

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO
COMPORTAMENTO DE FRATURAS EM TUBOS
DE PVC SUBMETIDOS À VARIAÇÕES DE
PRESSÃO**

Nubia A Vale Nolli

Belo Horizonte

2015

Nubia A Vale Nolli

**INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO
DE FRATURAS EM TUBOS DE PVC SUBMETIDOS À
VARIAÇÕES DE PRESSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Modelagem Física e Matemática em Hidráulica

Orientador: Prof. Carlos Barreira Martinez

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

N796i

Nolli, Nubia Aparecida Vale.
Investigação experimental do comportamento de fraturas em tubos de PVC submetidos à variações de pressão [manuscrito] / Nubia Aparecida Vale Nolli.– 2015.
155 f.: il.

Orientador: Carlos Barreira Martinez.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 98-155.

Bibliografia: f. 96-97.

1. Engenharia sanitária- Teses. 2. Saneamento - Teses. 3. Meio ambiente - Teses. 4. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 5. Água - Tubulação - Teses. I. Martinez, Carlos Barreira. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE FRATURAS EM TUBOS DE PVC SUBMETIDOS À VARIAÇÕES DE PRESSÃO

NÚBIA APARECIDA VALE NOLLI

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. CARLOS BARREIRA MARTINEZ - Orientador

Prof. JORGE LUIS ZEGARRA TARQUI

Prof. EDER DANIEL TEIXEIRA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador

Prof. Carlos Barreira Martinez
Orientador

Belo Horizonte, 18 de agosto de 2015.

Dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta jornada influenciando minha formação por meio de exemplos, incentivos, paciência, compreensão e generosidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e à espiritualidade, luz inspiradora que me guia sempre além das possibilidades.

Aos meus pais: Geraldo e Rosa, pelos exemplos e incentivo.

Aos colegas da COPASA, Saulo Ribeiro pelo apoio e Vanêssa Trigueiro pela paciência. Ao Senhor Délio Fonseca, minha eterna gratidão pela oportunidade e pelo voto de confiança.

Ao meu orientador Professor Dr Carlos Barreira Martinez por acreditar no meu potencial e pelos comentários que foram fundamentais para conclusão desta pesquisa.

Ao colega de laboratório Fabrício Borghi pelo apoio nos momentos mais difíceis.

À Diva pelas trocas fundamentais ao clareamento das ideias.

Em especial, ao meu esposo Paulo Nolli Filho pelas trocas de experiência, pelas correções dos meus textos e pelo amor que me incentiva a seguir em frente.

“Destitutus ventis, remos adhibe.”
(Provérbio Latino)

RESUMO

As perdas de água são problemas conhecidos do setor de saneamento. Entretanto, a identificação e correção das perdas físicas não é tarefa trivial, principalmente onde não há gerenciamento efetivo da malha de adutoras e das pressões disponíveis no sistema de abastecimento. Os fatores envolvidos no processo de fratura e rompimento das tubulações ainda não foram suficientemente estudados. A influência das pressões na fratura e da forma da fratura são fatores importantes para melhor compreender as perdas físicas.

Assim, esta pesquisa apresenta uma investigação do comportamento de fraturas artificialmente inseridas em tubulações de PVC, comumente utilizadas em sistemas de distribuição de água, expostas a grandes variações de pressão. Foram analisadas nesta pesquisa três tipos de aberturas: aberturas circulares, fissuras longitudinais e fissuras circunferenciais.

Para uma melhor compreensão do comportamento dessas aberturas de vazamento foram analisados aspectos como a variação da área da abertura de vazamento em função da variação da pressão, a influência do tamanho e do tipo de abertura na vazão de vazamento, variações nos valores do expoente de descarga e do coeficiente de descarga.

Para isso, nesta pesquisa foram realizados 71 testes de laboratório em uma bancada de teste que simulava a exposição de tubos fraturados a variações de pressão de 10 a 70 mca.

Após a realização dos testes verificou-se que em todos os tubos testados e para todas as aberturas analisadas a vazão de vazamento aumentou com o aumento do tamanho da fratura e com o aumento da pressão.

Na investigação da variação dos valores do expoente de descarga N_1 verificou-se que para as fissuras o valor de N_1 difere do coeficiente teórico de 0,5 para orifícios. Desta forma, as fissuras têm maior tendência à deformação do que as aberturas circulares.

Na investigação da variação dos valores do coeficiente de descarga verificou-se que para as fissuras longitudinais e circunferenciais incrementos no número de Reynolds geram decrementos no valor de C_d e sendo assim, este tipo de vazamento não poderia ser modelado com um coeficiente de descarga fixo.

ABSTRACT

Water losses are known problems in the sanitation sector. However, the identification and correction of physical losses is not trivial task, especially where there is no effective management of mesh pipelines and pressures available in the supply system. The factors involved in the fracture process and broken pipes have not been sufficiently studied. The influence of pressure in the chink, flow leak and shape of the fracture are important factors to understand the physical losses.

Thus, this study describes a study of the behavior of fractures artificially inserted in PVC pipes, commonly used in water distribution systems, exposed to large pressure variations. Were analyzed in this study three types of openings: circular openings, longitudinal cracks, and circumferential cracks.

For a better understanding of the behavior of leakage openings were analyzed aspects such as the variation of the pouring aperture area as a function of the pressure variation, the influence of the size and type of opening in the flow of leakage, variations in the values of the discharge exponent and the discharge coefficient.

To this end, this search were performed 71 laboratory tests in a test bench simulating the exposure of the fractured pipe pressure variation 10 to 70 mWs.

After the tests it was found that in all test tubes and analyzed for all the flow openings leakage increased with increasing size of the fracture and the pressure increase.

In the investigation of the variation of the values of N_1 discharge exponent it was found that the cracks to the value of N_1 differs from the theoretical coefficient of 0.5 for holes. In this way, the cracks has more tendency to deformation than the circular fractures.

In the investigation of the variation of values of discharge coefficient was found that for the longitudinal and circumferential cracks increases in Reynolds number generating decrements the value of C_d and thus, such a leak might not be modeled with a fixed discharge coefficient.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
LISTA DE SIMBOLOS.....	xv
1 Introdução e justificativa	16
2 Objetivos	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 Revisão de Literatura	18
3.1 Sistemas de Abastecimento de Água.....	18
3.2 Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água	19
3.2.1 Materiais das Tubulações	22
3.3 Parâmetros Hidráulicos para o Controle de Perdas.....	25
3.4 Quantificação das Perdas.....	26
3.5 Relação entre Pressão e Perdas de Água	27
3.5.1 Relação entre Pressão e Vazão de Vazamentos Existentes	28
3.5.1.1 Expoente de descarga (N1)	29
3.5.1.2 Coeficiente de descarga (Cd)	32
3.5.1.3 Coeficiente global de descarga (Kf)	34
3.5.2 Influências da Forma da Fissura e do Material da Tubulação	35
4 Materiais e métodos	43
4.1 Projeto e Construção da Bancada de Testes.....	43
4.2 Preparação dos Tubos a Serem Ensaçados	48
4.3 Realização dos Testes, Coleta e Processamento dos Dados	52
5 Resultados	56
5.1 Fraturas Circulares (AbC)	56
5.2 Fissuras Longitudinais (FL)	67
5.3 Fissuras Circunferenciais (FC).....	73
6 Discussão	81
6.1. Expoentes de Descarga (N1)	83
6.2. Coeficiente de Descarga (Cd).....	85
6.3 Coeficiente de Descarga Global (Kf).....	90
7 Conclusões	91
8 Recomendações.....	95
9 Referências bibliográficas.....	96
Apêndice A	98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 01 – PONTOS DE VAZAMENTO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: A PERDAS FÍSICAS (ADAPTADO)	20
FIGURA 02 – PONTOS DE VAZAMENTO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO E AÇÕES PARA COMBATE A PERDAS FÍSICAS (ADAPTADO)	21
FIGURA 03 – AÇÕES EFETIVAS PARA O COMBATE A PERDAS REAIS (ADAPTADO).....	22
FIGURA 04: PERDAS NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	27
FIGURA 05: FLUXO DE ÁGUA ATRAVÉS DO ORIFÍCIO	29
FIGURA 06 – EFEITO DO EXPOENTE DE DESCARGA NA TAXA DE VAZAMENTO (ADAPTADO)	31
FIGURA 07 – CONTRAÇÃO DO JATO (ADAPTADO)	33
FIGURA 08 – COEFICIENTE DE DESCARGA EM UM ORIFÍCIO DE 1MM DE DIÂMETRO VS. NÚMERO DE REYNOLDS (ADAPTADO)	34
FIGURA 09 – MÁXIMA VAZÃO DE DESCARGA DOS ESCOAMENTOS LAMINAR E TRANSICIONAL PARA DIFERENTES TIPOS DE FRATURA DE VAZAMENTO (ADAPTADO)	36
FIGURA 10 – VARIAÇÕES DO COEFICIENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTES FRATURAS EM TUBOS DE UPVC. (ADAPTADO)	37
FIGURA 11 – VARIAÇÕES DO EXPOENTE DE DESCARGA PARA DIFERENTES FRATURAS EM TUBOS DE UPVC. (ADAPTADO).....	37
FIGURA 12 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE N1 PARA FRATURAS CIRCULARES (ADAPTADO)	39
FIGURA 13 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE N1 PARA FISSURAS CIRCUNFERENCIAIS (ADAPTADO).....	40
FIGURA 14 – TENSÕES CIRCUNFERENCIAL E LONGITUDINAL	40
FIGURA 15 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DE N1 PARA FISSURAS LONGITUDINAIS (ADAPTADO)	41
FIGURA 16 – RESUMO DOS VALORES DE N1 PARA OS TRÊS TIPOS DE FRATURA (ADAPTADO)	42
FIGURA 17 – ESQUEMA DA BANCADA DE TESTE.....	44
FIGURA 18 – BANCADA DE TESTE	44
FIGURA 19 – QUADRO DE COMANDO DO CONJUNTO MOTO BOMBA	45
FIGURA 20 – PROTEÇÃO DA SEÇÃO DE TESTE.....	46
FIGURA 21 – MEDIDOR DE VAZÃO.....	47
FIGURA 22 – MEDIÇÕES DE BAIXAS VAZÕES	47
FIGURA 23 – MEDIÇÕES DE PRESSÃO	48
FIGURA 24 – TIPOS DE ABERTURAS ENSAIADAS	49
FIGURA 25 – FRATURAS CIRCULARES – BROCAS	51
FIGURA 26 – FISSURA LONGITUDINAL – DETALHE DA MINI RETÍFICA.....	51
FIGURA 27 – EXEMPLO DE OBTENÇÃO DO EXPOENTE DE DESCARGA	53
FIGURA 28 – EXEMPLO DE OBTENÇÃO FATOR DE CORREÇÃO DO CD	54
FIGURA 29 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 1MM.....	56
FIGURA 30 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 1MM	57
FIGURA 31 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 2MM	58
FIGURA 32 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 2MM.....	59
FIGURA 33 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 3MM	59
FIGURA 34 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 3MM.....	60

FIGURA 35 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 4MM.....	61
FIGURA 36 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 4MM.....	62
FIGURA 37 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 5MM.....	62
FIGURA 38 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 5MM.....	63
FIGURA 39 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 6MM.....	64
FIGURA 40 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 6MM.....	65
FIGURA 41 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA ABC 8MM.....	65
FIGURA 42 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA ABC 8MM.....	66
FIGURA 43 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FL 1/2".....	67
FIGURA 44 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FL 1/2".....	68
FIGURA 45 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FL 1.....	68
FIGURA 46 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FL 1".....	69
FIGURA 47 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FL 2".....	70
FIGURA 48 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FL 2".....	71
FIGURA 49 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FL 3".....	71
FIGURA 50 –RELAÇÃO AREA X PRESSÃO PARA FL 3".....	72
FIGURA 51 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FC 1/8".....	73
FIGURA 52 –RELAÇÃO AREA X PRESSÃO PARA FC 1/8".....	74
FIGURA 53 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FC 1/4".....	74
FIGURA 54 –RELAÇÃO AREA X PRESSÃO PARA FC 1/4".....	75
FIGURA 55 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FC 1/2".....	76
FIGURA 56 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FC 1/2".....	77
FIGURA 57 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FC 1".....	77
FIGURA 58 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FC 1".....	78
FIGURA 59 – RELAÇÃO PRESSÃO X VAZÃO PARA FC 2".....	79
FIGURA 60 –RELAÇÃO ÁREA X PRESSÃO PARA FC 2".....	80
FIGURA 61 –COMPARAÇÃO DAS ABERTURAS CIRCULARES PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	82
FIGURA 62 –COMPARAÇÃO DAS FISSURAS LONGITUDINAIS PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	82
FIGURA 63 –COMPARAÇÃO DAS FISSURAS CIRCUNFERENCIAIS PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	82
FIGURA 64 –N1 DAS ABERTURAS CIRCULARES PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	84
FIGURA 65 –N1 DAS FISSURAS LONGITUDINAIS PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	84
FIGURA 66 –N1 DAS FISSURAS CIRCUNFERENCIAIS PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	84
FIGURA 67 – ABC - COMPARAÇÃO COM O REFERENCIAL TEÓRICO.....	85
FIGURA 68 –CD DAS ABERTURA CIRCULARES PARA TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	87
FIGURA 70 –CD DAS FISSURAS CIRCUNFERENCIAIS TODOS OS DIÂMETROS DE TUBOS TESTADOS.....	87
FIGURA 71 –FRATURA CIRCULARES – VARIAÇÃO DO CD X RE.....	89
FIGURA 72 – FISSURAS LONGITUDINAIS – VARIAÇÃO DO CD X RE.....	89
FIGURA 73 – FISSURAS CIRCUNFERENCIAIS – VARIAÇÃO DO CD X RE.....	89
FIGURA 74 – COEFICIENTE DE DESCARGA GLOBAL PARA TODAS AS ABERTURAS DE VAZAMENTO.....	90
FIGURA 75 – RESUMO N1 MÉDIO PARA AS ABERTURAS TESTADAS.....	92

FIGURA 76 – RESUMO CD MÉDIO PARA AS ABERTURAS TESTADAS	93
FIGURA 77 – RESUMO N1 MÉDIO PARA AS ABERTURAS TESTADAS – VARIAÇÃO DO N1 X RH.....	94
FIGURA 78 – RESUMO N1 MÉDIO PARA AS ABERTURAS TESTADAS – VARIAÇÃO DO N1 X RH.....	94

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 01 – VALORES DE N1 (ADAPTADO)	32
TABELA 02 – VALORES DE N1 (ADAPTADO)	38
TABELA 03 – CARACTERÍSTICAS DOS TUBOS TESTADOS.....	49
TABELA 04 – CARACTERÍSTICAS DAS ABERTURAS.....	50
TABELA 05 – EXEMPLO DE PROCESSAMENTO DOS DADOS	53
TABELA 06 – ABC 1MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	57
TABELA 07 – ABC 2MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	58
TABELA 08 – ABC 3MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	60
TABELA 09 – ABC 4MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	61
TABELA 10 – ABC 5MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	63
TABELA 11 – ABC 6MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	64
TABELA 12 – ABC 8MM - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	66
TABELA 13 – FL 1/2" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	67
TABELA 14 – FL 1" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	69
TABELA 15 – FL 2" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	70
TABELA 16 – FL 3" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS	72
TABELA 17 – FC 1/8" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS.....	73
TABELA 18 – FC 1/4" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS.....	75
TABELA 19 – FC 1/2" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS.....	76
TABELA 20 – FC 1" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS.....	78
TABELA 21 – FC 2" - RESULTADOS POR DIÂMETRO DOS TUBOS.....	79
TABELA 22 – ABC – EVOLUÇÃO N1 MÉDIO.....	84
TABELA 23 – FL – EVOLUÇÃO N1 MÉDIO	84
TABELA 24 – FC – EVOLUÇÃO N1 MÉDIO.....	84
TABELA 25 – ABC – EVOLUÇÃO CD MÉDIO.....	87
TABELA 26 – FL – EVOLUÇÃO CD MÉDIO	87
TABELA 27 – FC – EVOLUÇÃO CD MÉDIO	87

LISTA DE ABREVIATURAS

PEAD = Polietileno de Alta Densidade

PVC = Policloreto de Vinila

uPVC = Policloreto de Vinila não Plastificado

NBR = Norma Brasileira

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

FAVAD = Fixed and Variable Areas

LISTA DE SIMBOLOS

Q = Vazão (m^3/s ou l/s)

H = Pressão (mca ou kPa)

$N1$ = Expoente de Descarga

Cd = Coeficiente de Descarga

Cc = Coeficiente de Contração

Cv = Coeficiente de Redução da Velocidade

Kf = Coeficiente Global de Descarga

mca = Metros de Coluna de água

kPa = Kilo Pascal

m = Metro

s = Segundo

l = Litro

mm = Milímetro

kgf/cm² = Kilograma Força por Centímetro quadrado

g = Força da Gravidade (m/s^2)

A = Área (m^2)

D = Diâmetro (m)

A_m = Área Molhada

P_m = Perímetro Molhado

R_h = Raio Hidráulico

V = Velocidade (m/s)

Re = Número de Reynolds

ν = Viscosidade Cinemática (m^2/s)

σ_{circ} = Tensão Circunferencial

σ_{long} = Tensão Longitudinal

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O uso racional da água tem se tornado tema de grande discussão no mundo devido à iminente possibilidade de racionamento de água.

Segundo HELLER (2006), no balanço entre a oferta e a demanda de água, tem se verificado um crescente aumento em direção à demanda, o que faz com que haja uma maior exigência dos sistemas de produção e distribuição de água.

Para HUBNER (2011), o consumo de água aumenta numa proporção maior que duas vezes o crescimento da população, em função disto, as ações voltadas para a preservação da água serão cada vez mais necessárias.

Assim, a crescente redução da oferta de água, o aumento populacional, poluição dos recursos hídricos, a busca da sustentabilidade e da eficiência econômica tornaram o problema das perdas de água em sistemas de abastecimento de grande interesse, não só das empresas do setor de saneamento, como também da sociedade em geral.

Atualmente as empresas de saneamento têm sido exigidas a fornecer água de qualidade com regularidade, continuidade, segurança e modicidade das tarifas. Tudo isso colaborando para que um maior enfoque seja dado à busca da redução das perdas de água.

As perdas, em sistemas de abastecimento, são consideradas correspondentes aos volumes não contabilizados. Sendo estes, tanto as perdas físicas, que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas, que correspondem à água consumida e não faturada.

A redução das perdas físicas permite a redução de custos, mediante redução dos insumos de produção de água e do adiamento da necessidade de ampliação dos sistemas produtores. A redução das perdas não físicas permite aumentar o desempenho financeiro do prestador de serviços e contribui indiretamente para a ampliação da oferta, uma vez que induz à redução de desperdícios.

Apesar das perdas de água serem problemas conhecidos é muito difícil identificar onde estas ocorrem, principalmente onde não há monitoramento da rede, uma vez que as perdas são subterrâneas e geralmente estão localizadas sob as vias urbanas. Somados a esses efeitos tem-se as constantes alterações e adaptações inseridas na malha de abastecimento, a ausência de um

cadastro consistente da malha de adutoras e a existência de setores com pressões muito elevadas que resultam em rompimentos e vazamentos que contribuem de forma negativa para a eficiência do sistema de abastecimento. Outro ponto importante refere-se às perdas físicas de água no sistema de distribuição. Com o envelhecimento das tubulações estas ficam mais susceptíveis à ocorrência de microfissuras e conseqüentemente de vazamentos. Assim, é comum que as companhias de abastecimento de águas realizem campanhas de campo destinadas a identificar os pontos críticos do sistema ou então, simplesmente, agem reativamente.

Os fatores envolvidos no processo de fratura e rompimento das tubulações ainda não foram suficientemente estudados. Durante muito tempo convencionou-se adotar o comportamento das fraturas como sendo semelhante aos orifícios para cálculo da vazão de vazamento em tubulações fraturadas.

Neste contexto, a investigação do comportamento de fraturas em tubulações de sistemas de distribuição, expostas a grandes variações de pressão, colabora para a compreensão dos mecanismos de ocorrência dos vazamentos. A melhor compreensão dos fatores intervenientes nos vazamentos pode possibilitar a gestão adequada do parque de tubulações que compõe o sistema de distribuição e das pressões às quais este sistema é exposto visando à redução das perdas de água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- ✓ Investigar o comportamento de diferentes fraturas em tubos de PVC quando submetidas a variações de pressão.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Verificar os valores do expoente de descarga, da equação do FAVAD, para tubos de PVC com fraturas de vazamento circulares, fissuras longitudinais e circunferenciais;
- ✓ Verificar a variação da área da fratura em função da variação da pressão;
- ✓ Verificar a variação do coeficiente de descarga das fraturas em função do número de Reynolds;
- ✓ Verificar a influência do tamanho e tipo da fratura na vazão de vazamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas de Abastecimento de Água

O abastecimento de água adequado sempre esteve relacionado à qualidade ambiental e à garantia de saúde da população. Segundo TISUTYA (2004), os primeiros sistemas de abastecimento datam de 400 A.C quando a água era utilizada para consumo humano e para agricultura. Em 1237 foi implantado o primeiro sistema de água encanada em Londres. No Brasil o primeiro sistema de abastecimento de água foi implantado na cidade do Rio de Janeiro em 1523 com a escavação do primeiro poço, e em 1723 foi construído o primeiro aqueduto. Em Belo Horizonte o primeiro sistema de abastecimento de água foi entregue 1897 junto com a inauguração da cidade.

Os sistemas de abastecimento de água são geralmente compostos por:

- Manancial;
- Captação;
- Estações elevatórias;
- Estação de tratamento de água;

- Adução;
- Reservatórios;
- Redes de distribuição;
- Pontos de controle de vazão/ volume e de pressão.

Dentre os componentes do sistema de abastecimento de água destaca-se o sistema de distribuição, que é uma unidade composta por tubulações e órgãos acessórios, que tem por finalidade fornecer água potável ao consumidor final. Segundo HELLER (2006), a denominação de sistema de distribuição está relacionada a forma como as tubulações são instaladas, formando uma malha de tubulações interligadas entre si e que possibilitam diversas derivações para a distribuição de água potável aos imóveis a serem abastecidos. O sistema de distribuição é composto principalmente por:

- Condutos tronco ou principais, tubulações de maior diâmetro que abastecem as canalizações secundárias.
- Condutos secundários, tubulações de menor diâmetro que abastecem diretamente aos consumidores.

Acessórios dos sistemas de distribuição:

- Medidores de vazão, tem a finalidade de medir a vazão fornecida e a consumida pelos clientes;
- Descargas, tem a finalidade de permitir o esvaziamento das tubulações e também a limpeza;
- Ventosas, permitem a expulsão ou admissão de ar nas tubulações garantindo a integridade destas;
- Registros, permitem manobras capazes de isolar um setor de abastecimento e ou redirecionar o fluxo de água para o local pretendido.

3.2 Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água

As perdas nos sistemas de abastecimento de água são o principal obstáculo ao uso eficiente da água. Em todo o processo de produção, transporte e distribuição de água uma parcela de toda água potável produzida é perdida, sendo que a maior parcela destas perdas se encontra no sistema de distribuição.

Segundo SNIS (2011) *apud* HUBNER (2011), 60% das perdas reais e aparentes podem ser recuperadas. Entretanto, o gerenciamento das perdas de água envolve diversos fatores e adotar uma solução para o combate às perdas pode se tornar uma tarefa bastante complexa.

As perdas são geralmente classificadas em dois tipos: perdas físicas ou reais (não consumidas) e as perdas não físicas ou aparentes (consumidas e não faturadas).

As perdas físicas ou reais são aquelas onde toda água subtraída do sistema de abastecimento não chega a ser consumida pelo cliente final, conforme ilustra a Figura 1. As perdas físicas são, em sua maioria, as de maior relevância, sendo as de mais difícil identificação e solução.

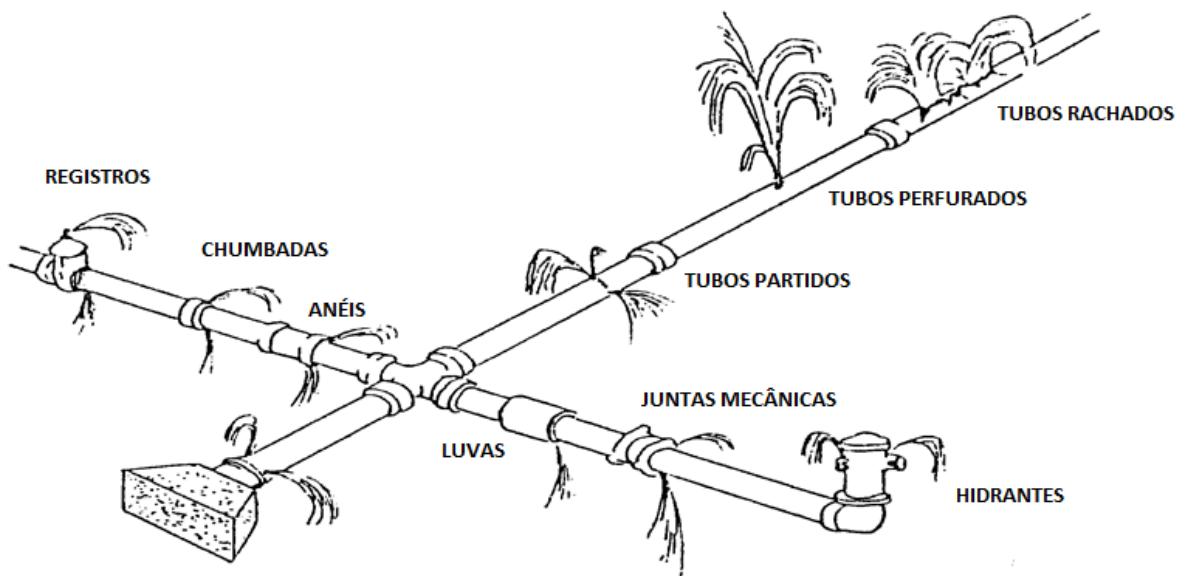


Figura 01 – Pontos de vazamento em redes de distribuição: a perdas físicas (adaptado)

Fonte: <http://slideplayer.com.br>

As perdas físicas podem ainda ser subdivididas em visíveis e não visíveis. As perdas físicas visíveis são aquelas que podem ser identificadas visualmente pois há o afloramento de água na superfície das redondezas do local de ocorrência do vazamento. Esse tipo de perda é facilmente identificado quando ocorre em áreas de grande circulação de pessoas devido ao maior volume de água desperdiçado. Estes vazamentos podem ainda ocorrer dentro das caixas de manobra de registros, nesses casos a água perdida pode transbordar a caixa ou infiltrar no terreno dificultando a identificação da perda.

As perdas físicas não visíveis são de difícil identificação, na maioria dos casos é necessário o uso de equipamentos específicos para a pesquisa de campo como os geofones mecânicos e eletrônicos, as hastes de escuta ou os identificadores de ruídos.

A ocorrência de vazamentos em áreas isoladas, com pouca circulação de pessoas e, devido à baixa vazão do vazamento, não chegam a alterar significativamente a pressão da rede. Nesses casos, a constatação do vazamento pode demorar e, conseqüentemente, o volume de perda de água pode torna-se mais significativo.

Em função do tipo de perda, visível ou não visível, será determinada qual a metodologia de combate e redução das perdas, conforme mostrado na Figura 2.

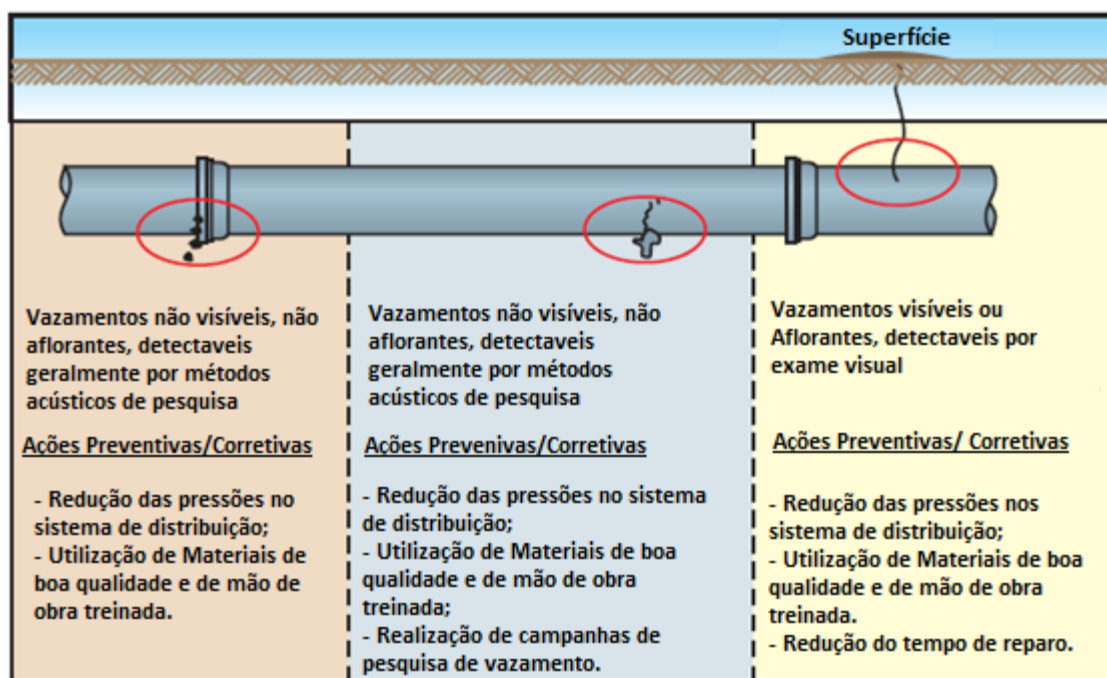


Figura 02 – Pontos de vazamento em redes de distribuição e ações para combate a perdas físicas (adaptado)

Fonte: GOMES *apud* HUBNER (2011)

Em geral, o controle de perdas físicas é feito por meio das seguintes ações complementares:

- Gerenciamento de pressão;
- Combate a vazamentos;
- Manutenções rápidas e de qualidade;
- Gestão efetiva da infraestrutura de tubulações.

Segundo THORNTON (2008), a decisão sobre quais os métodos de combate a perdas reais são apropriados para uma dada situação dependerá de diversos fatores, sendo que em qualquer situação o fator custo benefício de cada método de intervenção será fator determinante.

No universo das perdas reais uma grande parcela pode ser recuperada antes de se atingir no balanço custo benefício o ponto onde o custo desta ação supera o custo da própria perda.

Diante disso, na busca pelas perdas recuperáveis, Figura 3, podem ser adotadas cada uma das quatro ações de combate isoladamente ou dependendo da situação local e da disponibilidade de recurso financeiro a combinação de todas as ações de intervenção, que servirão para trazer as perdas reais até o ponto ótimo econômico.

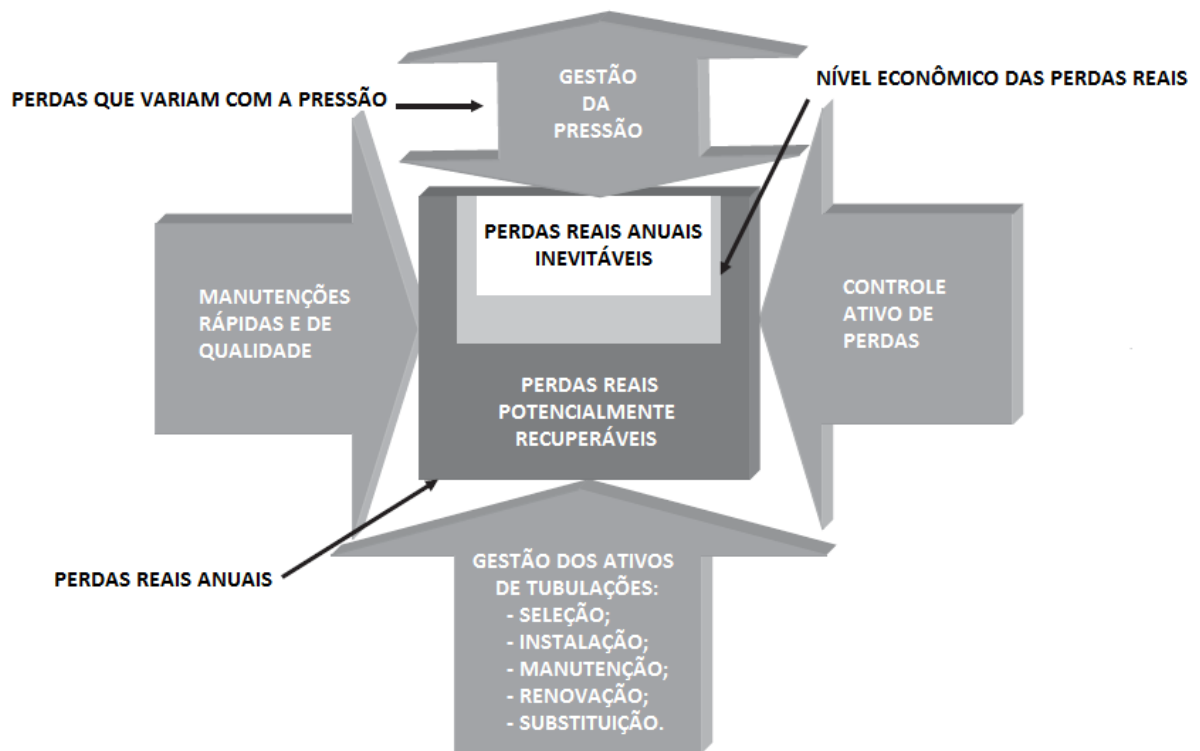


Figura 03 –Ações efetivas para o combate a perdas reais (adaptado)

Fonte: THORNTON (2008)

3.2.1 Materiais das Tubulações

Os materiais empregados na fabricação de tubulações que transportam água potável devem, principalmente, não afetar a qualidade da água, não sofrer modificação significativa em suas características físicas e químicas comprometendo o abastecimento.

Os principais materiais empregados em tubulações de sistemas de distribuição de água são:

- Metálicos:
 - Ferro fundido dúctil.
- Plásticos:
 - PEAD (polietileno de alta densidade);
 - PVC (policloreto de vinila).

Os tubos em ferro fundido dúctil são resistentes à tração e à ação química da água devido à uma camada de proteção interna de cimento aluminoso. Externamente são quimicamente resistentes devido à uma camada de revestimento de zinco metálico. Resistem a pequenos recalques de terreno devido à possibilidade de suas junções em junta elástica permitirem pequenas deflexões em função do diâmetro do tubo. Os tubos em ferro fundido são geralmente utilizados para as adutoras de maior diâmetro devido a seu alto custo quando comparado aos materiais plásticos. Tubulações neste material tendem a apresentar problemas de vazamentos quando:

- Por problemas de instalação;
- Os tubos perderam parte do revestimento externo antes ou durante a instalação;
- Ocorrência de transientes hidráulicos.

As principais causas de vazamento em tubos de ferro fundido:

- Desembolsamento;
- Rompimento por excesso de pressão, por excesso de carga rodante ou por recalque do solo;
- Fratura por corrosão;
- Fratura por choque durante escavações.

Os tubos em PEAD são altamente resistentes a impactos e à ação química da água devido à passividade intrínseca do material. Os tubos em PEAD são geralmente utilizados em adutoras quando as peculiaridades do terreno ou do tipo de método construtivo exijam sua utilização. Esses tubos permitem que maiores extensões de adutora sejam executadas por dia e com menor número de juntas. As juntas são executadas por um processo de termo fusão exigindo maior qualificação da mão de obra empregada. Tubulações neste material tendem a apresentar problemas de vazamentos quando:

- Por problemas de instalação;
- Ocorrência de transientes hidráulicos.

As principais causas de vazamento em tubos de PEAD:

- Vazamento na junta;
- Fratura por choque durante escavações.

Os tubos em PEAD são ainda pouco aplicados, quando comparados ao PVC, geralmente por falta de familiaridade dos técnicos de projeto ou devido às especificidades da montagem dos tubos em campo.

Os tubos em PVC são resistentes a pequenas deformações e à ação química da água por ser um material inerte. Tubulações neste material tendem a apresentar problemas de vazamentos quando:

- Por problemas de instalação;
- Por mal armazenamento, transporte ou manuseio;
- Ocorrência de transientes hidráulicos.

As principais causas de vazamento em tubos de PVC:

- Problemas nas junções;
- Rompimento por excesso de pressão, por excesso de carga rodante, por recalque do solo ou ação de raízes de plantas;
- Microfissuras preexistentes;
- Fratura por choque durante escavações.

Segundo TISUTYA (2004), no Brasil nos últimos vinte anos praticamente todas as redes de distribuição com diâmetro inferior a 150 mm são de PVC. A alta aplicabilidade do PVC se deveu principalmente pelo seu baixo custo, facilidade de manuseio devido a seu baixo peso e a imunidade a corrosão interna e externa.

3.3 Parâmetros Hidráulicos para o Controle de Perdas

Vários fatores interferem na ocorrência ou não de perdas no sistema de abastecimento. A correta execução das estruturas que compõe os sistemas de abastecimento e a adequação dos parâmetros hidráulicos de projeto são pontos determinantes.

Dentre os principais parâmetros que devem ser observados para o controle de perdas temos a pressão e a velocidade nas tubulações.

A pressão hidráulica em uma rede de distribuição de água é um fator determinante para sua eficiência, além de repercutir no custo de implantação e operação do sistema. É importante gerenciar e controlar as pressões nas redes de forma a atender às pressões mínimas exigidas e limitar as pressões máximas.

Atualmente as empresas de saneamento são orientadas a manter as pressões nos pontos de distribuição variando entre o mínimo de 100 kPa (10 mca) e o máximo de 500 kPa (50 mca) conforme preconiza a NBR 12218 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público (ABNT, 1994).

É importante destacar que pressões muito elevadas no sistema de distribuição devem ser evitadas, considerando-se que estas podem:

- Estar diretamente ligadas ao uso desnecessário de energia, aumentando os custos com energia para bombeamento.
- Tornar necessária a adoção de tubulações com capacidade de suportar pressões nominais maiores, aumentando o custo com materiais.
- Aumentar as possibilidades de ruptura das tubulações pelo aumento das pressões dinâmicas e estáticas na rede.
- Aumentar o volume das perdas, pois a vazão nos pontos de vazamento aumenta com o acréscimo de pressão.

A velocidade nas tubulações geralmente é estabelecida em projeto visando evitar deposições de material sólido nas tubulações e a ocorrência de velocidade excessiva que poderia comprometer o revestimento interno das tubulações.

Usualmente a velocidade mínima de projeto é fixada entre 0,25 e 0,40 m/s, em função da qualidade da água. A NBR 12218 estabelece que a velocidade mínima a ser admitida é 0,60m/s e a máxima de 3,5 m/s.

A ocorrência de altas velocidades da água nas tubulações acarreta problemas como perda de carga elevada, transientes hidráulicos e conseqüentemente um maior risco para as tubulações e acessórios instalados no sistema.

3.4 Quantificação das Perdas

A quantificação das perdas reais e aparentes pode ser determinada a partir da utilização de métodos auxiliares às investigações de campo. Para quantificação das perdas geralmente é necessário a estipulação do setor a ser estudado, que pode ser uma cidade, um bairro ou uma zona de abastecimento. Imprescindível é que a unidade escolhida apresente medições da vazão consumida no local, das vazões de entrada e de saída do setor e que este seja estanque.

A partir disso, procede-se a utilização de uma das metodologias a seguir.

O Método do Balanço Hídrico possibilita a identificação da parcela de água perdida, Figura 04, pela diferença entre o volume disponibilizado (macromedido) e o volume efetivamente faturado (micromedido). Neste processo são computadas tanto as perdas reais quanto as aparentes. Se houver uma estimativa das vazões por perda aparente esta pode ser retirada do montante de perdas para se obter apenas as perdas reais. O balanço hídrico é importante ferramenta para se ter uma ordem de grandeza das perdas existentes no sistema de abastecimento.

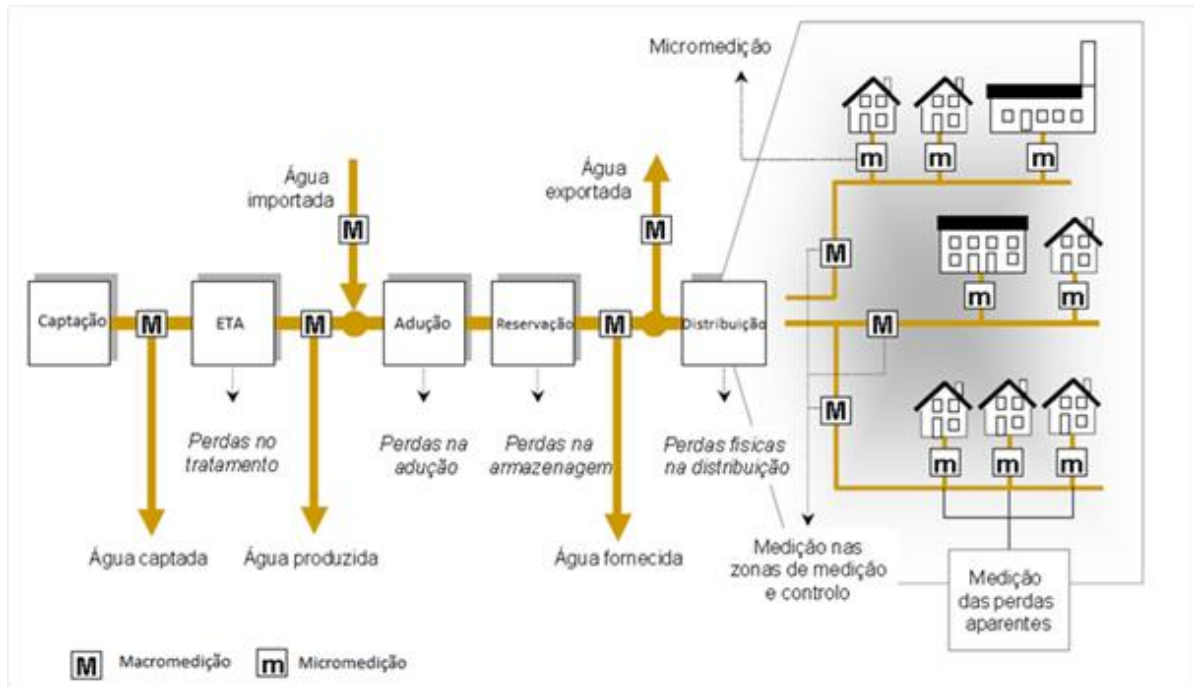


Figura 04: Perdas no sistema de abastecimento

Fonte: (COELHO, 2006) Adaptado

O Método das Vazões Mínimas Noturnas é baseado na análise da variação do consumo de água e conseqüentemente da vazão na rede de adutoras. Segundo TISUTYA (2004), o pico de consumo de água ocorre geralmente entre 11 e 14 horas e a baixa de consumo ocorre entre 3 e 4 horas da madrugada. A vazão correspondente às horas de consumo mínimo é denominada de vazão mínima noturna.

Neste método a quantificação do volume de vazamentos se dá pela determinação da vazão mínima noturna sendo a partir dela retiradas as vazões estimadas de consumos residenciais noturnos e os volumes medidos dos grandes consumidores (comercio e indústria). A vazão de vazamentos encontrada é a vazão máxima diária de vazamento, tendo em vista, que a vazão do vazamento é altamente influenciada pela pressão, que no período noturno é mais elevada em função da baixa do consumo.

3.5 Relação entre Pressão e Perdas de Água

As faixas de pressões a que o sistema de distribuição de água está submetido é um importante fator relacionado à vazão dos vazamentos e ao aumento da ocorrência de rupturas nessas tubulações.

Segundo LAMBERT (2001a), há quarenta anos atrás o Japão e o Reino Unido já haviam identificado que reduções no excesso de pressão em sistemas de abastecimento de água promoviam uma redução significativa da vazão dos vazamentos existentes e na geração de novos vazamentos. Estes países haviam identificado que a gestão das pressões é importante fator preventivo de gastos com manutenção da infraestrutura de distribuição.

Entretanto, em países em desenvolvimento, a gestão de pressões em sistemas de distribuição nem sempre é aplicado devido aos investimentos inicial e com manutenção que esta ação demanda.

3.5.1 Relação entre Pressão e Vazão de Vazamentos Existentes

Em sistemas de distribuição a água está sob a influência da pressão dominante no sistema (carga piezométrica dinâmica máxima e dinâmica mínima) e ainda no período noturno, as pressões chegam a valores elevados (estática máxima) devido ao baixo consumo neste período. É comum em setores de abastecimento que ainda não possuem o controle efetivo destas faixas de pressões as variações cheguem a 40 ou até mesmo 60 mca. Estes incrementos de pressão levam vazamentos ainda não detectados a aumentarem a vazão de vazamento em função do aumento da pressão.

Para o cálculo de vazões de vazamentos, é frequente verificarmos a utilização da equação de orifícios (01), derivada do Teorema de Torricelli. Esta equação determina a vazão, no escoamento turbulento, através de um orifício de área fixa e sobre uma carga de pressão estática, Figura 05, estabelecendo uma relação quadrática do binômio vazão pressão. Assim, esta equação descreve a conversão da energia potencial, peso do líquido, em energia cinética.

$$Q = C_d \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (01)$$

Sendo:

Q= vazão de descarga (m³/s);

A= área da seção transversal do orifício (m²);

g= aceleração da gravidade g = 9,81 m/s²;

h= altura da água sobre a geratriz superior da galeria ou da tubulação (m);

Cd= coeficiente de descarga do orifício (adimensional).

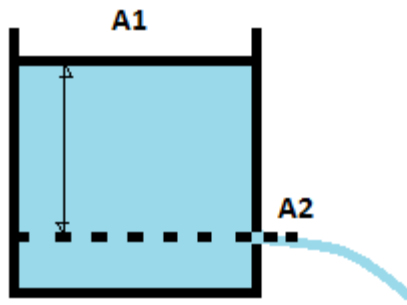


Figura 05: Fluxo de água através do orifício

3.5.1.1 Expoente de descarga (N1)

A equação da descarga no orifício foi desenvolvida aplicando-se o Teorema de Bernoulli às seções do recipiente e do orifício, Figura 05, considerando que ambos estão expostos à pressão atmosférica, e que a área do orifício e o coeficiente de descarga não variam com a pressão.

Entretanto, estudos recentes julgam incorreto supor que a vazão de vazamento em sistemas de distribuição varia de acordo com a raiz quadrada da pressão e que, portanto, esta vazão é insensível a alterações na pressão. Assim, a equação 01 pode ser mais adequadamente descrita, para que a influência da pressão seja considerada, da seguinte forma:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot P^{N1} \quad (02)$$

Sendo:

Q= vazão de descarga (m³/s);

A= área da seção transversal do orifício (m²);

g= aceleração da gravidade g = 9,81 m/s²;

P= pressão (mca);

Cd= coeficiente de descarga do orifício (adimensional);

N1 = expoente de descarga (adimensional).

Segundo THORNTON (2008), as alterações na vazão concomitante às alterações de pressão ocorrem devido às variações na área do orifício. LAMBERT (2001b) recomenda a utilização do conceito FAVAD (*Fixed and Variable Areas*) desenvolvido e utilizado no Japão desde 1979. O conceito do FAVAD permite através da aplicação da equação 03 a análise e a previsão de alterações na vazão de vazamento (de Q₀ para Q₁) em função das variações de pressão (de P₀ para P₁). Assim a equação relaciona os parâmetros descritos da seguinte maneira:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \quad (03)$$

Onde:

Q_0 = Vazão antes da alteração da pressão;

Q_1 = Vazão após a alteração da pressão;

P_0 = Pressão antes da implementação da gestão de pressão;

P_1 = Pressão após a implementação da gestão da pressão;

$N1$ = Expoente de descarga (adimensional).

Segundo MAY(1994) *apud* THORNTON (2008), a área da fratura de vazamento varia com a pressão e a velocidade do escoamento varia com a raiz quadrada da pressão. A partir deste conceito – FAVAD - pode-se inferir que diferentes tipos de vazamentos podem ter diferentes relações de pressão, uma vez que vazão é a produto entre velocidade e área.

OGURA (1979) *apud* LAMBERT (2001b) preconizam que a vazão dos vazamentos no sistema de distribuição oscila com a pressão elevada a um expoente $N1$ que por sua vez varia em função da área do vazamento. Este expoente possui valor médio de 1.15, variando de 0,5 (orifício de área fixa) até mais de 2.0 para áreas variáveis.

Assim, reduções significativas na pressão representam reduções igualmente significativas na vazão de vazamento em função do expoente de descarga que representa a seção de vazamento. A Figura abaixo, adaptada de GREYVENSTEIN (2007a), demonstra a ordem de grandeza da redução na vazão de vazamento para diferentes patamares do expoente de descarga.

