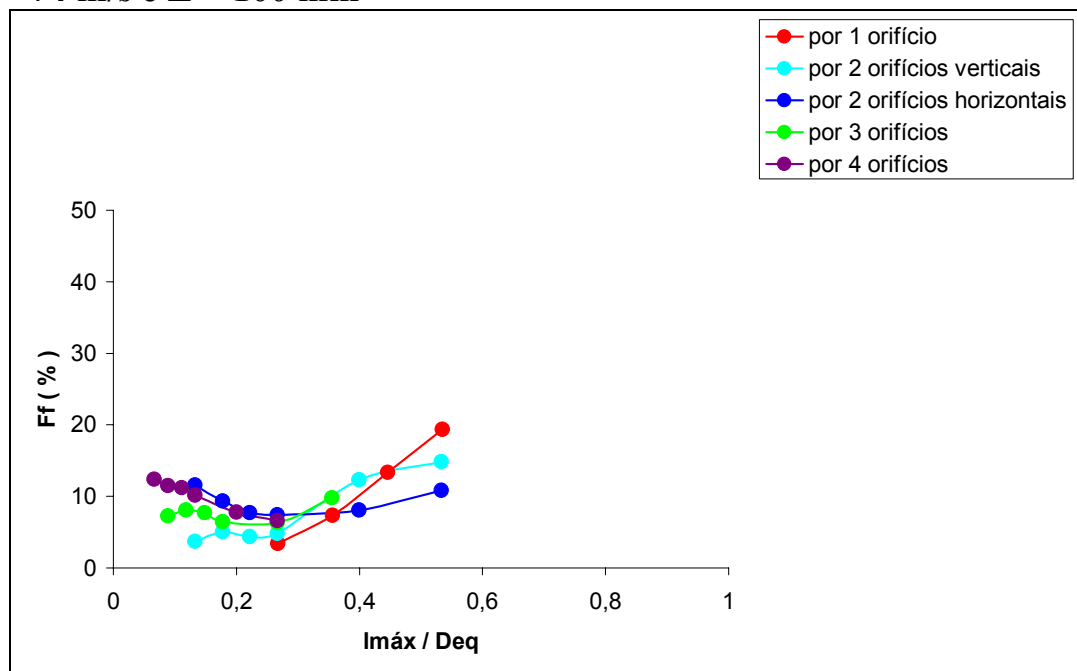


Figura D4-Fração de filme total extraído nas paredes do lavador em função da penetração do jato/ diâmetro equivalente para a velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

APÊNDICE E

Resultados dos dados experimentais na forma de gráficos da fração de filme líquido total em função da razão líquido gás para as velocidades do gás de 59 m/s, 64 m/s, 69 m/s e 74 m/s, e para todas as configurações de injeção de líquido.