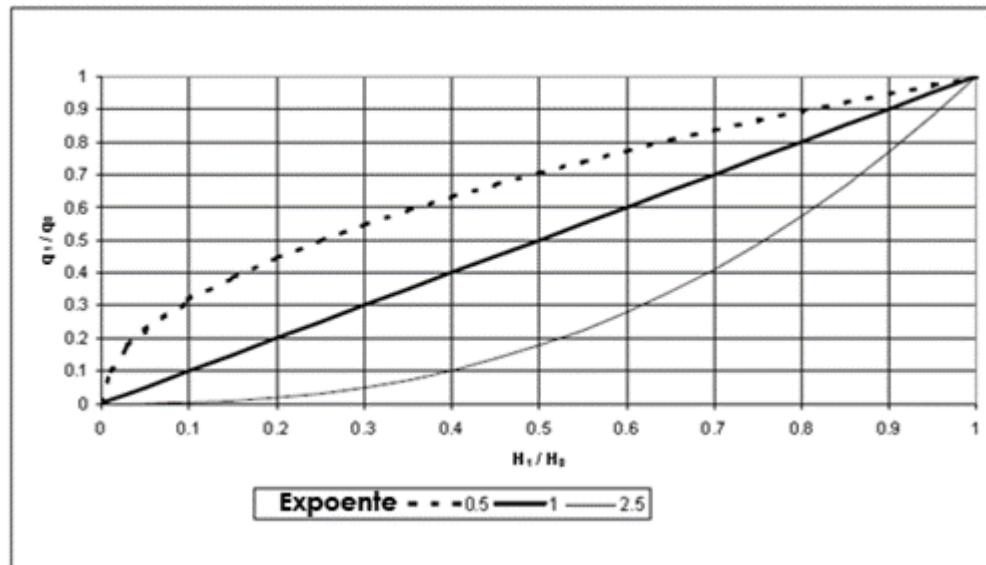


Figura 06 – Efeito do expoente de descarga na taxa de vazamento (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007a)

LAMBERT (2001) *apud* THORNTON (2008), relata que após mais de 150 testes em zonas de distribuição de água de diversos países, o expoente N_1 geralmente encontra-se situado entre os valores de 0,5 e 1,5 e ocasionalmente tem valores superiores a 2,5, conforme Tabela 01. Para valores do expoente de descarga variando entre 0,5, 1,0, 1,5 e 2,5 obtém-se uma redução de respectivamente 29%, 50%, 65% e 82% da vazão de vazamento para reduções da pressão pela metade do valor inicial.

Tabela 01 – Valores de N1 (adaptado)

Fonte: THORNTON (2008)

País	Número de zonas testadas	Faixa do expoente N1	Média do expoente N1
Reino Unido (1970's)	17	0.70 – 1.68	1.13
Japão (1979)	20	0.63 – 2.12	1.15
Brasil (1998)	13	0.52 – 2.79	1.15
Reino Unido (2003)	75	0.36 – 2.95	1.01
Cyprus (2005)	15	0.64 – 2.83	1.47
Brasil (2006)	17	0.73 – 2.42	1.40
TOTAL	157	0.36 – 2.95	1.14

Os testes nesses países mostraram também que o expoente N1 varia em função da rigidez do material das redes do sistema de distribuição de água, sendo:

- N1 próximo a 1.5 para vazamentos em materiais plásticos em que a área do vazamento aumenta com o acréscimo de pressão;
- N1 próximo a 0.5 para vazamentos provenientes de quebra ou buracos em tubos rígidos;
- N1 próximo a 1.0 para sistemas com grande variedade de materiais.

3.5.1.2 Coeficiente de descarga (Cd)

O coeficiente de descarga é obtido por meio da junção do coeficiente de contração da veia líquida e do coeficiente de redução da velocidade.

O jato através de um orifício (seção contraída) apresenta uma perda de velocidade devido ao atrito do líquido com as paredes da fratura fazendo com que seja necessária a correção do valor desta velocidade por meio do coeficiente redução da velocidade Cv.

Também haverá contração do jato de água que sai pela fratura. A água que sai da fratura converge até uma área A2, o que leva a um jato de água que tem uma área menor do que a área da fratura, A1, Figura 07. A seção A2 é chamada seção contraída (*vena contracta*).

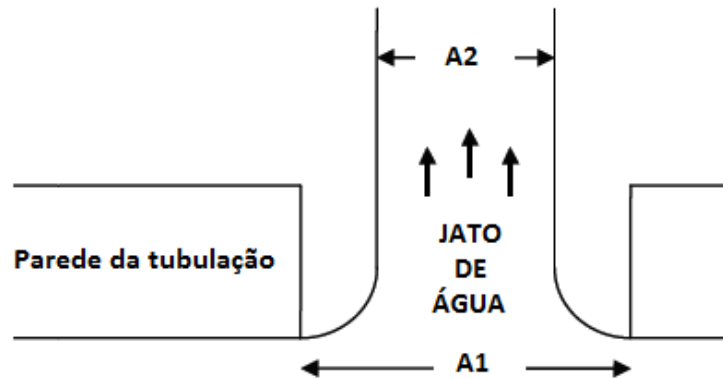


Figura 07 – Contração do jato (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007a)

A contração do jato faz com seja necessária a correção do valor da área por meio do coeficiente de contração da veia C_c . Assim o coeficiente de descarga é obtido por meio do produto entre os coeficientes C_c e C_v .

É comum a adoção de um valor médio de C_d de 0,62. Entretanto, esta medida supõe que o C_d seja constante o que não é necessariamente válido. Para vazamentos individuais, o C_d pode mudar em função do tipo de escoamento: laminar, de transição ou turbulento.

O coeficiente de descarga (C_d), segundo LAMBERT (2001a), varia em função do regime de escoamento, laminar, transitório ou turbulento. Estando diretamente ligado ao número de Reynolds, assim descrito:

$$Re = \frac{4VRh}{\nu} = \frac{4q}{\nu P_m} \quad (04)$$

Onde:

V = Velocidade;

Rh = Raio hidráulico;

ν = Viscosidade cinemática (variável com a temperatura);

P_m = Perímetro molhado;

q = vazão.

A relação entre C_d e o número de Reynolds, Figura 08, para vazamentos em orifícios de 1mm de diâmetro em tubulações de 15 mm de diâmetro, LAMBERT (2001a), estabelecida no escoamento laminar é proporcional, ou seja, incrementos no número de Reynolds geram incrementos no C_d . Isto indica que pequenos vazamentos são sensíveis a variações de pressão devido às alterações causadas no C_d . O que não se observa nos escoamentos de transição e turbulento onde variações de pressão não geram oscilações significativas no C_d . Desta forma, alguns vazamentos poderiam ser modelados com a utilização de um coeficiente de descarga fixo.

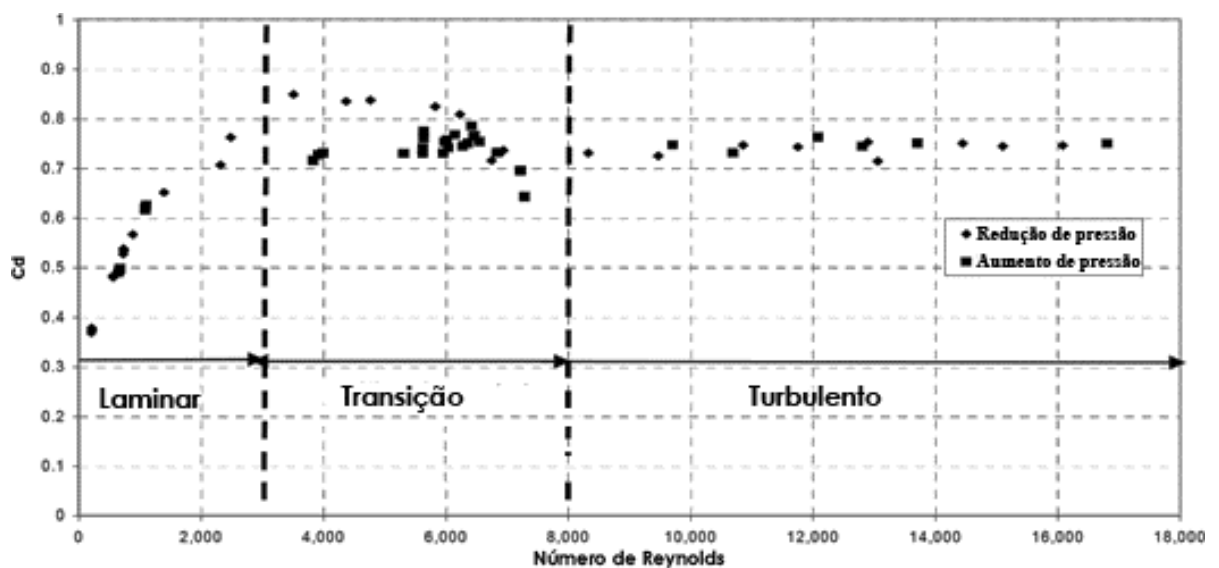


Figura 08 – Coeficiente de descarga em um orifício de 1mm de diâmetro vs. número de Reynolds (adaptado)

Fonte: LAMBERT (2001a)

3.5.1.3 Coeficiente global de descarga (K_f)

A descarga através de uma fratura também pode ser analisada por meio da equação simplificada do orifício:

$$Q = K_f \cdot h^{N1} \quad (05)$$

Onde:

K_f = Coeficiente de descarga do vazamento;

N_1 = expoente de vazamento.

Onde:

$$K_f = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g} \quad (06)$$

O coeficiente de descarga global pode ser utilizado como um indicativo da variação na vazão de descarga em função das variações na área da fratura.

É comum em países em desenvolvimento, a maioria das redes de distribuição ser de material plástico que apresenta menor resistência à ruptura quando comparados ao aço e ao ferro fundido. Os tubos plásticos apresentam menor resistência quando fraturados, ou seja, seus orifícios tendem a aumentar de tamanho quando expostos a altas pressões.

3.5.2 Influências da Forma da Fissura e do Material da Tubulação

Cada tipo de material das tubulações que compõe um sistema de distribuição de água apresenta características intrínsecas que determinam quando e sobre quais condições esta tubulação pode vir a falhar ou fissurar.

Segundo VAN ZYL (2007), tubulações de cimento geralmente desenvolvem fraturas longitudinais, já as tubulações em aço e ferro fundido desenvolvem buracos de corrosão.

As condições as quais as tubulações estão expostas como temperatura e pressão também influenciam na vazão e na área da fratura de vazamento. Pequenas fissuras que não vazam a baixa pressão e temperatura podem vazar a altas pressões. A área de um vazamento existente pode aumentar com o aumento do estresse na parede do tubo aumentando conseqüentemente a vazão de vazamento.

Estudos recentes têm avaliado as condições do escoamento e a influência dos parâmetros hidráulicos na vazão de vazamento e na variação da área da fratura. A forma e as dimensões da fratura também tem sido alvo de análise.

Estudos de LAMBERT (2001a), demonstraram que a maior vazão de vazamento tanto no regime laminar quanto no transitório ocorre para rachaduras no formato retangular, devido ao seu maior perímetro molhado, Figura 09.

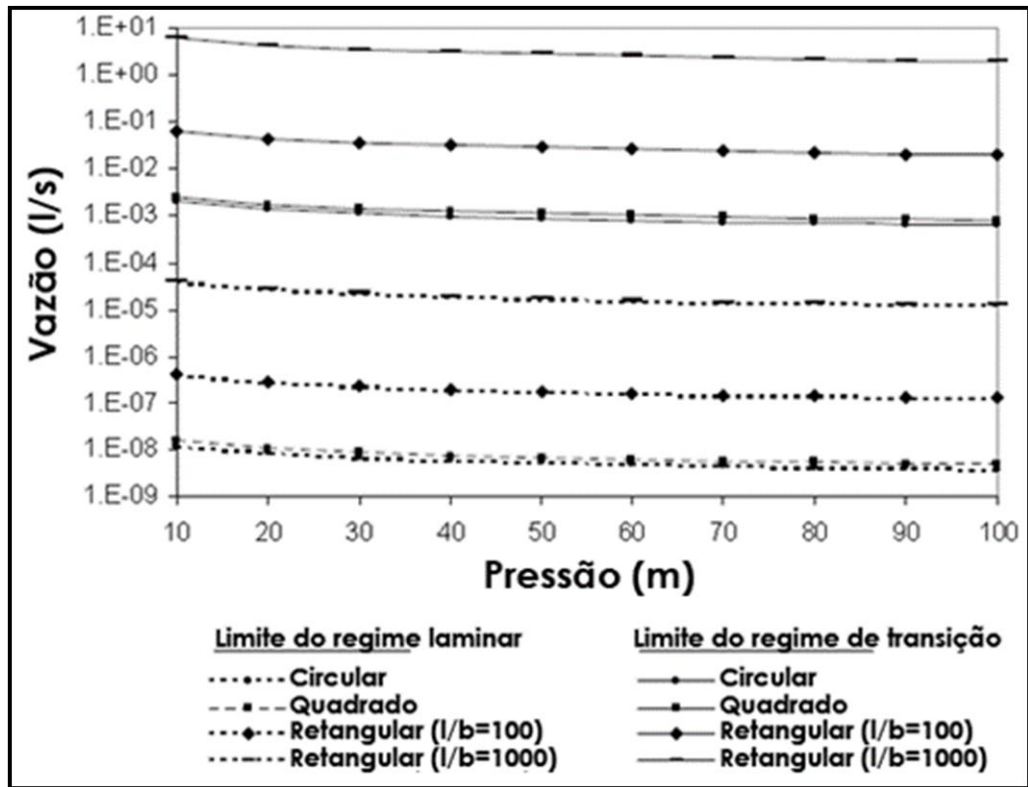


Figura 09 – Máxima vazão de descarga dos escoamentos laminar e transicional para diferentes tipos de fratura de vazamento (adaptado)

Fonte: LAMBERT (2001a)

A investigação da influência da variação da área em cada tipo de fratura e da variação da pressão, Figuras 10 e 11, tem demonstrado que o expoente de descarga (N_1) varia diretamente com incrementos na pressão e o inverso ocorre para o coeficiente de descarga (C_d). A avaliação destes dois parâmetros permitiu a verificação da inadequação da equação 03 para caracterizar a magnitude dos vazamentos. A análise de todos os parâmetros envolvidos traz uma dimensão mais exata dos principais fatores intervenientes na vazão de vazamento, quais sejam, pressão e variação da área da fratura.

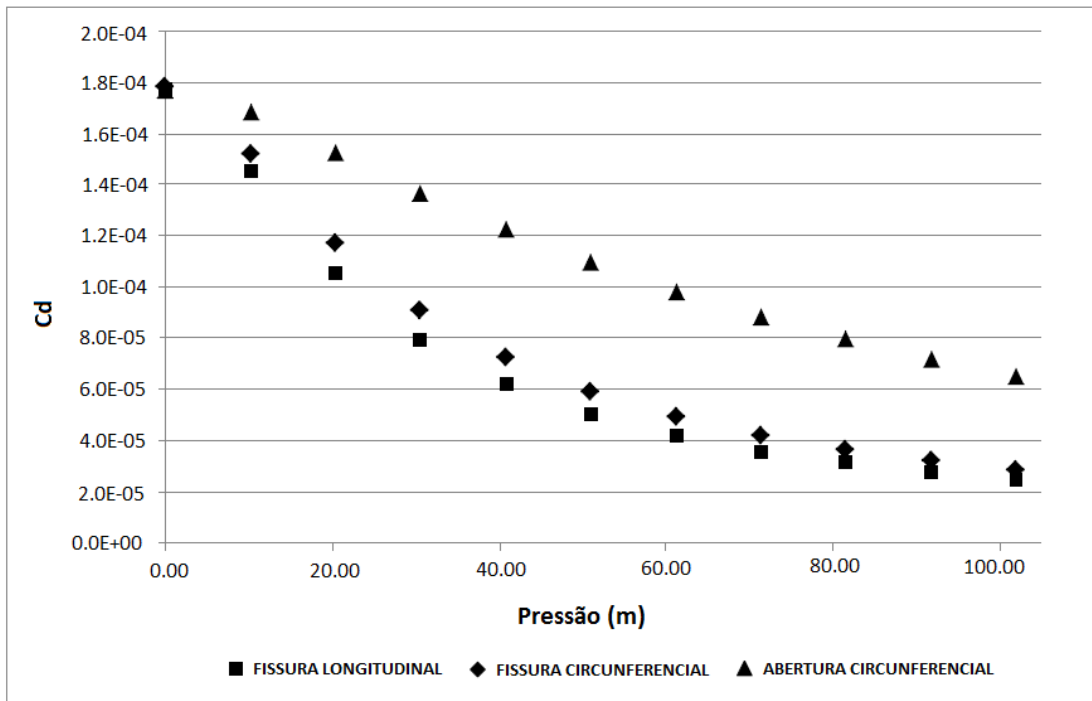


Figura 10 – Variações do coeficiente de descarga para diferentes fraturas em tubos de uPVC. (adaptado)

Fonte: VAN ZYL (2014)

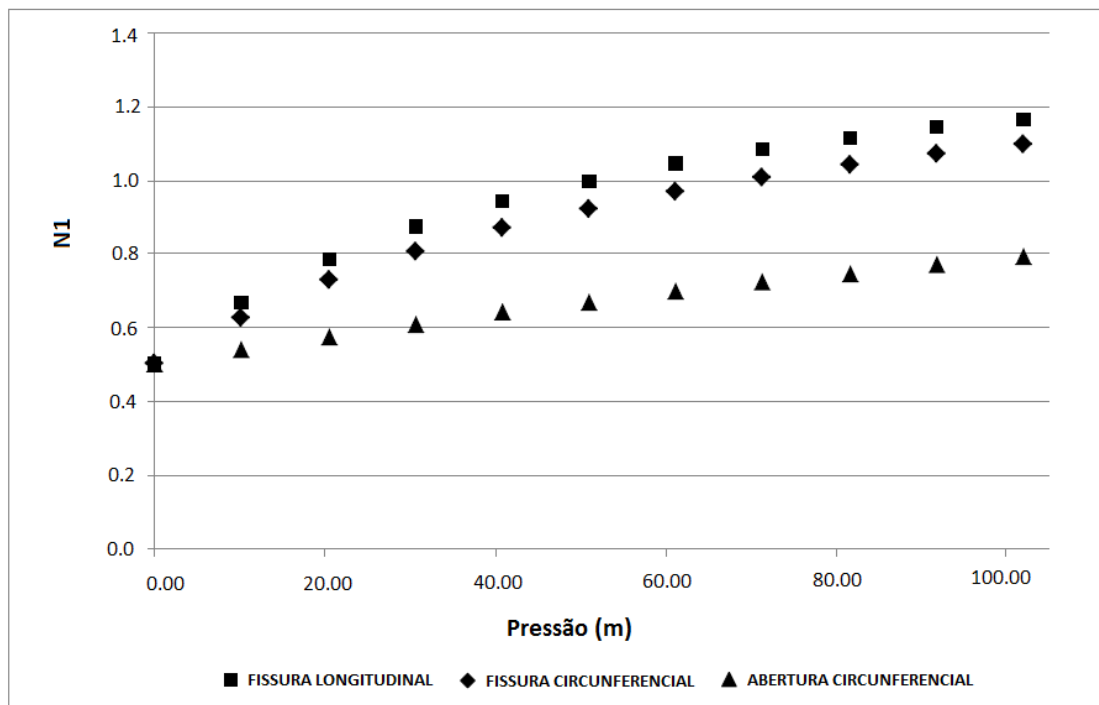


Figura 11 – Variações do expoente de descarga para diferentes fraturas em tubos de uPVC. (adaptado)

Fonte: VAN ZYL (2014)

A influência da pressão na vazão de vazamento pelas alterações causadas no expoente de descarga tem sido amplamente estudada, Tabela 02. Estas investigações permitiram identificar que as variações no expoente de descarga decorrem tanto das variações da pressão quanto em função do tipo de fratura.

Tabela 02 – Valores de N1 (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007)

Pesquisa	Material	Tipo de abertura	Dimensões	Ø Tubo	Espessura da Parede	N1
Greyvenstein, 2004	uPVC	orifício	12 mm	110 mm	3 mm	0.52
	uPVC	Fissura Longitudinal	0.3 x 50 mm	110 mm	3 mm	1.51
			0.3 x 100 mm	110 mm	3 mm	1.48
			0.3 x 150 mm	110 mm	3 mm	1.84
	uPVC	Fissura Circunferencial	1 x 90 mm	110 mm	3 mm	0.41
			1 x 170 mm	110 mm	3 mm	0.50
Cassa, 2006	uPVC	orifício	6 mm	110 mm	3 mm	0.5089
			8 mm	110 mm	3 mm	0.5072
			10 mm	110 mm	3 mm	0.5076
			12 mm	110 mm	3 mm	0.5081
	uPVC	Fissura Longitudinal	2 x 50 mm	110 mm	3 mm	0.7834
	uPVC	Fissura Circunferencial	0.5 x 40 mm	110 mm	3 mm	0.5578
			2 x 150 mm	110 mm	3 mm	11.543
Coetzer, 2007	uPVC	orifício	1 mm	110 mm	3 mm	0.47
			2 mm	110 mm	3 mm	0.48
Buckley, 2006	uPVC	orifício	6 mm	110 mm	3 mm	0.5110
			8 mm	110 mm	3 mm	0.5246
			10 mm	110 mm	3 mm	0.514
			12 mm	110 mm	3 mm	0.5091
	uPVC	Longitudinal	1.2 x 40 mm	110 mm	3 mm	0.8413
			2 x 60 mm	110 mm	3 mm	0.7570
			1.7 x 90 mm	110 mm	3 mm	0.8579

Ampliando a investigação sobre o expoente de descarga e o comportamento das fraturas, GREYVENSTEIN (2007b), a partir de testes em laboratório em tubulações de Aço, ferro fundido e uPVC com fraturas de vazamento circular, fissuras circunferencial e longitudinal sob escoamento turbulento ($Re_y > 10.000$), estabeleceu uma correlação entre a variação do expoente de descarga N1, os diferentes materiais e tipos das rachaduras.

Segundo GREYVENSTEIN (2007b), para as aberturas de vazamento circular, conforme Figura 12, o expoente de descarga mais significativo ocorre para tubos em uPVC devido ao menor módulo de elasticidade e espessura da parede do tubo em relação aos outros materiais

gerando deformação da fratura, ou seja, há uma maior expansão da área da fratura com o aumento da pressão. Em contrapartida, os expoentes para os tubos metálicos apresentam-se próximos ao do expoente teórico de vazamento de 0.5 (para áreas fixas), indicando pequeno aumento da área de vazamento.

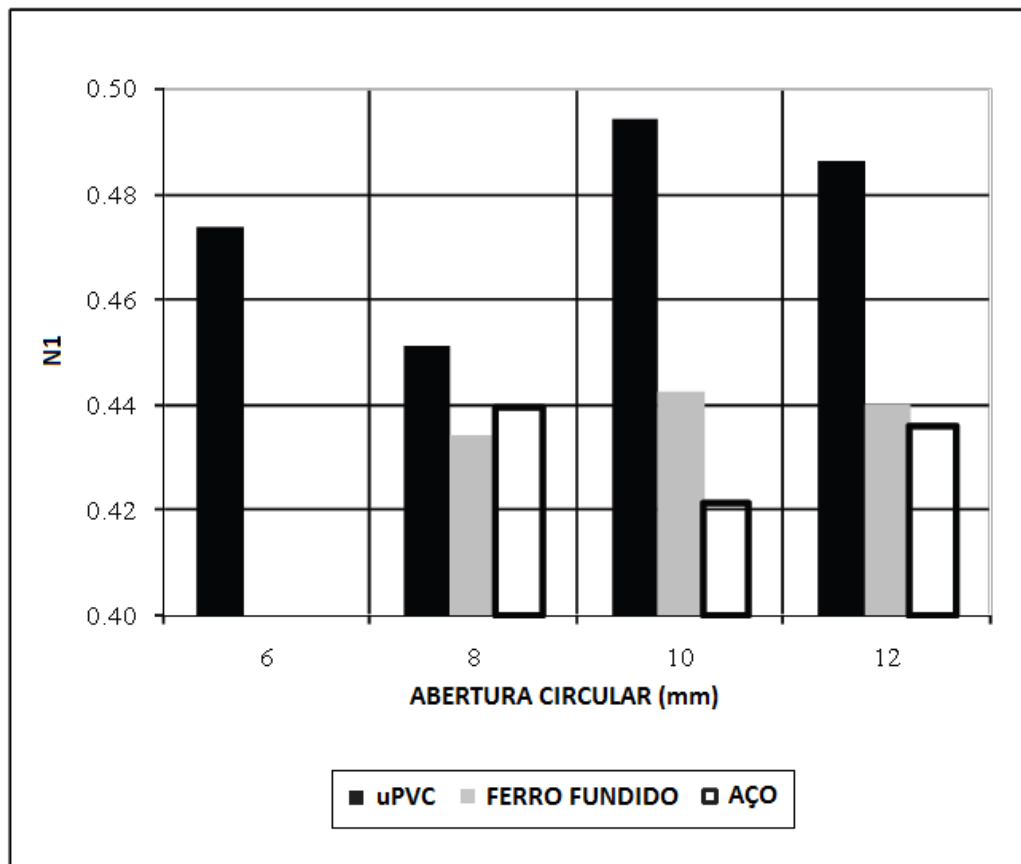


Figura 12 – Comparação dos valores de N1 para fraturas circulares (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007b)

Para as fissuras circunferenciais o expoente de descarga encontrado por GREYVENSTEIN (2007b), não difere significativamente do valor teórico. Entretanto, quanto maiores comprimentos das fissuras analisadas, especialmente para tubos em uPVC, maior foi o valor do expoente de descarga, representando uma maior tendência ao aumento de área dessas fissuras. Já para fissuras pequenas, Figura 13, o autor encontrou um expoente abaixo de 0,5 o que indica que a área do vazamento tende a diminuir com o aumento da pressão. Ocorrência justificada pelo fato da tensão circunferencial aumentar o dobro do que aumenta a tensão longitudinal em relação à pressão, ver equações (07) e (08), fazendo com que as rachaduras sejam alongadas e diminuam de tamanho, Figura 14.

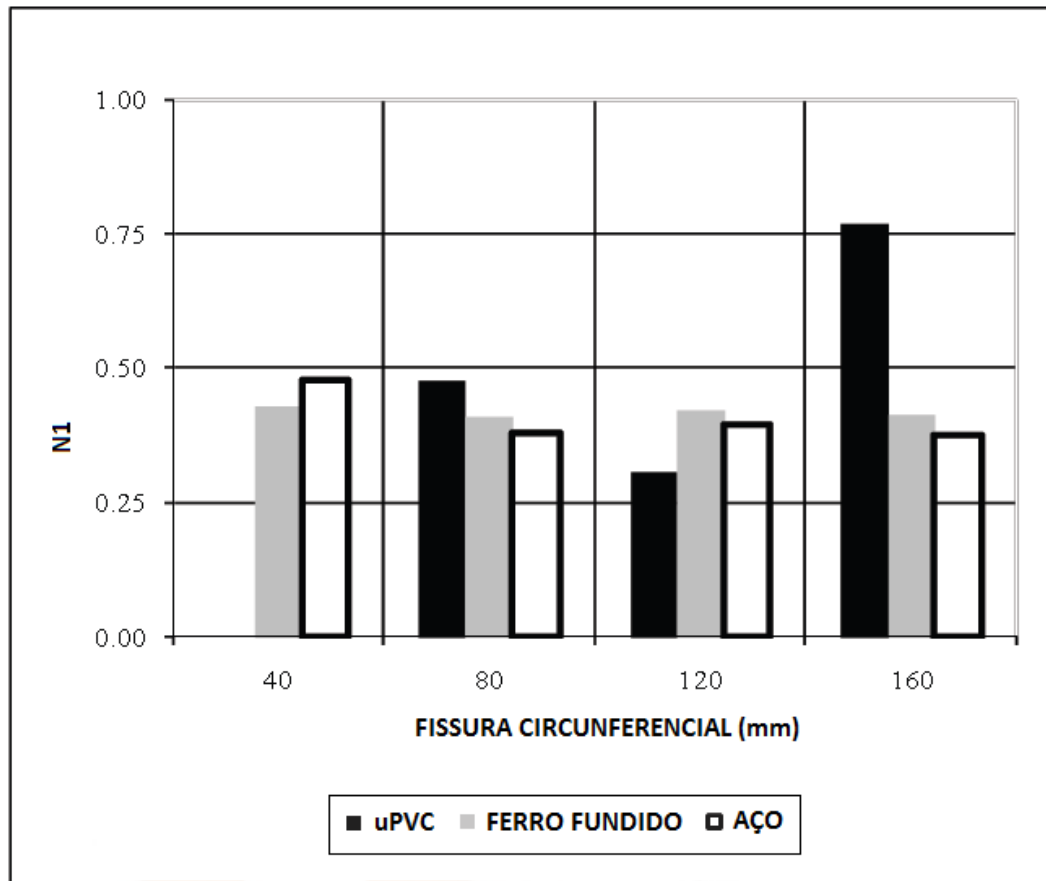


Figura 13 – Comparação dos valores de N1 para fissuras circunferenciais (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007b)



Figura 14 – Tensões circunferencial e longitudinal

Equações de cálculo das tensões nas paredes das tubulações.

Tensão circunferencial:

$$\sigma_{circ} = \frac{pr}{2t} \quad (07)$$

Tensão longitudinal:

$$\sigma_{Long} = \frac{pr}{4t} \quad (08)$$

Onde:

σ = Estresse na parede da tubulação;

p = Pressão;

t = Espessura da parede;

r = raio interno da tubulação.

Para fissuras longitudinais foram encontrados por GREYVENSTEIN (2007b), expoentes de vazamento significativamente superiores ao valor teórico de 0,5. Conforme mostrado na Figura 15, houve uma tendência de aumento do expoente com o aumento do comprimento da fissura. Para as fissuras longitudinais o aumento da pressão provocou o aumento da área das fissuras também justificada pela ação das tensões circunferenciais.

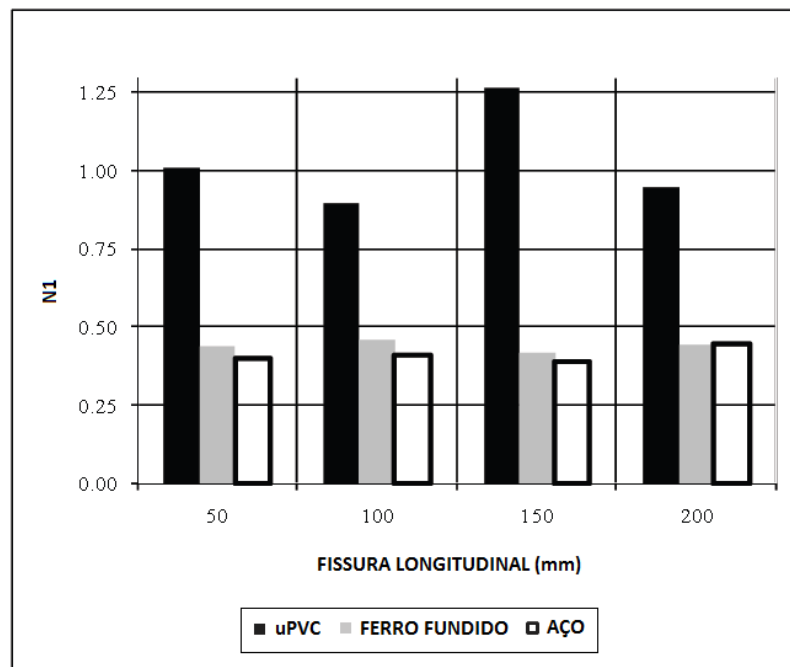


Figura 15 – Comparação dos valores de N1 para fissuras longitudinais (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007b)

Ao final do estudo GREYVENSTEIN(2007b), na comparação entre as três conformações de aberturas de vazamento testadas, apenas as fissuras longitudinais apresentaram expoente de

descarga com valor mais significativamente superior ao teórico, demonstrando a sensibilidade deste tipo de fratura às variações de pressão, Figura 16.

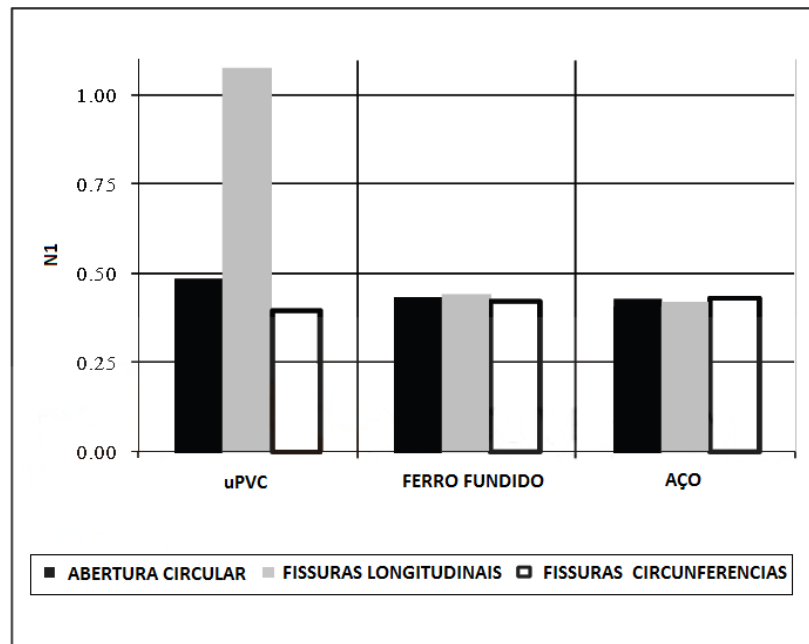


Figura 16 – Resumo dos valores de N1 para os três tipos de fratura (adaptado)

Fonte: GREYVENSTEIN (2007b)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrita a metodologia utilizada para realização dos testes físicos em diversas tubulações fraturadas artificialmente.

A metodologia utilizada nesta pesquisa resume-se em três fases:

- (i) Projeto e construção da bancada de teste.
- (ii) Preparação dos tubos a serem testados.
- (iii) Realização de testes de bancada, coleta e processamento dos dados.

4.1 Projeto e Construção da Bancada de Testes

O objetivo da realização dos testes de laboratório foi a obtenção de pares de valores de pressão e vazão para diversos diâmetros de tubos. Os tubos foram ensaiados a uma variação de pressão de até 70 mca para diferentes fraturas artificialmente inseridas.

Para isso, foi construída uma bancada de teste, conforme apresentado nas Figuras 17 e 18, composta por um reservatório, um conjunto elevatório, uma seção de teste, um medidor vazão e dois medidores de pressão, localizados na entrada e saída do sistema.

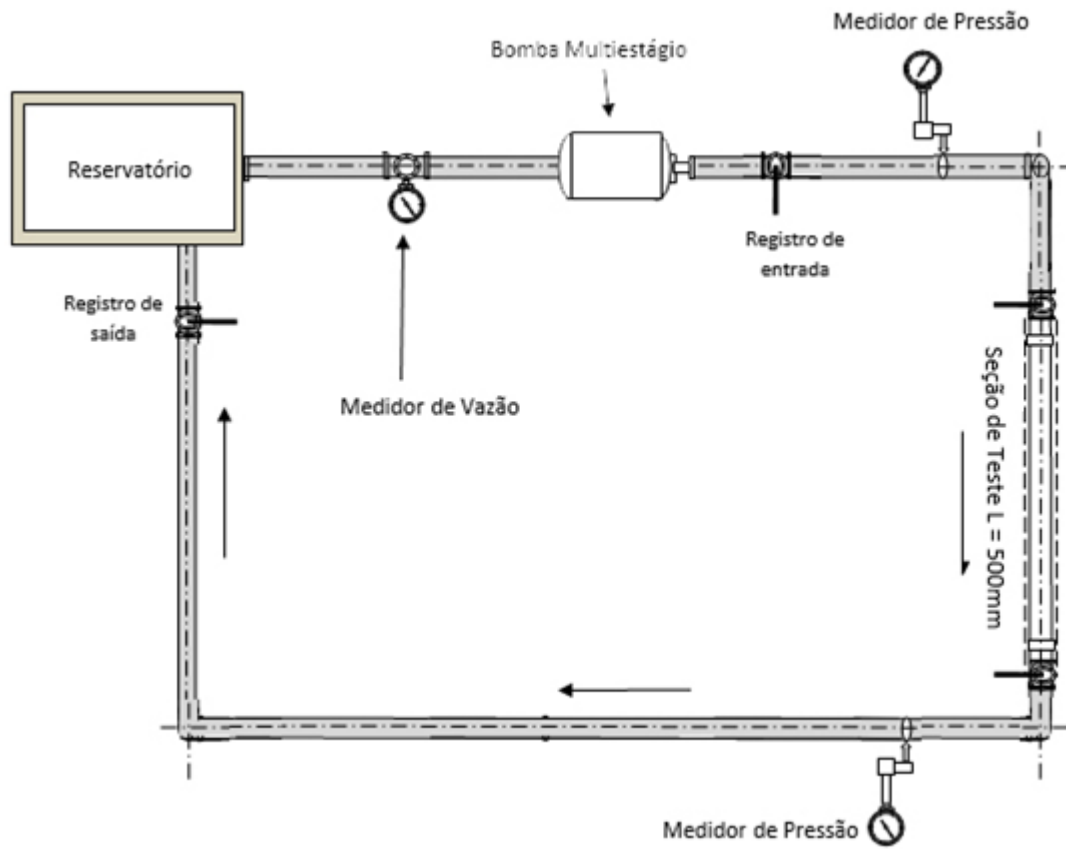


Figura 17 – Esquema da bancada de teste



Figura 18 – Bancada de teste

O fornecimento de água para os testes foi realizado pelo reservatório localizado na entrada do sistema. Antes do início dos testes este reservatório era preenchido com água até quase seu nível de extravasamento.

O conjunto moto bomba e o medidor de vazão foram energizados por meio da conexão das tomadas destes às fontes de energia elétrica.

A variação de pressão e vazão imposta ao sistema era modulada em função da rotação da bomba controlada pelo quadro de comando, conforme Figura 19.



Figura 19 – Quadro de comando do conjunto moto bomba

Na seção de teste, Figura 17, foram inseridos os tubos a serem ensaiados. Em função do diâmetro do tubo a ser testado, peças de conexão eram adicionadas à montagem para permitir o encaixe destes na bancada.

Para a realização dos testes foi adaptada uma proteção contra o jato de água da fratura, que também colaborou para a coleta e medição da vazão de vazamento quando dos testes para

pequenas fraturas a baixas pressões. Esta proteção consistiu em tubo camisa em acrílico de diâmetro 350mm instalado sobre toda a seção de testes, conforme pode ser visto na Figura 20.

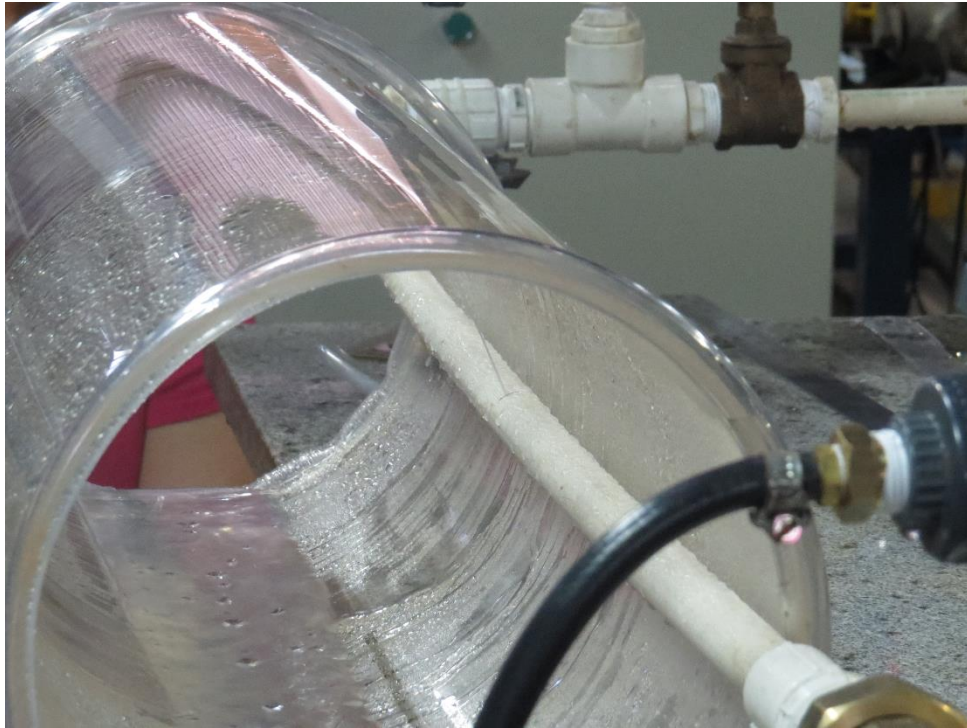


Figura 20 – Proteção da seção de teste

Medição de Vazão

O medidor eletromagnético utilizado nesta pesquisa, conforme Figura 21, era adequado para medição de vazões com velocidades entre 0,1 e 10 m/s, apresentado erro de leitura da ordem de 2% para velocidades entre 0,1 a 0,3 m/s e de 0,5% para velocidades entre 0,3 a 10 m/s e um fundo de escala de 0,25%.

Para obtenção da vazão escoada pela fratura o registro de saída indicado na Figura 17 permaneceu fechado durante a realização de todos os testes. Assim, a vazão fornecida e medida na entrada da bancada pelo medidor eletromagnético de vazão era igual à vazão que escoava pela fratura.

Nos casos onde a baixa vazão do vazamento na fratura impossibilitava a detecção da vazão pelo medidor, esta foi realizada recolhendo-se e medindo-se o volume escoado pela fratura por uma proveta graduada concomitantemente ao registro do tempo de escoamento, conforme Figura 22.



Figura 21 – Medidor de vazão



Figura 22– Medições de baixas vazões

Medição de Pressão

Para a medição de pressão foram instalados dois manômetros, um antes e outro depois da seção de teste, ambos com capacidade para até 14 kgf/cm², Figura 23. A pressão de teste foi controlada a partir do manômetro instalado na entrada da seção de teste.



Figura 23– Medições de pressão

Os aparelhos de medição de pressão e vazão já estavam calibrados anteriormente à montagem.

4.2 Preparação dos Tubos a Serem Ensaçados

Devido à ampla utilização de tubos de PVC nos sistemas de distribuição de água no Brasil esta pesquisa concentrou os testes apenas em tubos constituídos deste material.

Foram ensaiados tubos de PVC utilizados para condução de água potável, todos com 500 mm de comprimento nos diâmetros e espessuras de parede conforme Tabela 03.

Tabela 03 – Características dos tubos testados

Diâmetro Externo Tubo (pol)	Espessura da Parede (mm)
1/2"	3,0
3/4"	3,0
1"	4,0
1 1/2"	4,0
2"	4,5

O acoplamento dos tubos de teste à bancada foi realizado por meio de conexões rosqueadas sendo que todos tubos receberam fita veda rosca antes de serem inseridos na bancada.

Para realização dos testes foram inseridas, artificialmente, três tipos de fraturas nos tubos: aberturas circulares - AbC, fissuras longitudinais - FL - e fissuras circunferenciais - FC, Figura 24. As dimensões das aberturas testadas estão descritas na Tabela 04.

**Figura 24** – Tipos de aberturas ensaiadas

Tabela 04 – Características das aberturas

Fratura	Dimensão
Abertura Circular \varnothing	1mm
	2mm
	3mm
	4mm
	5mm
	6mm
	8mm
	Fissura Longitudinal (comprimento)
1"	
2"	
3"	
Fissura Circunferencial (comprimento)	1/8"
	1/4"
	1/2"
	1"
	2"

A espessura das fissuras longitudinais e circunferenciais era de 1mm. Para as fissuras circunferenciais os comprimentos de 1/8" e 1/4" foram testados apenas para os tubos de diâmetro de 1/2" e 3/4". Já a fissura circunferencial de 2" foi testada apenas para os tubos de 1 1/2" e 2" e o comprimento de fissura de 3" apenas para os tubos de 2" de diâmetro.

Assim foram ensaiados um total de 15 peças de tubos, totalizando 71 ensaios realizados em um período de dois meses.

Para introdução das fraturas circulares foi utilizada uma furadeira com brocas nos sete diâmetros testados, Figura 25.



Figura 25– Fraturas circulares – brocas

Para introdução das fissuras longitudinais foi utilizada uma mini retífica com disco de corte. O comprimento da fissura era marcado a caneta no tubo e, posteriormente, com a retífica, era aberta a fissura até a marca desejada, Figura 26.



Figura 26– Fissura Longitudinal – Detalhe da mini retífica

Para introdução das fissuras circunferenciais foi utilizado um arco de serra. O comprimento da fissura era marcado a caneta no tubo e, posteriormente, a fratura era realizada serrando-se o tubo até a dimensão marcada.

4.3 Realização dos Testes, Coleta e Processamento dos Dados

Antes de início de cada teste, ou seja, a cada inserção das peças de tubos a serem ensaiadas, o circuito foi preenchido com água a baixa pressão com a finalidade de expulsar todo o ar do seu interior. Após a expulsão de todo o ar das tubulações que compõe o circuito, o registro de saída foi fechado e, assim, permaneceu até o fim do teste.

Após a inserção da peça de tubo a ser testada foram realizados incrementos gradativos de pressão, de 10 mca, até que se atingisse um patamar de 70 mca. Estes incrementos foram introduzidos por meio de incrementos na rotação da bomba. Em alguns casos, onde a fratura de vazamento era grande e, conseqüentemente, permitia uma vazão de vazamento elevada, o limite de teste da bancada foi atingido antes mesmo de chegar à pressão de 70 mca. Nestes casos o teste foi encerrado anotando-se a pressão e a vazão máximas atingidas.

Durante a realização dos testes os pares de pressão e vazão foram registrados a cada incremento de 10 mca até o limite de 70 mca.

O processamento dos dados foi realizado adotando-se a metodologia utilizada por GREYVENSTEIN (2007b).

Assim, de posse dos dados dos testes foi construído o gráfico de pressão *versus* vazão e determinado o valor do expoente N1 através da equação da linha de tendência, Figura 27.

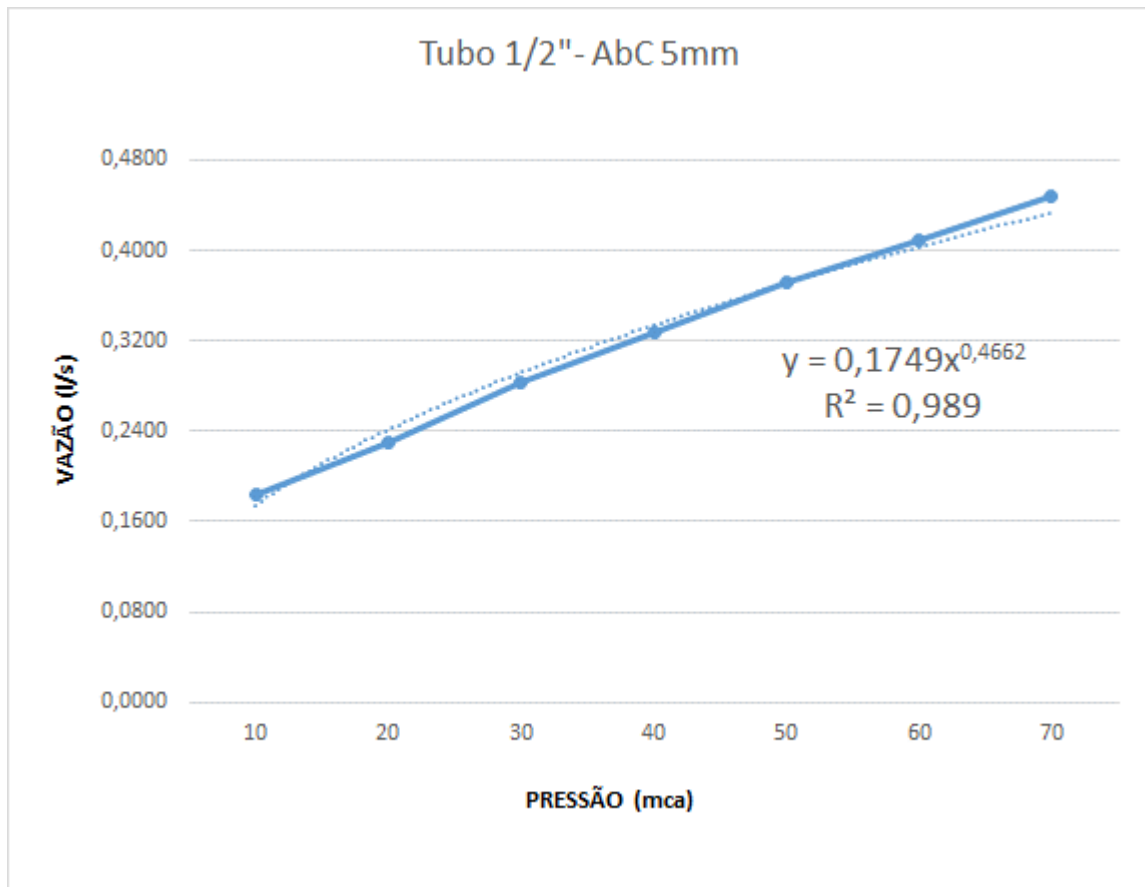


Figura 27– Exemplo de obtenção do expoente de descarga

Após a determinação do expoente N1 uma tabela foi elaborada, para calcular o coeficiente de descarga (Cd) e o número de Reynolds (Re) e demais parâmetros, conforme Tabela 5.

Tabela 05– Exemplo de processamento dos dados

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ø AbC	Q(l/s)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{N1}$	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
5mm	0,183333333	10	12,96	1,41479E-05	2,1766E-05	21,76599758	0,0053	0,0013	8,422924	44208,55
	0,230555556	20	17,90	1,28791E-05	1,9814E-05	19,81401783	0,0050	0,0013	11,63598	58269,79
	0,283333333	30	21,63	1,31013E-05	2,01558E-05	20,15583915	0,0051	0,0013	14,05713	70998,86
	0,327777778	40	24,73	1,32541E-05	2,03909E-05	20,39089463	0,0051	0,0013	16,07471	81661,15
	0,372222222	50	27,44	1,35642E-05	2,08679E-05	20,86794212	0,0052	0,0013	17,83704	91667,76
	0,408333333	60	29,88	1,36676E-05	2,1027E-05	21,02702654	0,0052	0,0013	19,41945	100179,8
	0,447222222	70	32,10	1,39312E-05	2,14326E-05	21,43264699	0,0052	0,0013	20,8664	108677,5

A partir dos dados de vazão e pressão medidos, colunas 2 e 3 da Tabela 05, e do N1 obtido pelo gráfico foi calculada a coluna 4, conforme equação:

$$\sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{N1} \quad (09)$$

Na Coluna 5, os valores do Cd.A foram calculados dividindo-se os valores da coluna 2 pela coluna 4, conforme equação:

$$C_d = \frac{Q}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H^{N1}}} \quad (10)$$

Na coluna 6, os valores da área foram inicialmente calculados assumindo-se o valor de Cd=0,65. A partir das áreas calculadas foi elaborado um gráfico de pressão *versus* área da fratura, Figura 28, adicionando uma linha de tendência na forma A=mH+A0. Sabendo-se que a área inicial (antes do início do teste) ocorre para pressão igual a zero. Assim o valor de Cd pôde ser corrigido para 0,68.

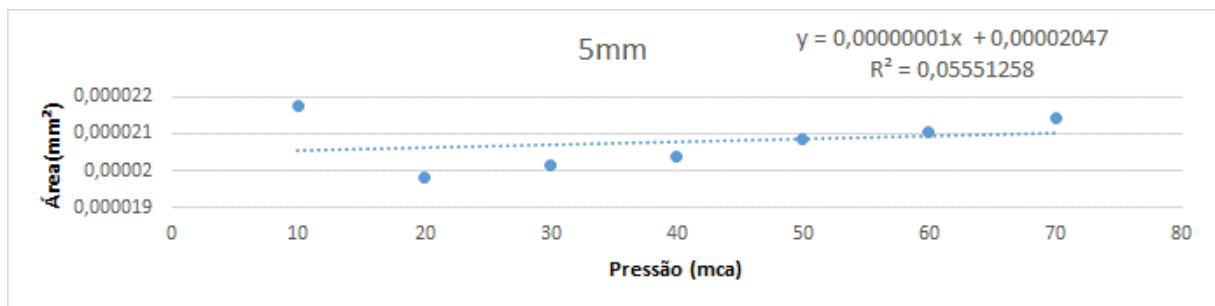


Figura 28 – Exemplo de obtenção fator de correção do Cd

Na coluna 8, foi calculado o diâmetro (ou a dimensão da fratura) durante o teste.

Na coluna 9, foi calculado o raio hidráulico como sendo a área molhada dividida pelo perímetro molhado, conforme equação:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (11)$$

Na coluna 10, foi calculada a velocidade pela equação da continuidade onde a velocidade é dada pela divisão da vazão pela área (coluna 2 e 6 respectivamente), conforme equação:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Na coluna 11, foi calculado o número de Reynolds, pela equação 04, adotando um coeficiente de viscosidade cinemática de $1,003 \cdot 10^{-6}$ para água à 20°C.

Para cada diâmetro de tubo e tipo de fratura testada os cálculos serão mostrados no Apêndice A.

5 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados compilados encontrados da relação pressão *versus* vazão para as 15 amostras testadas. Os gráficos por diâmetro do tubo e tipo de fratura serão apresentados no apêndice A. A partir dos gráficos do binômio vazão pressão foi traçada uma curva de potência que revelou os valores de N1 de cada fratura testada. Serão apresentados também os valores de Cd e Re calculados, e os gráficos de variação da área da fratura em função da variação da pressão.

Nos resultados a seguir, serão apresentados os valores do Cd já corrigidos, conforme metodologia.

5.1 Fraturas Circulares (AbC)

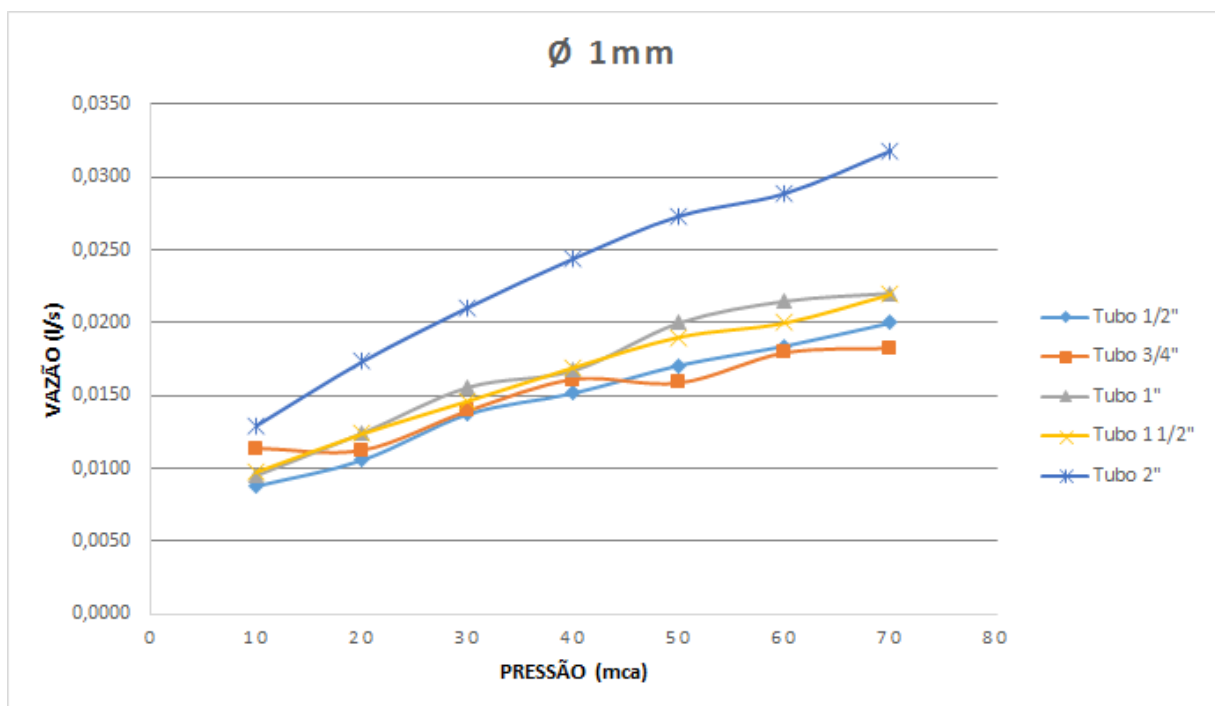


Figura 29– Relação pressão x vazão para AbC 1mm

Tabela 06 – AbC 1mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 1mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,0084x^{0,4351}$	0,9852	0,4351	0,88	9340 - 21513
3/4"	$y = 0,0105x^{0,2751}$	0,8887	0,2751	1,00	8845 - 14633
1"	$y = 0,0094x^{0,4494}$	0,9906	0,4494	0,95	9883 - 23273
1 1/2"	$y = 0,0095x^{0,4205}$	0,9938	0,4205	1,00	9675 - 21846
2"	$y = 0,0128x^{0,4631}$	0,9982	0,4631	1,00	11708 - 28797

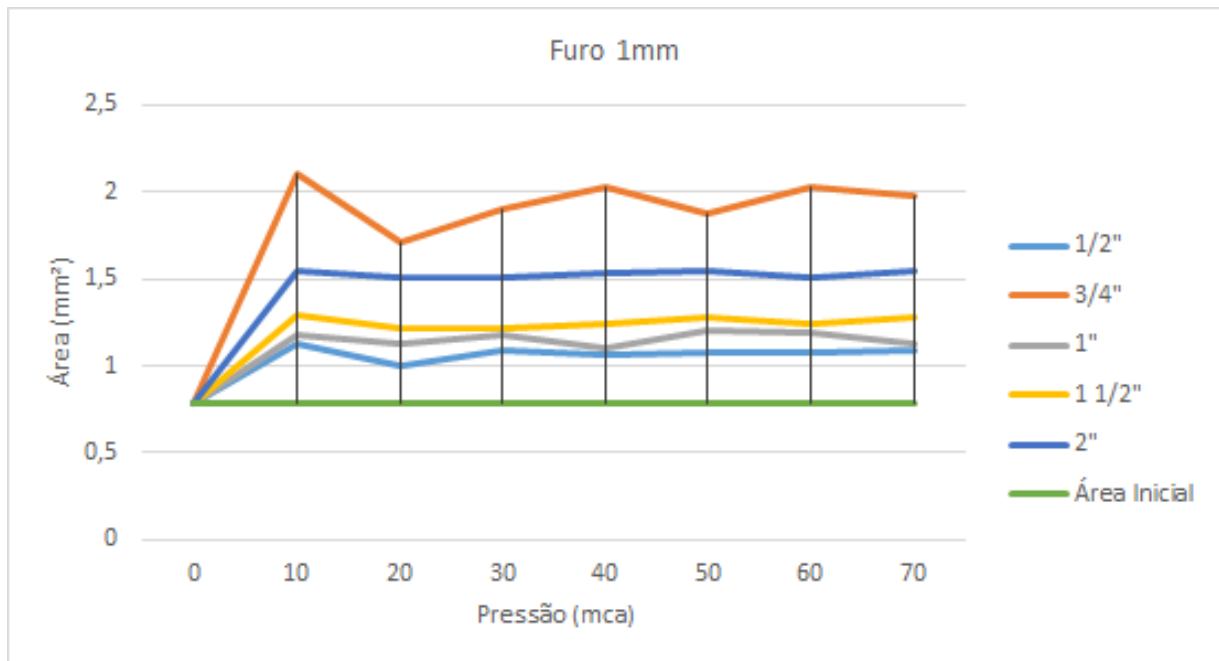


Figura 30 –Relação área x pressão para AbC 1mm

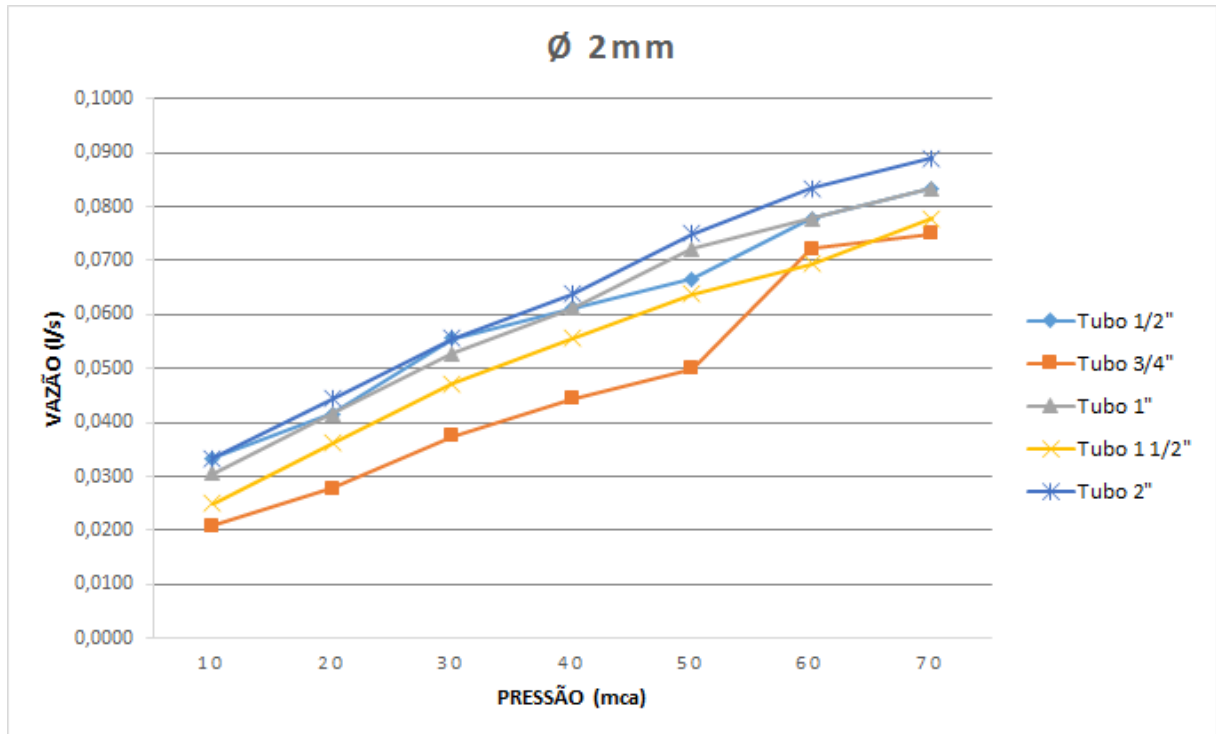


Figura 31 – Relação pressão x vazão para AbC 2mm

Tabela 07 – AbC 2mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 2mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,032x^{0,4793}$	0,9846	0,4793	0,76	9340 - 21513
3/4"	$y = 0,0188x^{0,6736}$	0,9551	0,6736	0,28	18921 - 69142
1"	$y = 0,0298x^{0,5303}$	0,996	0,5303	0,63	19430 - 53755
1 1/2"	$y = 0,0247x^{0,5848}$	0,9988	0,5848	0,46	18713 - 58306
2"	$y = 0,0322x^{0,5171}$	0,9936	0,5171	0,70	19988 - 53983

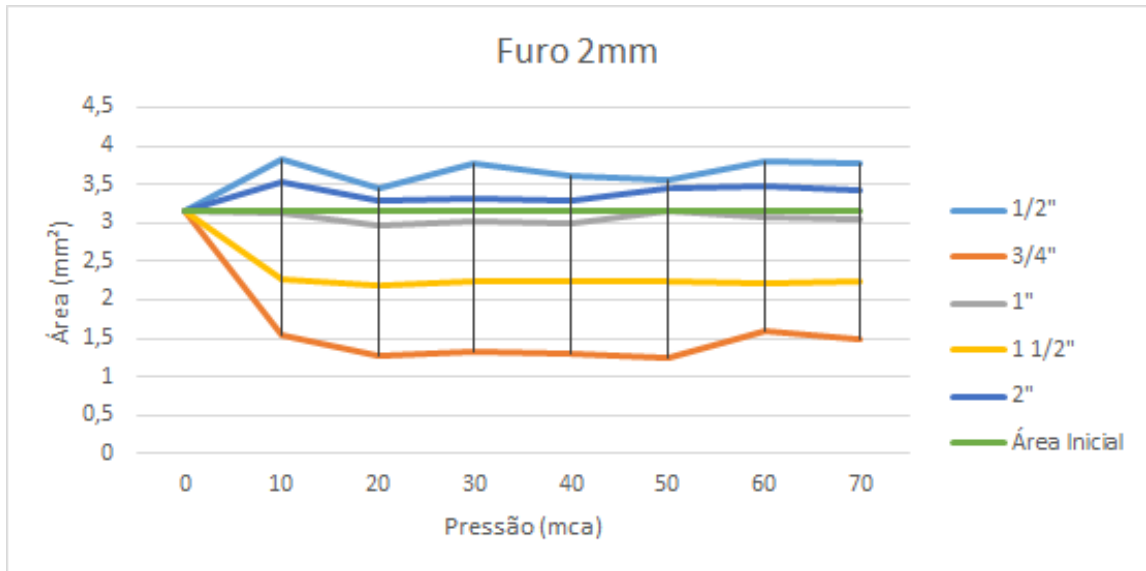


Figura 32–Relação área x pressão para AbC 2mm

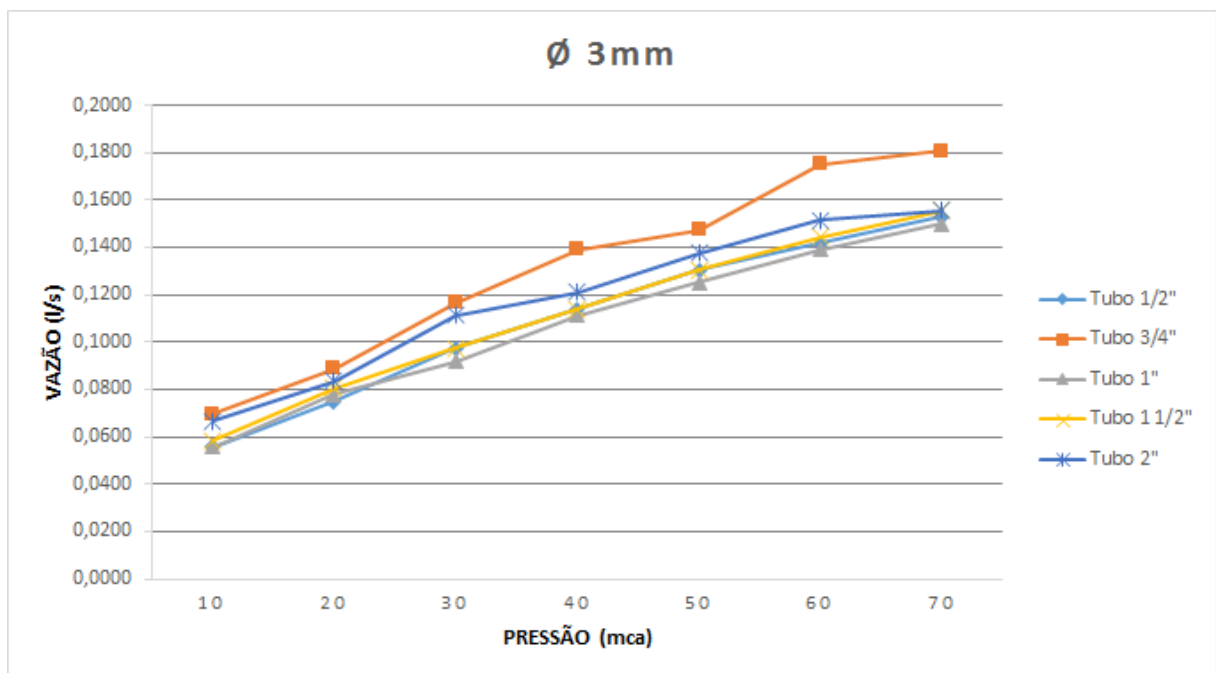
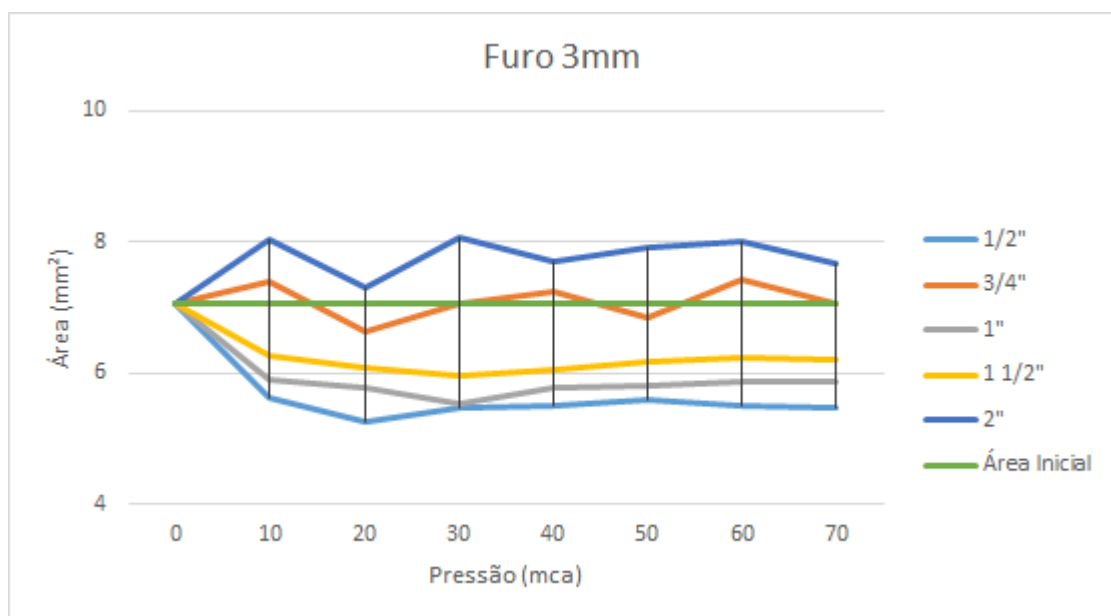


Figura 33 – Relação pressão x vazão para AbC 3mm

Tabela 08 – AbC 3mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 3mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,0541x^{0,5348}$	0,9962	0,5348	0,50	26335 - 73484
3/4"	$y = 0,0666x^{0,5137}$	0,9867	0,5137	0,65	28737 - 76384
1"	$y = 0,0545x^{0,5142}$	0,9963	0,5142	0,53	25718 - 69695
1 1/2"	$y = 0,0571x^{0,509}$	0,9973	0,5090	0,56	26196 - 70194
2"	$y = 0,0648x^{0,4596}$	0,9870	0,4596	0,56	26456 - 63202

**Figura 34**–Relação área x pressão para AbC 3mm

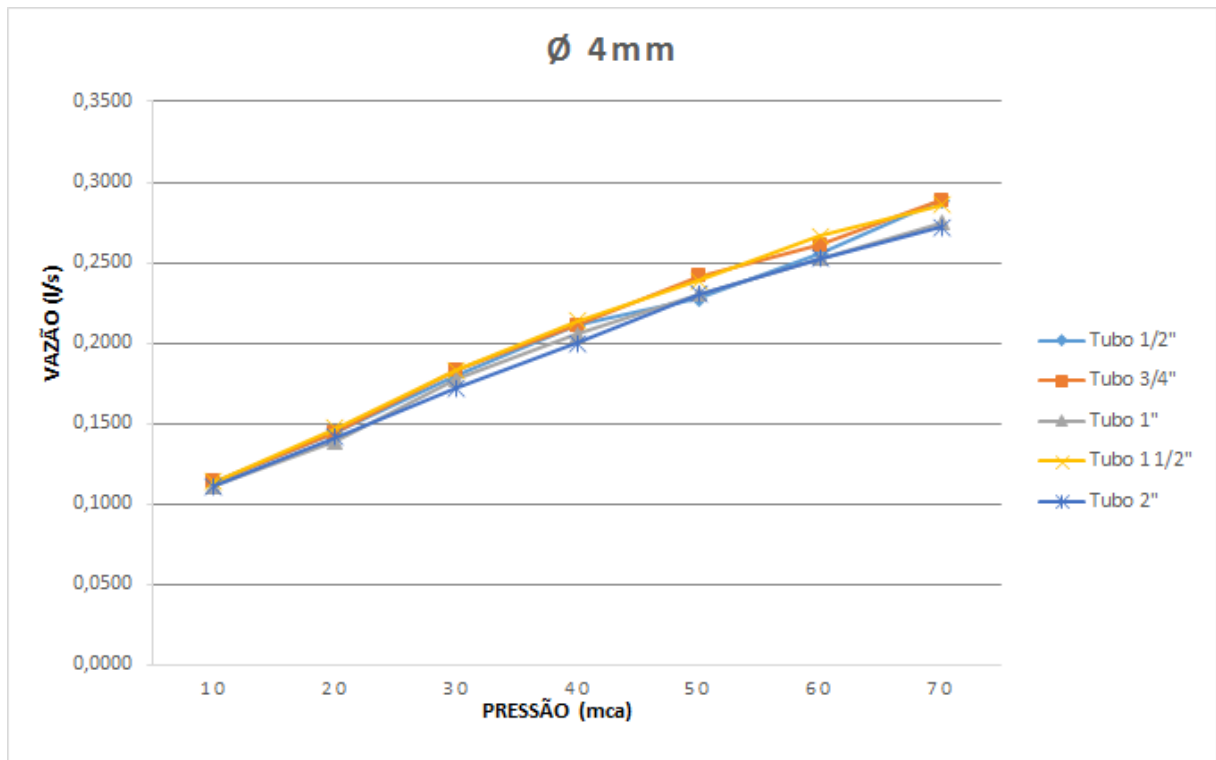


Figura 35– Relação pressão x vazão para AbC 4mm

Tabela 09 – AbC 4mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 4mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,1091x^{0,4752}$	0,9879	0,4752	0,65	35206 - 89032
3/4"	$y = 0,109x^{0,4872}$	0,9905	0,4872	0,63	35696 - 91330
1"	$y = 0,1062x^{0,479}$	0,9897	0,479	0,63	34927 - 87569
1 1/2"	$y = 0,1098x^{0,4846}$	0,9938	0,4846	0,64	35589 - 90389
2"	$y = 0,1063x^{0,4724}$	0,9898	0,4724	0,64	34662 - 85913

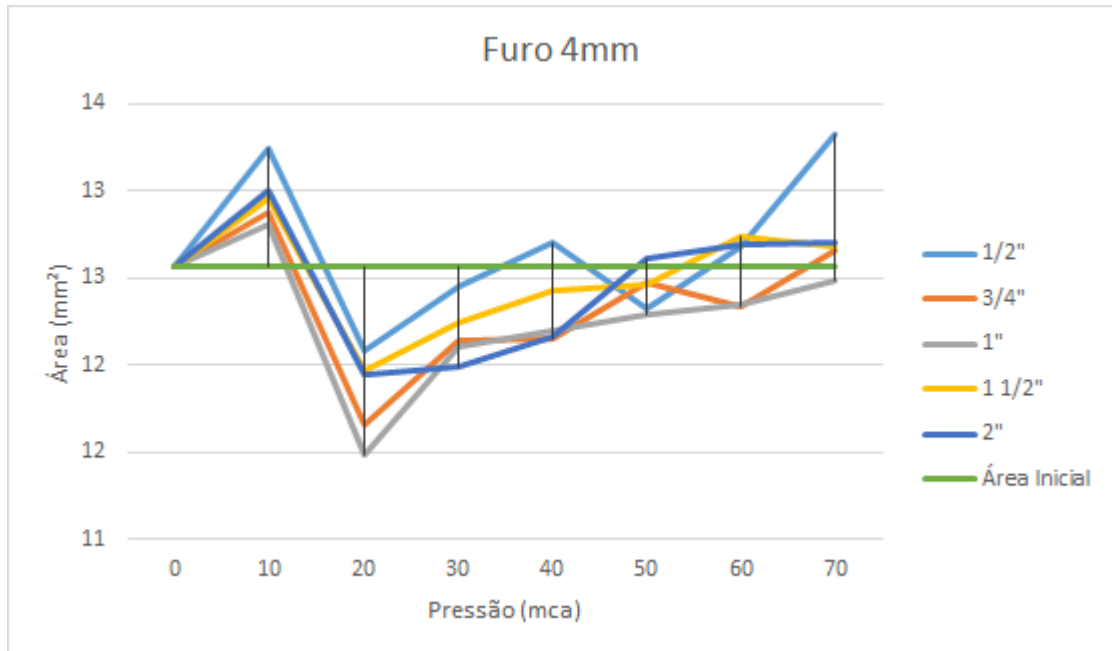


Figura 36–Relação área x pressão para AbC 4mm

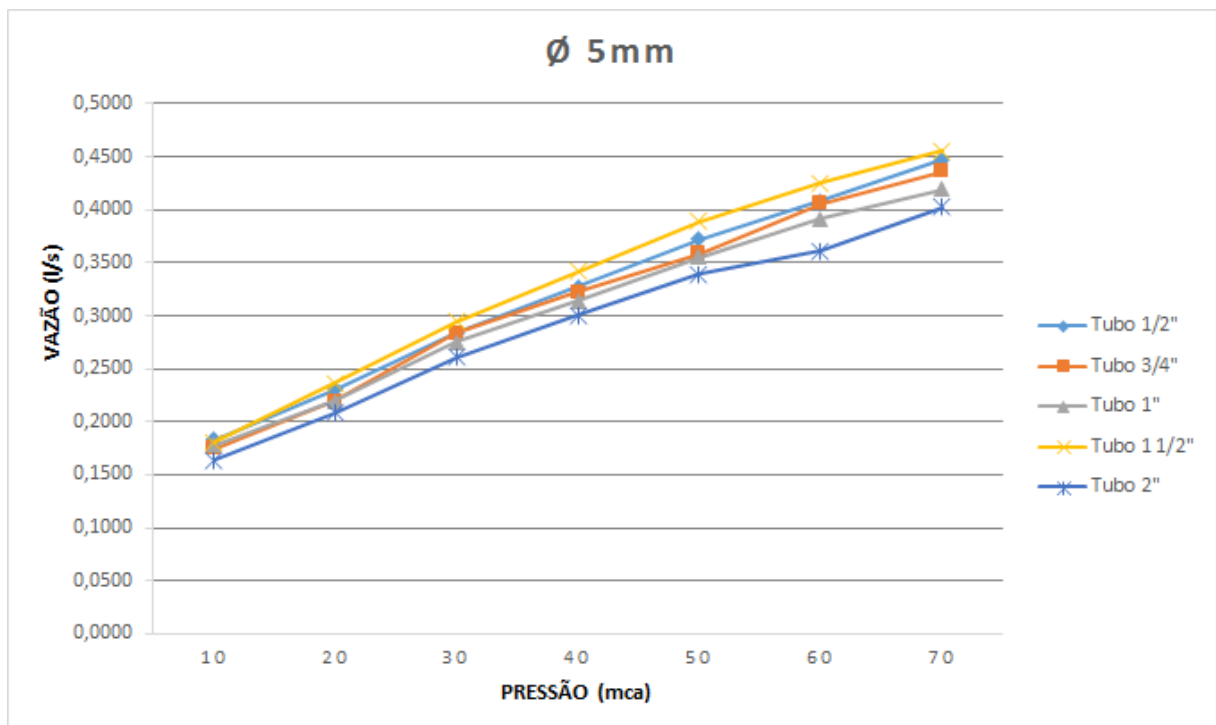
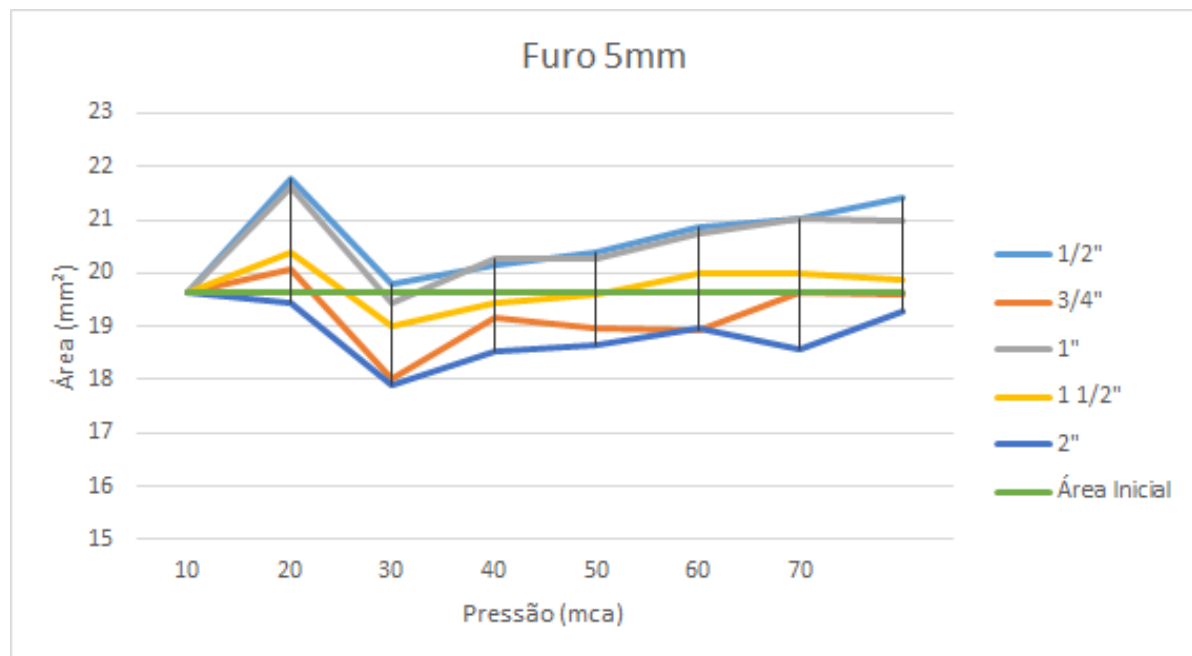


Figura 37– Relação pressão x vazão para AbC 5mm

Tabela 10 – AbC 5mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 5mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,1749x^{0,4662}$	0,989	0,4662	0,68	44208 - 108677
3/4"	$y = 0,1673x^{0,4813}$	0,9891	0,4813	0,63	43949 - 110817
1"	$y = 0,1696x^{0,4559}$	0,9882	0,4559	0,67	43020 - 102970
1 1/2"	$y = 0,175x^{0,4882}$	0,9953	0,4882	0,65	44997 - 114932
2"	$y = 0,1581x^{0,4666}$	0,9924	0,4666	0,63	41817 - 103223

**Figura 38**–Relação área x pressão para AbC 5mm

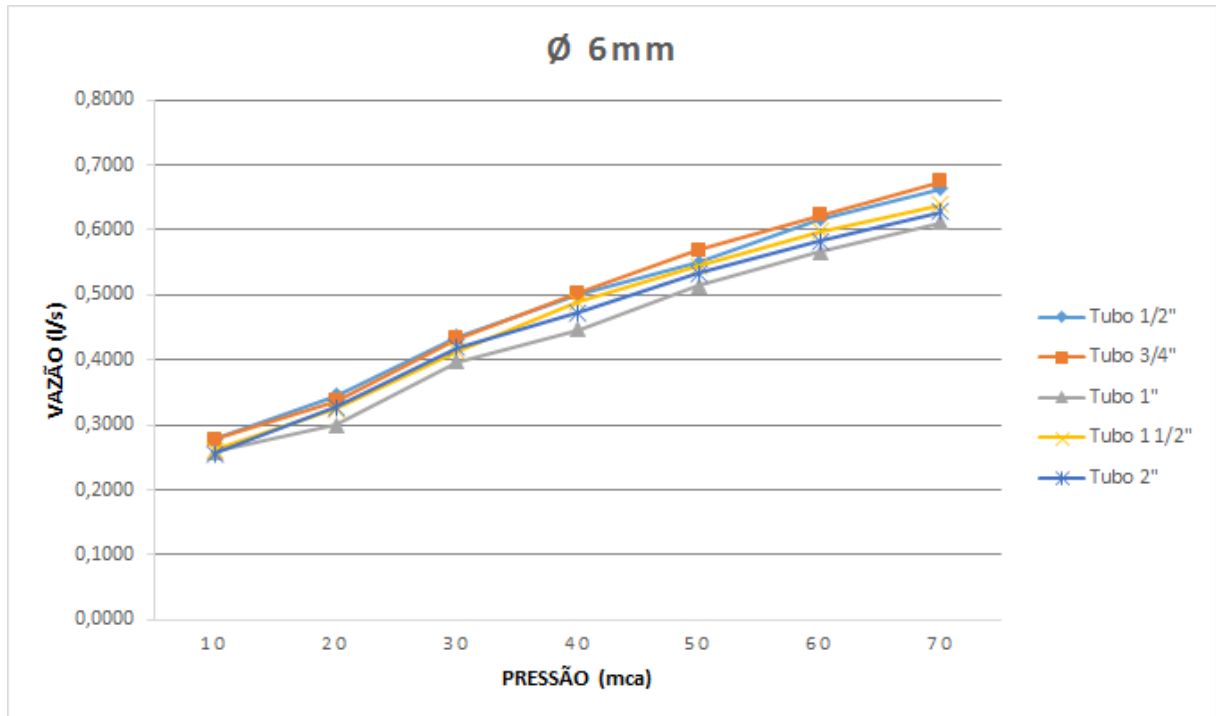


Figura 39 – Relação pressão x vazão para AbC 6mm

Tabela 11 – AbC 6mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 6mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,2658x^{0,4591}$	0,9891	0,4591	0,73	53973 - 130429
3/4"	$y = 0,1673x^{0,4813}$	0,9828	0,4752	0,69	54983 - 136092
1"	$y = 0,2404x^{0,4654}$	0,9721	0,4654	0,65	52429 - 126823
1 1/2"	$y = 0,2492x^{0,4797}$	0,9886	0,4797	0,65	53585 - 133673
2"	$y = 0,248x^{0,4726}$	0,9943	0,4726	0,66	52580 - 130522

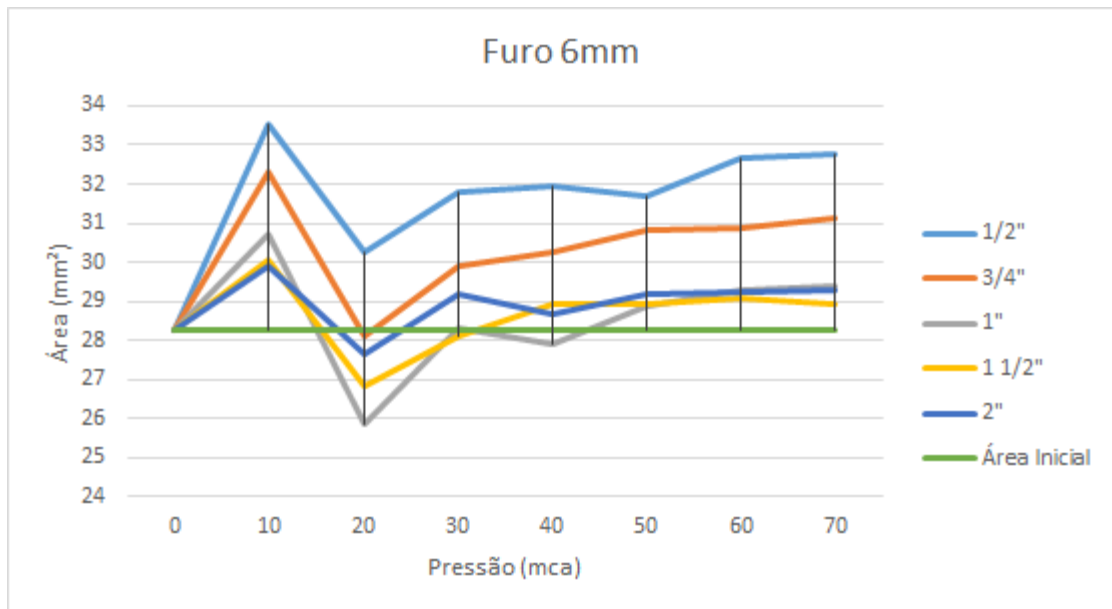


Figura 40–Relação área x pressão para AbC 6mm

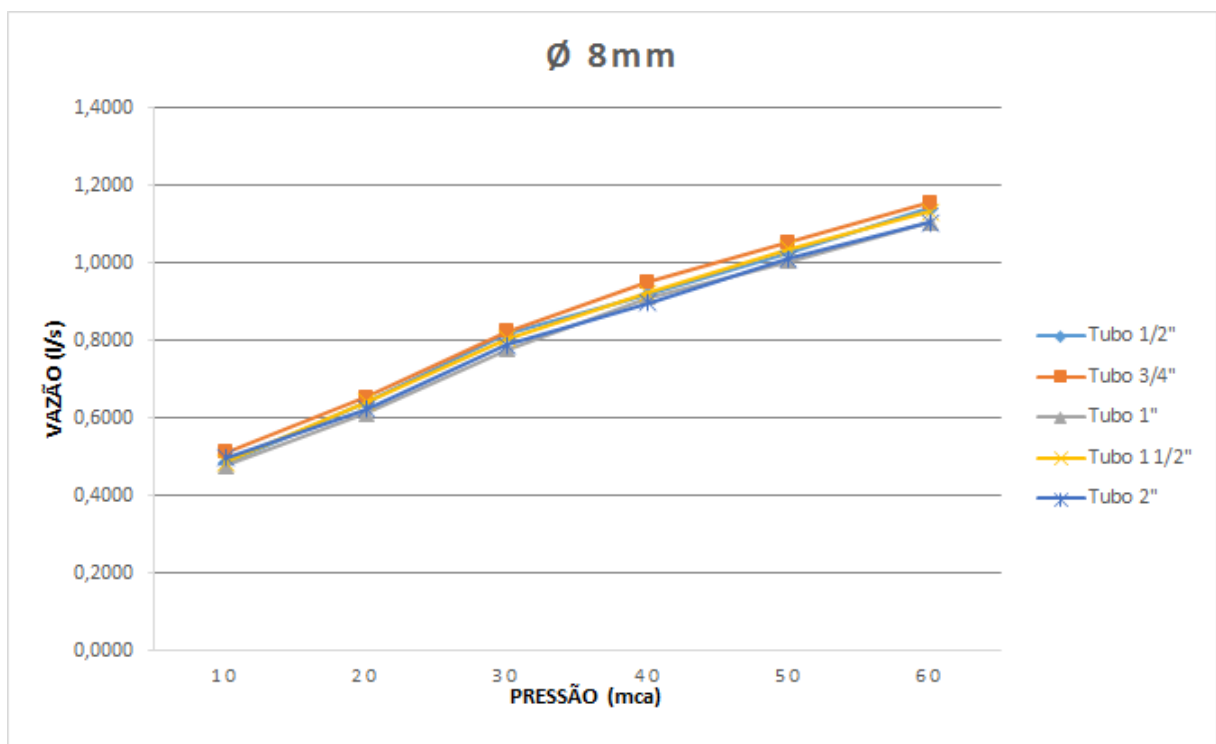


Figura 41– Relação pressão x vazão para AbC 8mm

Tabela 12 – AbC 8mm - Resultados por diâmetro dos tubos

AbC 8mm					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,4792x^{0,4669}$	0,9926	0,4669	0,74	71838 - 173897
3/4"	$y = 0,4962x^{0,4644}$	0,9929	0,4644	0,76	73661 - 167906
1"	$y = 0,4647x^{0,4727}$	0,9923	0,4727	0,70	71903 - 176267
1 1/2"	$y = 0,4799x^{0,4671}$	0,9950	0,4671	0,74	72061 - 175026
2"	$y = 0,248x^{0,4726}$	0,9943	0,4526	0,76	71673 - 169309

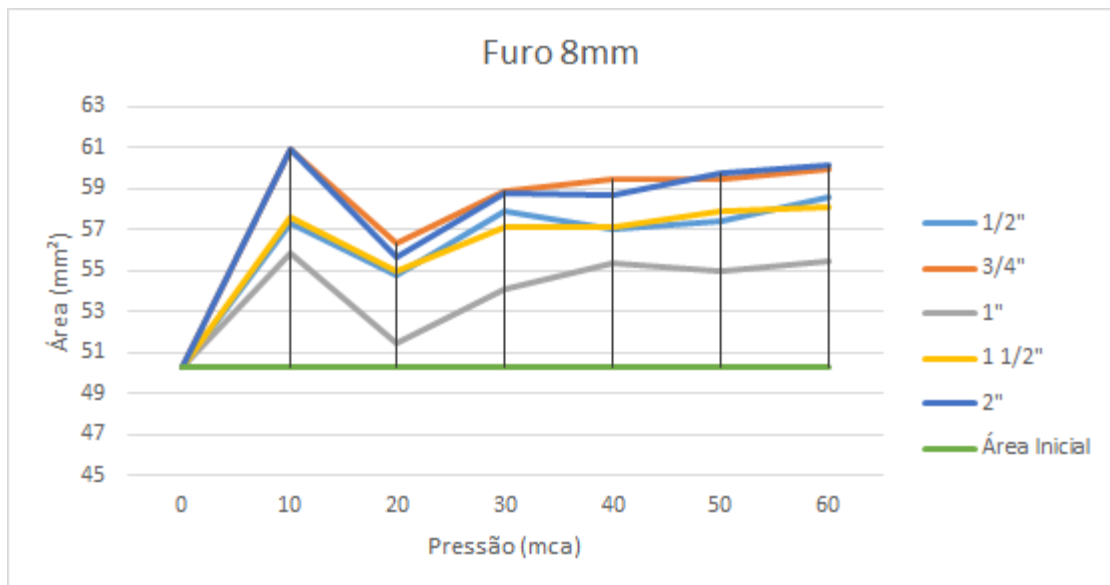


Figura 42–Relação área x pressão para AbC 8mm

5.2 Fissuras Longitudinais (FL)

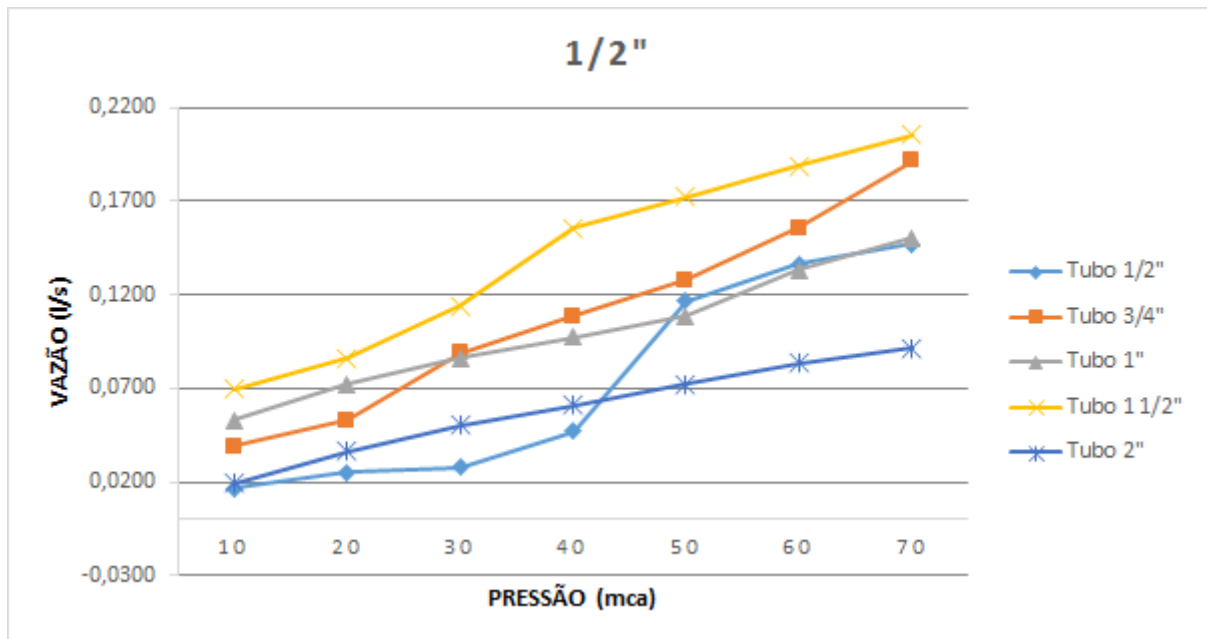


Figura 43– Relação pressão x vazão para FL 1/2"

Tabela 13 – FL 1/2" - Resultados por diâmetro dos tubos

FL 1/2"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,012x^{1,2297}$	0,8685	1,2297	0,01	97422153 - 1066288647
3/4"	$y = 0,0349x^{0,8303}$	0,9759	0,8303	0,09	38838077 - 195408129
1"	$y = 0,0506x^{0,5167}$	0,9735	0,5167	0,27	18865039 - 195408129
1 1/2"	$y = 0,0638x^{0,5984}$	0,9698	0,5984	0,28	22769721 - 72956567
2"	$y = 0,0202x^{0,7937}$	0,9974	0,7937	0,06	35699137 - 167267682

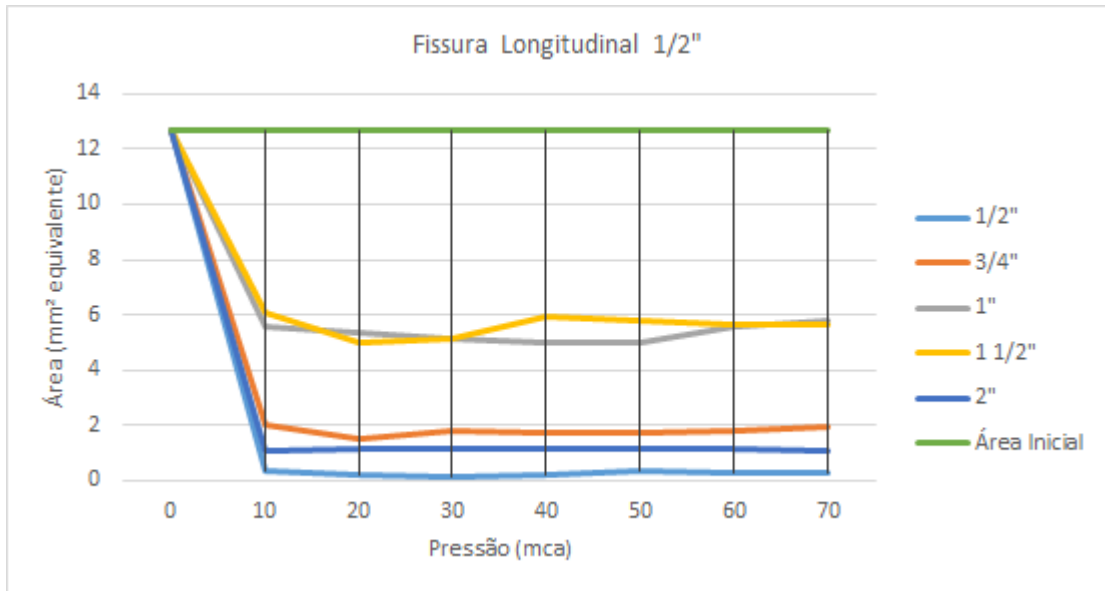


Figura 44–Relação área x pressão para FL 1/2"