● $V = 59 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

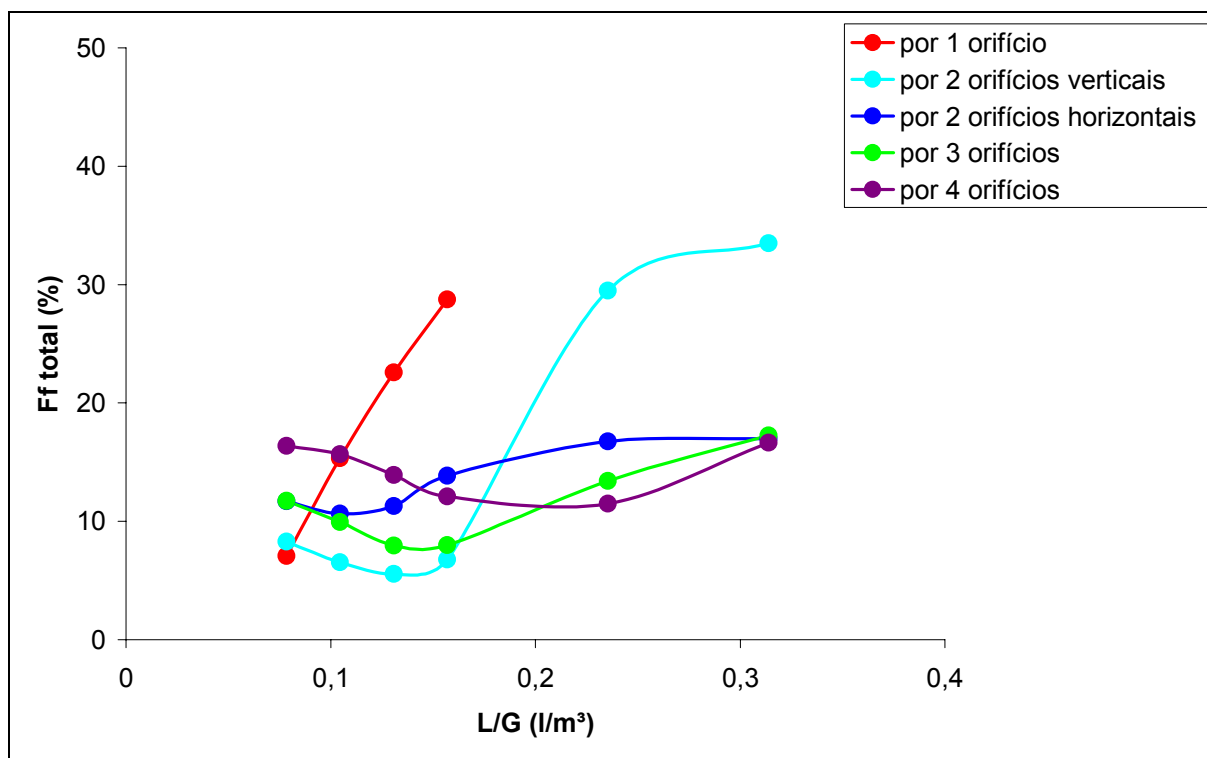


Figura E1-Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 59 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

● $V = 64 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

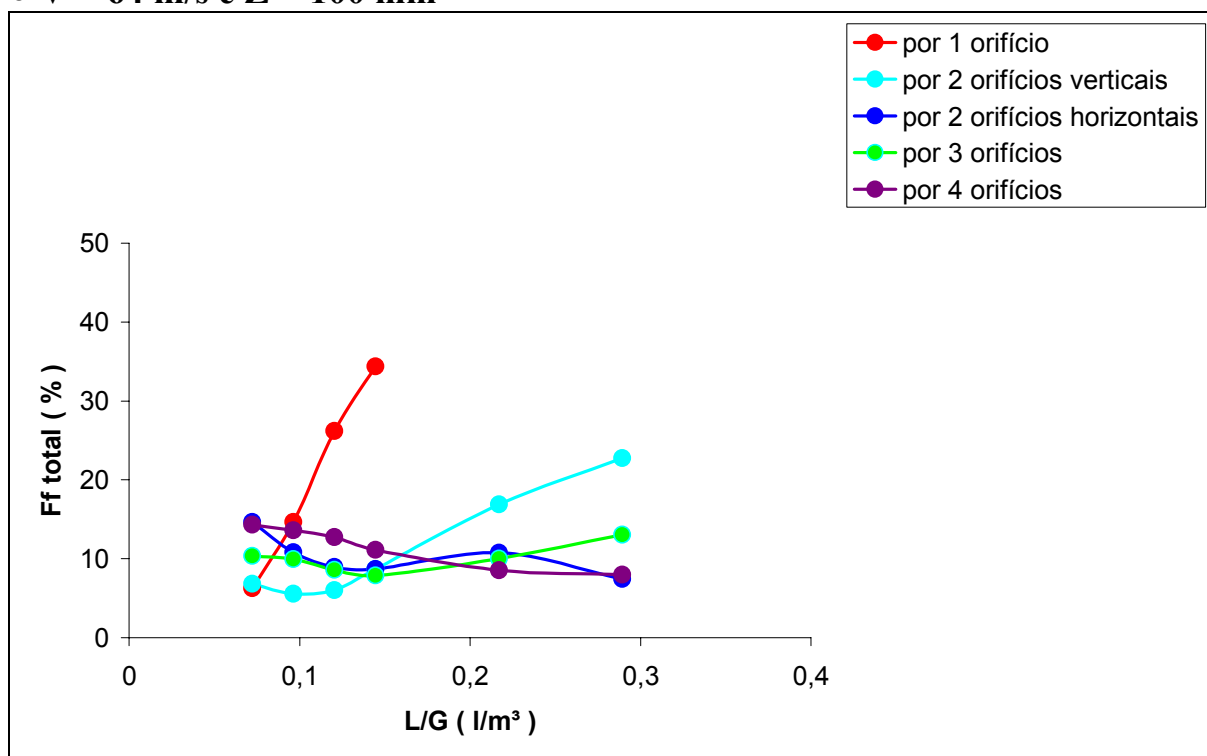


Figura E2-Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 64 m/s e comprimento da garganta de 100 mm.