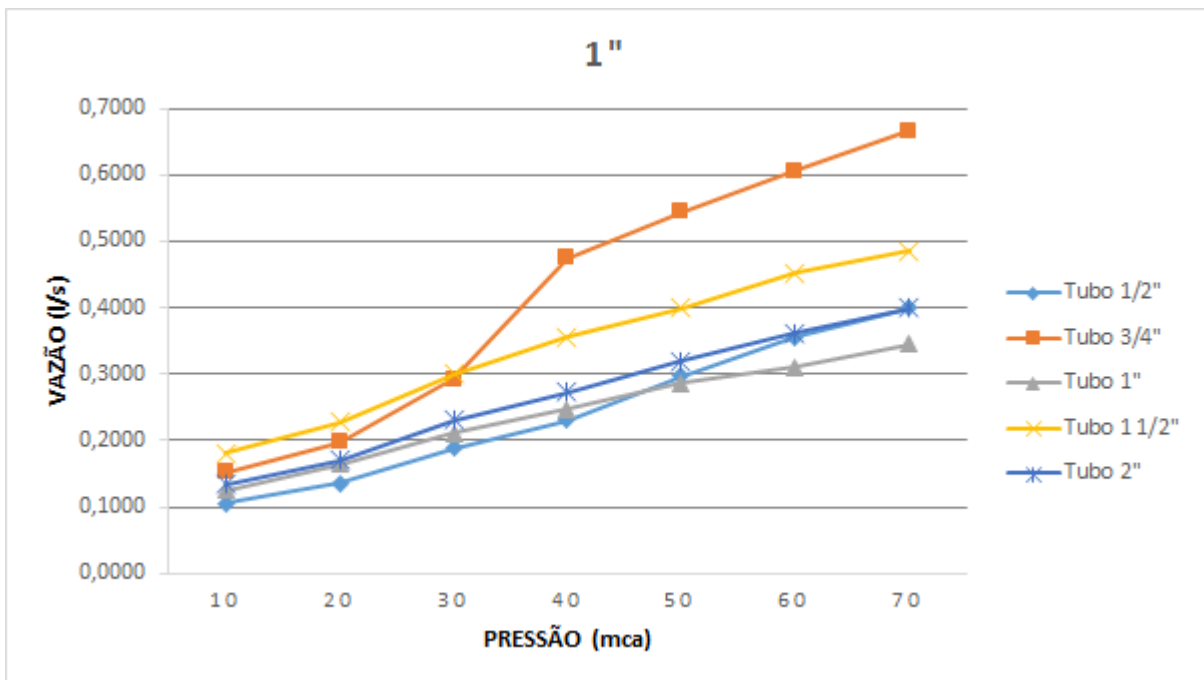


Figura 45– Relação pressão x vazão para FL 1"

Tabela 14 – FL 1" - Resultados por diâmetro dos tubos

FL 1"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,0933x^{0,7111}$	0,9659	0,7111	0,16	29517177 - 117767115
3/4"	$y = 0,1337x^{0,8318}$	0,9563	0,8318	0,17	38960181 - 196595477
1"	$y = 0,1197x^{0,5315}$	0,9925	0,5315	0,31	19512861 - 54889665
1 1/2"	$y = 0,1706x^{0,5301}$	0,9868	0,5301	0,44	19450061 - 54564156
2"	$y = 0,124x^{0,5838}$	0,9830	0,5838	0,28	22010047 - 68547119

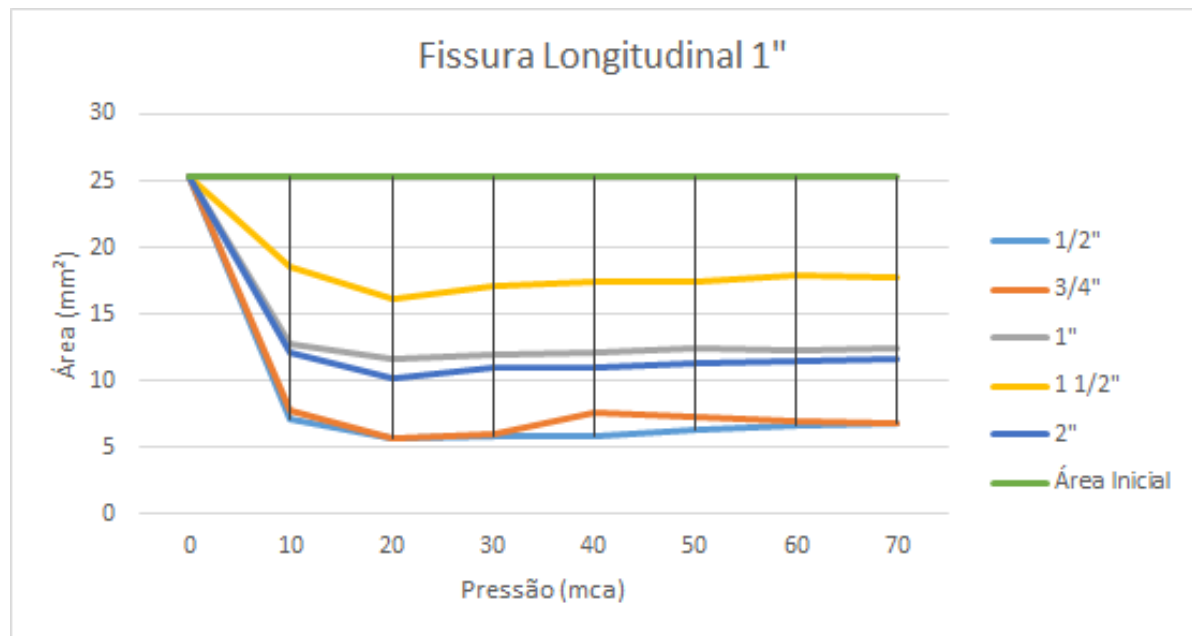


Figura 46–Relação área x pressão para FL 1"

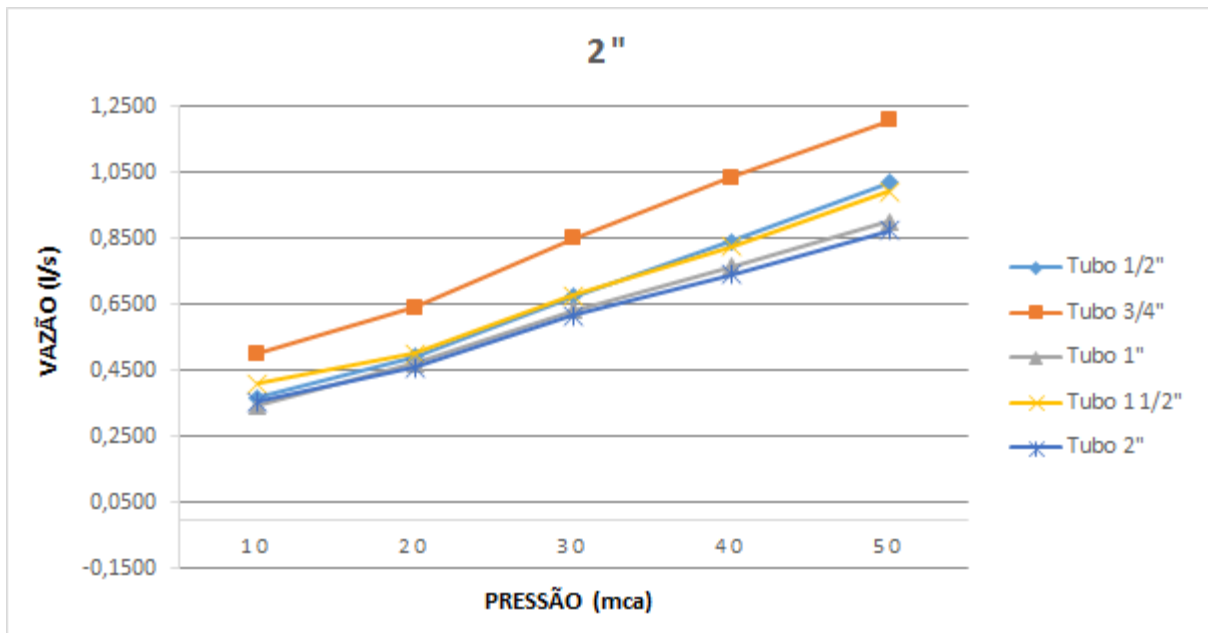


Figura 47– Relação pressão x vazão para FL 2"

Tabela 15 – FL 2" - Resultados por diâmetro dos tubos

FL 2"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,3425x^{0,6587}$	0,9792	0,6587	0,33	26162748 - 85163127
3/4"	$y = 0,4761x^{0,5517}$	0,9747	0,5517	0,58	20449531 - 49694133
1"	$y = 0,3244x^{0,6352}$	0,9900	0,6352	0,33	24784683 - 85307977
1 1/2"	$y = 0,3747x^{0,5876}$	0,9611	0,5876	0,42	22211780 - 63653904
2"	$y = 0,3293x^{0,6038}$	0,9827	0,6038	0,39	23055968 - 74654083

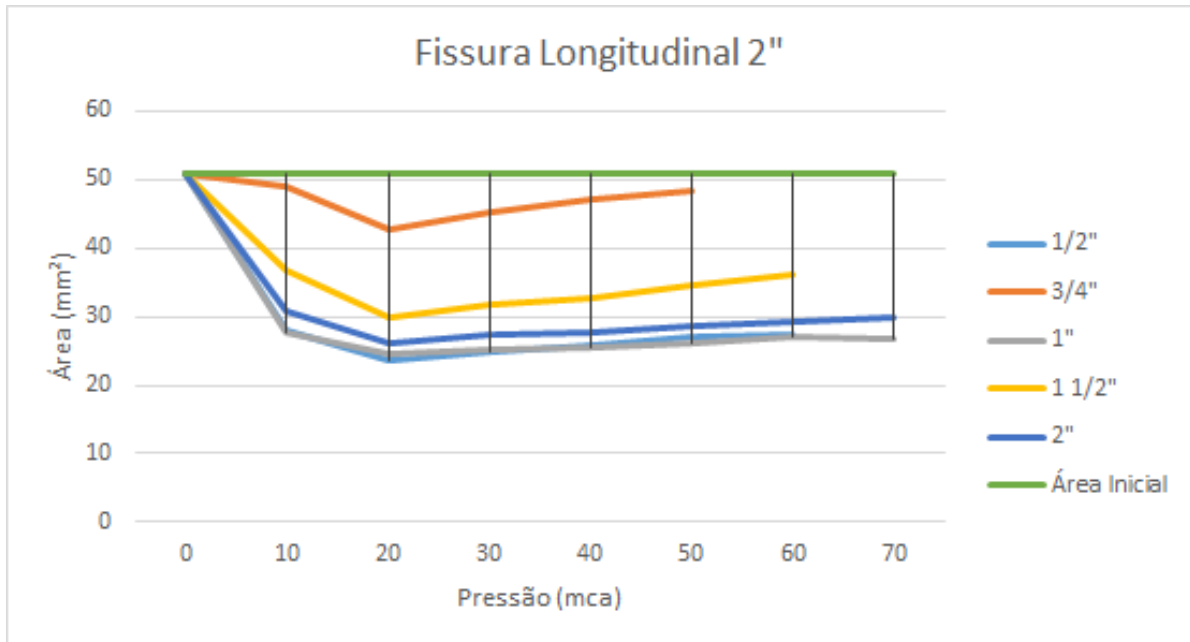


Figura 48–Relação área x pressão para FL 2"

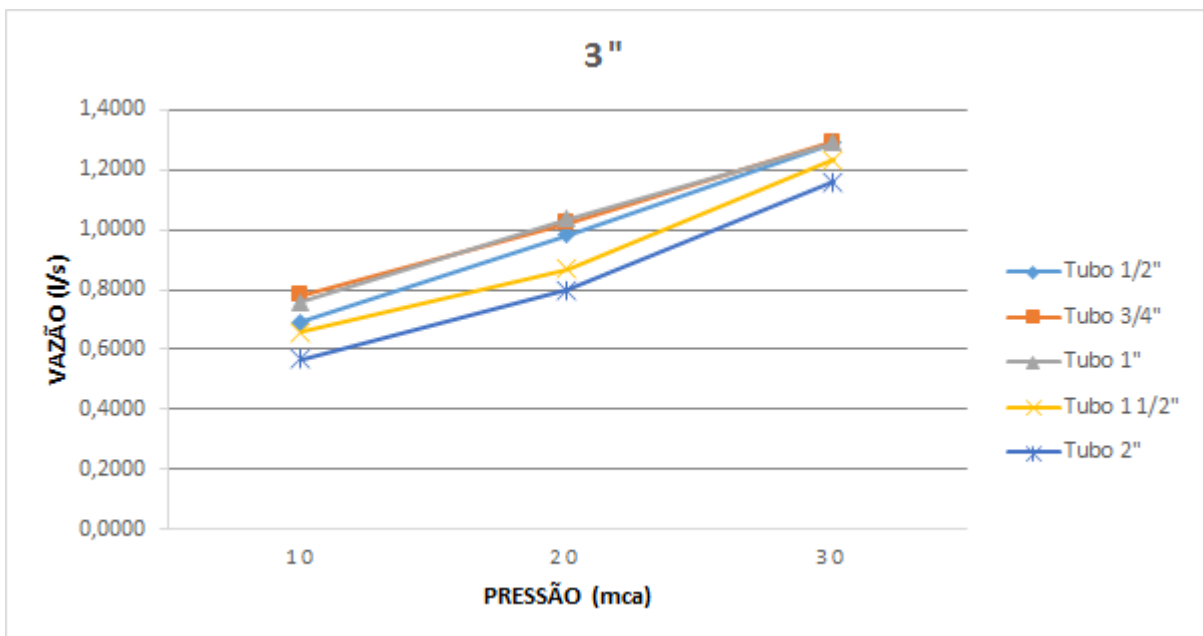


Figura 49– Relação pressão x vazão para FL 3"

Tabela 16 – FL 3" - Resultados por diâmetro dos tubos

FL 3"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,6847x^{0,562}$	0,9941	0,562	0,55	20940460 - 38826511
3/4"	$y = 0,7738x^{0,4493}$	0,9867	0,4493	0,81	16154228 - 26464080
1"	$y = 0,7540x^{0,4810}$	0,9974	0,481	0,73	17377456 - 29476882
1 1/2"	$y = 0,6399x^{0,5531}$	0,9542	0,5531	0,52	20515694 - 37668817
2"	$y = 0,5586x^{0,6104}$	0,9795	0,6104	0,39	23409181 - 45774228

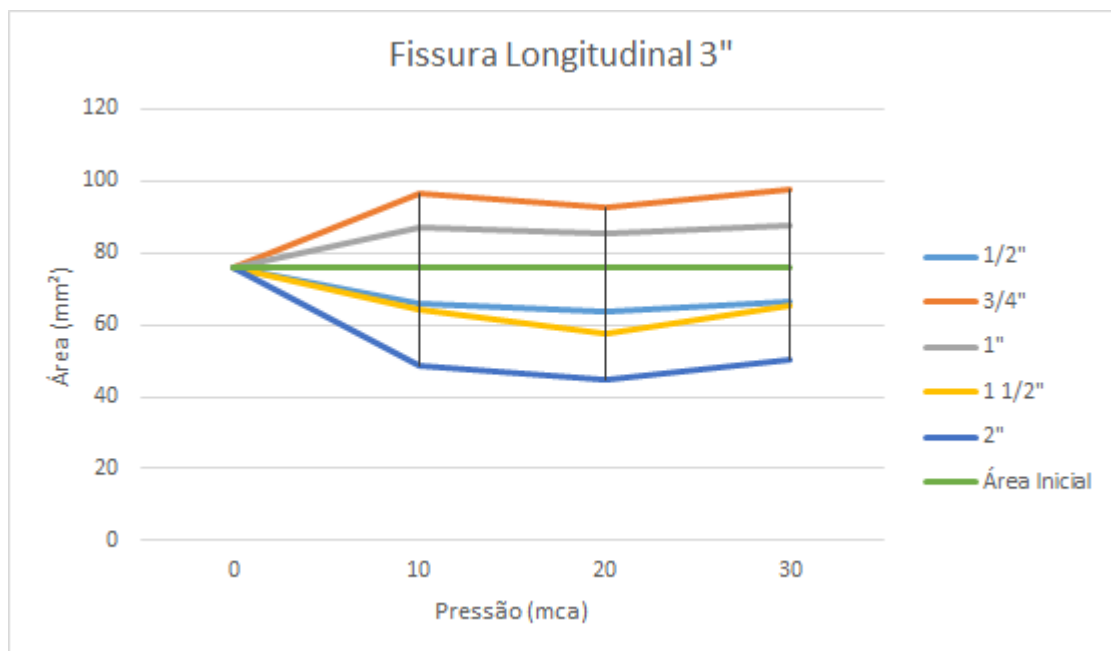


Figura 50–Relação área x pressão para FL 3"

5.3 Fissuras Circunferenciais (FC)

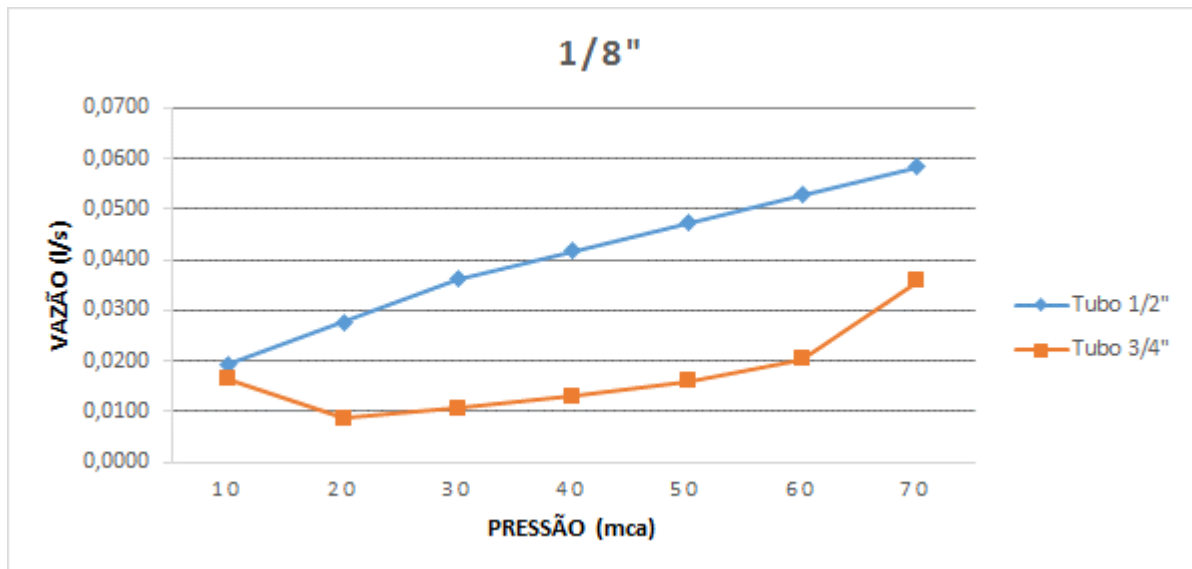


Figura 51– Relação pressão x vazão para FC 1/8"

Tabela 17 – FC 1/8" - Resultados por diâmetro dos tubos

FC 1/8"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,0192x^{0,5642}$	0,9988	0,5642	0,37	21040508 - 63075476
3/4"	$y = 0,01x^{0,3674}$	0,2979	0,3674	0,27	13373843 - 27336647
1"	-	-	-	-	-
1 1/2"	-	-	-	-	-
2"	-	-	-	-	-

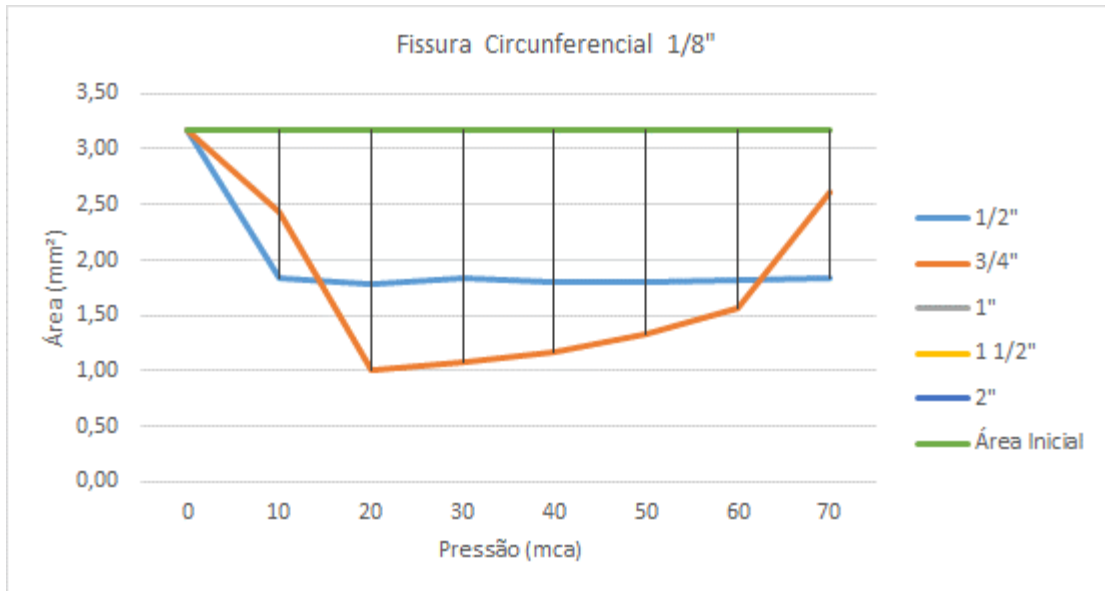


Figura 52–Relação área x pressão para FC 1/8"

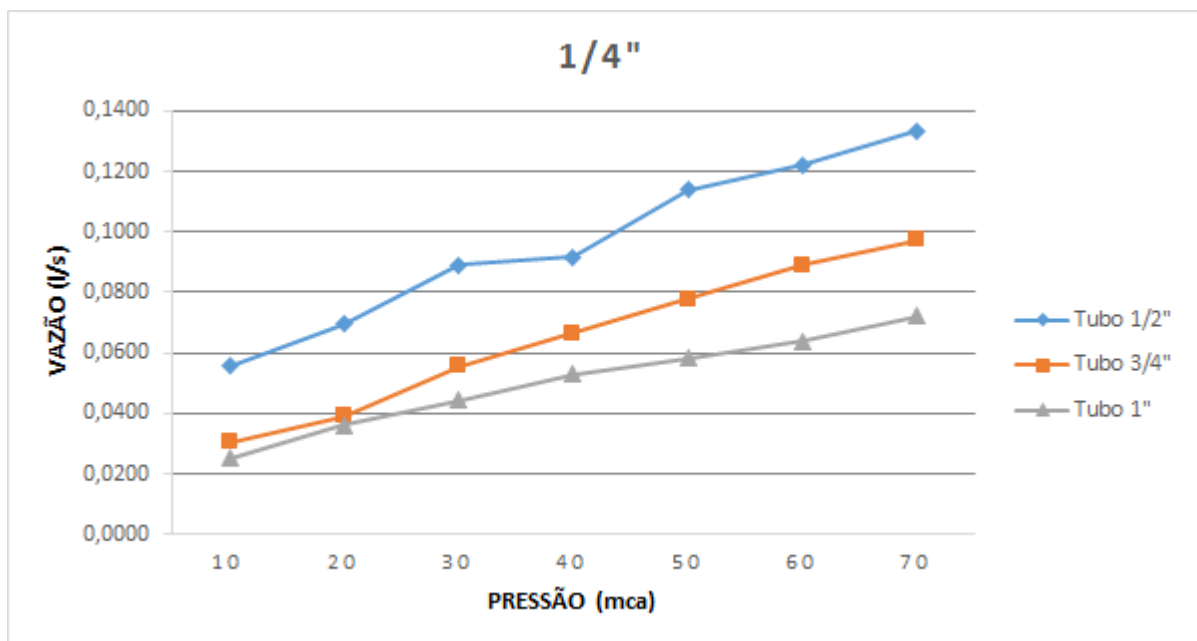
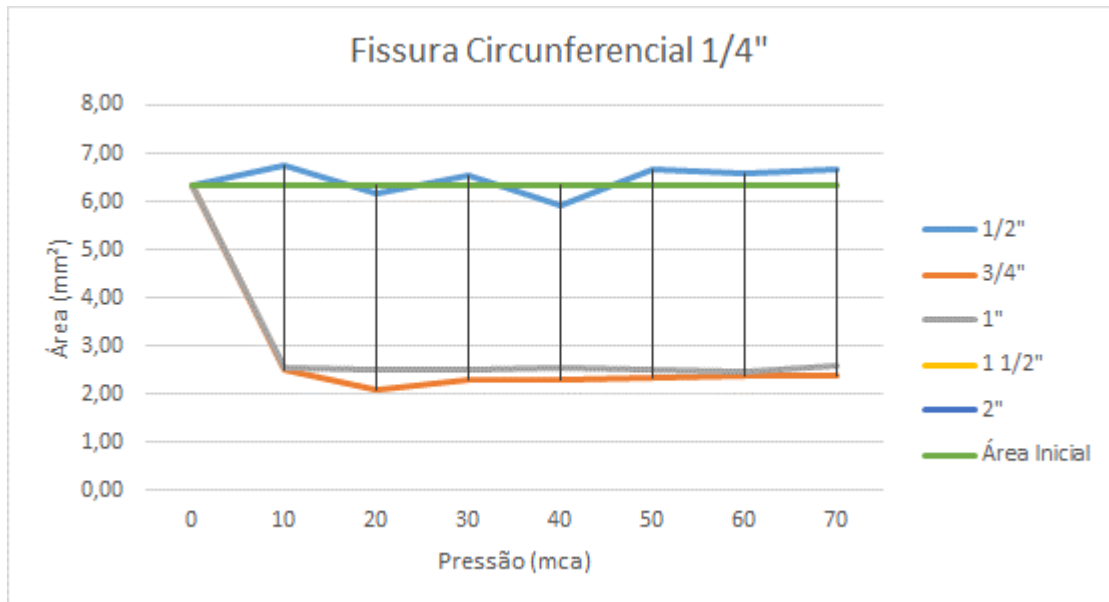


Figura 53– Relação pressão x vazão para FC 1/4"

Tabela 18 – FC 1/4" - Resultados por diâmetro dos tubos

FC 1/4"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,0532x^{0,4556}$	0,9763	0,4556	0,65	16387928 - 39769555
3/4"	$y = 0,0283x^{0,6236}$	0,9817	0,6236	0,23	24128152 - 81194610
1"	$y = 0,0249x^{0,5355}$	0,9986	0,5355	0,14	19698087 - 55843684
1 1/2"	-	-	-	-	-
2"	-	-	-	-	-

**Figura 54**–Relação área x pressão para FC 1/4"

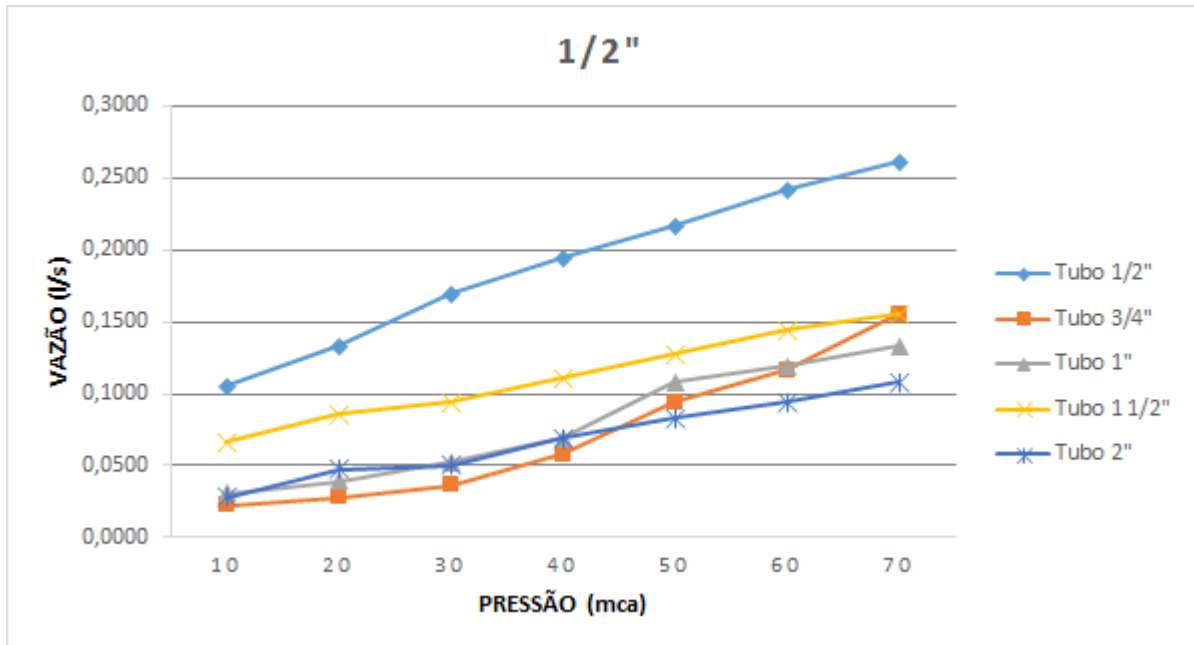


Figura 55– Relação pressão x vazão para FC 1/2"

Tabela 19 – FC 1/2" - Resultados por diâmetro dos tubos

FC 1/2"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	$y = 0,1013x^{0,4763}$	0,9913	0,4763	0,59	17189281 - 43428809
3/4"	$y = 0,0164x^{1,0386}$	0,8963	1,0386	0,03	62741908 - 473452648
1"	$y = 0,0256x^{0,8164}$	0,9810	0,8164	0,07	37614710 - 184202604
1 1/2"	$y = 0,0636x^{0,4355}$	0,9726	0,4355	0,41	15647959 - 36517238
2"	$y = 0,0273x^{0,6856}$	0,9778	0,6856	0,10	27832852 - 105671273

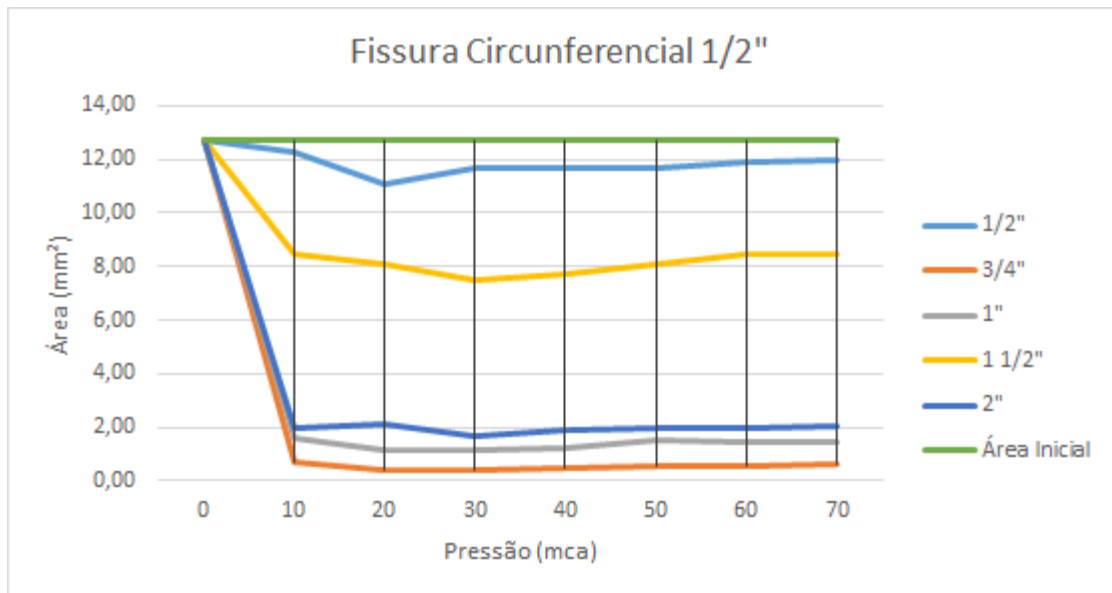


Figura 56–Relação área x pressão para FC 1/2"

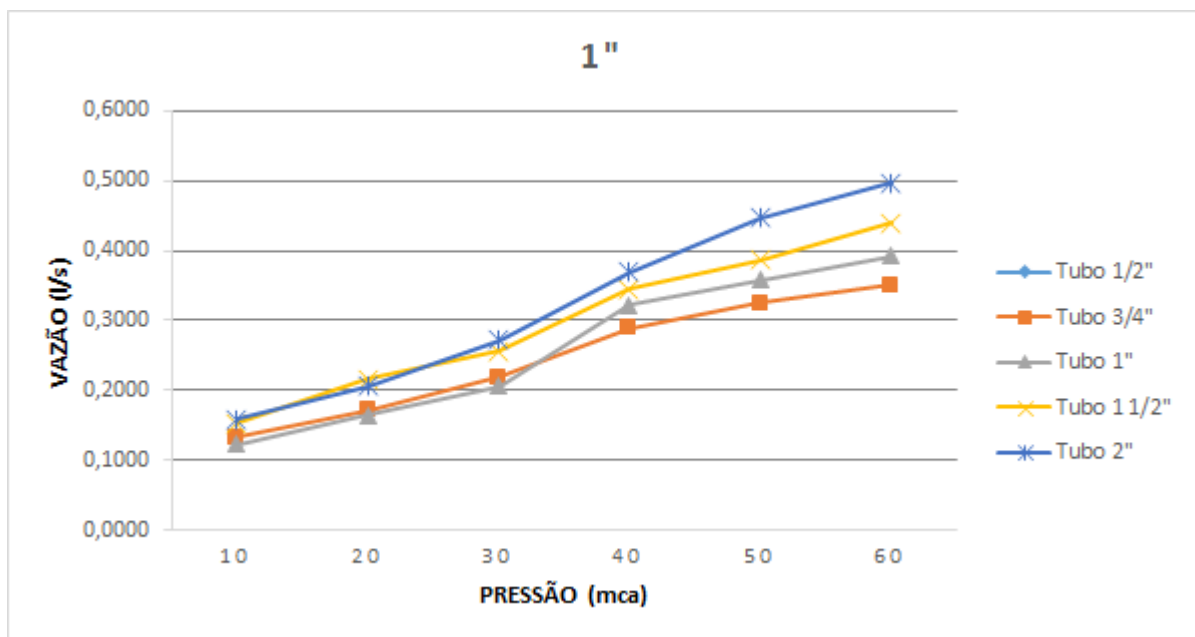


Figura 57– Relação pressão x vazão para FC 1"

Tabela 20 – FC 1" - Resultados por diâmetro dos tubos

Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	FC 1"		
			N1	Cd	Re
1/2"	-	-	-	-	-
3/4"	$y = 0,1275x^{0,5084}$	0,9913	0,5084	0,35	18508653 - 49776306
1"	$y = 0,1133x^{0,6255}$	0,9810	0,6255	0,23	24236774 - 81862244
1 1/2"	$y = 0,1485x^{0,5253}$	0,9836	0,5253	0,39	19243090 - 53481653
2"	$y = 0,1459x^{0,5929}$	0,9708	0,5929	0,32	22484064 - 71274380

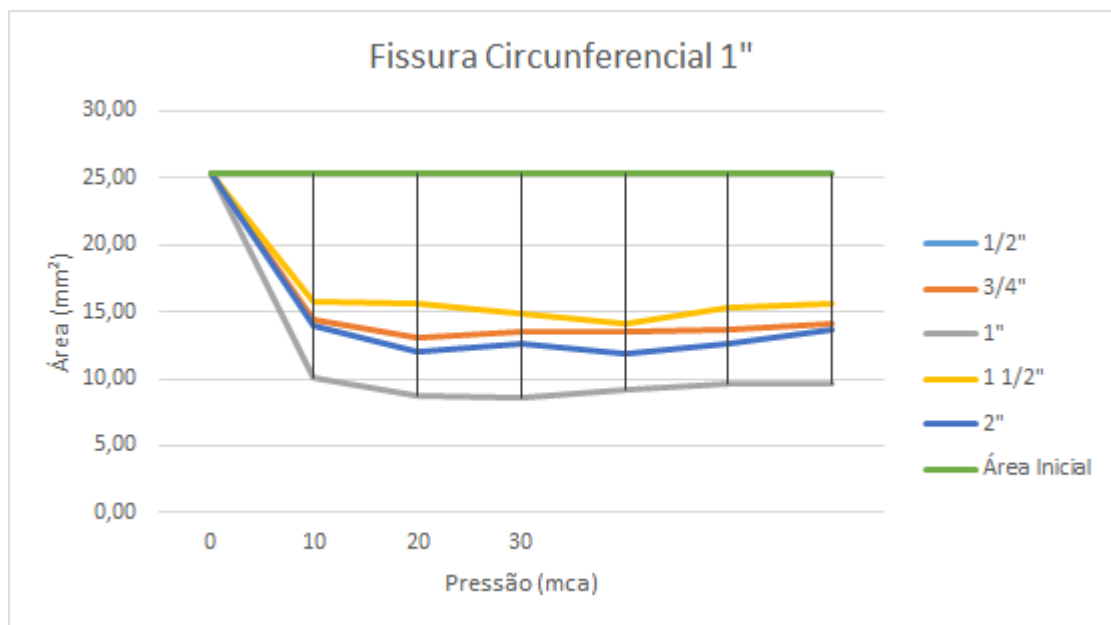


Figura 58–Relação área x pressão para FC 1"

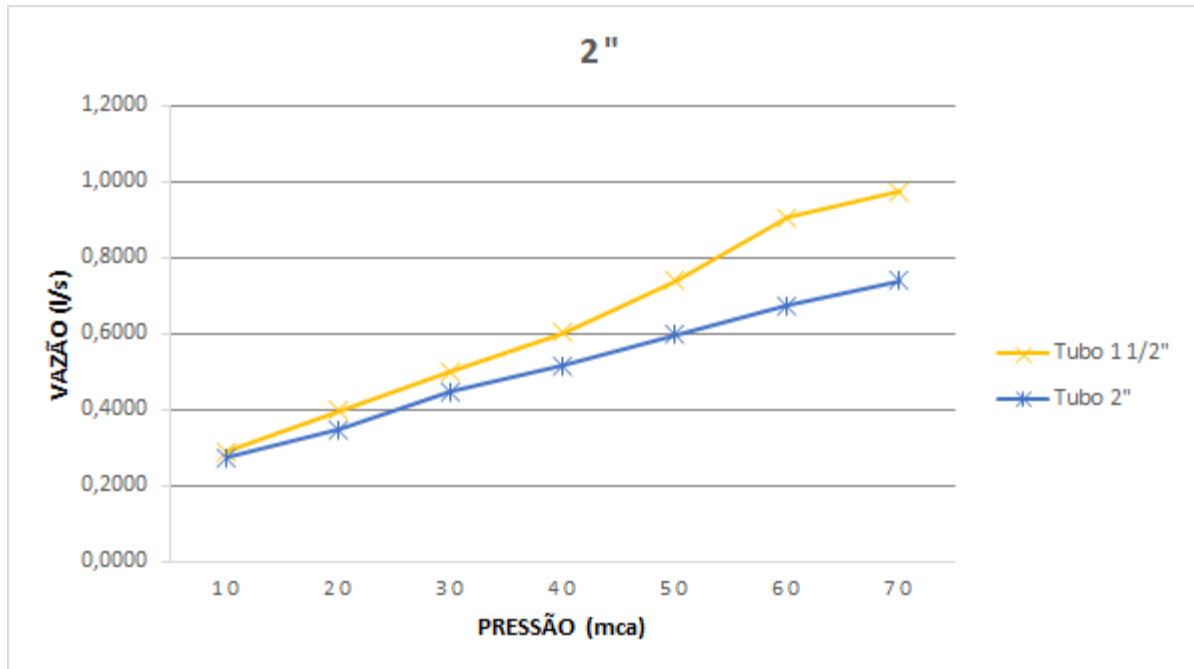


Figura 59– Relação pressão x vazão para FC 2"

Tabela 21 – FC 2" - Resultados por diâmetro dos tubos

FC 2"					
Ø Tubo	Equação Gráfico	R ²	N1	Cd	Re
1/2"	-	-	-	-	-
3/4"	-	-	-	-	-
1"	-	-	-	-	-
1 1/2"	$y = 0,2669x^{0,6398}$	0,9766	0,6398	0,12	25048595 - 86991555
2"	$y = 0,2571x^{0,5248}$	0,9867	0,5248	0,34	19221327 - 53369216

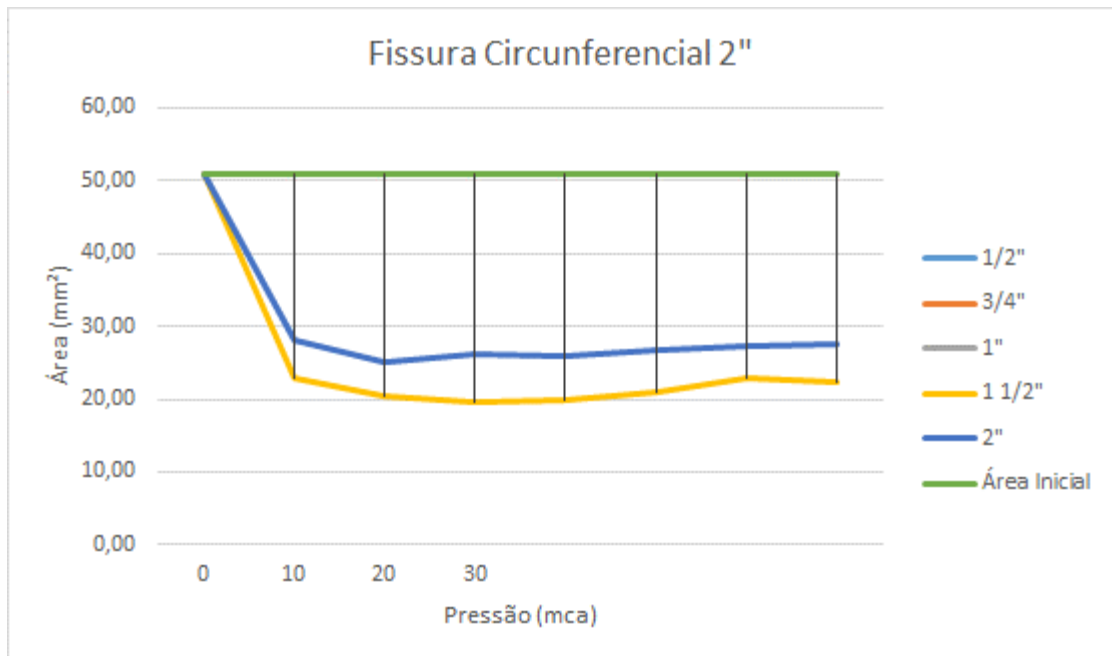


Figura 60–Relação área x pressão para FC 2"

6 DISCUSSÃO

Para todas as dimensões de fratura testadas foi possível verificar o aumento da vazão de vazamento em função do aumento da fratura e da variação de pressão, conforme mostrado nas Figuras 61, 62 e 63.

Para cada tipo e tamanho de abertura de vazamento testado, independente do diâmetro do tubo, houve uma descarga de vazamento de mesma ordem de grandeza, conforme representado nas Figuras 61, 62 e 63 por grupos de linhas de mesma cor.

Entretanto, para as fissuras longitudinais e circunferenciais, nas aberturas de mesma dimensão houve variação na vazão de descarga em função do diâmetro do tubo testado. Esta variação pode estar diretamente ligada às diferentes espessuras dos tubos escolhidos devido à influência das tensões nas paredes destes.

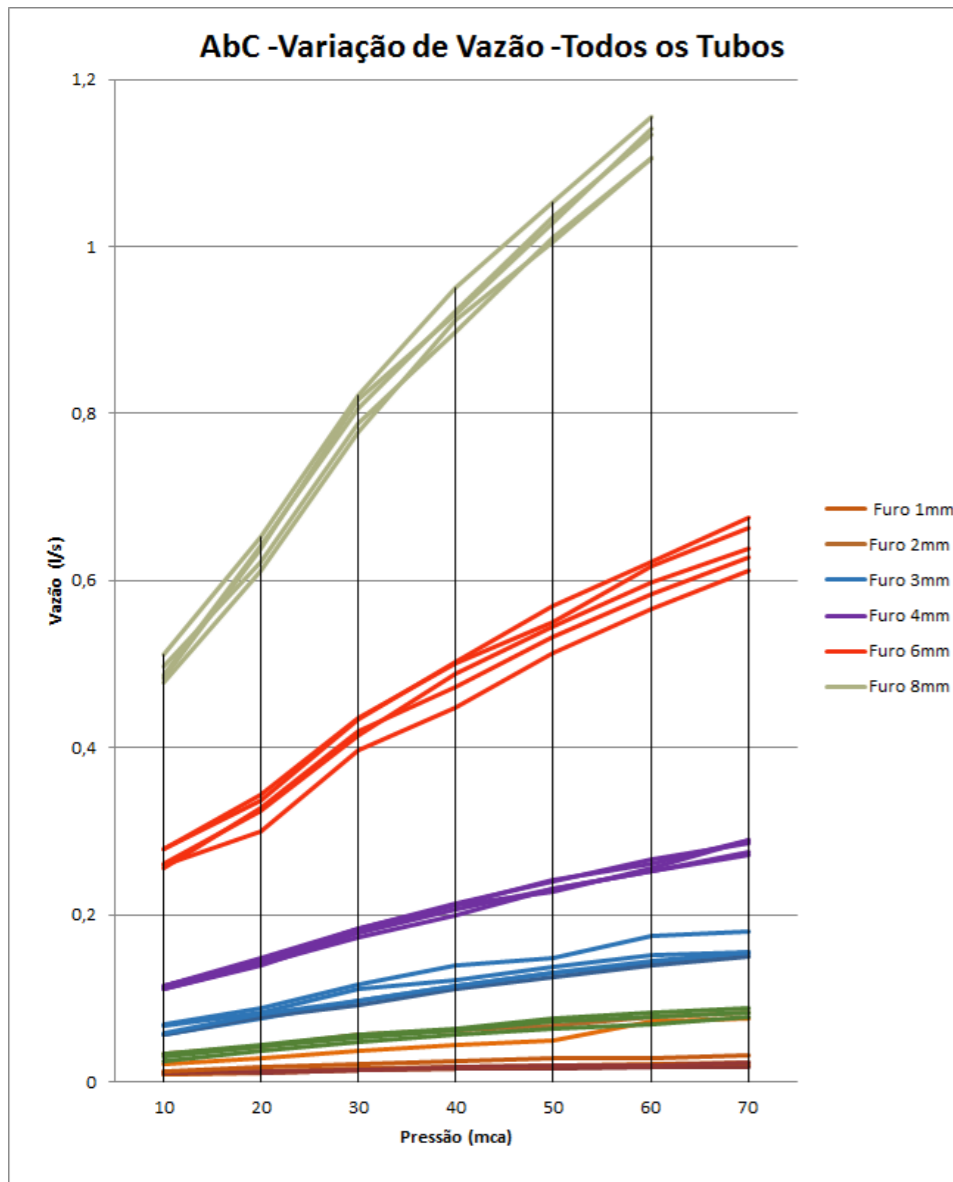


Figura 61—Comparação das aberturas circulares para todos os diâmetros de tubos testados

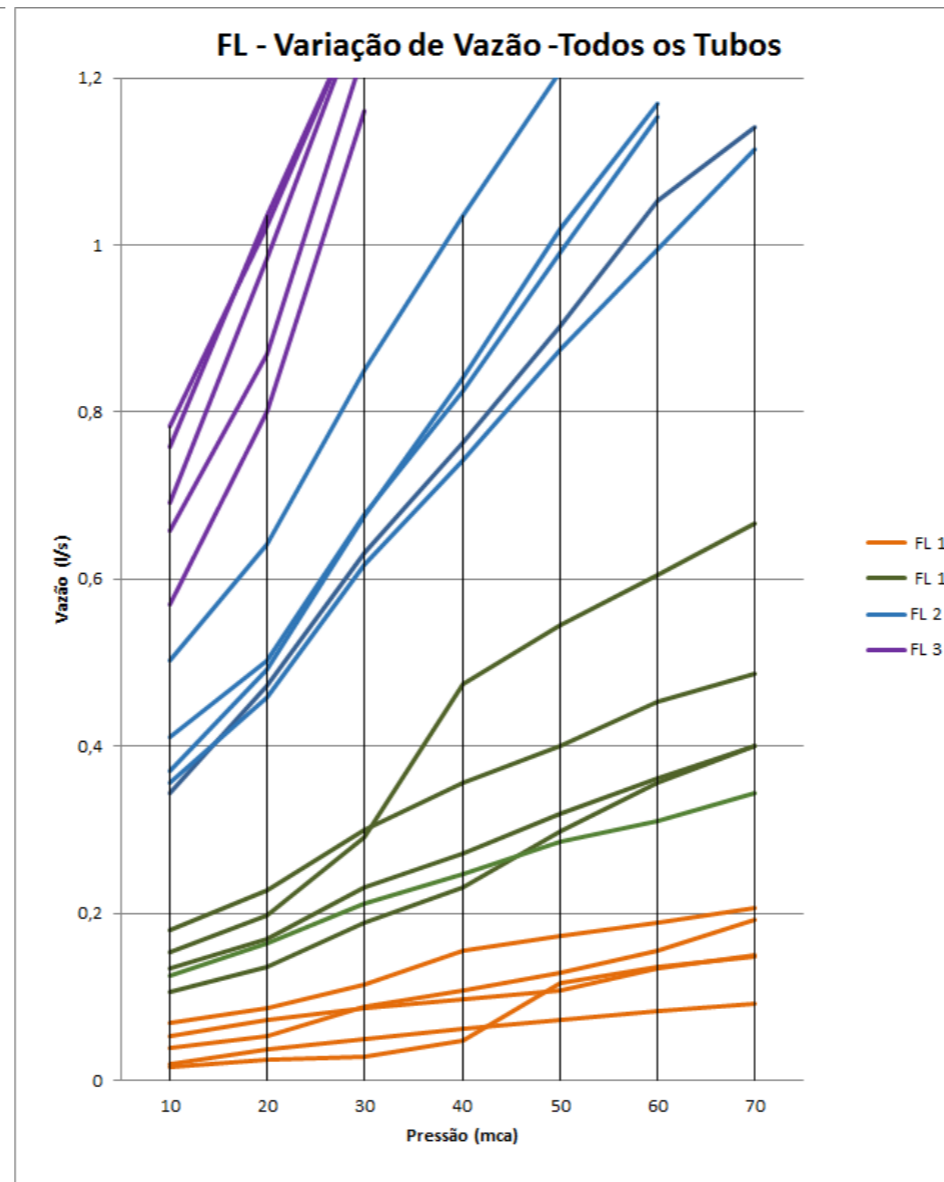


Figura 62—Comparação das fissuras longitudinais para todos os diâmetros de tubos testados

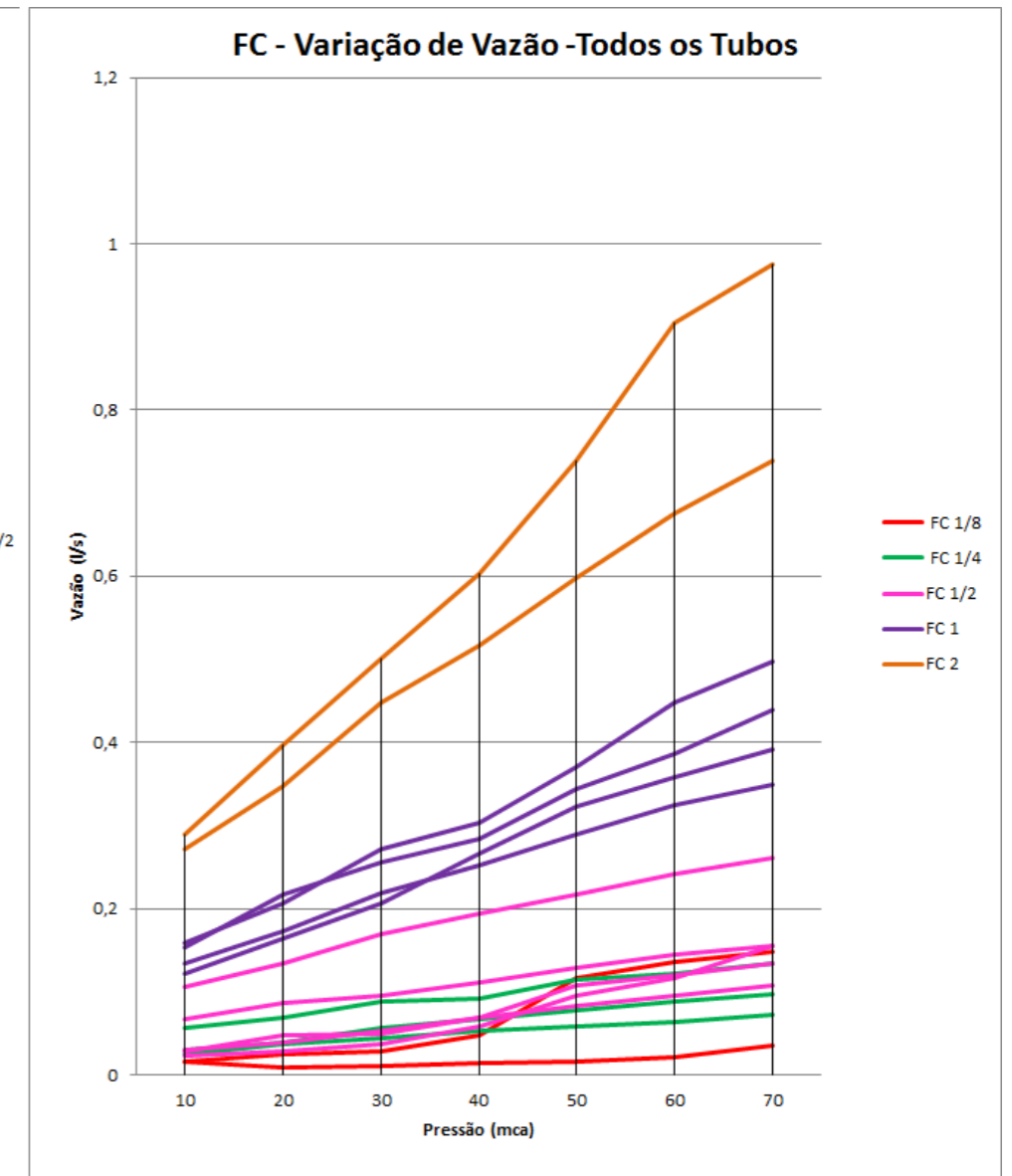


Figura 63—Comparação das fissuras circunferenciais para todos os diâmetros de tubos testados

6.1. Expoentes de Descarga (N1)

Os resultados obtidos para o expoente de descarga N1 das aberturas circulares encontram-se em conformidade com expoente teórico determinado para orifícios que é de 0,5, conforme Figura 64 e Tabela 22.

Para as fissuras longitudinais os valores encontrados para o expoente N1, em sua maioria, encontravam-se acima do valor estabelecido para os orifícios. Entretanto, a medida que o comprimento da fissura longitudinal foi sendo incrementado os valores médios de N1 foram diminuindo tendendo a aproximar-se do valor do expoente para os orifícios, conforme Figura 65 e Tabela 23.

Para as fissuras longitudinais os valores encontrados para o expoente N1, em sua maioria, encontravam-se próximos ao valor estabelecido para os orifícios, não sofrendo alterações significativas com aumento do comprimento da fissura, conforme Figura 66 e Tabela 24.

Tabela 22 – AbC – Evolução N1 médio

Ø AbC	N1
1mm	0,4086
2mm	0,5570
3mm	0,5063
4mm	0,4797
5mm	0,4728
6mm	0,4716
8mm	0,4647

Tabela 23 – FL – Evolução N1 médio

FL	N1
1/2"	0,79
1"	0,64
2"	0,61
3"	0,53

Tabela 24 – FC – Evolução N1 médio

FC	N1
1/8"	0,47
1/4"	0,54
1/2"	0,69
1"	0,56
2"	0,58

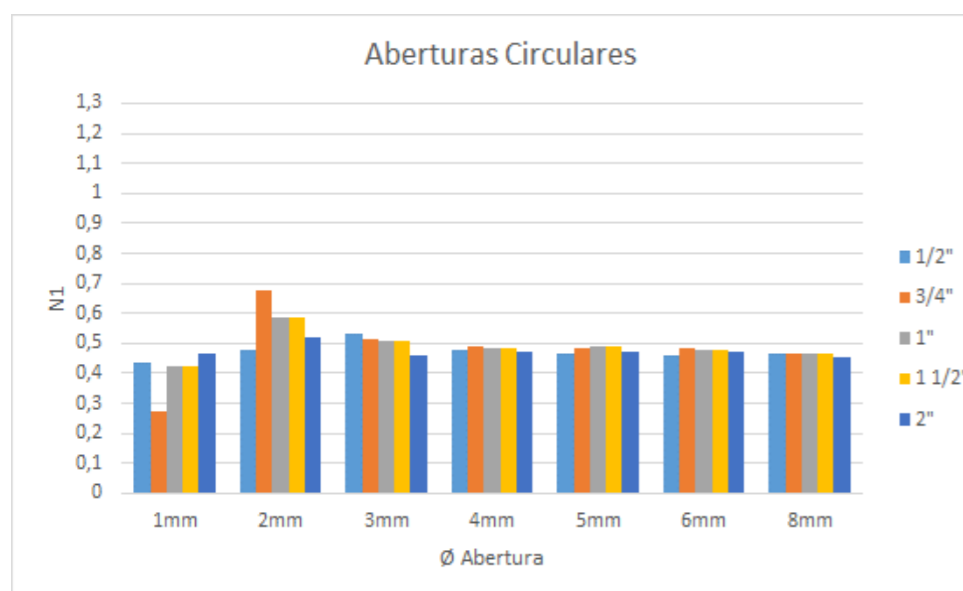


Figura 64–N1 das aberturas circulares para todos os diâmetros de tubos testados

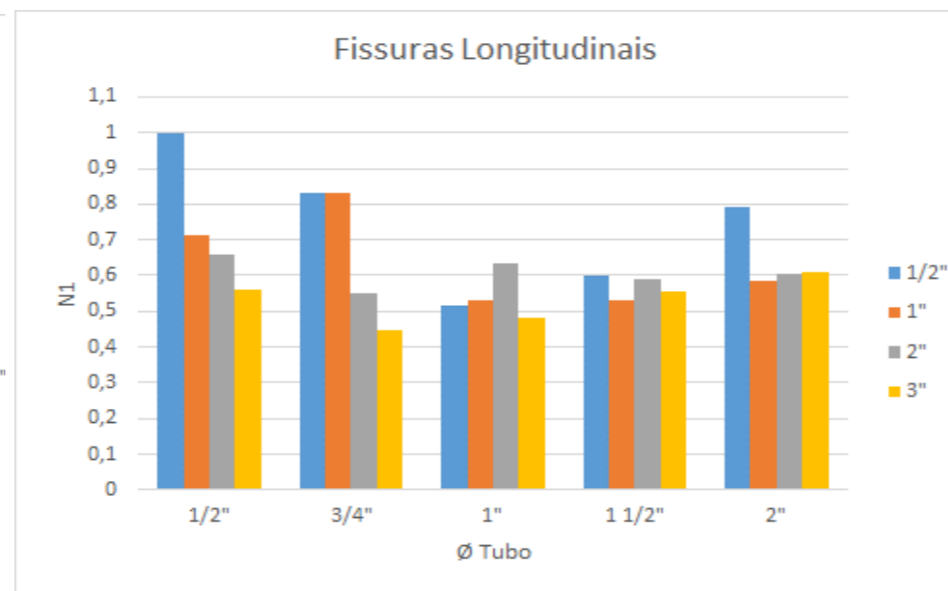


Figura 65–N1 das fissuras longitudinais para todos os diâmetros de tubos testados

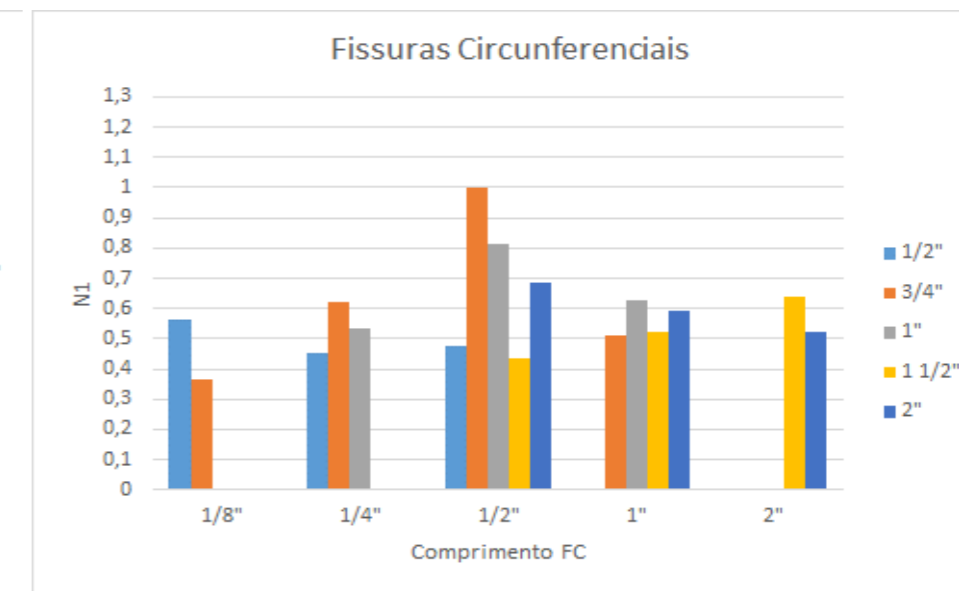


Figura 66–N1 das fissuras circunferenciais para todos os diâmetros de tubos testados

Dentre bibliografia consultada não foi encontrado referencial teórico de valores de N1 para aberturas de vazamento do tipo fissuras, ao contrário do que ocorre com as aberturas circulares. Assim, comparativamente ao referencial teórico, a Figura 67 mostra que todos os resultados de N1 encontrados para aberturas circulares em tubos de PVC foram da mesma ordem de grandeza dos valores encontrados nos estudos previamente realizados por outros pesquisadores. Nesta pesquisa, a espessura da parede dos tubos estava entre 3 e 4,5 mm enquanto que os referenciais comparativos utilizaram tubos com paredes de 3 e 4 mm. Entretanto, não foi identificada influência significativa no valor de N1 da variação da elasticidade derivada da variação da espessura da parede dos tubos testados

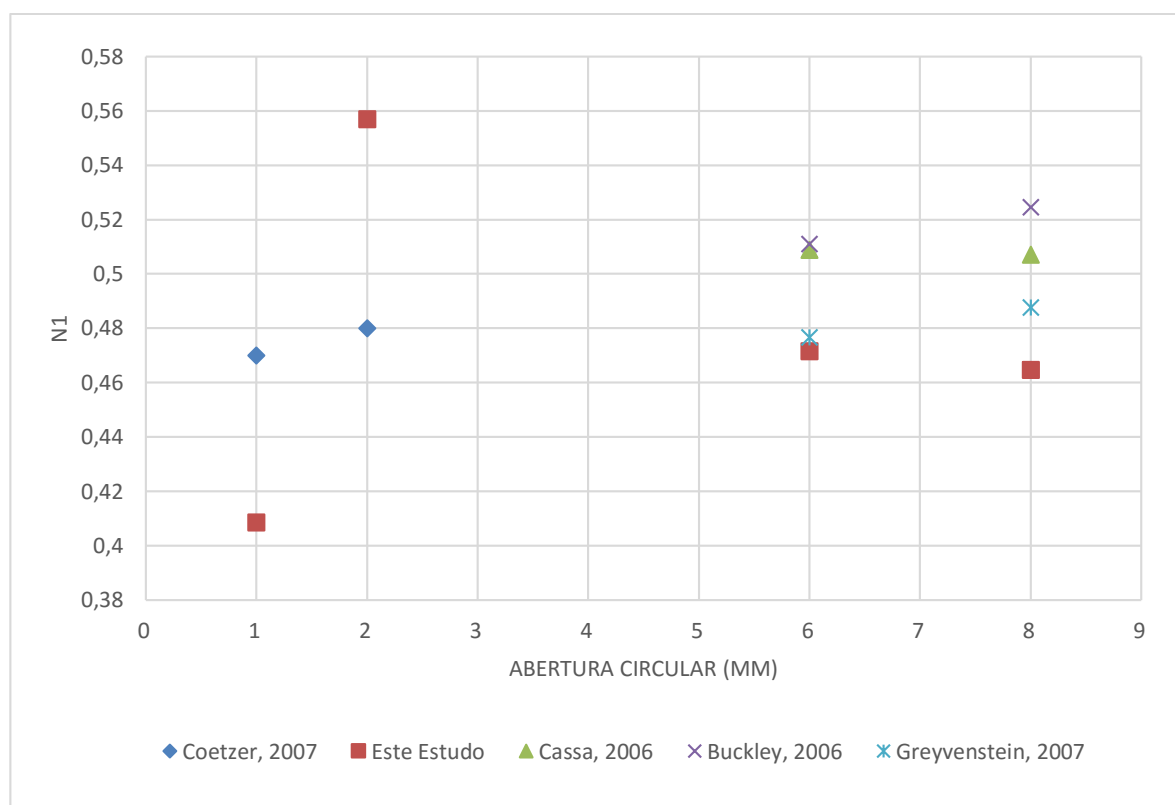


Figura 67– AbC - Comparação com o referencial teórico

6.2. Coeficiente de Descarga (Cd)

Conforme demonstrado pelos gráficos de variação de área, apresentados no item resultados, todas as aberturas de vazamento sofreram alterações de área durante os testes. Apesar disso, estas deformações não se mostraram permanentes. Em inspeção posterior aos testes verificou-se que as dimensões da fissura permaneceram as mesmas do início dos testes.

Para as aberturas circulares os valores encontrados para o coeficiente de descarga C_d aproximaram-se bastante do valor frequentemente adotado para cálculo de perdas. Assim, este resultado indica pouca variação na área da abertura de vazamento em relação às variações de pressão.

Entretanto, para abertura circular de 1mm de diâmetro foram encontrados os maiores valores de C_d , bem superiores ao valor comumente adotado, Figura 68. Isso pode ter ocorrido devido à concentração do jato d'água em uma área muito pequena, mesmo princípio utilizado em equipamentos de corte a jato de água. Assim, a redução da área promoveu uma concentração do jato fazendo com que houvesse um aumento da velocidade pela redução do efeito das perdas de carga na seção da fratura. Outra hipótese para os altos valores encontrados para a abertura circular de 1mm de diâmetro pode estar relacionada ao aumento da imprecisão de medição para vazamentos com baixas vazões e ou velocidades, como ocorre neste caso.

Para aberturas circulares a influência do expoente N_1 demonstrou-se menos significativa do que a do coeficiente C_d , na magnitude da vazão de vazamento. Foi também verificado que o valor N_1 independe do tamanho de fratura. Assim a influência da pressão é mais significativa para abertura de vazamento de maior C_d .

Para as fissuras longitudinais e circunferenciais, as variações de área encontradas indicam, em sua maioria, contração das fissuras, ou seja, redução de sua seção, conforme Figuras 44, 46,48, 52, 54, 56 e 58. Esta contração das áreas pode ser facilmente justificada pelos baixos valores do coeficiente C_d encontrados, conforme Figuras 69 e 70 e Tabelas 26 e 27. Esta variação da área indicada pela variação do coeficiente C_d demonstra a contração do jato ao passar pela fissura.

Para as fissuras longitudinais o coeficiente C_d tende a aumentar de valor com o aumento do comprimento da fissura.

Para as fissuras circunferenciais a maioria dos valores médios do coeficiente C_d não sofreram alteração significativa com o aumento do comprimento da fissura.

Tabela 25 – AbC – Evolução Cd médio

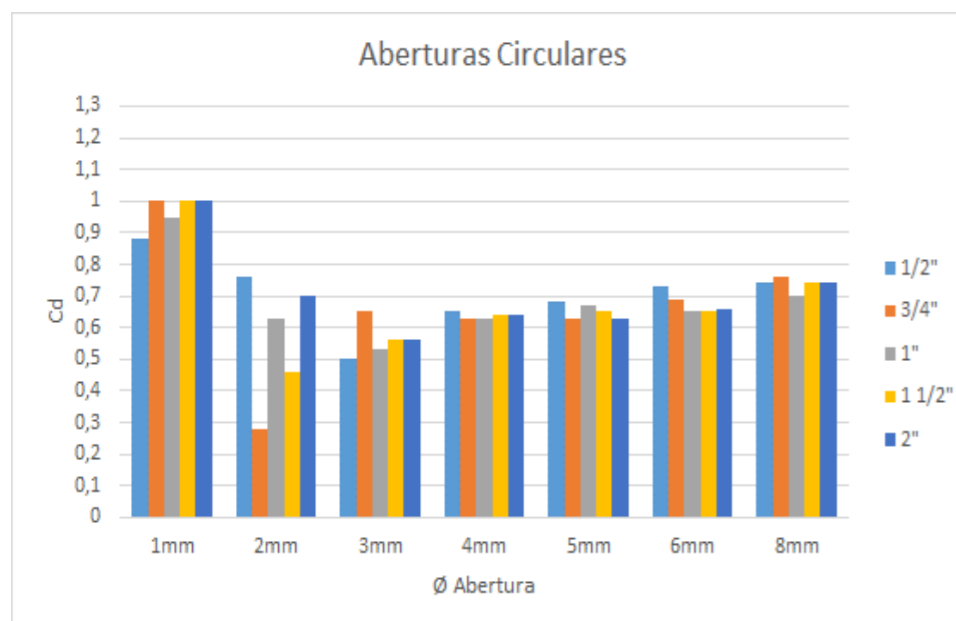
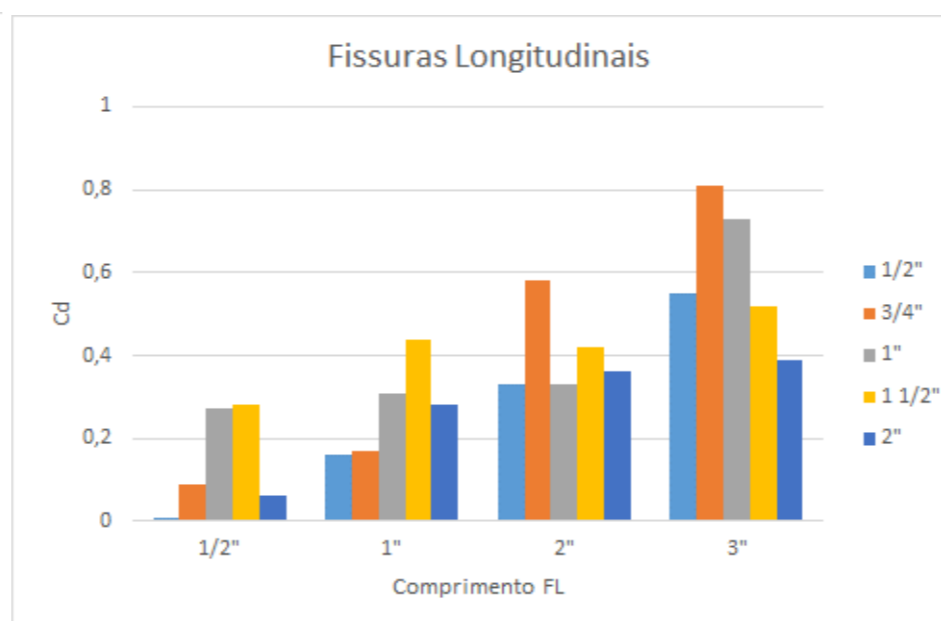
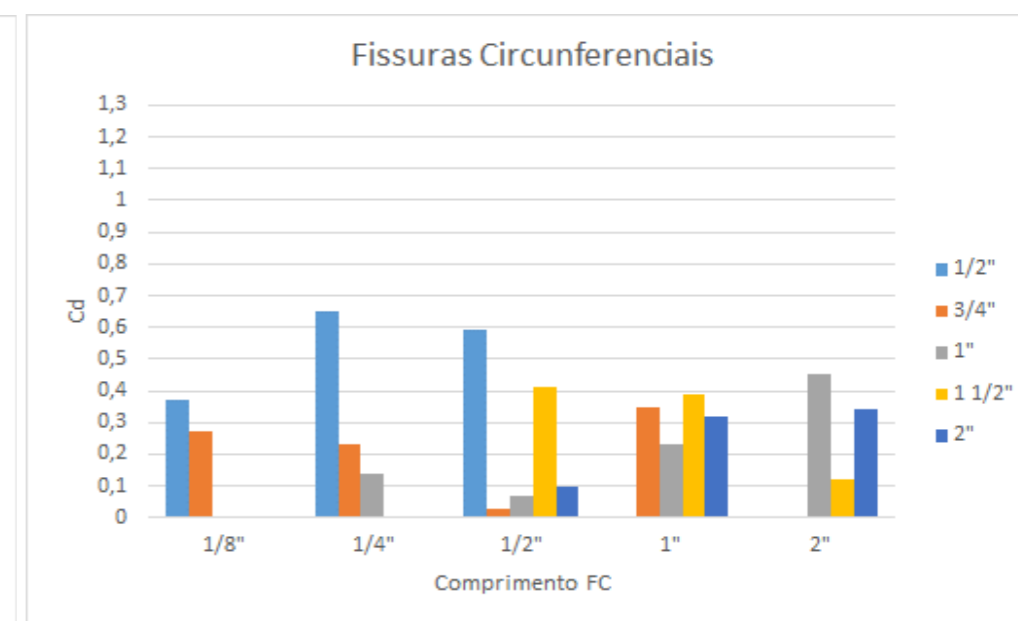
Ø AbC	Cd
1mm	0,97
2mm	0,57
3mm	0,56
4mm	0,64
5mm	0,65
6mm	0,674
8mm	0,736

Tabela 26 – FL – Evolução Cd médio

FL	Cd
1/2"	0,14
1"	0,27
2"	0,33
3"	0,60

Tabela 27 – FC – Evolução Cd médio

FC	Cd
1/8"	0,32
1/4"	0,34
1/2"	0,24
1"	0,32
2"	0,30

**Figura 68**–Cd das aberturas circulares para todos os diâmetros de tubos testados**Figura 69**–Cd das fissuras longitudinais todos os diâmetros de tubos testados**Figura 70**–Cd das fissuras circunferenciais todos os diâmetros de tubos testados

Para as aberturas circunferenciais não foram encontradas variações significativas nos valores de C_d devido a alterações no número de Reynolds, devido ao escoamento ocorrer preponderantemente no regime turbulento. As alterações nos valores de C_d foram identificadas apenas na zona de transição de regime de escoamento, como pode ser visto na Figura 71.

Para as fissuras longitudinais foram encontradas variações significativas nos valores de C_d em relação às alterações no número de Reynolds para o escoamento turbulento. Assim para este tipo de abertura o valor do C_d situa-se abaixo de 0,9 variando de forma decrescente em relação ao número de Reynolds, conforme Figura 72.

Para as fissuras circunferências foram encontradas variações significativas nos valores de C_d em relação às alterações no número de Reynolds para o escoamento turbulento. Assim para as fissuras circunferenciais o valor do C_d situa-se abaixo de 0,7 variando de forma decrescente em relação ao número de Reynolds, conforme Figura 73.

Desta forma, para as fissuras longitudinais e circunferenciais incrementos no número de Reynolds geram decrementos no valor de C_d no regime turbulento demonstrando a sensibilidade deste tipo de vazamento a alterações da pressão. Assim, este tipo de vazamento não poderia ser modelado com um coeficiente de descarga fixo.

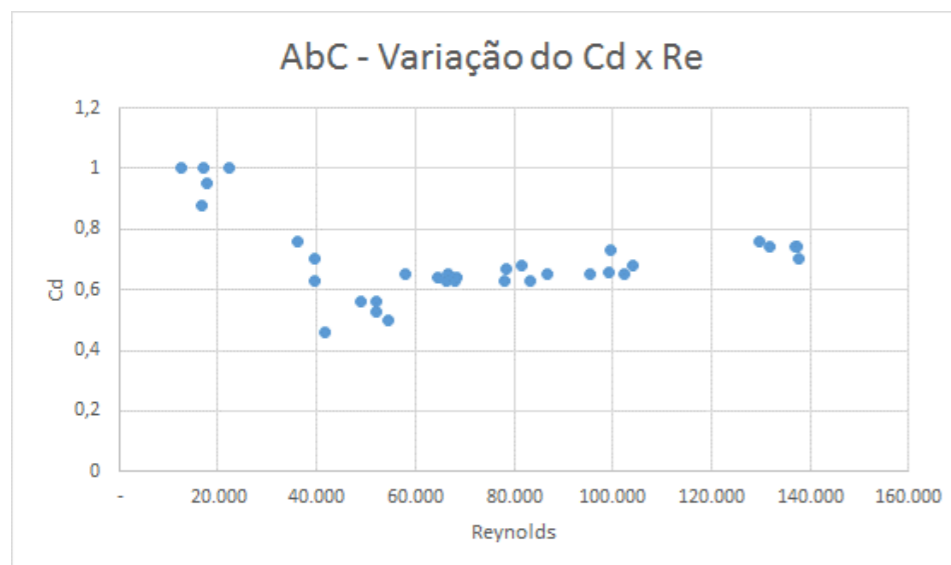


Figura 71–Fratura Circulares – Variação do Cd x Re

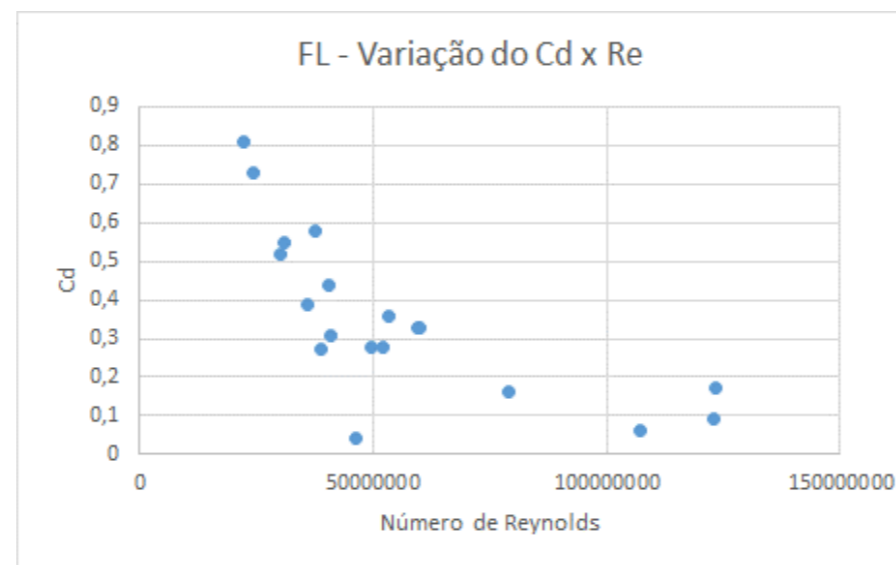


Figura 72– Fissuras Longitudinais – Variação do Cd x Re

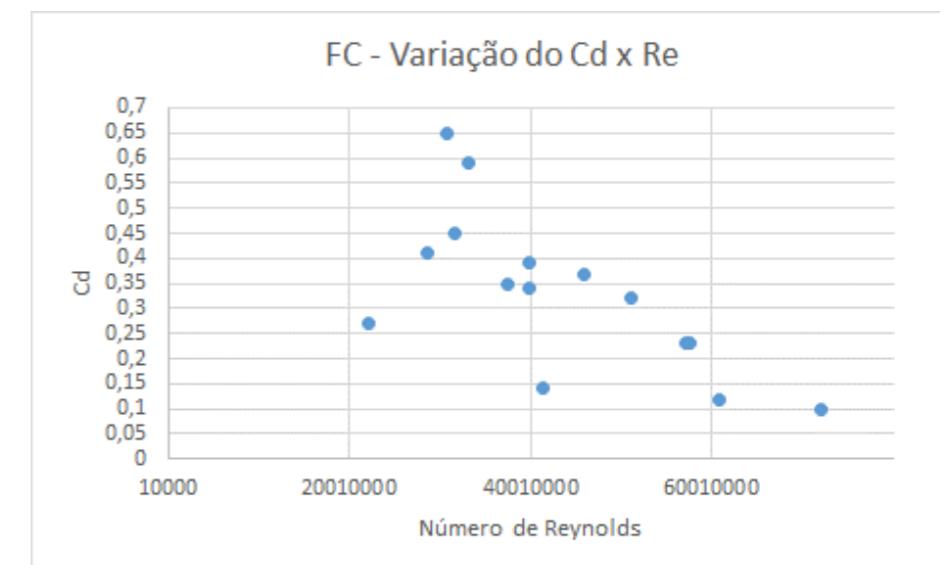


Figura 73– Fissuras Circunferenciais – Variação do Cd x Re

6.3 Coeficiente de Descarga Global (Kf)

O coeficiente de descarga global demonstrado na Figura 74 foi obtido a partir dos gráficos pressão *versus* vazão elaborado para cada tipo de fratura após os testes de laboratório, apresentados no item resultados.

O gráfico da Figura 74 demonstra que para todos os tipos de fraturas ensaiadas, incrementos no coeficiente de descarga global (Kf) representam incrementos na vazão de vazamento.

Para um mesmo valor de coeficiente de descarga global as fissuras longitudinais e circunferenciais tendem a atingir a mesma vazão de vazamento de uma fratura circunferencial com aproximadamente a metade do raio hidráulico desta.

Assim, para uma mesma variação de pressão as fissuras longitudinais e circunferenciais, em função da forma da fratura, tendem a apresentar maiores vazões de vazamento para o mesmo raio hidráulico quando comparadas às fraturas circulares.

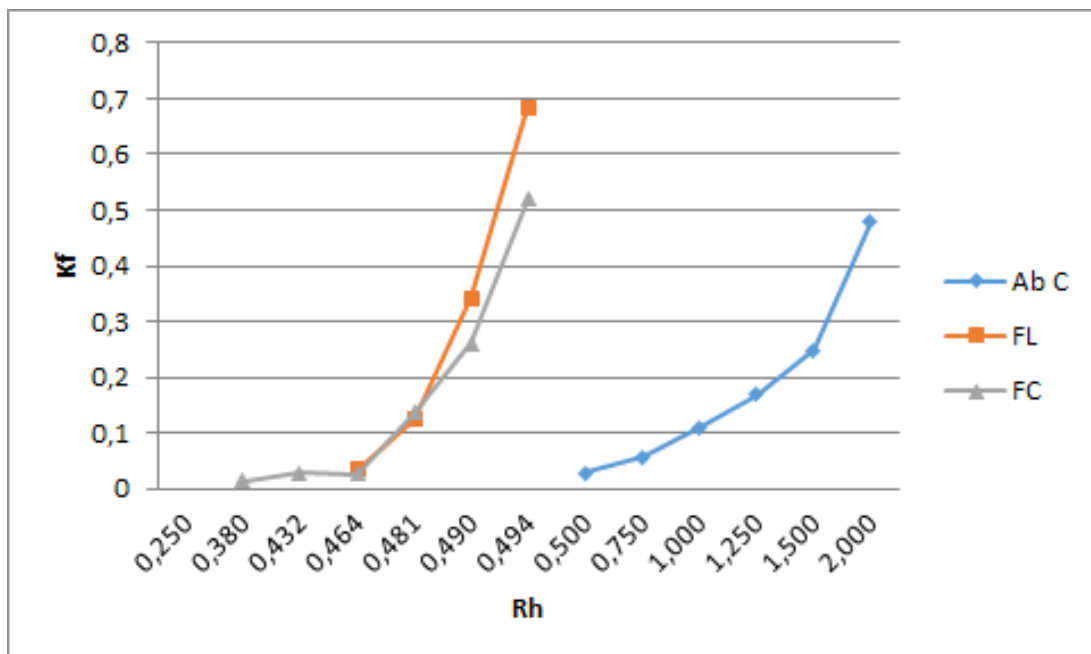


Figura 74– Coeficiente de descarga global para todas as aberturas de vazamento

7 CONCLUSÕES

Em todos os tubos testados e para todas as aberturas analisadas a vazão de vazamento aumentou com o aumento do tamanho da fratura e com o aumento da pressão.

Independente da forma da fratura, a redução da pressão impacta necessariamente na redução da vazão de vazamento, entretanto a necessidade de reparo dos vazamentos ainda persiste.

Em todos os testes realizados verificou-se que independentemente do tipo e dimensão da fratura estudada o escoamento ocorreu predominantemente no regime turbulento.

No decorrer da análise dos resultados verificou-se que as áreas das fraturas dos tubos ensaiados e dos diversos estudos disponíveis não eram coincidentes, o que tornou difícil a comparação dos resultados especialmente para as fissuras longitudinais e circunferenciais.

É importante ressaltar que nos diversos estudos existentes as características dos materiais não são necessariamente as mesmas, o que também pode interferir nos resultados. Dentre estas características estão a espessura da parede e características próprias do material como no caso do uPVC que é um material mais rígido quando comparado ao PVC comum.

Na investigação da variação dos valores do expoente de descarga $N1$ foi possível verificar, que independente do diâmetro da abertura circular, os valores $N1$ encontram-se sempre próximos ao coeficiente teórico de 0,5 para orifícios. O que não acontece para as fissuras longitudinais e circunferenciais que apresentaram valores superiores em relação ao adotado para orifícios, Figura 75.

Estas ocorrências podem ser justificadas pela variação da espessura da parede dos tubos testados. A parede do tubo com espessura menor pode apresentar uma maior elasticidade gerando uma maior deformação da abertura refletindo nos elevados valores de $N1$ encontrados.

Diante dos valores de $N1$ encontrados para as fissuras em relação às aberturas circulares podemos concluir que as fissuras têm maior tendência à deformação do que as aberturas circulares. Assim as aberturas circulares têm comportamento mais estável em relação as fissuras.

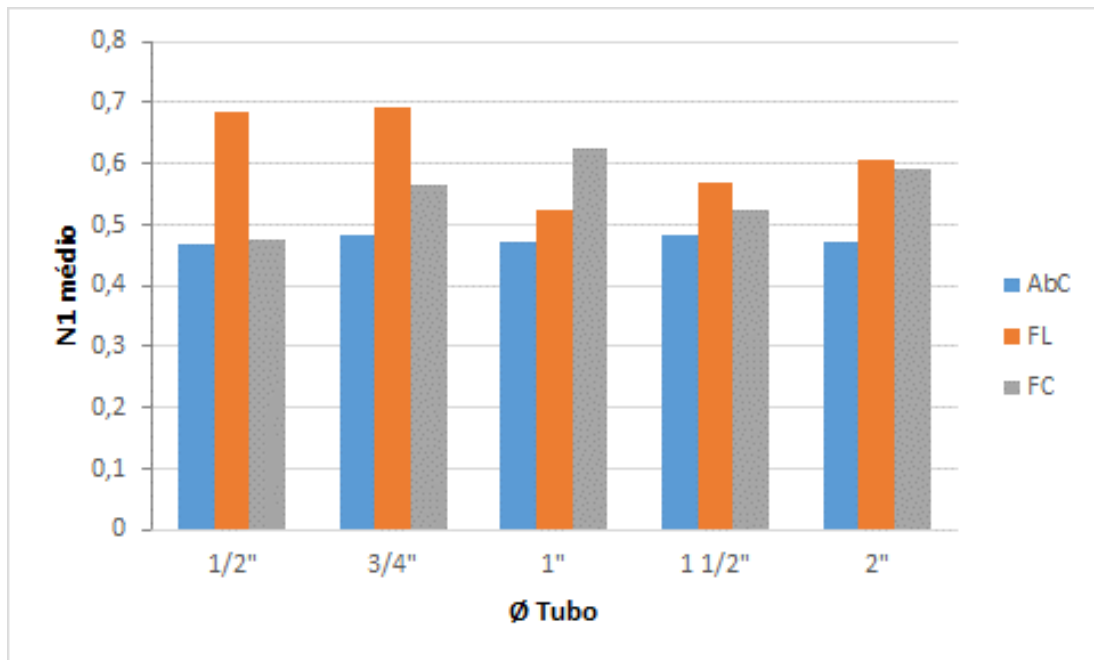


Figura 75– Resumo N1 médio para as aberturas testadas

Segundo GREYVENSTEIN (2007b), para valores de N1 superiores a 0,5 a fratura sofre uma expansão e quando estes valores são inferiores a 0,5 a fratura sofre uma contração. De mesma forma, na maior parte das fissuras analisadas houve a contração da área e o expoente vazamento encontrado superior a 0,5.

Ainda segundo GREYVENSTEIN (2007b), possivelmente as tensões circunferenciais atuantes nas fissuras foram substancialmente maiores do que as tensões longitudinais o que justifica uma maior expansão evidenciada pelos valores de N1 nas fissuras longitudinais.

É importante ressaltar que o tamanho da abertura não influenciou significativamente o valor N1.

Apesar da expansão das fissuras evidenciada pelo expoente N1 houve contração do jato que passa pela abertura. Isto pode ser verificado pelos valores do coeficiente de descarga Cd, conforme Figura 76, encontrado para as fissuras circunferenciais e longitudinais que se apresentam predominantemente abaixo do valor geralmente adotado que é de 0,62, indicando que houve uma contração do jato para estes tipos de aberturas.

Verificou-se que para as fissuras longitudinais e circunferenciais incrementos no número de Reynolds geram decrementos no valor de Cd no regime turbulento demonstrando a

sensibilidade deste tipo de vazamento a alterações na pressão. Sendo assim, este tipo de vazamento não poderia ser modelado com um coeficiente de descarga fixo.

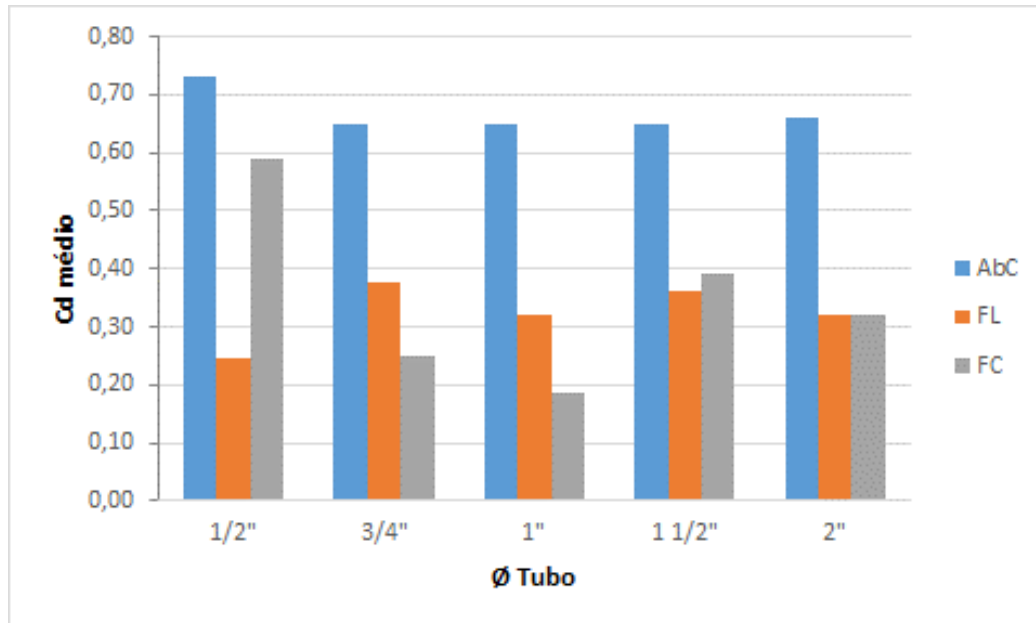


Figura 76 – Resumo Cd médio para as aberturas testadas

Quando analisados conjuntamente os resultados obtidos para o expoente de descarga N_1 e para o coeficiente de descarga C_d , conforme Figuras 76 e 77, foi possível verificar que há uma tendência de complementação destes valores adimensionais para todos os tipos de fraturas testadas. Ou seja, quando o expoente N_1 tem o valor reduzido o coeficiente C_d tem o valor aumentado mantendo uma relação de equilíbrio. Conforme descrito por THORNTON (2008), diferentes tipos de vazamento podem apresentar diferentes relações com a pressão. Podemos inferir que a relação entre estes parâmetros se desloca para manter o equilíbrio descrito pela equação da continuidade do escoamento.

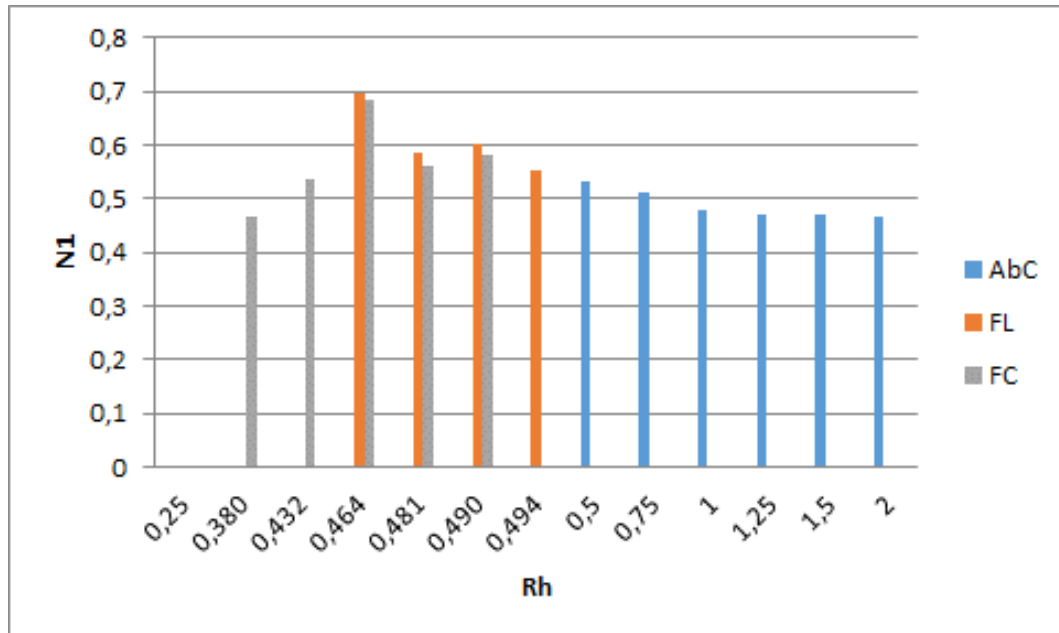


Figura 77 – Resumo N1 médio para as aberturas testadas – Variação do N1 x Rh

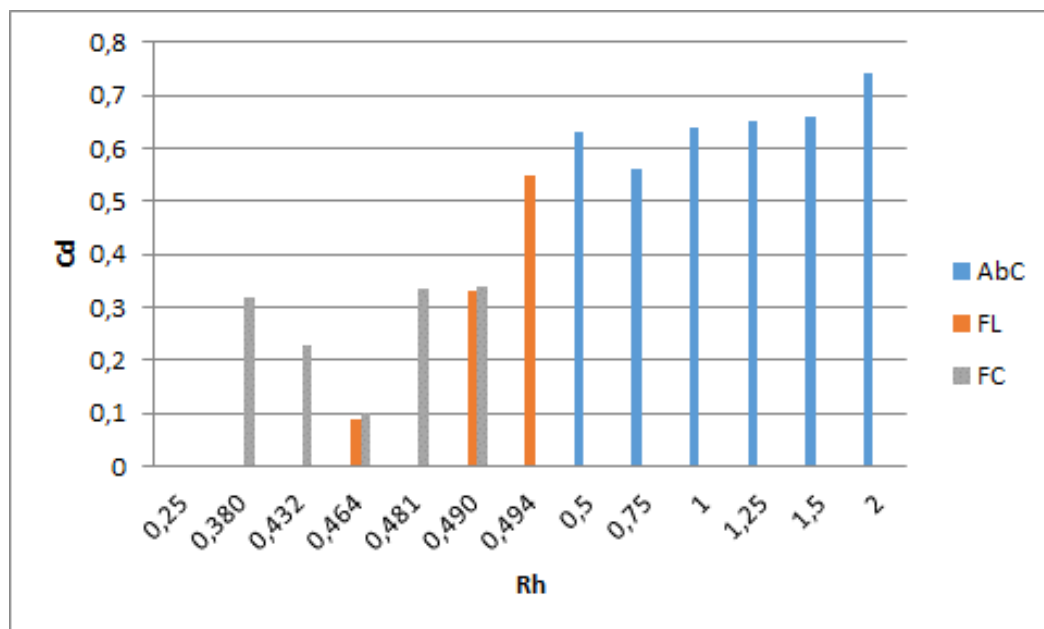


Figura 78 – Resumo N1 médio para as aberturas testadas – Variação do N1 x Rh

As perdas físicas em sistemas de abastecimento de água envolvem diversos fatores que devem ser estudados e corretamente compreendidos para que a busca das reduções dessas perdas seja efetiva.

8 RECOMENDAÇÕES

Nesta mesma linha de estudo, sugere-se para continuidade da pesquisa:

- A adoção de fraturas com dimensões coincidentes ou de mesmo raio hidráulico visando ampliar as possibilidades de comparação.
- Realização de várias séries de variação de pressão, dentro de um padrão previamente estabelecido, visando a análise do comportamento das fraturas ao longo do tempo.
- Simulação, paralelamente a realização dos testes em laboratório, em software de simulação de dinâmica dos fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics — CFD*) do comportamento das fraturas nas mesmas condições estabelecidas em laboratório, possibilitando a comparação destas simulações.