● $V = 69 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

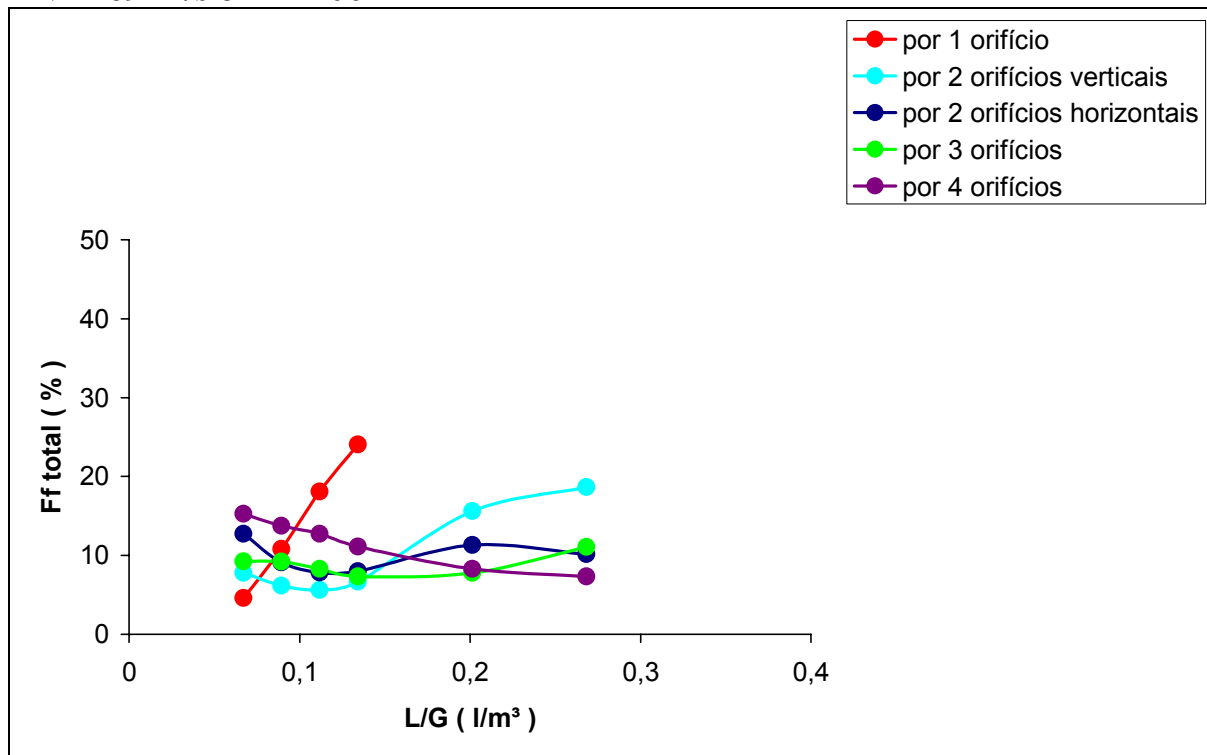


Figura E3-Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 69 m/s e comprimento da garganta de 100 mm .