Outras investigações possíveis:

- Investigação estatística dos tipos mais frequentes de fraturas ocorridas em campo e as principais causas.
- Estudo das outras restrições impostas às fraturas e que interferem na vazão de vazamento, tais como as forças exercidas pelo solo e restrições ligadas ao tipo de ancoragem da tubulação.
- Investigação do comportamento de outros tipos de fratura, como a fissura transversal.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218 – Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994.

CASSA, A. M.; VAN ZYL, J. E. *Predicting the Leakage Exponents of Elastically Deforming Cracks in Pipes*. Artigo apresentado na 12^o International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Editora Elsevier, 2013.

FERRANTE, MARCO. *Experimental investigation of the effects of pipe material on the leak head-discharge Relationship*. Artigo publicado no Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Fevereiro, 2012.

GOMES, HEBER PIMENTEL. *Sistemas de Abastecimento de Água – Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias*. Ed Universitária UFPB, João Pessoa, 2006.

GOMES, H. P.; GARCÍA, R. P.; REY, P. L. I. *Abastecimento de Água – Estado da Arte e Técnicas Avançadas*. Ed Universitária UFPB, João Pessoa, 2007.

GREYVENSTEIN, B; VAN ZYL, J.E. *An experimental investigation into the pressure - Leakage relationship of some failed water pipes*. Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA, v 56, n 2, p 117-124, março, 2007.

GREYVENSTEIN, B. *An Experimental Investigation into the Pressure-leakage Relationship of Fractured Water Pipes*. Dissertação de Mestrado, 2007, 113p. Faculdade de Engenharia da Universidade de Joanesburgo, África do Sul.

HUBNER, Ricardo. *Medidas de Redução de Perdas de Água em Redes de Abastecimento*. SENAI, 3^o Edição, Blumenau, SC, 2011.

HELLER, L.; PÁDUA, W.L. *Abastecimento de água para o consumo humano*. Ed. UFMG, BH, 2006.

JACOB, A.C.G.L. *Avaliação de perdas em sistemas de distribuição de água*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade do Porto, Lisboa, 2006.

LAMBERT, A. *What do we know about Pressure: Leakage Relationships*. Artigo apresentado na Conferência da IWA. Brno, República do Czech, Maio 2001. IWA, ISBN 80-7204-197-5.

LAMBERT, A; FANTOZZI, M. *Recent Developments in Pressure Management*. Artigo site: <http://www.miya-water.com>, 2001, acesso em: 14/07/2014.

MUTIKANGA, H. E. *Water Loss Management Tools and Methods for Developing Countries*. Tese de Doutorado, 2012, 254p. Universidade de Tecnologia de Delft e Diretório Acadêmico do Instituto de Educação sobre Água da UNESCO-IHE, Delft, Holanda.

TISUTYA, Milton Tomoyuki. *Abastecimento de Água*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1º Edição, São Paulo, 2004.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. *Water Loss Control*. New York, McGraw-Hill International Editions, 2008. 632 p.

VAN ZYL, J. E.; CLAYTON, C. R. I. *The effect of pressure on leakage in water distribution systems*. Procedimento do Instituto de Engenharia Civil-Gestão de água –Código: PROC INST CIVIL ENG-WATER MAN 01/2007; pp. 109-114, 2007.

VAN ZYL, J. E.; CASSA, A. M. *Modeling Elastically Deforming Leaks in Water Distribution Pipes*. Artigo do Jornal de Engenharia Hidráulica da ASCE; pp. 182-189, 2014.

Sites:

<http://slideplayer.com.br/slide/2264423/>, Acesso em: 30/04/2015

APÊNDICE A

Neste apêndice são apresentados os resultados de todos os ensaios realizados em laboratório. Os resultados são apresentados por tipo de fratura, diâmetro do tubo testado e pela dimensão principal da fratura, nesta ordem.

Os resultados estão dispostos em gráficos (Vazão x Pressão) e em planilhas de cálculo conforme descrito na metodologia.

ÍNDICE DE FIGURAS DO APÊNDICE

FIGURA 1– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC 1MM	103
FIGURA 2– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC ABC 2MM	103
FIGURA 3– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC ABC 3MM	104
FIGURA 4– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC ABC 4MM	104
FIGURA 5– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC ABC 5MM	105
FIGURA 6– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC ABC 6MM	105
FIGURA 7– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" ABC 8MM	106
FIGURA 8– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 1MM	108
FIGURA 9– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 2MM	108
FIGURA 10– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 3MM	109
FIGURA 11– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 4MM	109
FIGURA 12– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 5MM	110
FIGURA 13– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 6MM	110
FIGURA 14– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" ABC 8MM	111
FIGURA 15– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 1MM	113
FIGURA 16– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 2MM	113
FIGURA 17– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 3MM	114
FIGURA 18– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 4MM	114
FIGURA 19– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 5MM	115
FIGURA 20– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 6MM	115
FIGURA 21– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" ABC 8MM	116
FIGURA 22– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 1MM	118
FIGURA 23– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 2MM	118
FIGURA 24– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 3MM	119
FIGURA 25– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 4MM	119
FIGURA 26– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 5MM	120
FIGURA 27– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 6MM	120
FIGURA 28– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" ABC 8MM	121
FIGURA 29– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 1MM	123
FIGURA 30– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 2MM	123
FIGURA 31– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 3MM	124
FIGURA 32– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 4MM	124
FIGURA 33– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 5MM	125
FIGURA 34– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 6MM	125
FIGURA 35– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" ABC 8MM	126
FIGURA 36– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FL 1/2"	128
FIGURA 37– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FL 1"	128
FIGURA 38– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FL 2"	129
FIGURA 39– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FL 3"	129
FIGURA 40– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FL 1/2"	131
FIGURA 41– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FL 1"	131
FIGURA 42– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FL 2"	132
FIGURA 43– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FL 1/2"	134
FIGURA 44– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FL 1"	134
FIGURA 45– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FL 2"	135
FIGURA 46– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FL 3"	135

FIGURA 47– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FL 1/2".....	137
FIGURA 48– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FL 1".....	137
FIGURA 49– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FL 2".....	138
FIGURA 50– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FL 3".....	138
FIGURA 51– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FL 1/2".....	140
FIGURA 52– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FL 1".....	140
FIGURA 53– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FL 2".....	141
FIGURA 54– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FL 3".....	141
FIGURA 55– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FC 1/8".....	143
FIGURA 56– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FC 1/4".....	143
FIGURA 57– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1/2" FC 1/2".....	144
FIGURA 58– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FC 1/8".....	146
FIGURA 59– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FC 1/4".....	146
FIGURA 60– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FC 1/2".....	147
FIGURA 61– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 3/4" FC 1".....	147
FIGURA 62– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FC 1/4".....	149
FIGURA 63– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FC 1/2".....	149
FIGURA 64– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1" FC 1".....	150
FIGURA 65– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FC 1/2".....	152
FIGURA 66– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FC 1".....	152
FIGURA 67– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 1 1/2" FC 2".....	153
FIGURA 68– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FC 1/2".....	154
FIGURA 69– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FC 1".....	154
FIGURA 70– VAZÃO X PRESSÃO PARA TUBO 2" FC 2".....	155

ÍNDICE DE TABELAS DO APÊNDICE

TABELA 1– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1/2"	107
TABELA 2– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 3/4"	112
TABELA 3– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1"	117
TABELA 4– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1 1/2"	122
TABELA 5– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 2"	127
TABELA 6– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1/2"	130
TABELA 7– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 3/4"	133
TABELA 8– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1"	136
TABELA 9– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1 1/2"	139
TABELA 10– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 2"	142
TABELA 11– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1/2"	145
TABELA 12– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 3/4"	148
TABELA 13– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1"	151
TABELA 14– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 1 1/2"	153
TABELA 15– PROCESSAMENTO DE DADOS TUBO 2"	155

A.1 Tubos Ø 1/2" AbC

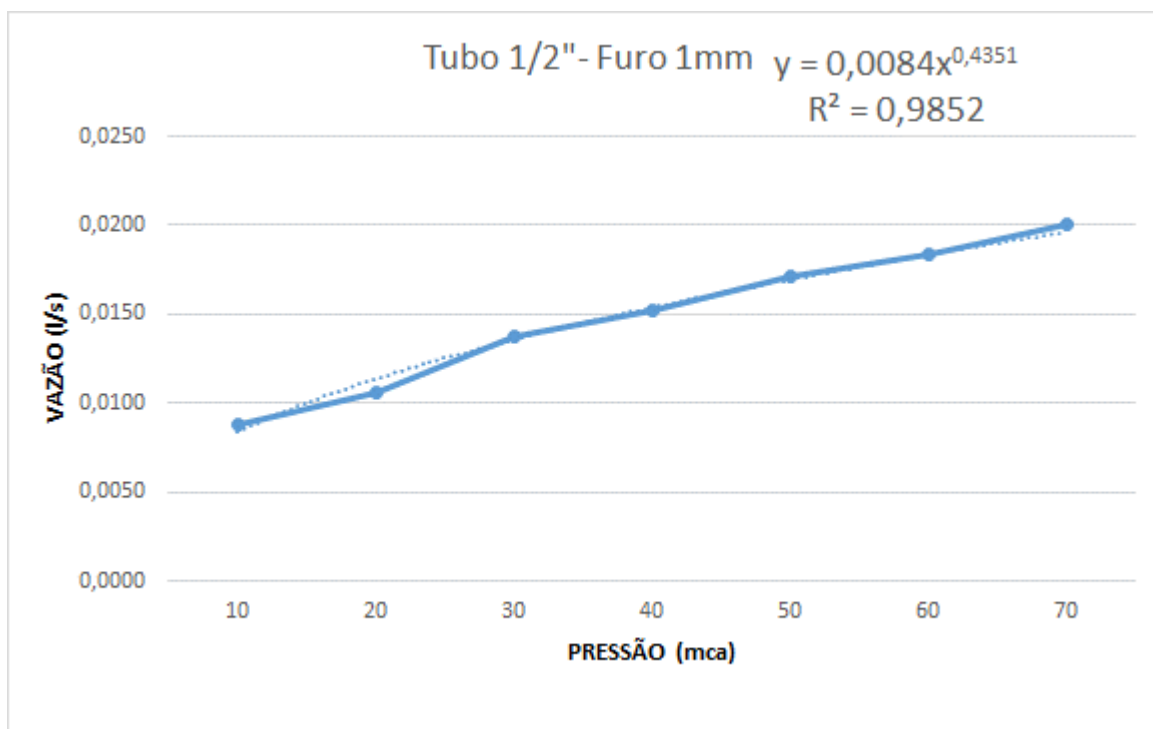


Figura 1– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC 1mm

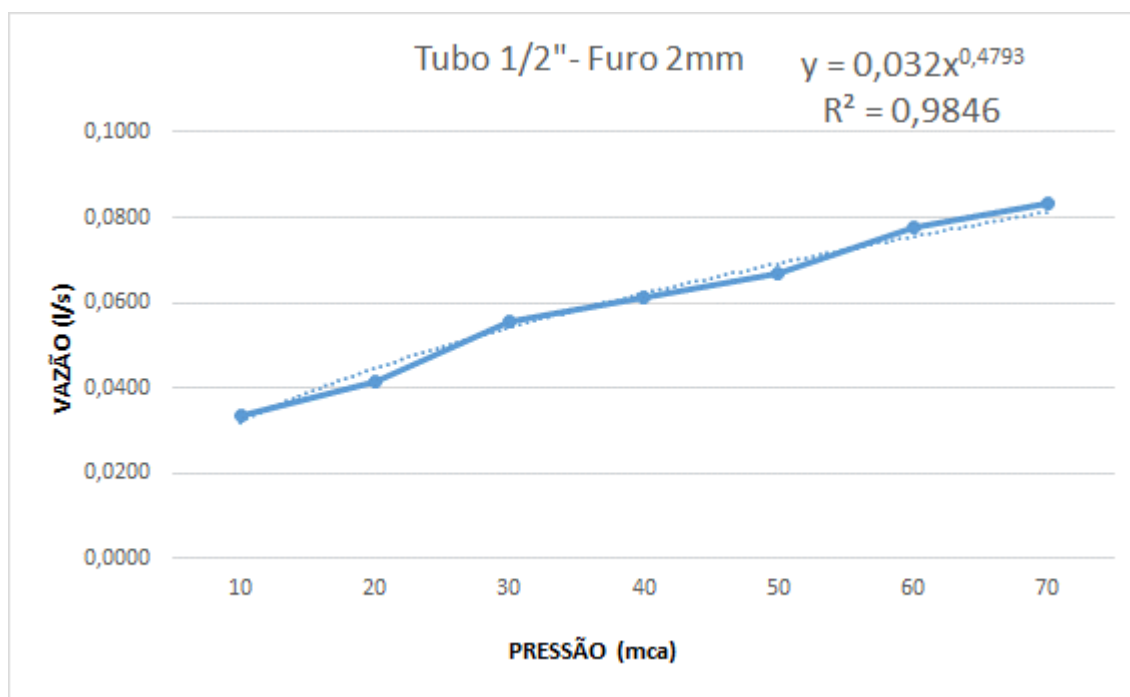


Figura 2– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC AbC 2mm

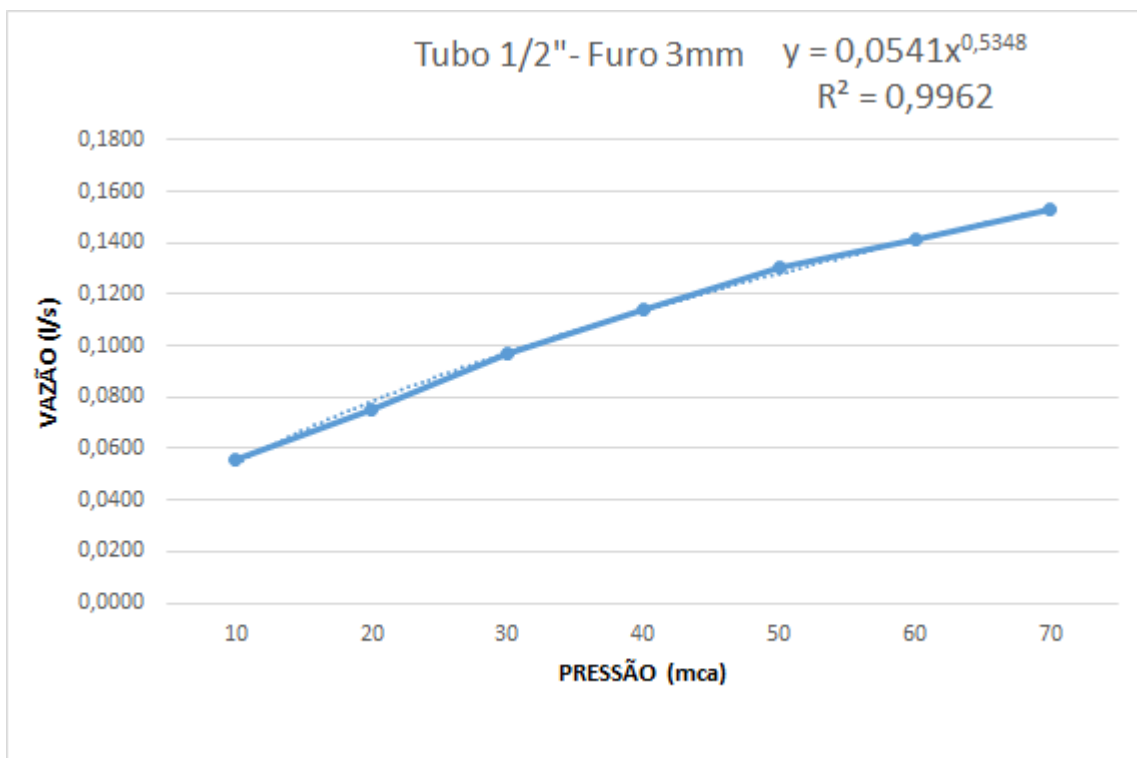


Figura 3– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC AbC 3mm

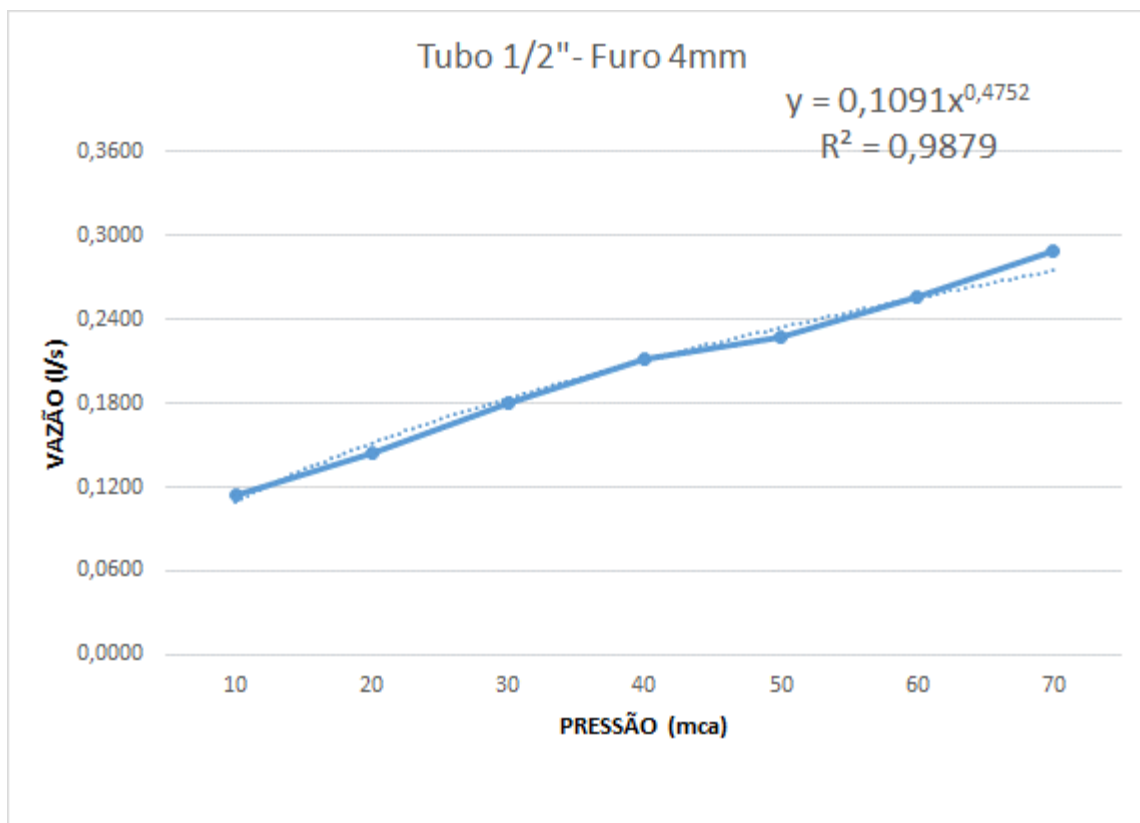


Figura 4– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC AbC 4mm

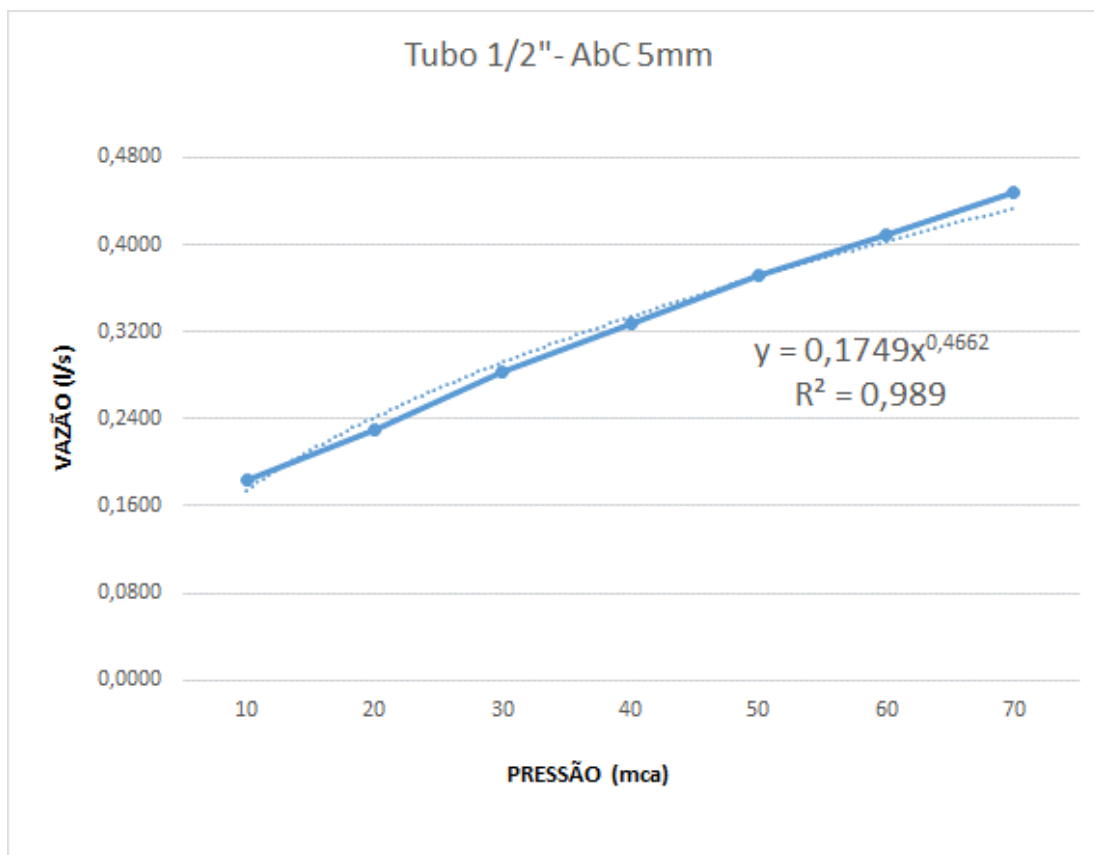


Figura 5– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC AbC 5mm

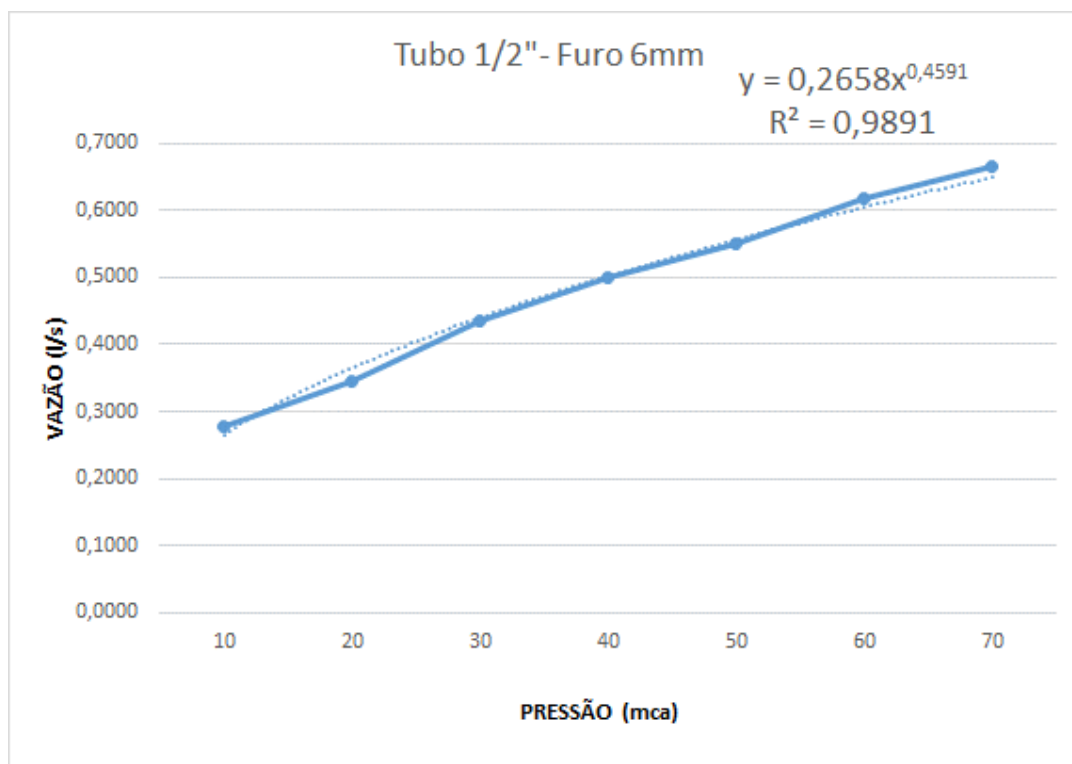


Figura 6– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC AbC 6mm

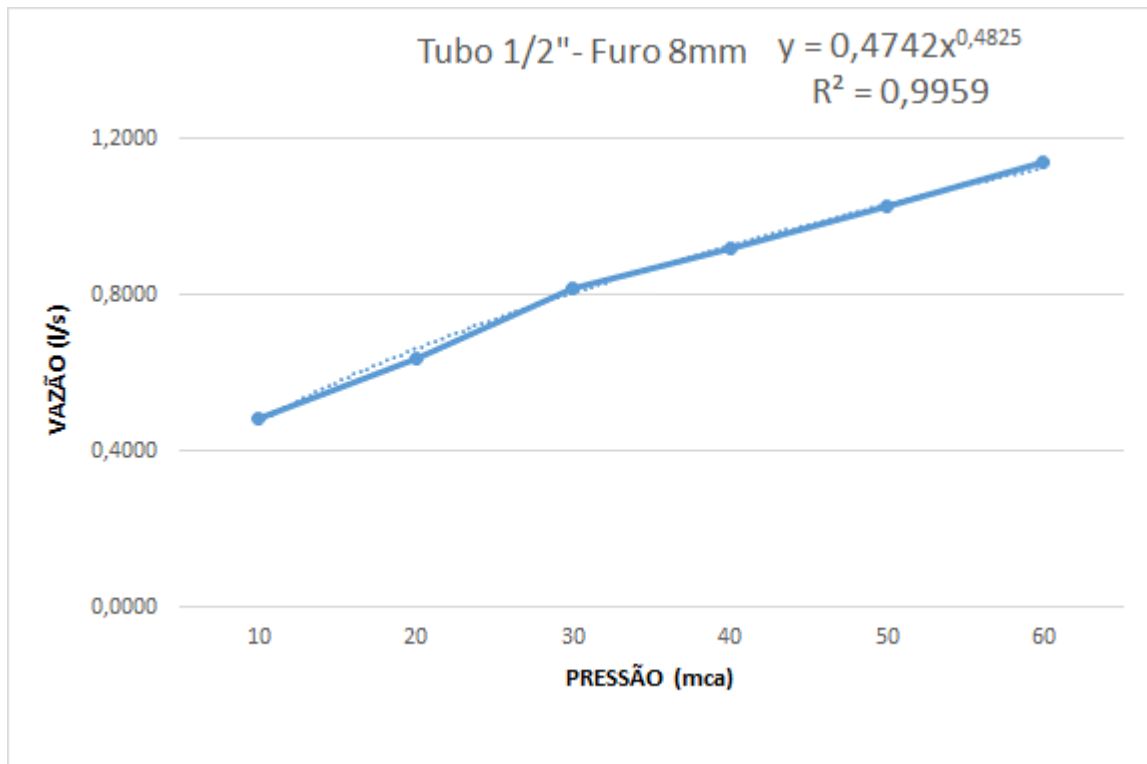


Figura 7– Vazão x pressão para tubo 1/2" AbC 8mm

Tabela 1– Processamento de dados tubo 1/2"

Ø Abc	Q(m ³)	H(m)	((2g) ^{0,5})H ^{N1}	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
1 mm	8,79121E-06	10	12,06	7,28784E-07	1,12121E-06	1,121206835	0,0012	0,0003	7,840845	9340,279
	1,05769E-05	20	16,31	6,48532E-07	9,97742E-07	0,997742189	0,0011	0,0003	10,60086	11912,54
	1,37288E-05	30	19,46	7,05648E-07	1,08561E-06	1,08561214	0,0012	0,0003	12,64615	14823,47
	1,51724E-05	40	22,05	6,88096E-07	1,05861E-06	1,058608845	0,0012	0,0003	14,33241	16589,8
	1,70833E-05	50	24,30	7,03074E-07	1,08165E-06	1,081652873	0,0012	0,0003	15,79373	18479,18
	1,84091E-05	60	26,30	6,99857E-07	1,0767E-06	1,076702881	0,0012	0,0003	17,09765	19958,99
	0,00002	70	28,13	7,11014E-07	1,09387E-06	1,093868158	0,0012	0,0003	18,28374	21513,03
2mm	3,33333E-05	10	13,36	2,49591E-06	3,83986E-06	3,839864392	0,0022	0,0006	8,680862	19137,05
	4,16667E-05	20	18,62	2,23798E-06	3,44304E-06	3,443041229	0,0021	0,0005	12,1017	25262,24
	5,55556E-05	30	22,61	2,45694E-06	3,7799E-06	3,779900948	0,0022	0,0005	14,69762	32147,07
	6,11111E-05	40	25,95	2,35453E-06	3,62235E-06	3,622346309	0,0021	0,0005	16,87059	36122,63
	6,66667E-05	50	28,88	2,30804E-06	3,55083E-06	3,550827377	0,0021	0,0005	18,77497	39801,38
	7,77778E-05	60	31,52	2,46739E-06	3,79599E-06	3,795987539	0,0022	0,0005	20,48947	44910,44
	8,33333E-05	70	33,94	2,45535E-06	3,77746E-06	3,777464618	0,0022	0,0005	22,06065	48236,15
3mm	5,55556E-05	10	15,18	3,66082E-06	5,63203E-06	5,632025814	0,0027	0,0007	9,864222	26335,97
	0,000075	20	21,99	3,41131E-06	5,24817E-06	5,248166002	0,0026	0,0006	14,29071	36830,84
	9,72222E-05	30	27,31	3,56001E-06	5,47694E-06	5,476943218	0,0026	0,0007	17,75118	46735,89
	0,000113889	40	31,85	3,57561E-06	5,50094E-06	5,500938814	0,0026	0,0007	20,70354	54628,22
	0,000130556	50	35,89	3,63778E-06	5,59659E-06	5,596588048	0,0027	0,0007	23,32771	62085,16
	0,000141667	60	39,56	3,58066E-06	5,50871E-06	5,50870516	0,0026	0,0007	25,71687	67904,26
	0,000152778	70	42,96	3,55592E-06	5,47065E-06	5,470649601	0,0026	0,0007	27,92681	73484,35
4mm	0,000113889	10	13,23	8,60859E-06	1,3244E-05	13,24397944	0,0041	0,0010	8,599295	35206,77
	0,000144444	20	18,39	7,8542E-06	1,20834E-05	12,08338271	0,0039	0,0010	11,95397	46747,75
	0,000180556	30	22,30	8,09717E-06	1,24572E-05	12,45718682	0,0040	0,0010	14,49409	57551,28
	0,000211111	40	25,57	8,25777E-06	1,27043E-05	12,7042586	0,0040	0,0010	16,61735	66633,18
	0,000227778	50	28,42	8,0133E-06	1,23282E-05	12,32815106	0,0040	0,0010	18,47623	72982,12
	0,000255556	60	31,00	8,24439E-06	1,26837E-05	12,68367175	0,0040	0,0010	20,14839	80726,65
	0,000288889	70	33,35	8,66145E-06	1,33253E-05	13,32531216	0,0041	0,0010	21,67971	89032,03
5mm	0,000183333	10	12,96	1,41479E-05	2,1766E-05	21,76599758	0,0053	0,0013	8,422924	44208,55
	0,000230556	20	17,90	1,28791E-05	1,9814E-05	19,81401783	0,0050	0,0013	11,63598	58269,79
	0,000283333	30	21,63	1,31013E-05	2,01558E-05	20,15583915	0,0051	0,0013	14,05713	70998,86
	0,000327778	40	24,73	1,32541E-05	2,03909E-05	20,39089463	0,0051	0,0013	16,07471	81661,15
	0,000372222	50	27,44	1,35642E-05	2,08679E-05	20,86794212	0,0052	0,0013	17,83704	91667,76
	0,000408333	60	29,88	1,36676E-05	2,1027E-05	21,02702654	0,0052	0,0013	19,41945	100179,8
	0,000447222	70	32,10	1,39312E-05	2,14326E-05	21,43264699	0,0052	0,0013	20,8664	108677,5
6mm	0,000277778	10	12,75	2,17895E-05	3,35224E-05	33,52236427	0,0065	0,0016	8,286342	53973,96
	0,000344444	20	17,52	1,96547E-05	3,0238E-05	30,23802733	0,0062	0,0016	11,3911	70468,75
	0,000436111	30	21,11	2,06586E-05	3,17825E-05	31,78249047	0,0064	0,0016	13,72174	87027,66
	0,0005	40	24,09	2,07546E-05	3,19302E-05	31,93018275	0,0064	0,0016	15,65916	99545,91
	0,00055	50	26,69	2,06071E-05	3,17032E-05	31,70317094	0,0064	0,0016	17,34842	109891,8
	0,000616667	60	29,02	2,12496E-05	3,26918E-05	32,69176561	0,0065	0,0016	18,86306	121334,8
	0,000663889	70	31,15	2,13138E-05	3,27905E-05	32,79049946	0,0065	0,0016	20,24638	130429,4
8mm	0,000483333	10	12,98	3,72389E-05	5,72907E-05	57,29066843	0,0085	0,0021	8,436511	71838,78
	0,000638889	20	17,94	3,56143E-05	5,47913E-05	54,79129588	0,0084	0,0021	11,66041	97100,99
	0,000816667	30	21,68	3,76728E-05	5,79581E-05	57,95808903	0,0086	0,0021	14,09064	120681,8
	0,000919444	40	24,79	3,70829E-05	5,70507E-05	57,05067995	0,0085	0,0021	16,11627	136946
	0,001027778	50	27,52	3,73509E-05	5,74629E-05	57,4628643	0,0086	0,0021	17,88595	152531,6
	0,001141667	60	29,96	3,8104E-05	5,86216E-05	58,62159681	0,0086	0,0022	19,47519	167750,8
	0,001141667	70	32,20	3,54579E-05	5,45507E-05	54,55068244	0,0083	0,0021	20,92855	173897,5

A.2 Tubos Ø 3/4" AbC

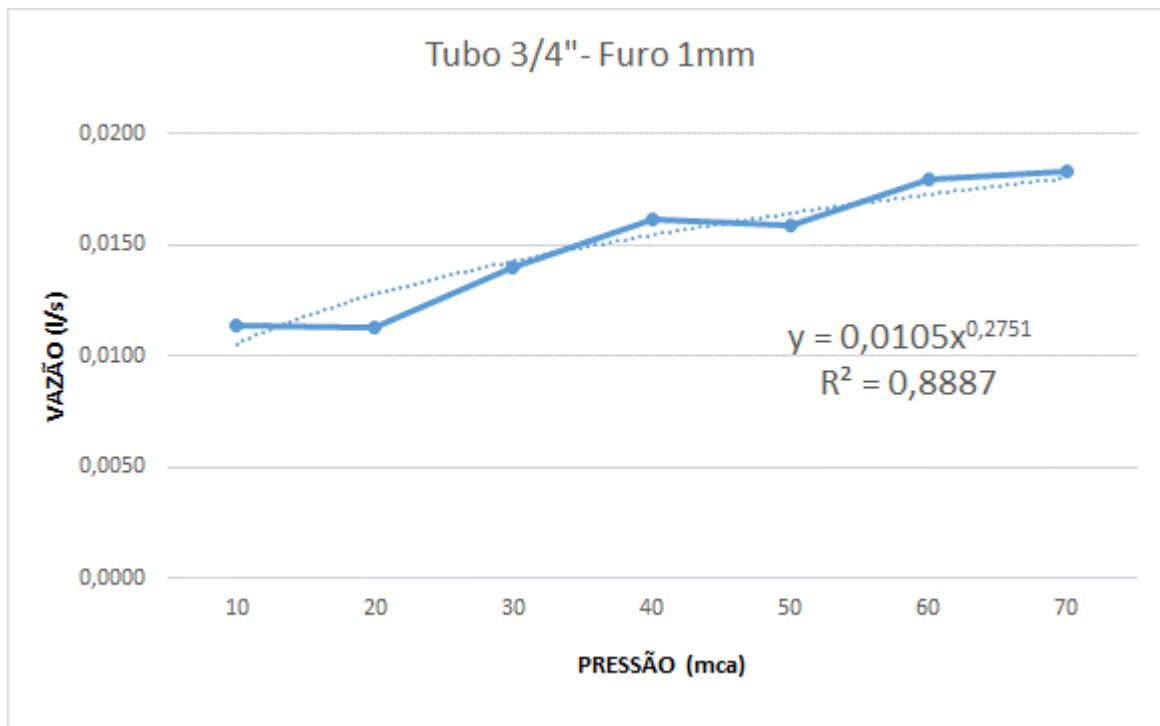


Figura 8– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 1mm

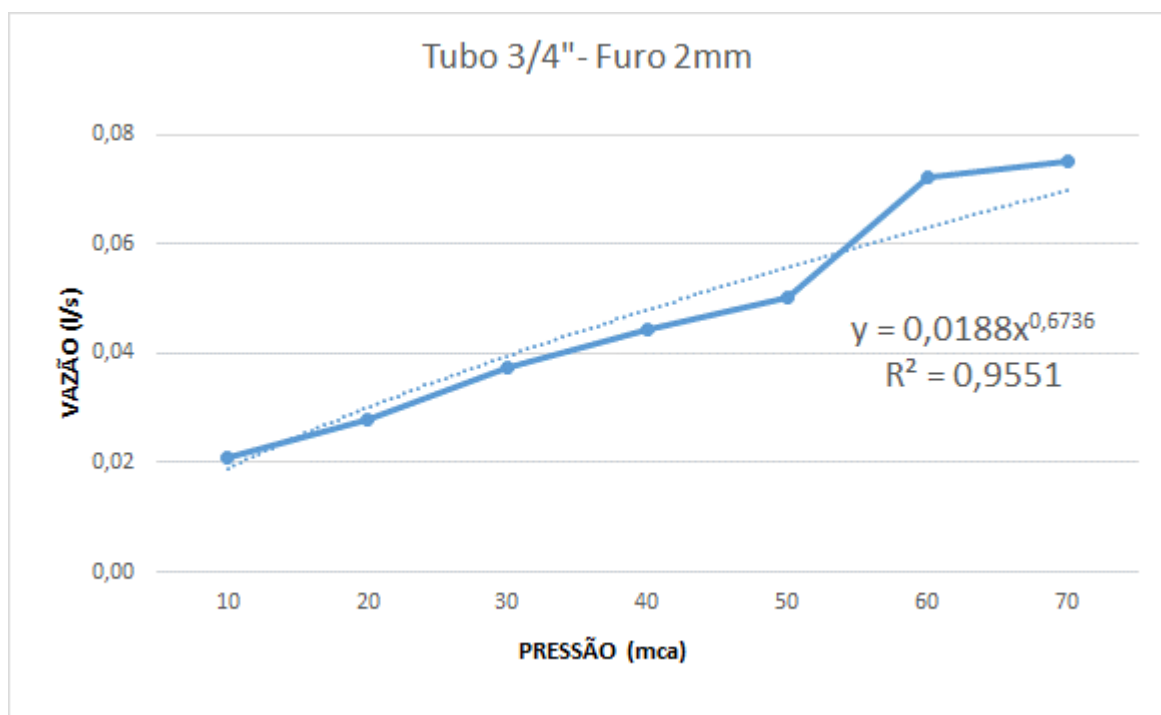


Figura 9– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 2mm

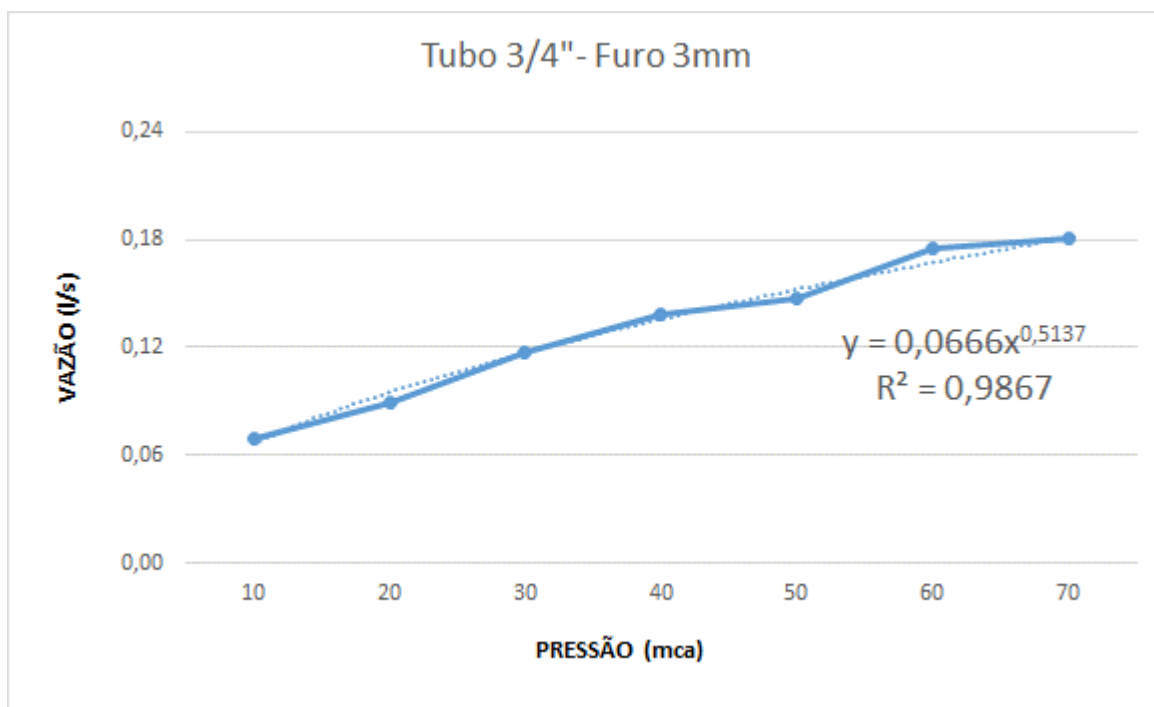


Figura 10– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 3mm

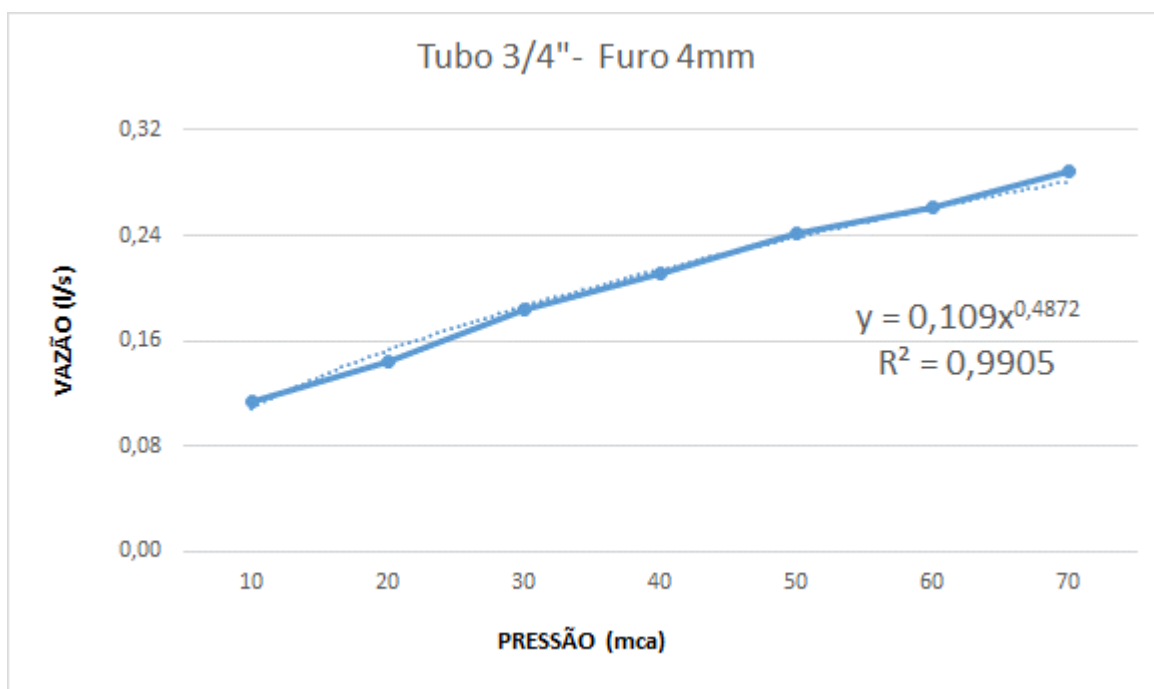


Figura 11– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 4mm

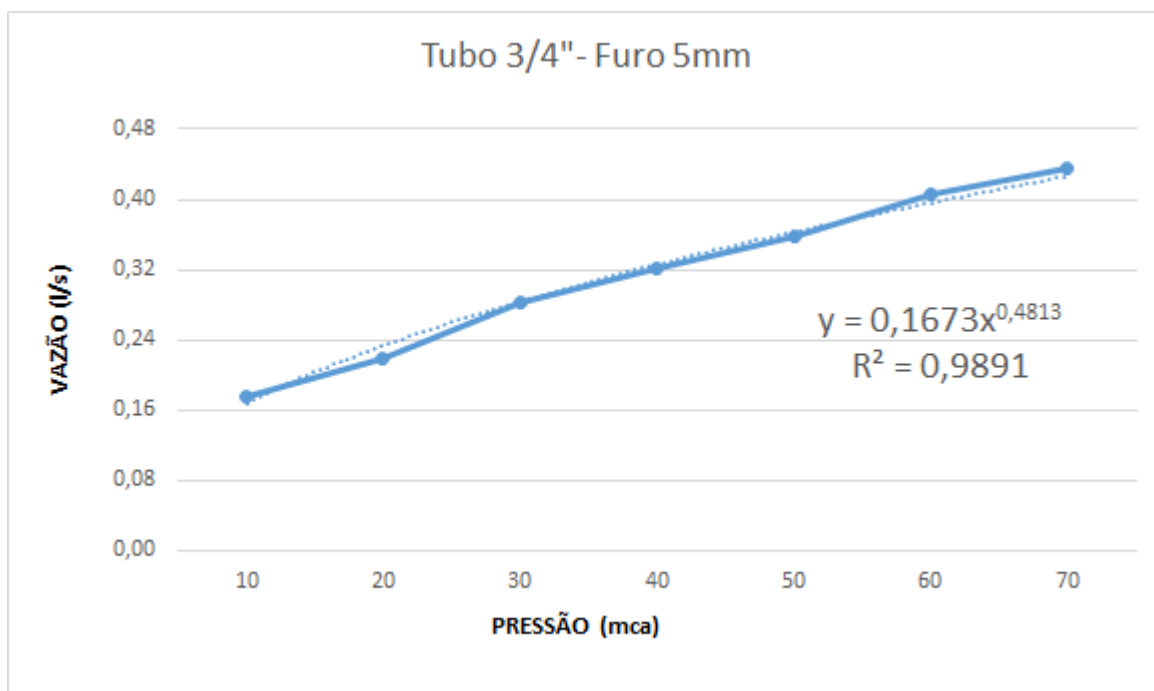


Figura 12– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 5mm

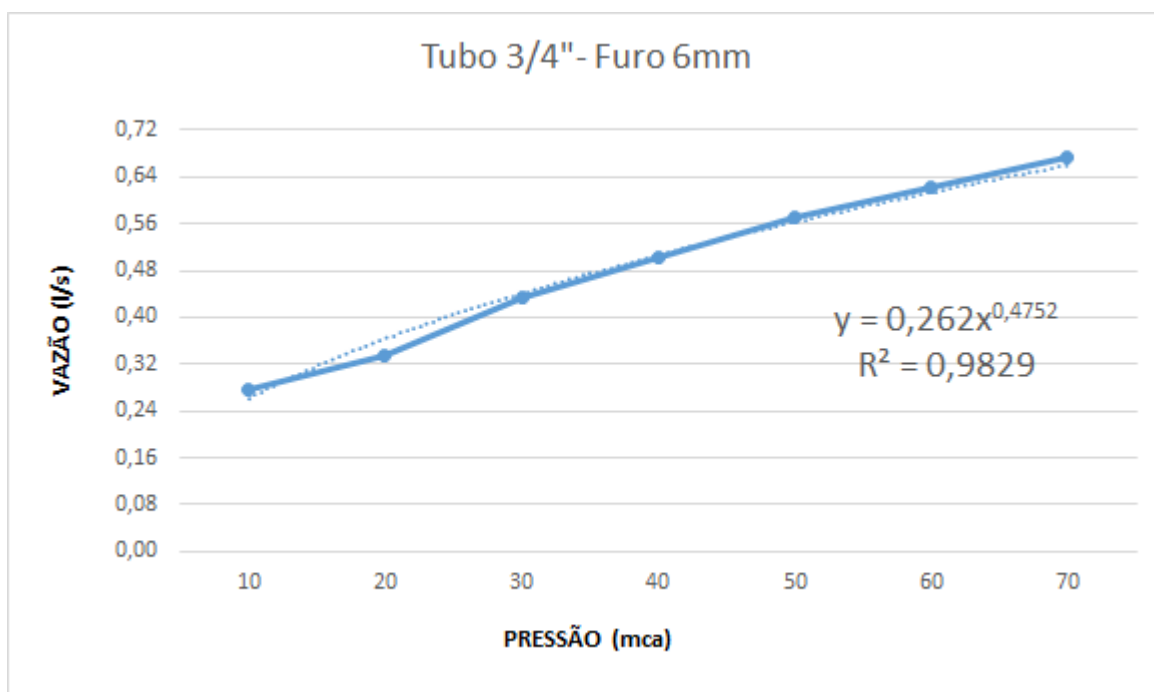


Figura 13– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 6mm

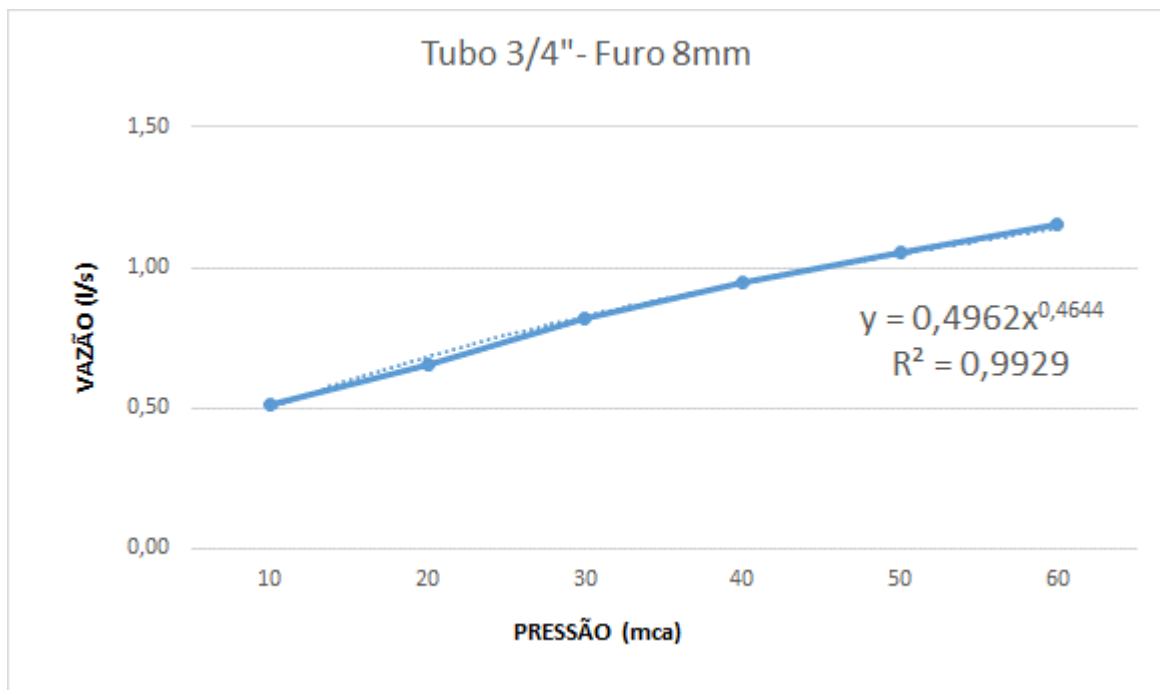


Figura 14– Vazão x pressão para tubo 3/4" AbC 8mm

Tabela 2– Processamento de dados tubo 3/4"

Ø Abc	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{1,5}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
1 mm	1,13971E-05	10	8,35	1,36566E-06	2,10102E-06	2,101018767	0,0016	0,0004	5,424539	8845,695
	1,12676E-05	20	10,10	1,11575E-06	1,71655E-06	1,716545929	0,0015	0,0004	6,564115	9675,158
	1,39655E-05	30	11,29	1,23695E-06	1,903E-06	1,902997028	0,0016	0,0004	7,338696	11389,17
	1,61224E-05	40	12,22	1,31933E-06	2,02974E-06	2,029744856	0,0016	0,0004	7,943091	12731,06
	1,58824E-05	50	12,99	1,2223E-06	1,88047E-06	1,880465354	0,0015	0,0004	8,445969	13029,76
	1,79545E-05	60	13,66	1,31418E-06	2,02182E-06	2,021818414	0,0016	0,0004	8,880395	14205,53
	1,82609E-05	70	14,25	1,28111E-06	1,97093E-06	1,970934199	0,0016	0,0004	9,265083	14633,21
2mm	2,08333E-05	10	20,89	9,97262E-07	1,53425E-06	1,534249196	0,0014	0,0003	13,57885	18921,91
	2,77778E-05	20	33,32	8,33632E-07	1,28251E-06	1,282510224	0,0013	0,0003	21,65891	27594,42
	0,0000375	30	43,79	8,56432E-07	1,31759E-06	1,317587701	0,0013	0,0003	28,4611	36753,24
	4,44444E-05	40	53,15	8,3622E-07	1,28649E-06	1,286491774	0,0013	0,0003	34,54701	44082,69
	0,00005	50	61,77	8,09458E-07	1,24532E-06	1,245319966	0,0013	0,0003	40,15032	50406,16
	7,22222E-05	60	69,84	1,03409E-06	1,59091E-06	1,590908883	0,0014	0,0004	45,39683	64417,27
	0,000075	70	77,48	9,67952E-07	1,48916E-06	1,489156582	0,0014	0,0003	50,36408	69142,52
3mm	6,94444E-05	10	14,46	4,80383E-06	7,39051E-06	7,390514097	0,0031	0,0008	9,396429	28737,85
	8,88889E-05	20	20,64	4,30684E-06	6,62591E-06	6,625909665	0,0029	0,0007	13,41535	38848,91
	0,000116667	30	25,42	4,58987E-06	7,06133E-06	7,061333819	0,0030	0,0007	16,5219	49392,11
	0,000138889	40	29,47	4,71346E-06	7,25148E-06	7,251476232	0,0030	0,0008	19,15319	58024,1
	0,000147222	50	33,05	4,45516E-06	6,85409E-06	6,854087106	0,0030	0,0007	21,47948	63263,42
	0,000175	60	36,29	4,82228E-06	7,41889E-06	7,41888934	0,0031	0,0008	23,58844	72280,76
	0,000180556	70	39,28	4,59658E-06	7,07166E-06	7,071656134	0,0030	0,0008	25,53229	76384,35
4mm	0,000113889	10	13,60	8,37398E-06	1,2883E-05	12,88304423	0,0041	0,0010	8,840216	35696,55
	0,000144444	20	19,06	7,57686E-06	1,16567E-05	11,6567148	0,0039	0,0010	12,39152	47595,61
	0,000183333	30	23,23	7,89293E-06	1,2143E-05	12,14297501	0,0039	0,0010	15,09789	59187,91
	0,000211111	40	26,72	7,9002E-06	1,21542E-05	12,15415038	0,0039	0,0010	17,36947	68124,44
	0,000241667	50	29,79	8,11202E-06	1,248E-05	12,48003225	0,0040	0,0010	19,36427	76959,64
	0,000261111	60	32,56	8,01975E-06	1,23381E-05	12,33806931	0,0040	0,0010	21,16304	83628,8
	0,000288889	70	35,10	8,23094E-06	1,2663E-05	12,66298858	0,0040	0,0010	22,81364	91330,71
5mm	0,000175	10	13,42	1,30433E-05	2,00667E-05	20,06666454	0,0051	0,0013	8,720931	43949,56
	0,000219444	20	18,73	1,17163E-05	1,8025E-05	18,02502997	0,0048	0,0012	12,17443	58148,79
	0,000283333	30	22,77	1,24454E-05	1,91468E-05	19,14680671	0,0049	0,0012	14,79794	72845,65
	0,000322222	40	26,15	1,23235E-05	1,89593E-05	18,95925014	0,0049	0,0012	16,99552	83252,84
	0,000358333	50	29,11	1,2309E-05	1,8937E-05	18,93695243	0,0049	0,0012	18,92244	92637,39
	0,000405556	60	31,78	1,27608E-05	1,96319E-05	19,63194371	0,0050	0,0012	20,65794	102972,9
	0,000436111	70	34,23	1,2741E-05	1,96015E-05	19,6014684	0,0050	0,0012	22,2489	110817,1
6mm	0,000277778	10	13,22	2,10062E-05	3,23173E-05	32,3172681	0,0064	0,0016	8,595336	54971,08
	0,000336111	20	18,38	1,82871E-05	2,8134E-05	28,13395338	0,0060	0,0015	11,94681	71288,85
	0,000433333	30	22,28	1,94464E-05	2,99176E-05	29,91759257	0,0062	0,0015	14,48423	89127,74
	0,000502778	40	25,55	1,9681E-05	3,02785E-05	30,27852536	0,0062	0,0016	16,60509	102792,8
	0,000569444	50	28,40	2,00489E-05	3,08445E-05	30,8445011	0,0063	0,0016	18,46178	115349,7
	0,000622222	60	30,97	2,00897E-05	3,09073E-05	30,90728206	0,0063	0,0016	20,1319	125912,6
	0,000675	70	33,33	2,0255E-05	3,11616E-05	31,16157109	0,0063	0,0016	21,6613	136034,2
8mm	0,000511111	10	12,90	3,96064E-05	6,0933E-05	60,93298642	0,0088	0,0022	8,388086	73661,95
	0,000652778	20	17,81	3,66621E-05	5,64033E-05	56,40325575	0,0085	0,0021	11,57341	97783,91
	0,000822222	30	21,49	3,82529E-05	5,88506E-05	58,85064695	0,0087	0,0022	13,97134	120577,9
	0,00095	40	24,57	3,86703E-05	5,94928E-05	59,49275587	0,0087	0,0022	15,96833	138562,5
	0,001052778	50	27,25	3,86354E-05	5,94391E-05	59,43909399	0,0087	0,0022	17,71187	153622,5
	0,001155556	60	29,66	3,89644E-05	5,99452E-05	59,94521622	0,0087	0,0022	19,27686	167906,6

A.3 Tubos Ø 1" AbC

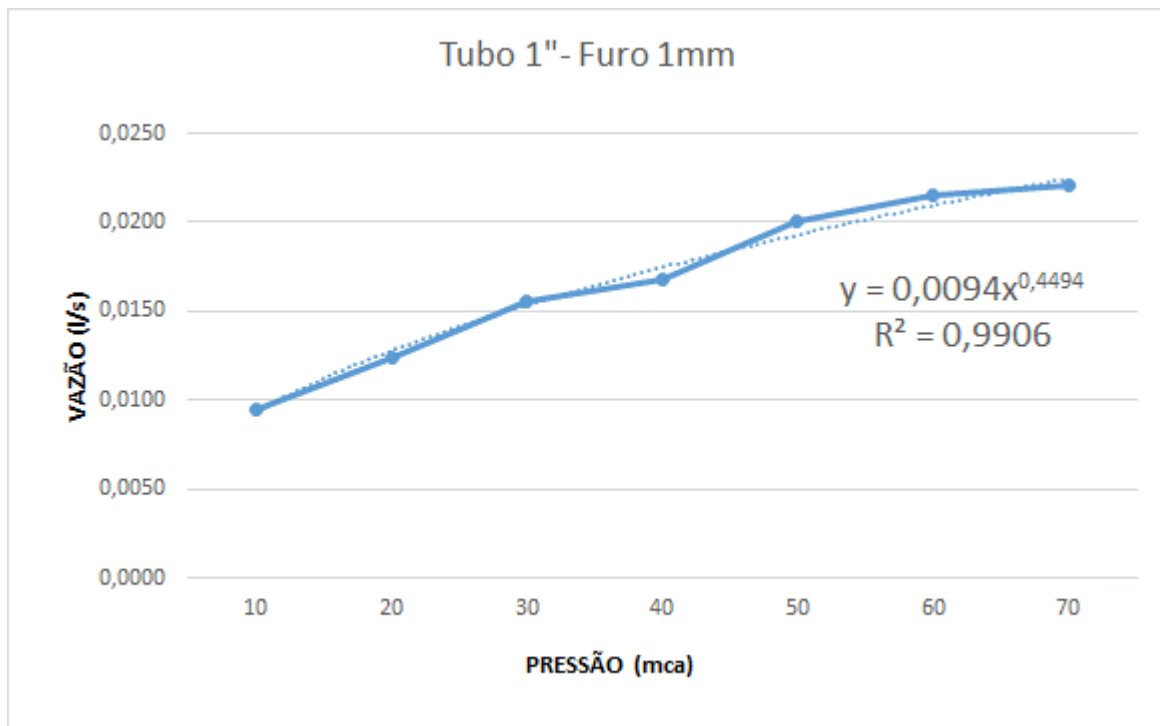


Figura 15– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 1mm

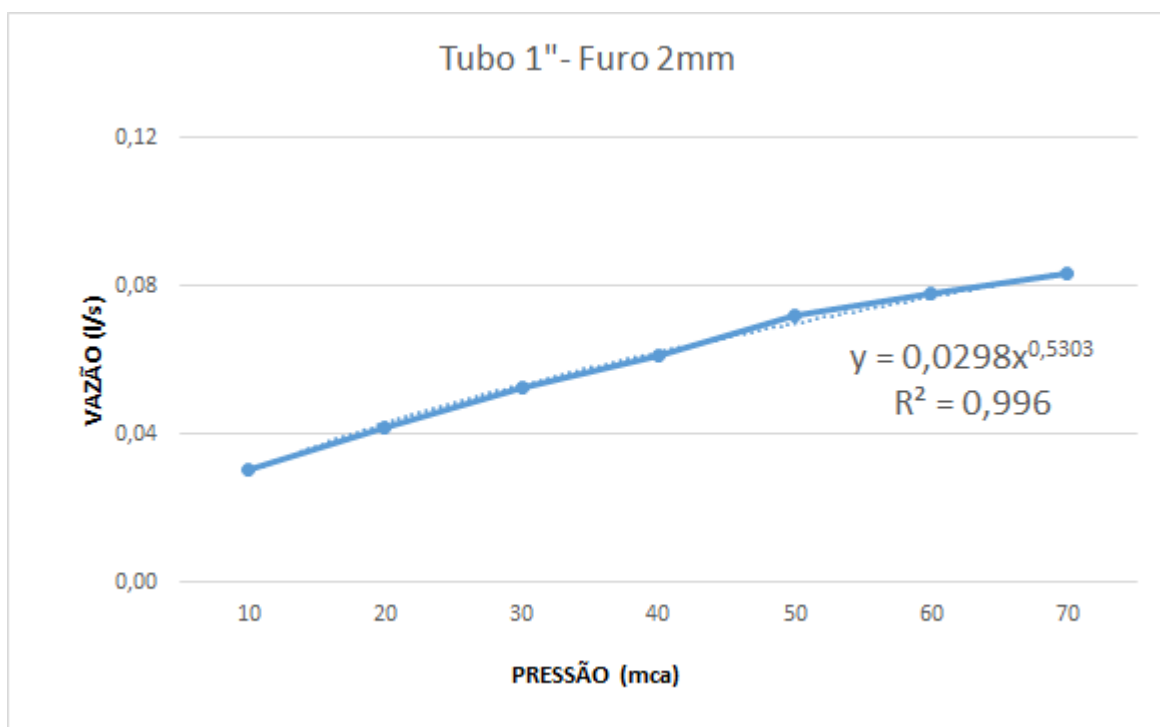


Figura 16– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 2mm

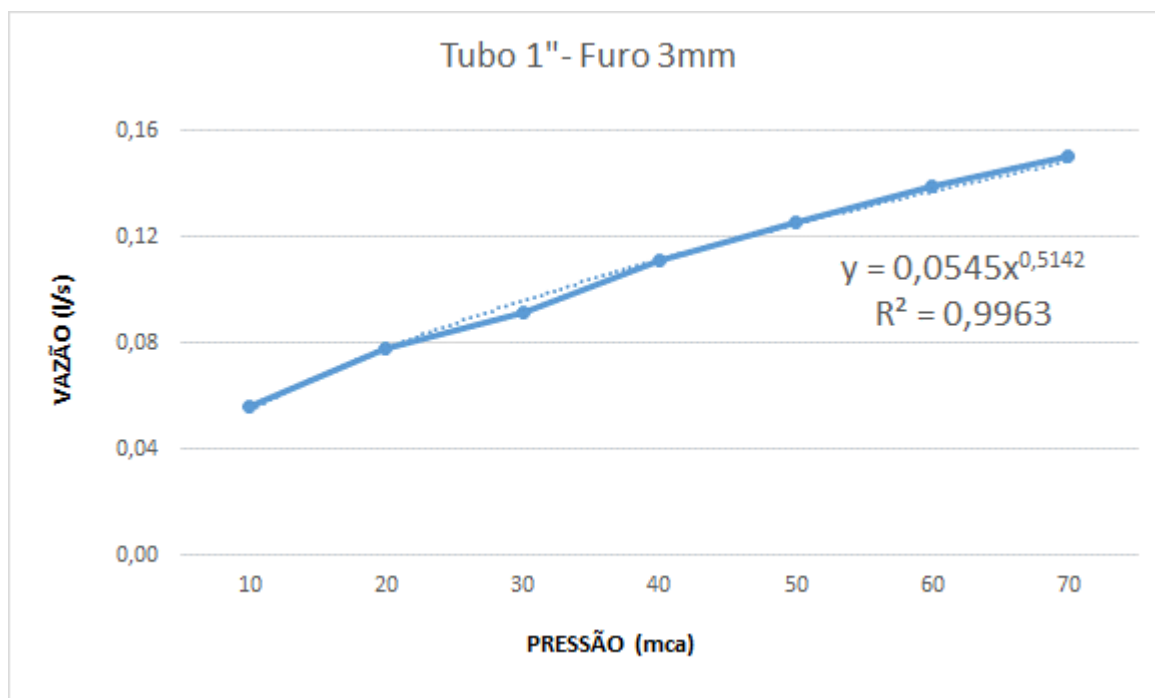


Figura 17– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 3mm

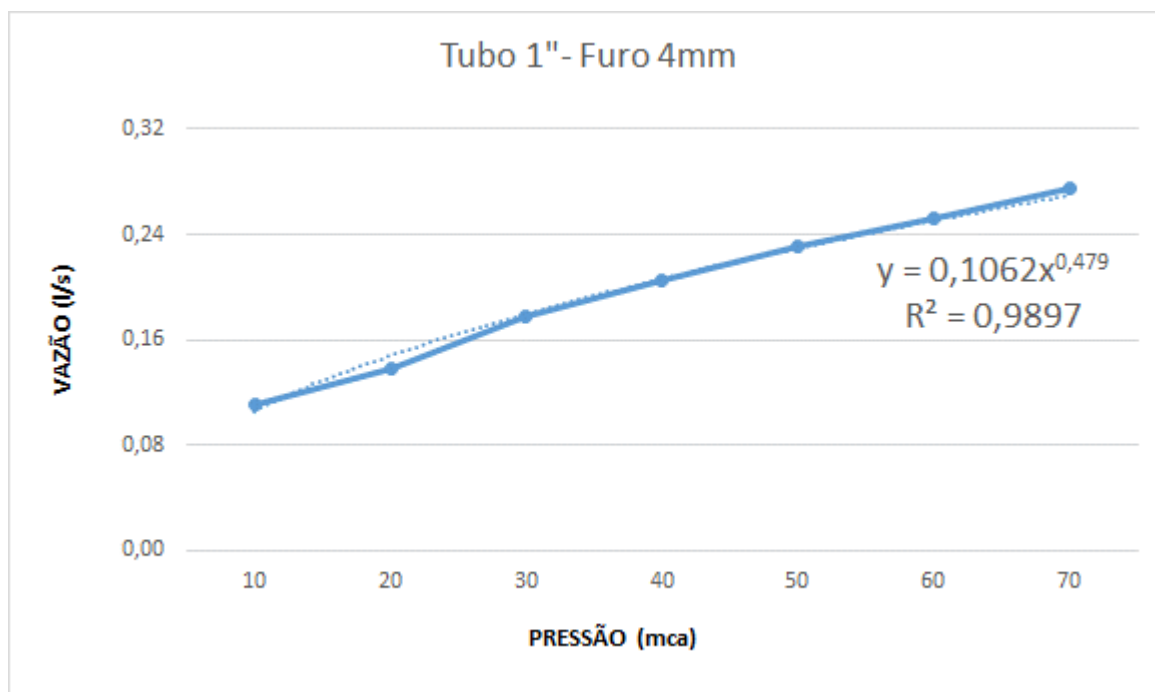


Figura 18– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 4mm

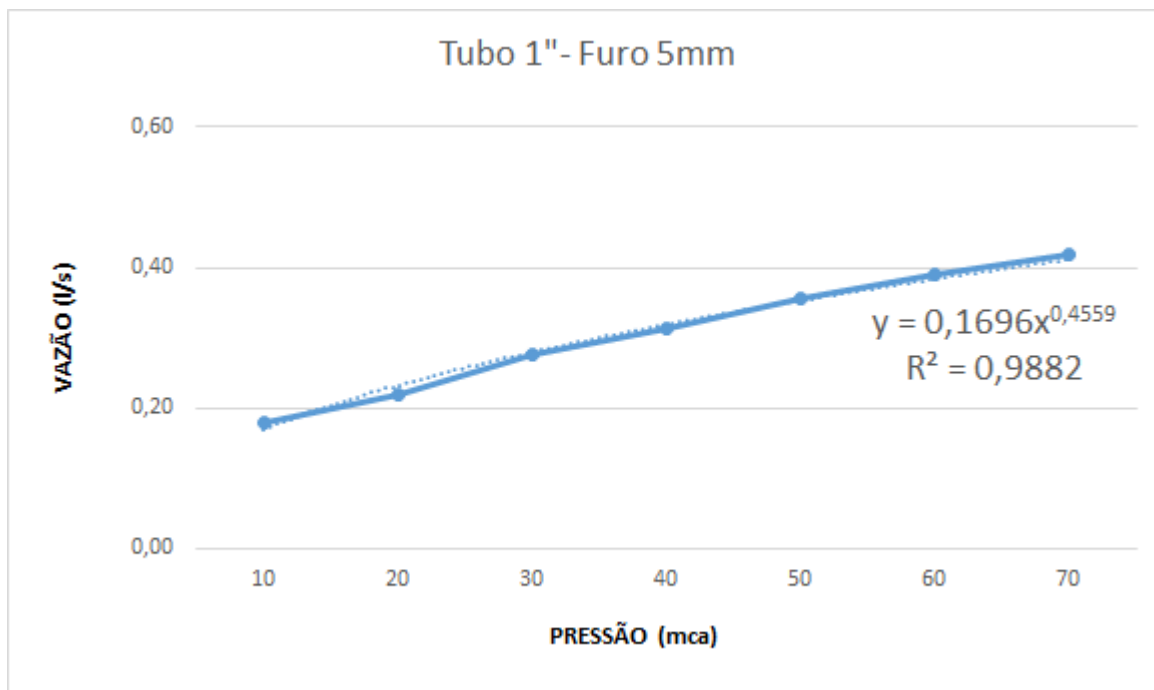


Figura 19– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 5mm

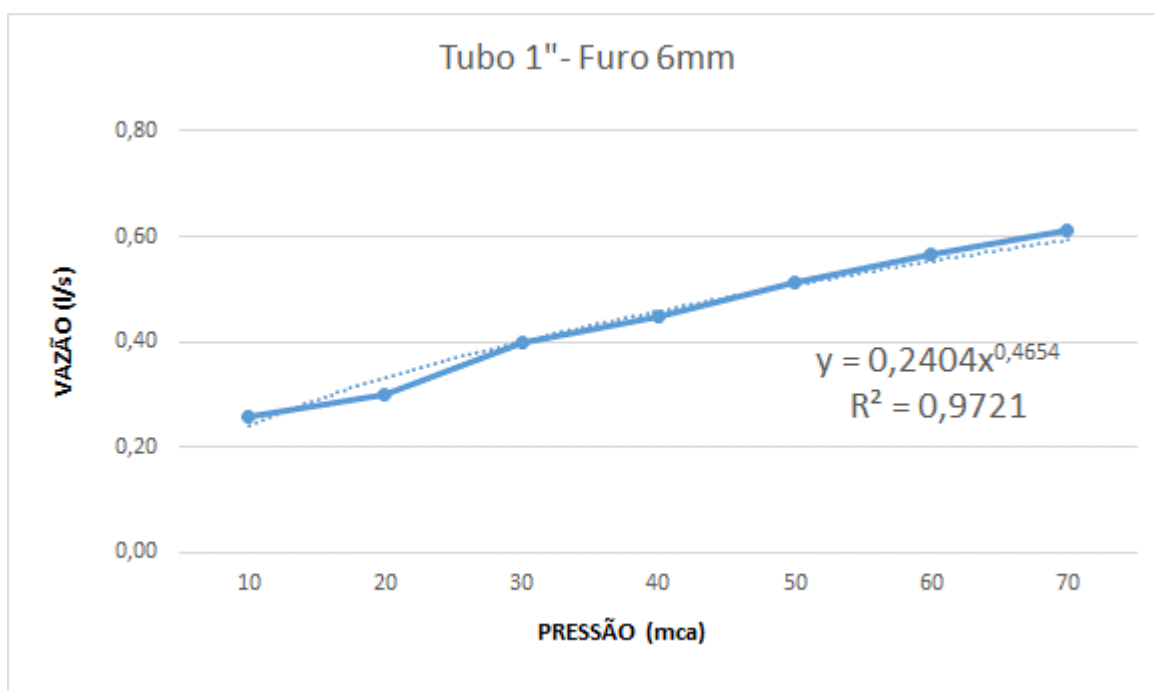


Figura 20– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 6mm

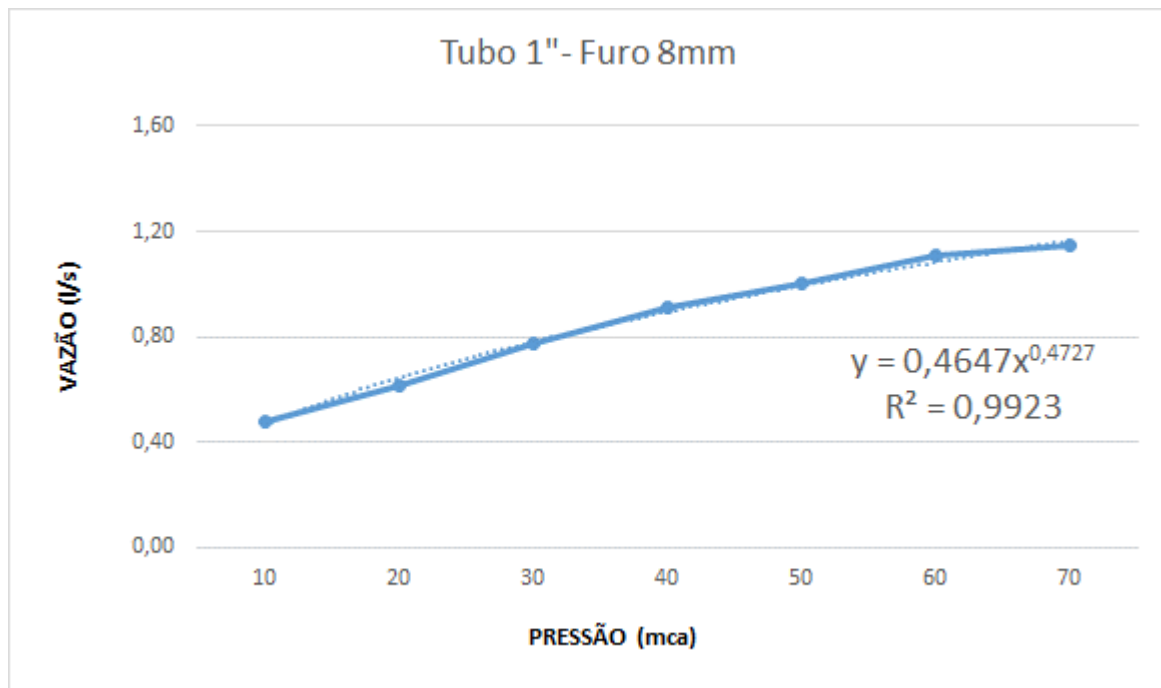


Figura 21– Vazão x pressão para tubo 1" AbC 8mm

Tabela 3– Processamento de dados tubo 1"

Ø Abc	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{0,5}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
1 mm	9,52381E-06	10	12,47	7,63943E-07	1,1753E-06	1,175297582	0,0012	0,0003	8,103318	9883,048
	1,24242E-05	20	17,02	7,29857E-07	1,12286E-06	1,122856296	0,0012	0,0003	11,06486	13190,52
	1,55769E-05	30	20,43	7,6263E-07	1,17328E-06	1,173276914	0,0012	0,0003	13,27643	16178,4
	1,67347E-05	40	23,24	7,1995E-07	1,10762E-06	1,10761583	0,0012	0,0003	15,10875	17888,64
	0,00002	50	25,70	7,78329E-07	1,19743E-06	1,197429677	0,0012	0,0003	16,70244	20561,7
	2,14865E-05	60	27,89	7,70397E-07	1,18523E-06	1,185226558	0,0012	0,0003	18,12859	22203,37
	2,2027E-05	70	29,89	7,36918E-07	1,13372E-06	1,133720416	0,0012	0,0003	19,42898	23273,25
2mm	3,05556E-05	10	15,02	2,03442E-06	3,12988E-06	3,1298774	0,0020	0,0005	9,762541	19430,35
	4,16667E-05	20	21,69	1,92089E-06	2,95522E-06	2,955219157	0,0019	0,0005	14,09935	27267,67
	5,27778E-05	30	26,89	1,96238E-06	3,01905E-06	3,019053719	0,0020	0,0005	17,48156	34171,95
	6,11111E-05	40	31,33	1,95073E-06	3,00113E-06	3,001130693	0,0020	0,0005	20,3627	39685,5
	7,22222E-05	50	35,26	2,04813E-06	3,15097E-06	3,150969473	0,0020	0,0005	22,92064	45772,31
	7,77778E-05	60	38,84	2,00241E-06	3,08063E-06	3,080626623	0,0020	0,0005	25,24739	49852,87
	8,33333E-05	70	42,15	1,97703E-06	3,04159E-06	3,041588134	0,0020	0,0005	27,39797	53755,47
3mm	5,55556E-05	10	14,47	3,83865E-06	5,90561E-06	5,90560828	0,0027	0,0007	9,407254	25718,72
	7,77778E-05	20	20,67	3,76285E-06	5,78899E-06	5,788993323	0,0027	0,0007	13,43546	36367,05
	9,16667E-05	30	25,46	3,6002E-06	5,53876E-06	5,53876363	0,0027	0,0007	16,55002	43818,67
	0,000111111	40	29,52	3,76382E-06	5,79049E-06	5,790490919	0,0027	0,0007	19,18855	51946,22
	0,000125	50	33,11	3,77529E-06	5,80814E-06	5,808136022	0,0027	0,0007	21,52153	58350,66
	0,000138889	60	36,36	3,81938E-06	5,87597E-06	5,875965977	0,0027	0,0007	23,63678	64458,77
	0,00015	70	39,36	3,81059E-06	5,86245E-06	5,8624478	0,0027	0,0007	25,58658	69695,69
4mm	0,000111111	10	13,35	8,32546E-06	1,28084E-05	12,80839264	0,0040	0,0010	8,674868	34927,24
	0,000138889	20	18,60	7,46663E-06	1,14871E-05	11,48712316	0,0038	0,0010	12,09083	46101,6
	0,000177778	30	22,59	7,87022E-06	1,2108E-05	12,10803127	0,0039	0,0010	14,68263	57477,1
	0,000205556	40	25,93	7,92854E-06	1,21977E-05	12,19774711	0,0039	0,0010	16,85193	66213,04
	0,000230556	50	28,85	7,99134E-06	1,22944E-05	12,29436497	0,0040	0,0010	18,75295	73973,59
	0,000252778	60	31,48	8,02888E-06	1,23521E-05	12,35212234	0,0040	0,0010	20,46432	80913,73
	0,000275	70	33,90	8,113E-06	1,24815E-05	12,48153142	0,0040	0,0010	22,03255	87569,5
5mm	0,000177778	10	12,65	1,40484E-05	2,1613E-05	21,61297818	0,0052	0,0013	8,22551	43020,38
	0,000219444	20	17,36	1,26426E-05	1,94501E-05	19,45011428	0,0050	0,0012	11,28242	55978,03
	0,000275	30	20,88	1,31693E-05	2,02605E-05	20,26050451	0,0051	0,0013	13,57321	68732,43
	0,000313889	40	23,81	1,3184E-05	2,02831E-05	20,28308144	0,0051	0,0013	15,4754	78408,49
	0,000355556	50	26,36	1,34896E-05	2,07532E-05	20,75315768	0,0051	0,0013	17,1326	87805,05
	0,000391667	60	28,64	1,36744E-05	2,10375E-05	21,03752275	0,0052	0,0013	18,61753	96066,83
	0,000419444	70	30,73	1,36504E-05	2,10006E-05	21,00058496	0,0052	0,0013	19,97299	102970,5
6mm	0,000258333	10	12,93	1,99724E-05	3,07268E-05	30,72681811	0,0063	0,0016	8,407422	52429,51
	0,0003	20	17,86	1,67986E-05	2,5844E-05	25,84395859	0,0057	0,0014	11,60813	66388,96
	0,000397222	30	21,57	1,84175E-05	2,83347E-05	28,33468876	0,0060	0,0015	14,01894	83951,5
	0,000447222	40	24,66	1,81374E-05	2,79037E-05	27,9037002	0,0060	0,0015	16,02734	95245,97
	0,000513889	50	27,36	1,87853E-05	2,89005E-05	28,90052482	0,0061	0,0015	17,7813	107540,1
	0,000566667	60	29,78	1,90295E-05	2,92761E-05	29,27609964	0,0061	0,0015	19,35595	117821,7
	0,000611111	70	31,99	1,91013E-05	2,93866E-05	29,38655619	0,0061	0,0015	20,7956	126823,6
8mm	0,000477778	10	13,15	3,63226E-05	5,58809E-05	55,88086087	0,0084	0,0021	8,549936	71903,25
	0,000611111	20	18,25	3,34791E-05	5,15063E-05	51,50631066	0,0081	0,0020	11,86478	95795,27
	0,000777778	30	22,11	3,5178E-05	5,412E-05	54,11995855	0,0083	0,0021	14,37137	118940,8
	0,000911111	40	25,33	3,5969E-05	5,53369E-05	55,33688736	0,0084	0,0021	16,46481	137790,1
	0,001005556	50	28,15	3,57235E-05	5,49592E-05	54,95916054	0,0084	0,0021	18,29641	152594,9
	0,001105556	60	30,68	3,60329E-05	5,54352E-05	55,43519979	0,0084	0,0021	19,94321	167048,2
	0,001144444	70	33,00	3,46791E-05	5,33524E-05	53,35240653	0,0082	0,0021	21,45066	176267,3

A.4 Tubos Ø 1 1/2" AbC

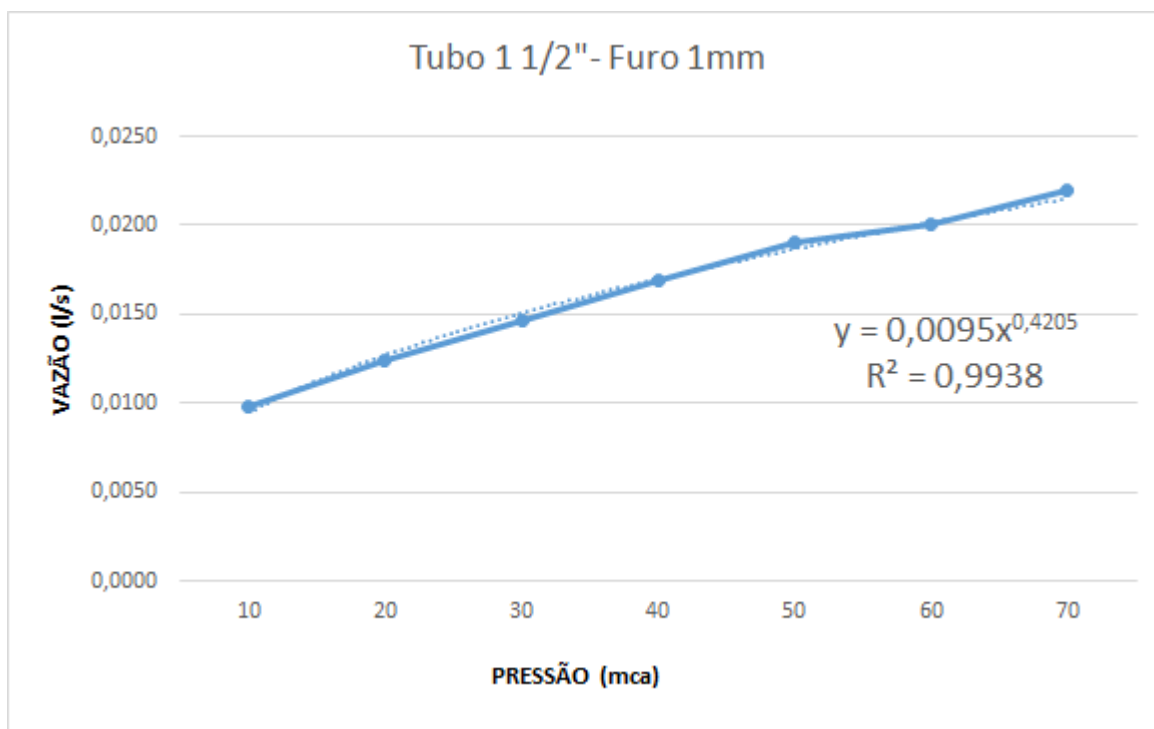


Figura 22– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 1mm

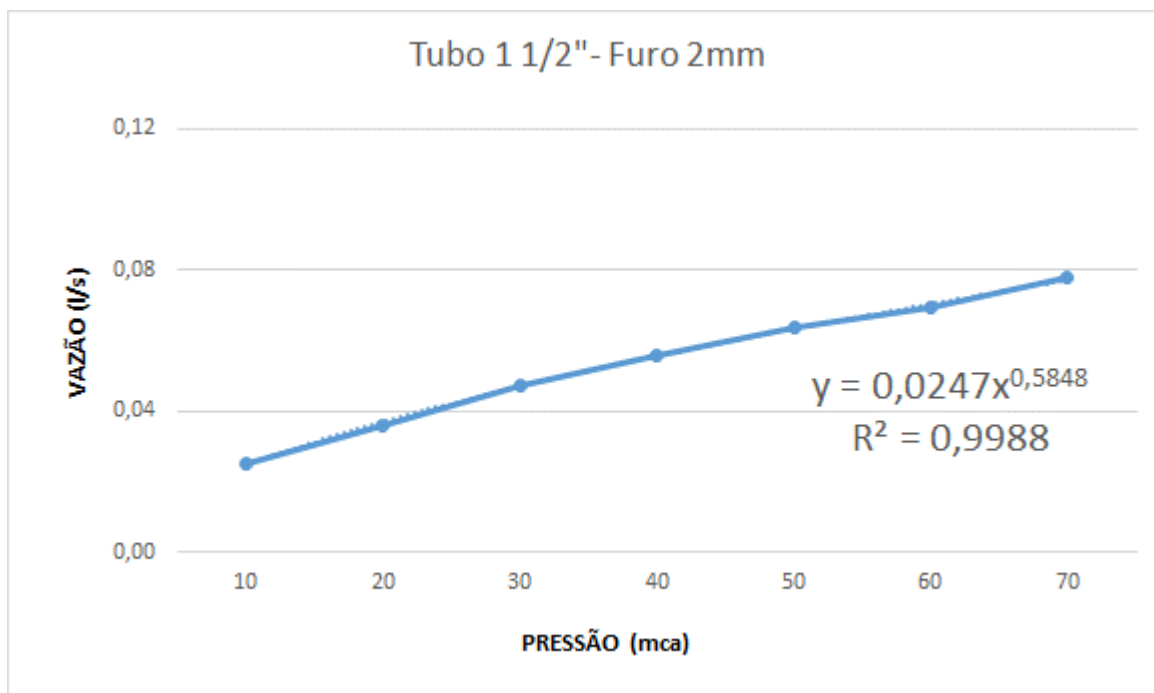


Figura 23– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 2mm

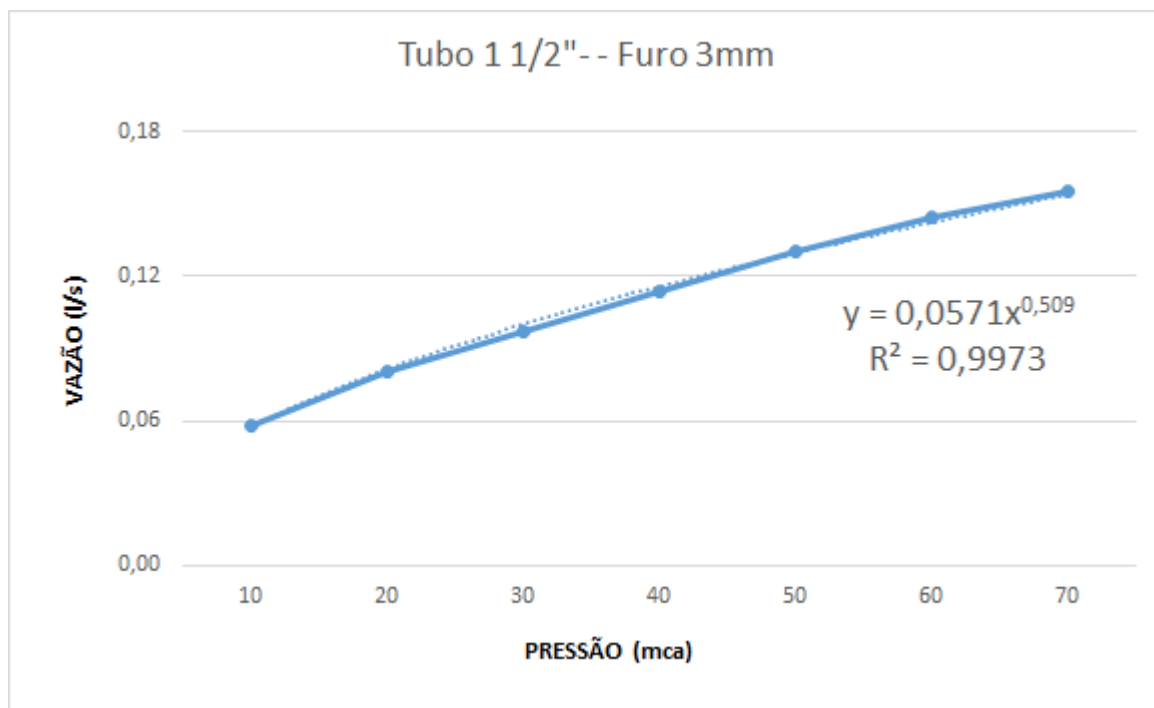


Figura 24– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 3mm

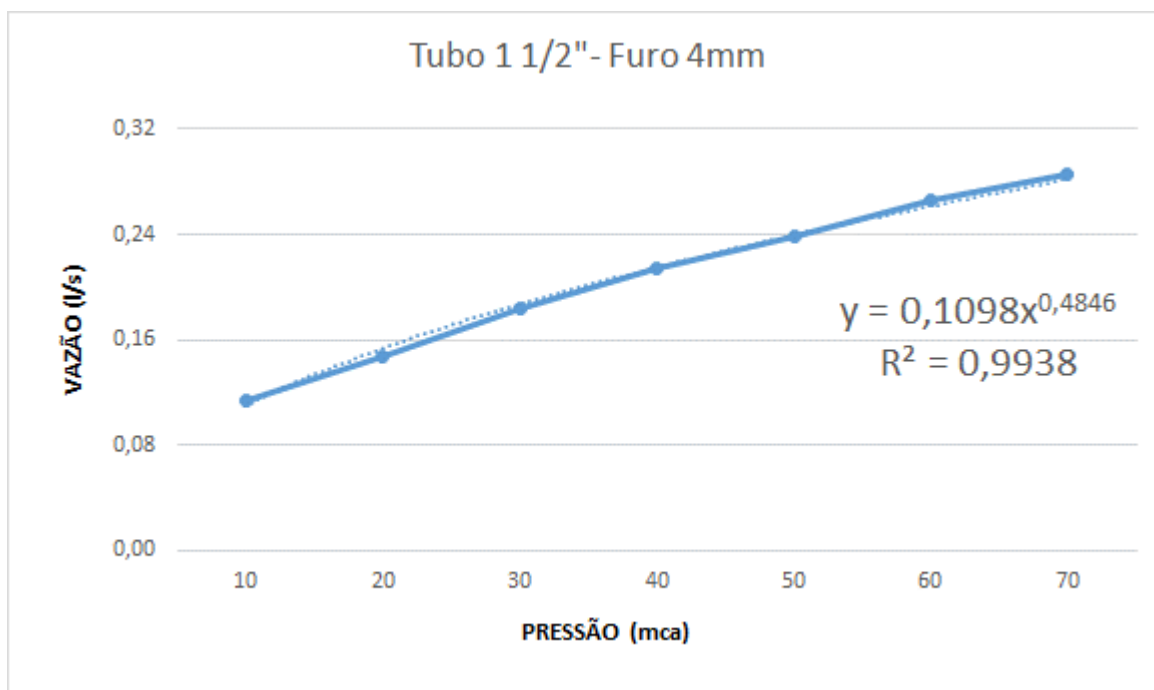


Figura 25– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 4mm

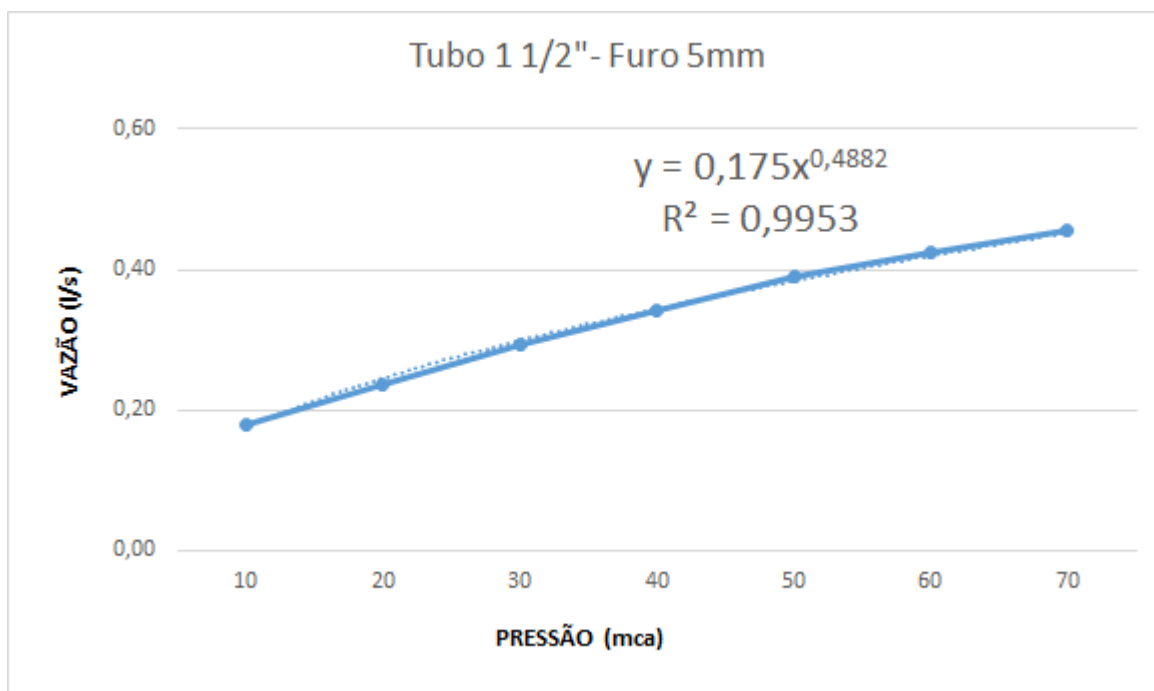


Figura 26– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 5mm

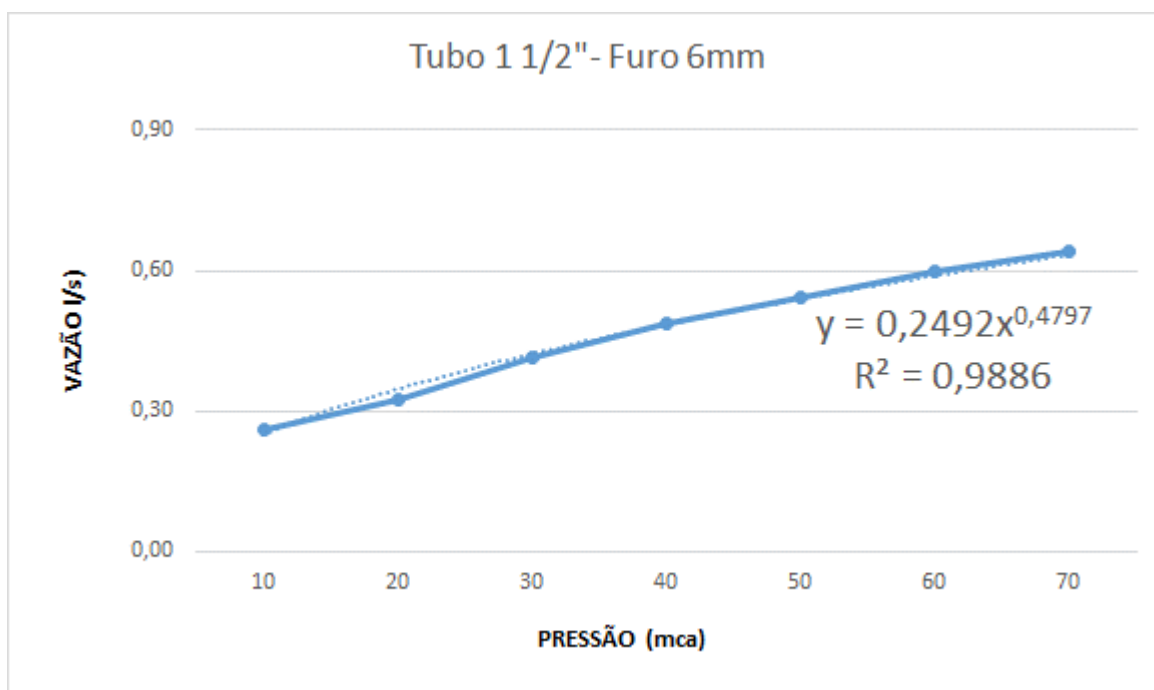


Figura 27– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 6mm

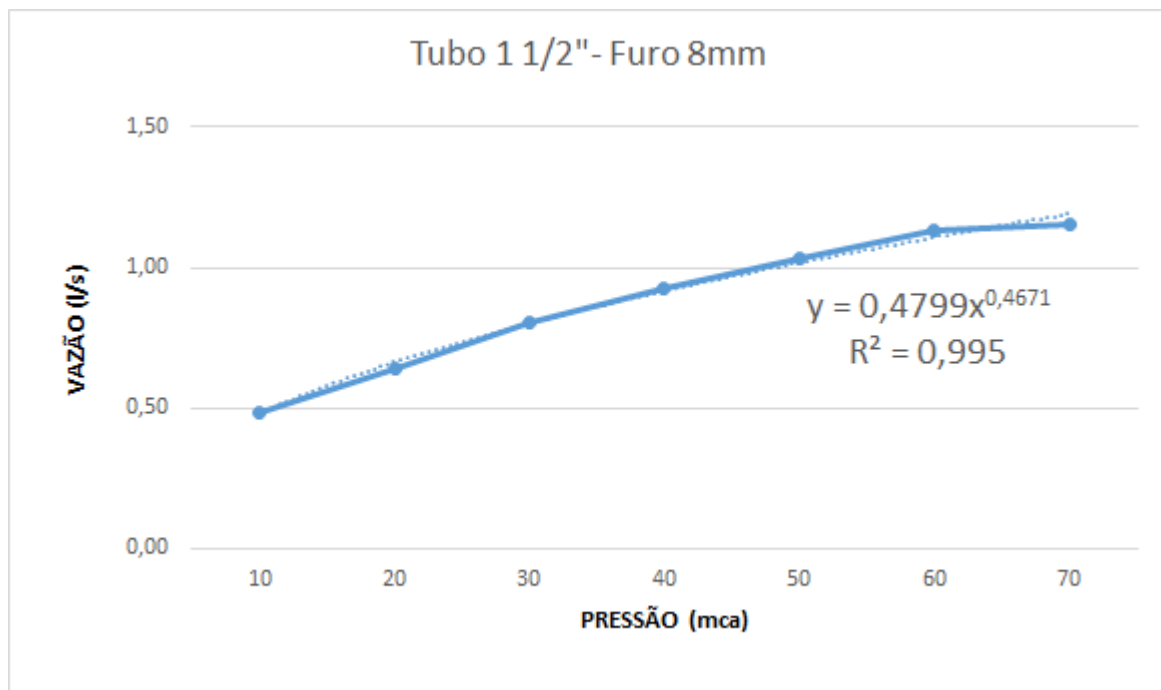


Figura 28– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" AbC 8mm

Tabela 4– Processamento de dados tubo 1 1/2"