● $V = 74 \text{ m/s}$ e $Z = 100 \text{ mm}$

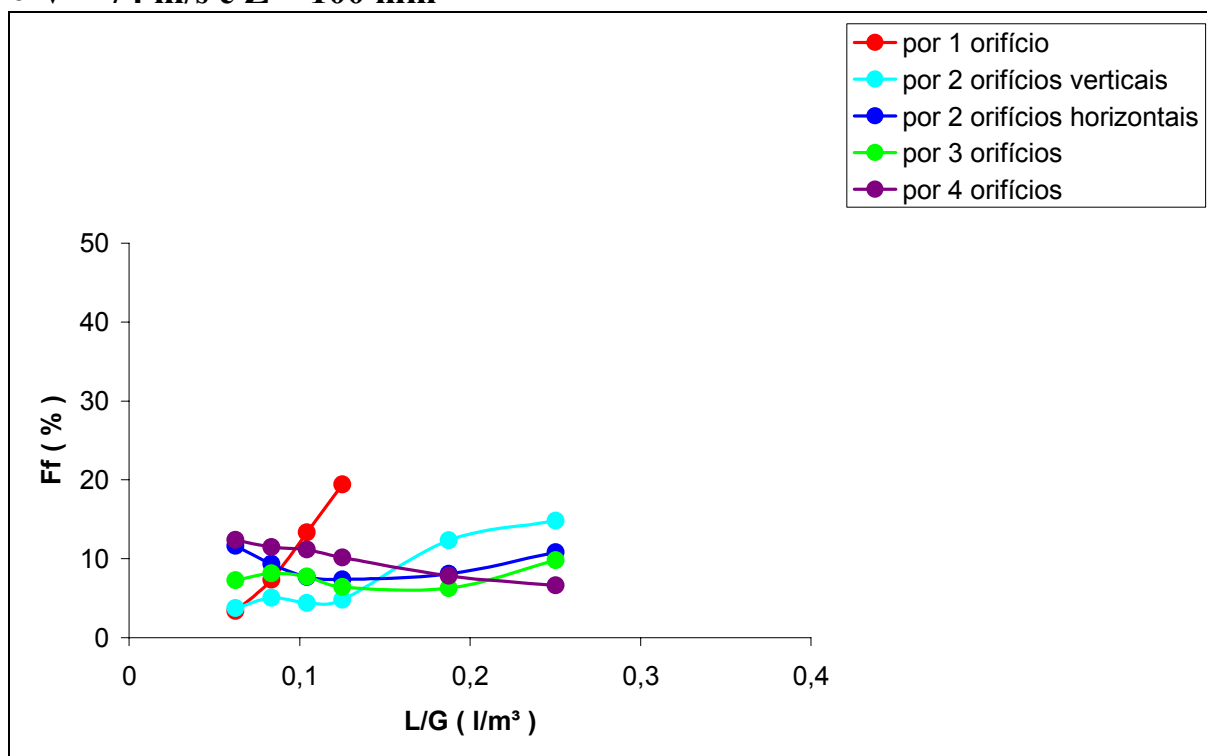


Figura E4-Fração de filme total em função de L/G para velocidade do gás de 74 m/s e comprimento da garganta de 100 mm .

APÊNDICE F

Imagens fotográficas do jato

• $V = 59$ m/s e injeção por 1 orifício



Figura F1-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min

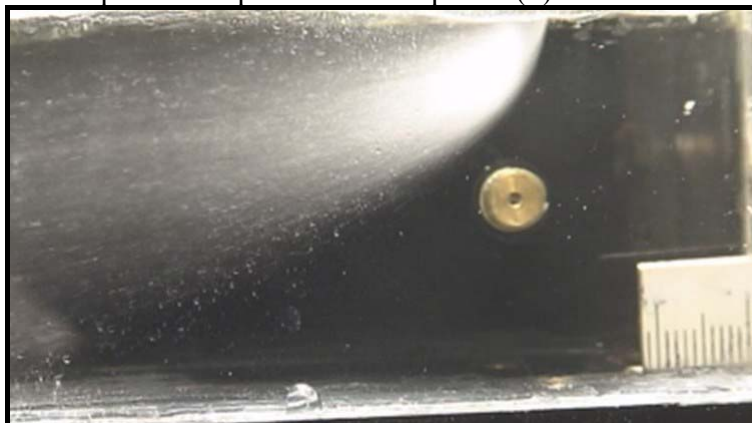


Figura F2-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,4$ l/min



Figura F3-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,5$ l/min

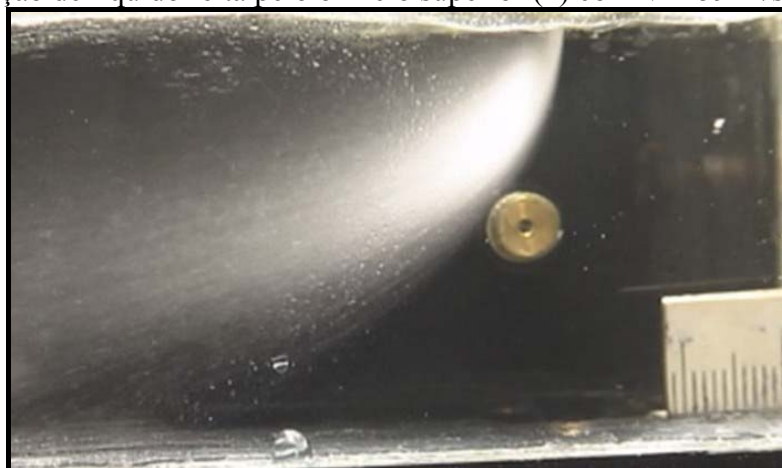


Figura F4-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

• $V = 74$ m/s e injeção por 1 orifício



Figura F5-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,3$ l/min



Figura F6-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,4$ l/min

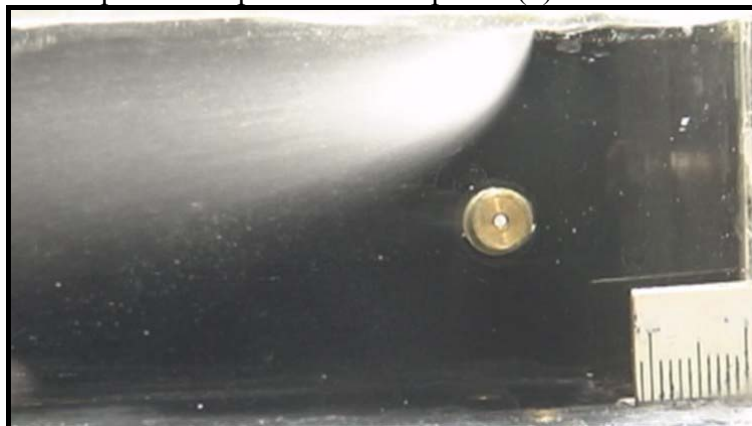


Figura F7-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,5$ l/min



Figura F8-Injeção de líquido feita pelo orifício superior (1) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

• $V = 59$ m/s e injeção por 2 orifícios verticais.



Figura F9-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min



Figura F10-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

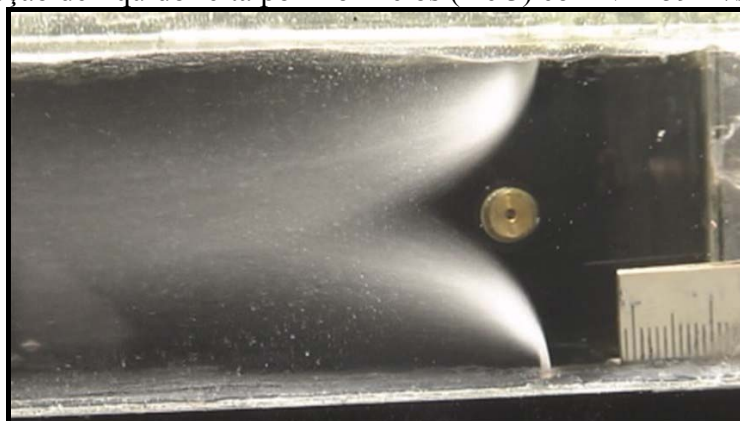


Figura F11-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 0,9$ l/min

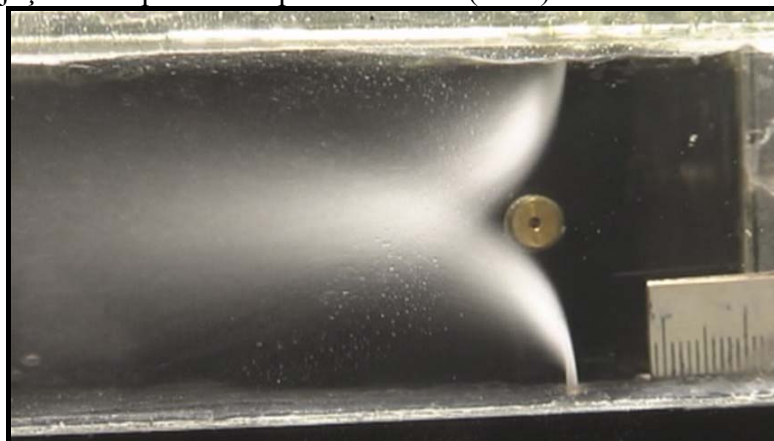


Figura F12-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min

• $V = 74$ m/s e injeção por 2 orifícios verticais.

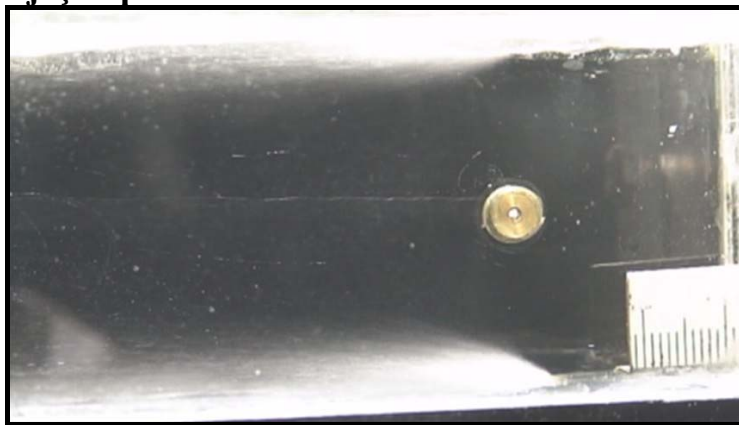


Figura F13-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,3$ l/min



Figura F14-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

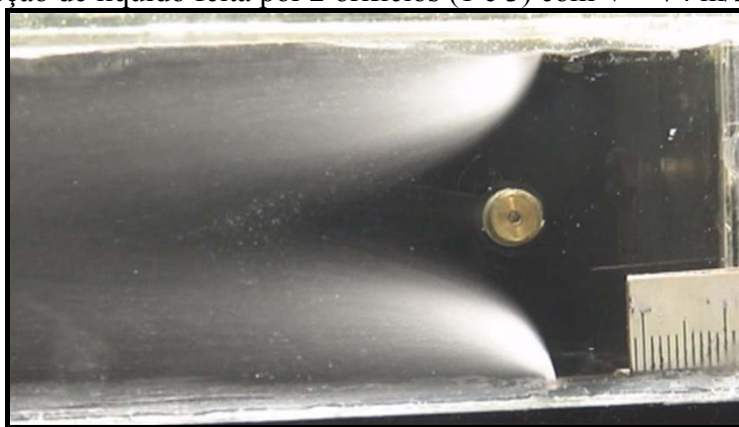


Figura F15-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 0,9$ l/min

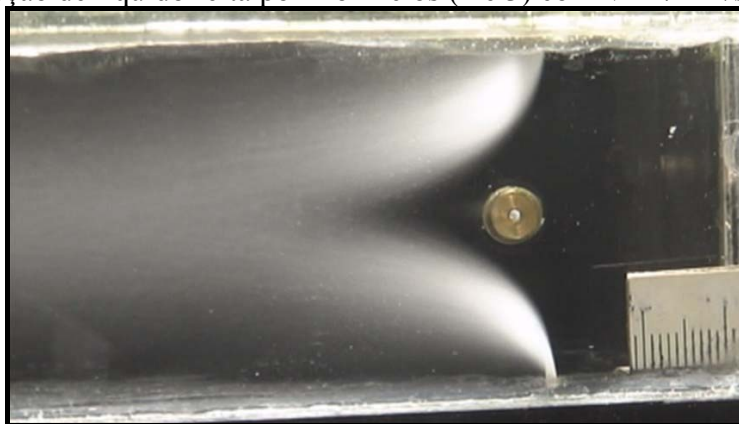


Figura F16-Injeção de líquido feita por 2 orifícios (1 e 3) com $V = 74$ m/s e $Q = 1,2$ l/min

• $V = 59$ m/s e injeção por 3 orifícios.

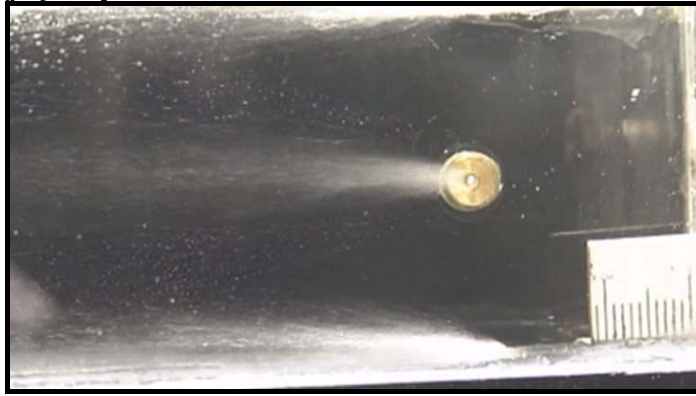


Figura F17-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,3$ l/min

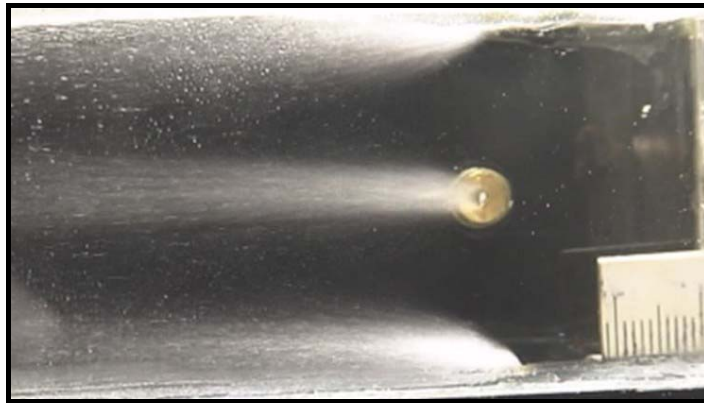


Figura F18-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

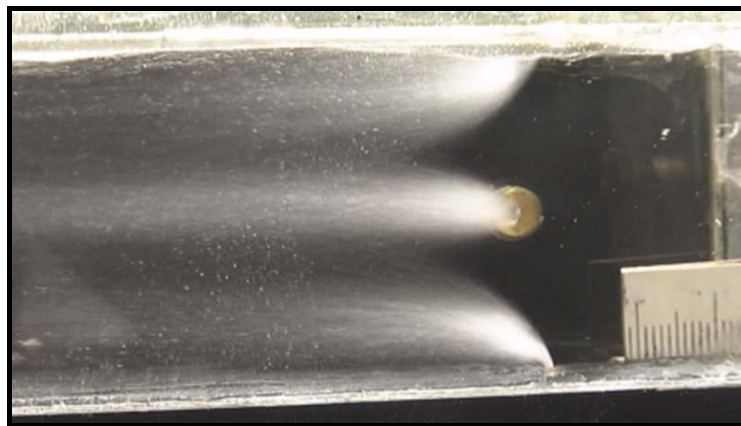


Figura F19-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 0,9$ l/min

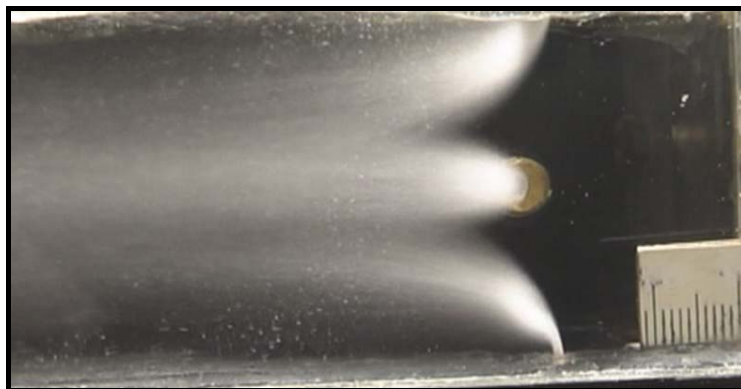


Figura F20-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 59$ m/s e $Q = 1,2$ l/min

• $V = 74$ m/s e injeção por 3 orifícios.

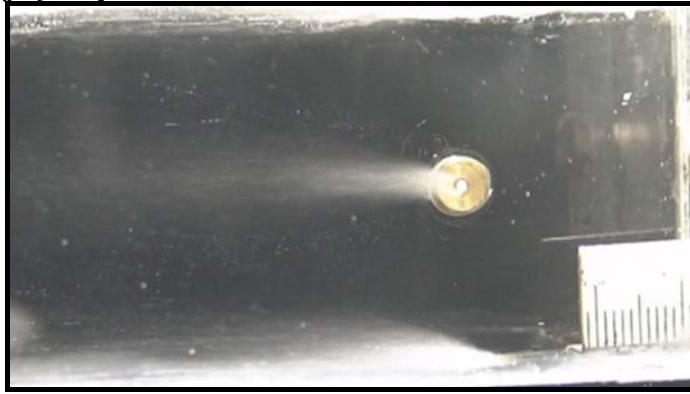


Figura F21-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,3$ l/min

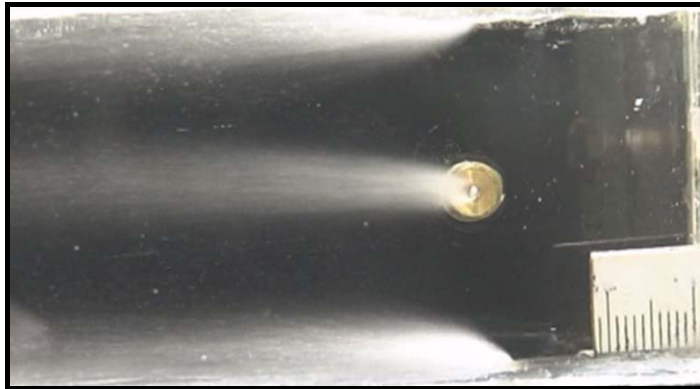


Figura F22-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,6$ l/min

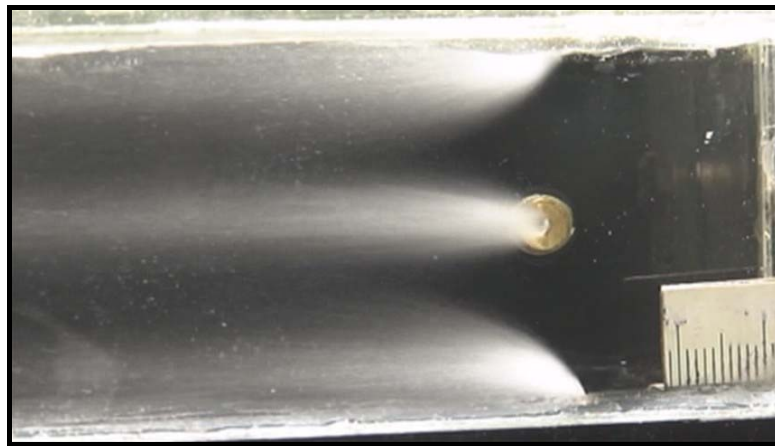


Figura F23-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 0,9$ l/min

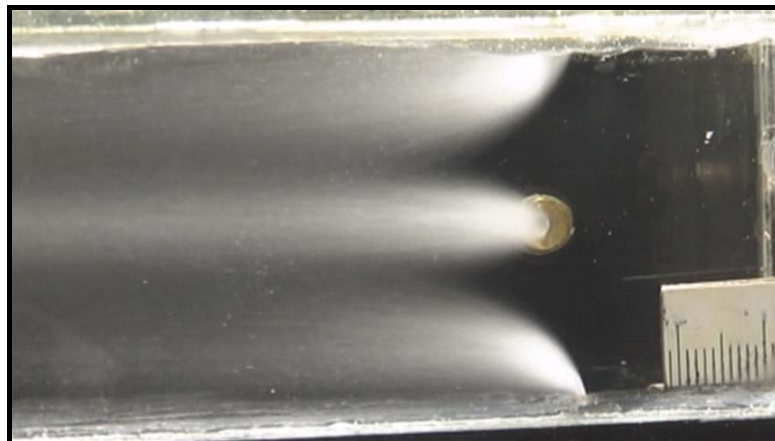


Figura F24-Injeção de líquido feita por 3 orifícios com $V = 74$ m/s e $Q = 1,2$ l/min