Ø AbC	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{1,5}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
1 mm	9,7561E-06	10	11,66	8,36424E-07	1,28681E-06	1,28680659	0,0013	0,0003	7,581635	9675,505
	1,2381E-05	20	15,61	7,93088E-07	1,22014E-06	1,220135553	0,0012	0,0003	10,14719	12609,68
	1,46296E-05	30	18,51	7,90232E-07	1,21574E-06	1,215740783	0,0012	0,0003	12,03351	14926,81
	1,69388E-05	40	20,89	8,10711E-07	1,24725E-06	1,247248321	0,0013	0,0003	13,58092	17063,17
	1,90244E-05	50	22,95	8,28981E-07	1,27535E-06	1,275354741	0,0013	0,0003	14,91694	18951,75
	0,00002	60	24,78	8,07175E-07	1,24181E-06	1,241808238	0,0013	0,0003	16,10555	20190,95
	2,19444E-05	70	26,44	8,30064E-07	1,27702E-06	1,277020904	0,0013	0,0003	17,18409	21846,39
2mm	0,000025	10	17,03	1,46822E-06	2,2588E-06	2,258796731	0,0017	0,0004	11,06784	18713,52
	3,61111E-05	20	25,54	1,414E-06	2,17538E-06	2,175382607	0,0017	0,0004	16,59989	27544,01
	4,72222E-05	30	32,37	1,45874E-06	2,24421E-06	2,244207724	0,0017	0,0004	21,04182	35462,47
	5,55556E-05	40	38,30	1,45042E-06	2,23141E-06	2,231412974	0,0017	0,0004	24,89703	41840
	6,38889E-05	50	43,64	1,46392E-06	2,25219E-06	2,252188925	0,0017	0,0004	28,36746	47893,55
	6,94444E-05	60	48,55	1,43029E-06	2,20045E-06	2,200451489	0,0017	0,0004	31,55918	52666,65
	7,77778E-05	70	53,13	1,46384E-06	2,25206E-06	2,252056794	0,0017	0,0004	34,53633	58306,9
3mm	5,83333E-05	10	14,30	4,07913E-06	6,27558E-06	6,275580947	0,0028	0,0007	9,295288	26196,54
	8,05556E-05	20	20,35	3,95842E-06	6,08987E-06	6,089874898	0,0028	0,0007	13,22778	36723,62
	9,72222E-05	30	25,02	3,88652E-06	5,97927E-06	5,979267273	0,0028	0,0007	16,25989	44729,67
	0,000113889	40	28,96	3,93263E-06	6,0502E-06	6,050203217	0,0028	0,0007	18,82398	52089,54
	0,000130556	50	32,44	4,02411E-06	6,19094E-06	6,190942449	0,0028	0,0007	21,08816	59029,77
	0,000144444	60	35,60	4,05763E-06	6,24251E-06	6,242506428	0,0028	0,0007	23,13885	65039,24
	0,000155556	70	38,50	4,04E-06	6,21538E-06	6,215381141	0,0028	0,0007	25,02752	70194,93
4mm	0,000113889	10	13,52	8,42426E-06	1,29604E-05	12,96040275	0,0041	0,0010	8,78745	35589,86
	0,000147222	20	18,92	7,78296E-06	1,19738E-05	11,97378277	0,0039	0,0010	12,29538	47864,31
	0,000183333	30	23,02	7,96304E-06	1,22508E-05	12,25083291	0,0039	0,0010	14,96497	58926,79
	0,000213889	40	26,47	8,08129E-06	1,24327E-05	12,43274695	0,0040	0,0010	17,20367	68243,11
	0,000238889	50	29,49	8,10076E-06	1,24627E-05	12,46270251	0,0040	0,0010	19,16831	76127,92
	0,000266667	60	32,21	8,27803E-06	1,27354E-05	12,73543484	0,0040	0,0010	20,93895	84065,15
	0,000286111	70	34,71	8,24234E-06	1,26805E-05	12,68052853	0,0040	0,0010	22,56303	90389,96
5mm	0,000180556	10	13,63	1,32453E-05	2,03774E-05	20,37736374	0,0051	0,0013	8,860594	44997,77
	0,000236111	20	19,12	1,23482E-05	1,89972E-05	18,99724934	0,0049	0,0012	12,4287	60943,19
	0,000294444	30	23,31	1,26335E-05	1,94361E-05	19,43613513	0,0050	0,0012	15,14933	75136,77
	0,000341667	40	26,82	1,27388E-05	1,95981E-05	19,59810431	0,0050	0,0012	17,43366	86825,98
	0,000388889	50	29,91	1,30029E-05	2,00044E-05	20,00439957	0,0050	0,0013	19,44017	97817,58
	0,000425	60	32,69	1,30001E-05	2,00001E-05	20,00012138	0,0050	0,0013	21,24987	106912,1
	0,000455556	70	35,25	1,29245E-05	1,98839E-05	19,88390255	0,0050	0,0013	22,91077	114933
6mm	0,000261111	10	13,37	1,95333E-05	3,00512E-05	30,05124676	0,0062	0,0015	8,688861	53585,62
	0,000325	20	18,64	1,74353E-05	2,68236E-05	26,82355984	0,0058	0,0015	12,11621	70595,87
	0,000413889	30	22,64	1,82793E-05	2,8122E-05	28,12197667	0,0060	0,0015	14,71763	87804,14
	0,000488889	40	25,99	1,88084E-05	2,8936E-05	28,93604233	0,0061	0,0015	16,8955	102245,6
	0,000544444	50	28,93	1,88195E-05	2,89531E-05	28,95308207	0,0061	0,0015	18,80437	113830,9
	0,000597222	60	31,57	1,8915E-05	2,91001E-05	29,10006414	0,0061	0,0015	20,52306	124549,8
	0,000638889	70	34,00	1,87924E-05	2,89114E-05	28,91138834	0,0061	0,0015	22,09817	133673,4
8mm	0,000486111	10	12,99	3,74357E-05	5,75934E-05	57,5933963	0,0086	0,0021	8,440397	72061,51
	0,000641667	20	17,95	3,57478E-05	5,49966E-05	54,99655804	0,0084	0,0021	11,6674	97341,01
	0,000805556	30	21,69	3,71349E-05	5,71307E-05	57,13066784	0,0085	0,0021	14,10023	119898,8
	0,000922222	40	24,81	3,71675E-05	5,71808E-05	57,1808363	0,0085	0,0021	16,12817	137203,3
	0,001036111	50	27,54	3,76243E-05	5,78835E-05	57,8834734	0,0086	0,0021	17,89995	153208,6
	0,001133333	60	29,99	3,77949E-05	5,81461E-05	58,14606844	0,0086	0,0022	19,49114	167205,9
	0,001155556	70	32,23	3,58588E-05	5,51674E-05	55,16742042	0,0084	0,0021	20,94634	175026,4

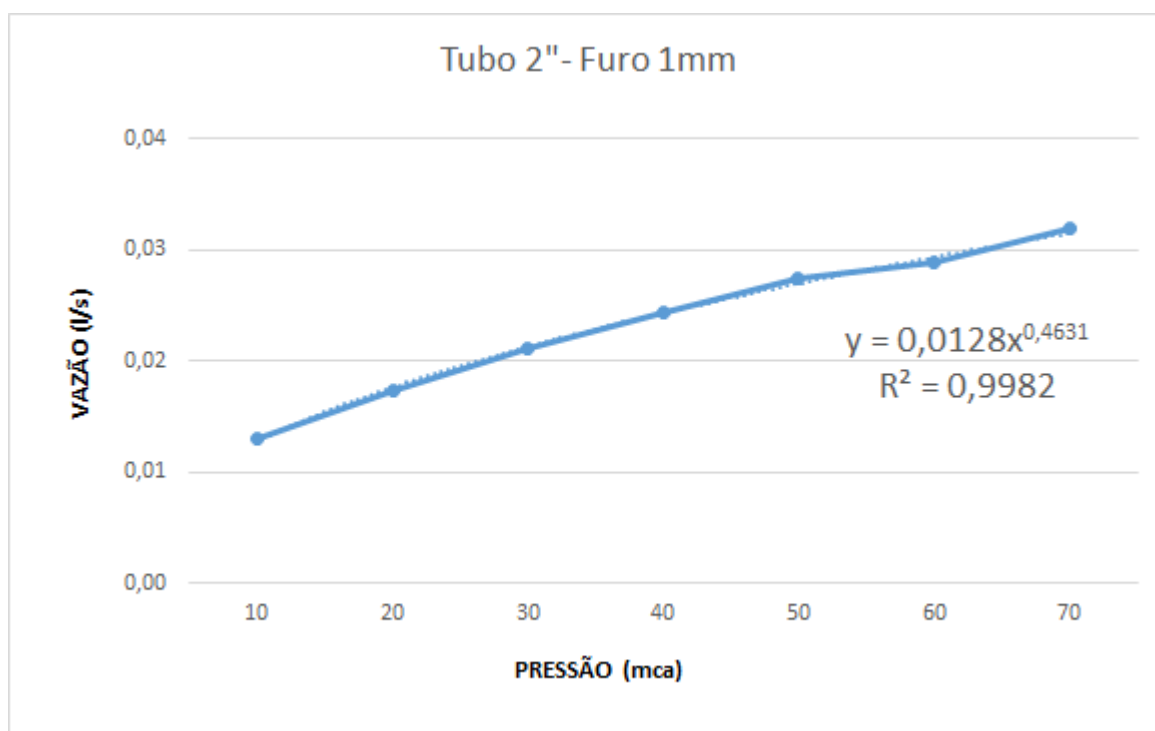
A.5 Tubos Ø 2" AbC

Figura 29– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 1mm

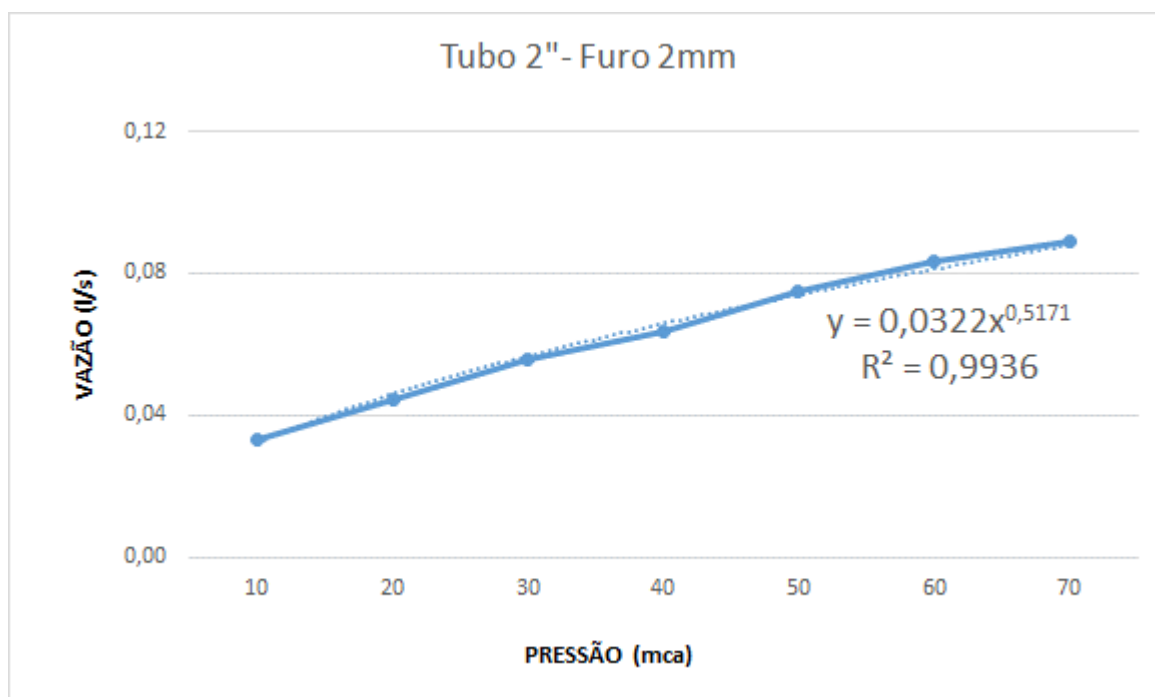


Figura 30– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 2mm

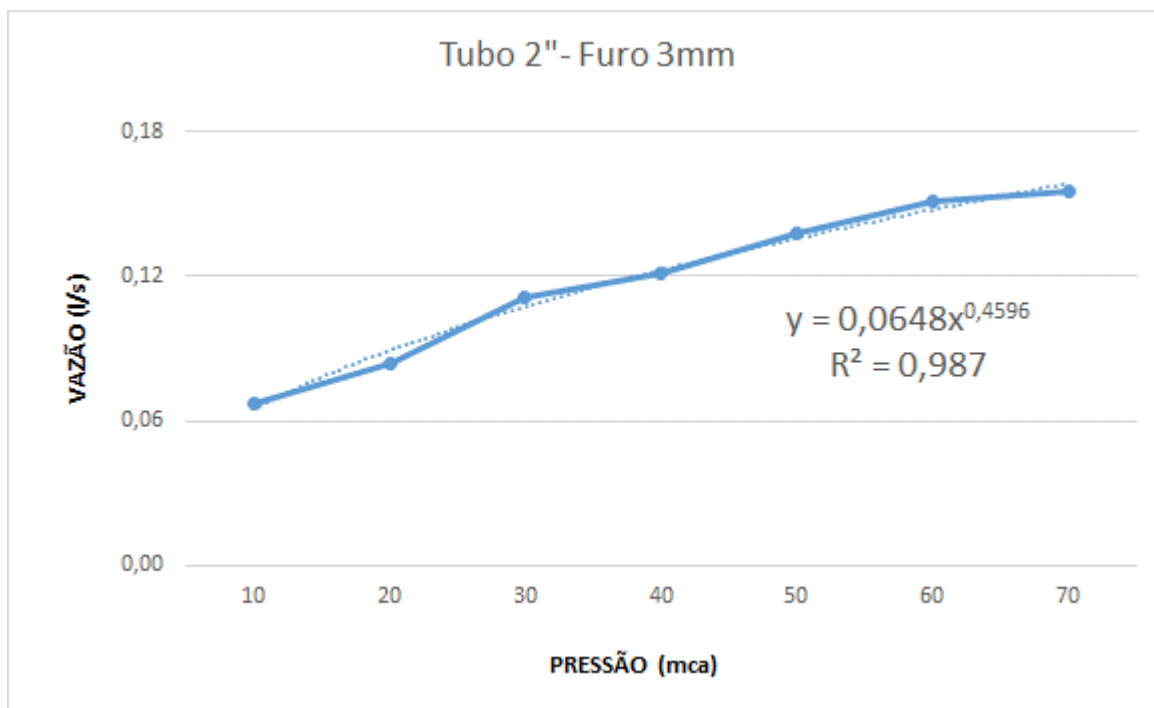


Figura 31– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 3mm

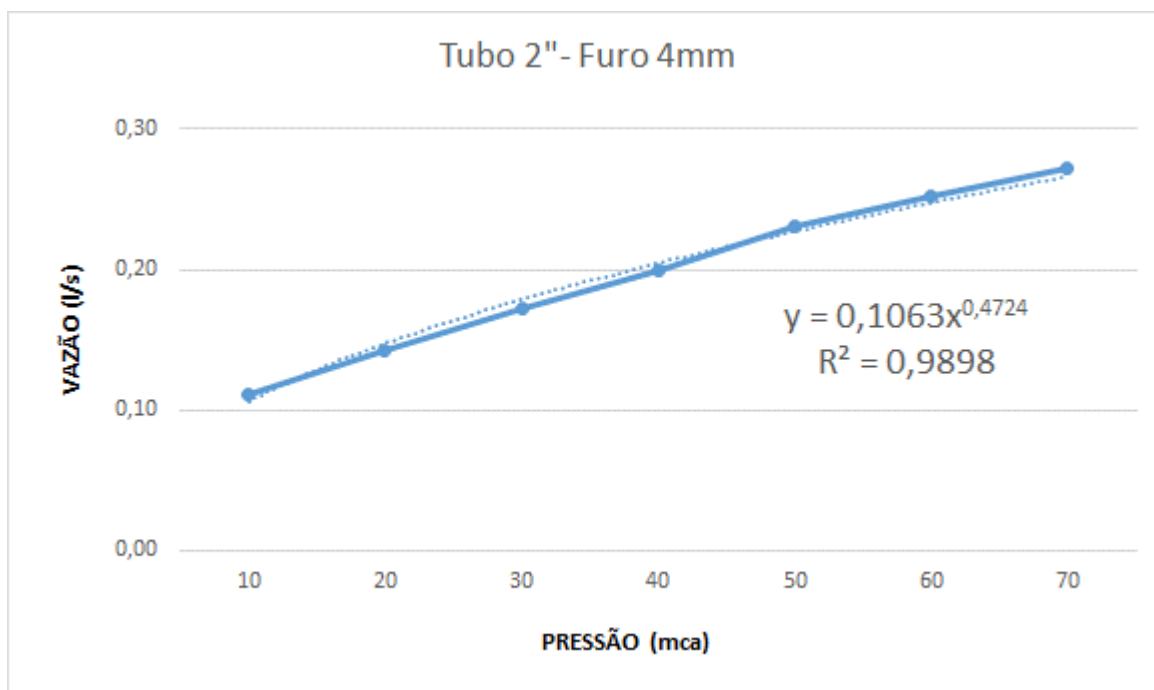


Figura 32– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 4mm

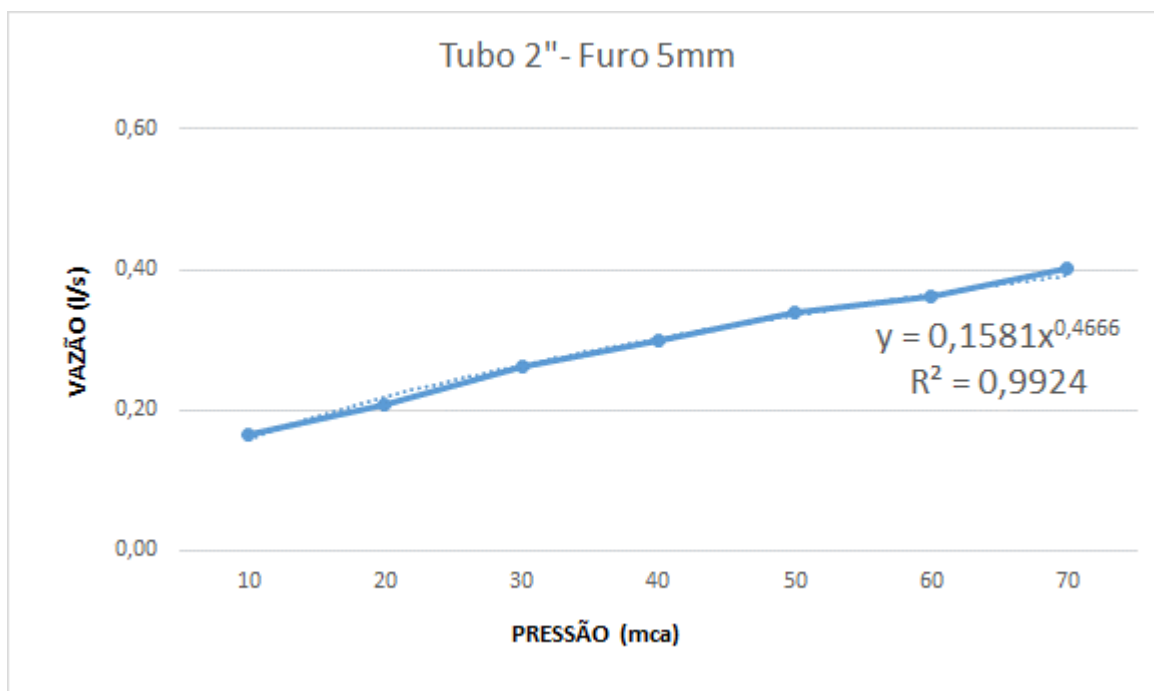


Figura 33– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 5mm

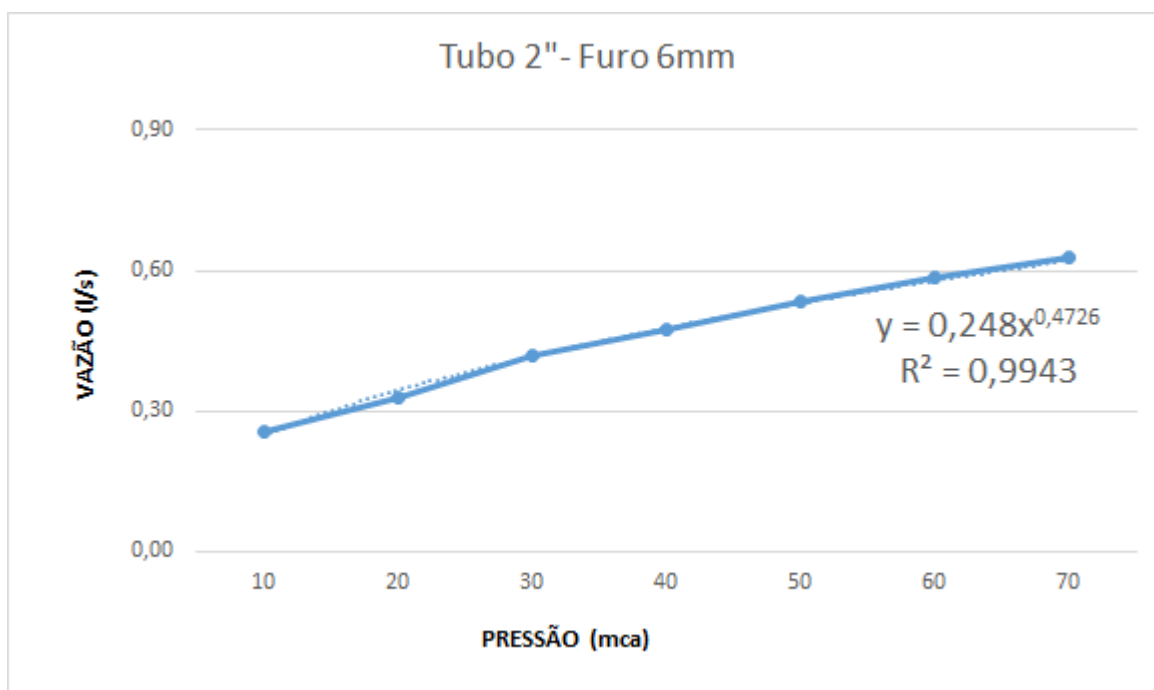


Figura 34– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 6mm

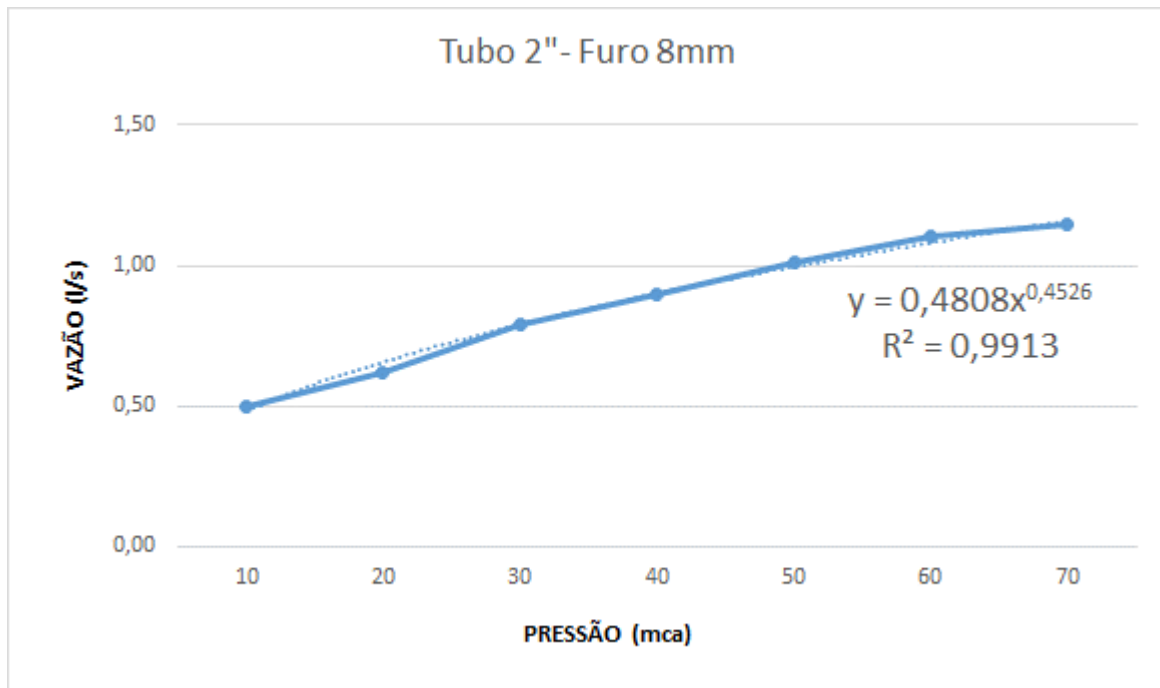


Figura 35– Vazão x pressão para tubo 2" AbC 8mm

Tabela 5– Processamento de dados tubo 2"

Ø Abc	Q(m³)	H(m)	g ^{0,5} H'	CdA	A(m²)	A(mm²)	d(m)	Rh	V(m/s)	Re
1 mm	1,3E-05	10	12,87	1,00658E-06	1,54858E-06	1,548582682	0,0014	0,0004	8,363015	11708,04
	1,73E-05	20	17,74	9,77295E-07	1,50353E-06	1,503530491	0,0014	0,0003	11,52842	15903,04
	2,11E-05	30	21,40	9,83789E-07	1,51352E-06	1,513521795	0,0014	0,0003	13,9097	19251,57
	2,44E-05	40	24,45	9,98472E-07	1,53611E-06	1,536110066	0,0014	0,0003	15,89194	22158,59
	2,73E-05	50	27,11	1,00821E-06	1,55109E-06	1,551089045	0,0014	0,0004	17,62203	24690,41
	2,89E-05	60	29,50	9,79308E-07	1,50663E-06	1,506628354	0,0014	0,0003	19,17453	26477,8
	3,18E-05	70	31,68	1,00429E-06	1,54507E-06	1,545068003	0,0014	0,0004	20,59339	28797,56
2mm	3,33E-05	10	14,57	2,28786E-06	3,51978E-06	3,519782982	0,0021	0,0005	9,470281	19988,26
	4,44E-05	20	20,85	2,1316E-06	3,27938E-06	3,279382033	0,0020	0,0005	13,55269	27610,58
	5,56E-05	30	25,71	2,16052E-06	3,32388E-06	3,323879231	0,0021	0,0005	16,71407	34281,44
	6,39E-05	40	29,84	2,14117E-06	3,2941E-06	3,294103614	0,0020	0,0005	19,39492	39601,43
	0,000075	50	33,49	2,23962E-06	3,44557E-06	3,445569512	0,0021	0,0005	21,76708	45455,34
	8,33E-05	60	36,80	2,26458E-06	3,48397E-06	3,483965809	0,0021	0,0005	23,9191	50226,85
	8,89E-05	70	39,85	2,23048E-06	3,4315E-06	3,431503316	0,0021	0,0005	25,90377	53983,3
3mm	6,67E-05	10	12,76	5,22347E-06	8,03611E-06	8,036110184	0,0032	0,0008	8,295888	26456,96
	8,33E-05	20	17,55	4,74806E-06	7,3047E-06	7,304702109	0,0030	0,0008	11,40818	34687,39
	0,000111	30	21,15	5,2544E-06	8,08369E-06	8,083690991	0,0032	0,0008	13,7451	43964,97
	0,000121	40	24,14	5,00646E-06	7,70224E-06	7,702241401	0,0031	0,0008	15,68807	48981,53
	0,000138	50	26,74	5,1417E-06	7,9103E-06	7,910304945	0,0032	0,0008	17,38239	54999,69
	0,000151	60	29,08	5,20602E-06	8,00927E-06	8,00926805	0,0032	0,0008	18,90171	60179,93
	0,000156	70	31,21	4,98344E-06	7,66683E-06	7,666826034	0,0031	0,0008	20,28943	63202,15
4mm	0,000111	10	13,14	8,45294E-06	1,30045E-05	13,00452915	0,0041	0,0010	8,544032	34662,85
	0,000142	20	18,24	7,76804E-06	1,19508E-05	11,95083491	0,0039	0,0010	11,85412	46102,31
	0,000172	30	22,09	7,79736E-06	1,19959E-05	11,99593903	0,0039	0,0010	14,35671	55940,48
	0,0002	40	25,30	7,90437E-06	1,21606E-05	12,16057184	0,0039	0,0010	16,4466	64521,9
	0,000231	50	28,12	8,20036E-06	1,26159E-05	12,61593095	0,0040	0,0010	18,27495	73024,75
	0,000253	60	30,64	8,2488E-06	1,26905E-05	12,69046053	0,0040	0,0010	19,91872	79827,83
	0,000272	70	32,96	8,25942E-06	1,27068E-05	12,70680609	0,0040	0,0010	21,42334	85913,12
5mm	0,000164	10	12,97	1,26357E-05	1,94396E-05	19,43956993	0,0050	0,0012	8,430685	41817,72
	0,000208	20	17,92	1,16238E-05	1,78828E-05	17,88279131	0,0048	0,0012	11,64993	55423,66
	0,000261	30	21,66	1,20573E-05	1,85497E-05	18,54973532	0,0049	0,0012	14,07627	68204,12
	0,0003	40	24,77	1,2113E-05	1,86353E-05	18,63533501	0,0049	0,0012	16,09845	78182
	0,000339	50	27,48	1,23302E-05	1,89695E-05	18,96946435	0,0049	0,0012	17,86497	87535,44
	0,000361	60	29,93	1,20672E-05	1,85649E-05	18,56490024	0,0049	0,0012	19,45128	94286,32
	0,000403	70	32,16	1,25254E-05	1,92699E-05	19,26991939	0,0050	0,0012	20,90189	103223,8
6mm	0,000256	10	13,15	1,94328E-05	2,98966E-05	29,89664595	0,0062	0,0015	8,547967	52580,92
	0,000328	20	18,25	1,79624E-05	2,76344E-05	27,63438936	0,0059	0,0015	11,86123	70146,93
	0,000419	30	22,10	1,89774E-05	2,9196E-05	29,19604897	0,0061	0,0015	14,36648	87330,62
	0,000472	40	25,32	1,86493E-05	2,86913E-05	28,69128573	0,0060	0,0015	16,45873	99180,33
	0,000533	50	28,14	1,89547E-05	2,9161E-05	29,16101563	0,0061	0,0015	18,28926	111109,6
	0,000583	60	30,67	1,90201E-05	2,92617E-05	29,26170683	0,0061	0,0015	19,93504	121316,8
	0,000628	70	32,99	1,90311E-05	2,92786E-05	29,27856225	0,0061	0,0015	21,44155	130522,4
8mm	0,000497	10	12,56	3,95914E-05	6,09099E-05	60,90986992	0,0088	0,0022	8,163246	71673,86
	0,000622	20	17,19	3,62034E-05	5,56976E-05	55,69760019	0,0084	0,0021	11,17144	93795,37
	0,000789	30	20,65	3,82051E-05	5,87771E-05	58,7770657	0,0087	0,0022	13,42171	115762
	0,000897	40	23,52	3,81468E-05	5,86874E-05	58,68739213	0,0086	0,0022	15,28816	131759,4
	0,001011	50	26,02	3,88594E-05	5,97836E-05	59,7836189	0,0087	0,0022	16,91285	147116,7
	0,001106	60	28,26	3,91237E-05	6,01903E-05	60,19029297	0,0088	0,0022	18,36767	160314
	0,00115	70	30,30	3,79539E-05	5,83907E-05	58,39069026	0,0086	0,0022	19,69492	169309

A.6 Tubos Ø 1/2" FL

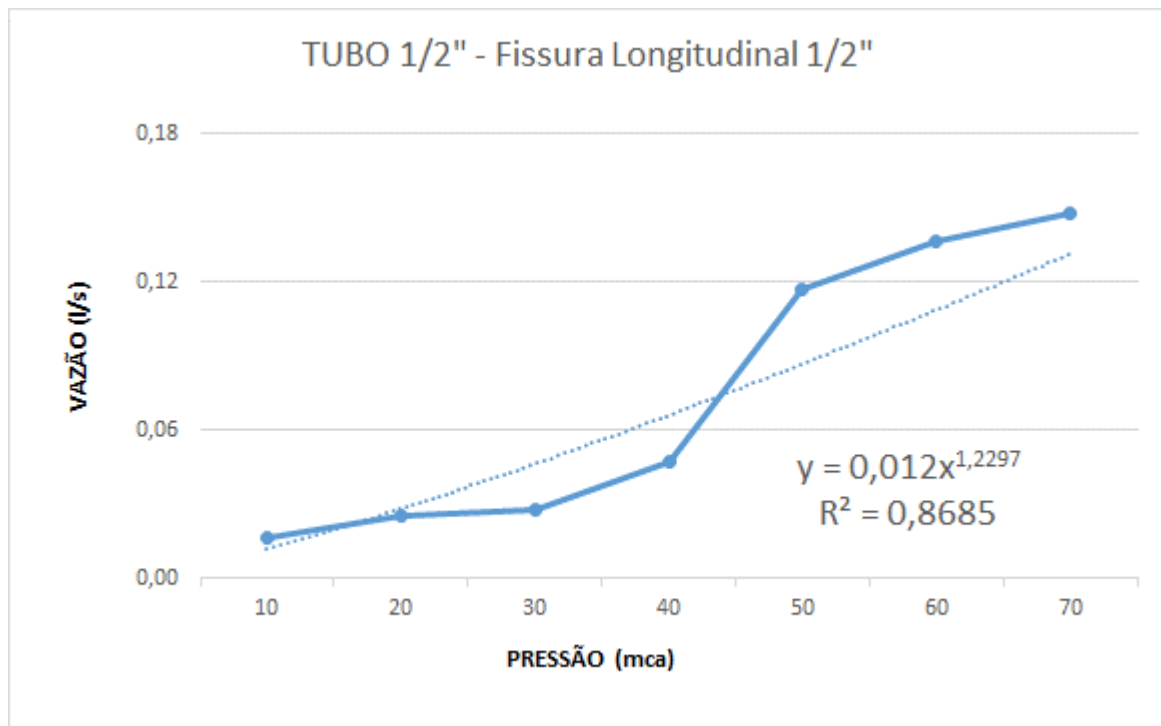


Figura 36– Vazão x pressão para tubo 1/2" FL 1/2"

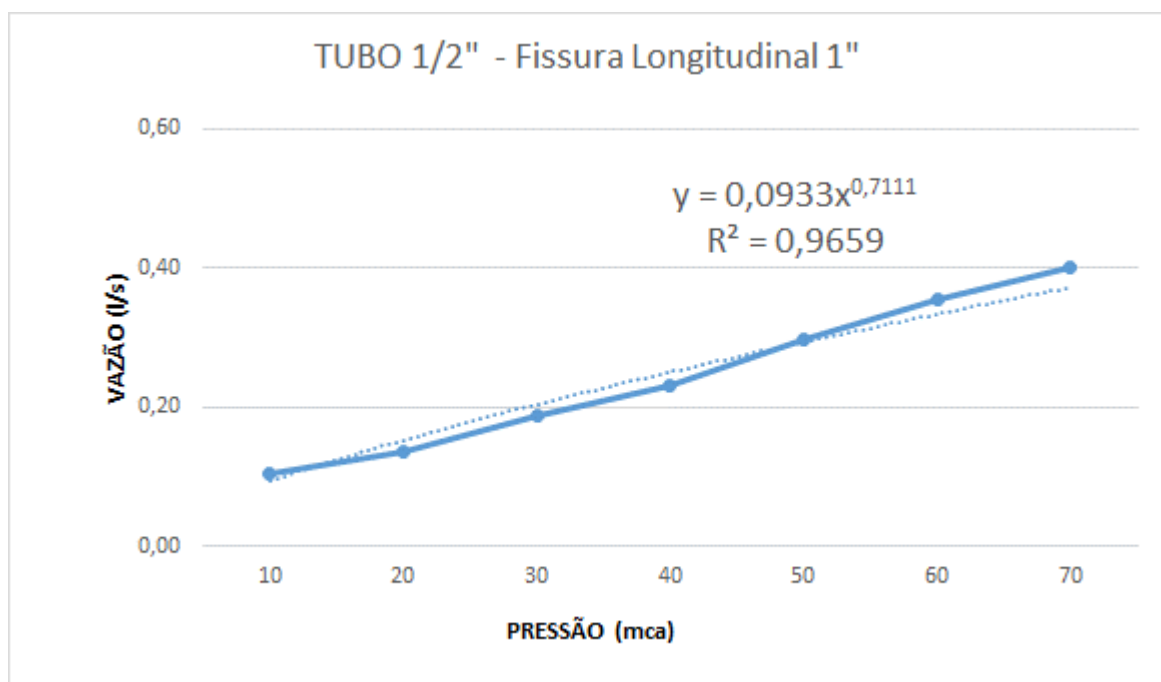


Figura 37– Vazão x pressão para tubo 1/2" FL 1"

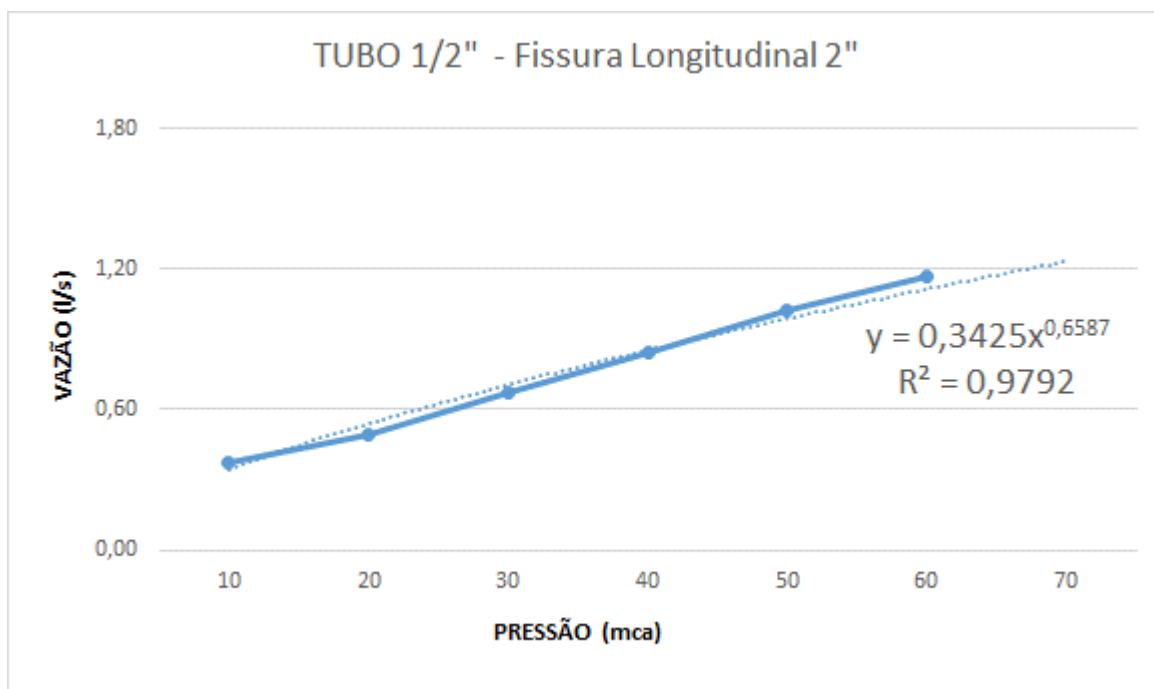


Figura 38– Vazão x pressão para tubo 1/2" FL 2"

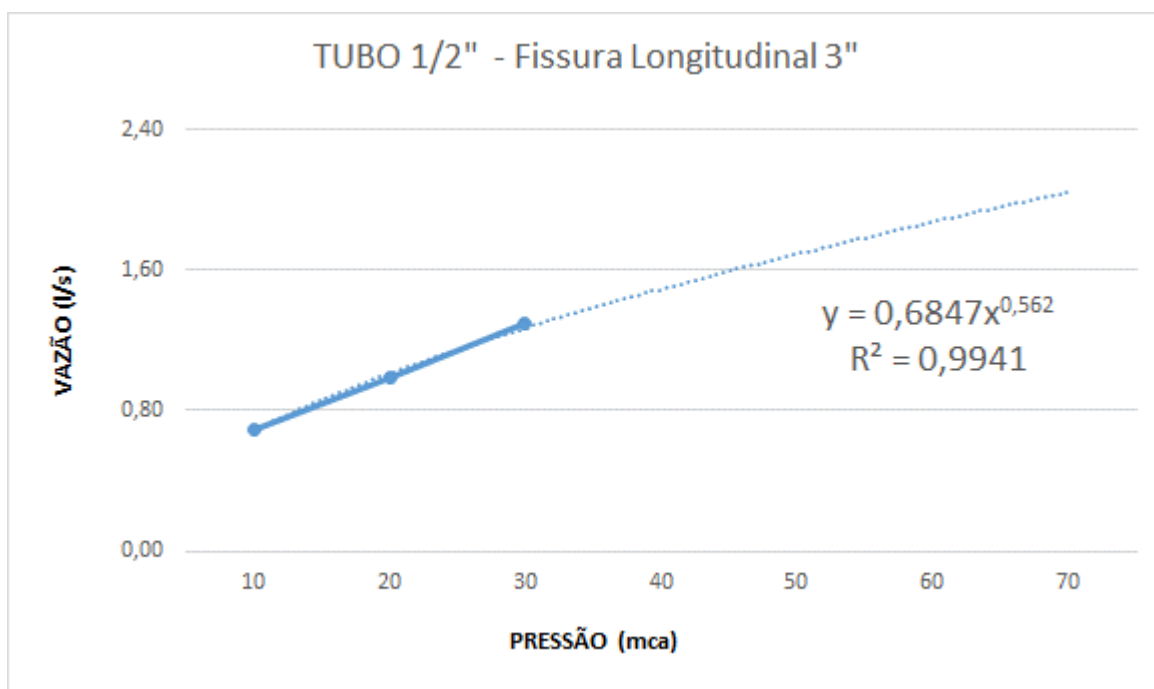


Figura 39– Vazão x pressão para tubo 1/2" FL 3"

Tabela 6– Processamento de dados tubo 1/2"

FL	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{1,41}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	1,65957E-05	10	75,17	2,20774E-07	3,39652E-07	0,339651773	0,5000	48,86106	97422154
	0,000025	20	176,29	1,41812E-07	2,18173E-07	0,21817278	0,5000	114,5881	2,28E+08
	2,77778E-05	30	290,25	9,57044E-08	1,47238E-07	0,147237568	0,5000	188,6596	3,76E+08
	4,72222E-05	40	413,43	1,1422E-07	1,75724E-07	0,175723721	0,5000	268,7299	5,36E+08
	0,000116667	50	543,97	2,14474E-07	3,29959E-07	0,329959409	0,5000	353,5788	7,05E+08
	0,000136111	60	680,68	1,99964E-07	3,07637E-07	0,307636689	0,5000	442,4411	8,82E+08
	0,000147222	70	822,75	1,7894E-07	2,75292E-07	0,275291911	0,5000	534,7859	1,07E+09
1"	0,000105556	10	22,77	4,63481E-06	7,13047E-06	7,130471324	0,5000	14,80345	29517177
	0,000136111	20	37,28	3,65075E-06	5,61653E-06	5,616532693	0,5000	24,23401	48321149
	0,000188889	30	49,74	3,79731E-06	5,84201E-06	5,842014486	0,5000	32,33283	64469715
	0,000230556	40	61,03	3,77747E-06	5,8115E-06	5,811495069	0,5000	39,67233	79104226
	0,000297222	50	71,53	4,15522E-06	6,39265E-06	6,392648843	0,5000	46,49438	92706971
	0,000355556	60	81,43	4,36631E-06	6,7174E-06	6,717400721	0,5000	52,93053	1,06E+08
	0,0004	70	90,87	4,40211E-06	6,77248E-06	6,772482896	0,5000	59,06253	1,18E+08
2"	0,000369444	10	20,19	1,8302E-05	2,8157E-05	28,15699359	0,5000	13,12088	26162749
	0,000491667	20	31,87	1,54288E-05	2,37367E-05	23,73665127	0,5000	20,7134	41302071
	0,000675	30	41,62	1,62171E-05	2,49495E-05	24,94945965	0,5000	27,05469	53946484
	0,000841667	40	50,31	1,67307E-05	2,57395E-05	25,73951464	0,5000	32,6994	65201906
	0,001019444	50	58,27	1,74945E-05	2,69147E-05	26,91467645	0,5000	37,8769	75525727
	0,001169444	60	65,71	1,77976E-05	2,73809E-05	27,38094975	0,5000	42,71015	85163127
3"	0,000691667	10	16,16	4,28102E-05	6,58619E-05	65,8618595	0,5000	10,50178	20940460
	0,000983333	20	23,85	4,12261E-05	6,34248E-05	63,42479111	0,5000	15,50393	30914703
	0,001291667	30	29,96	4,3118E-05	6,63354E-05	66,33541475	0,5000	19,47175	38826511

A.7 Tubos Ø 3/4" FL

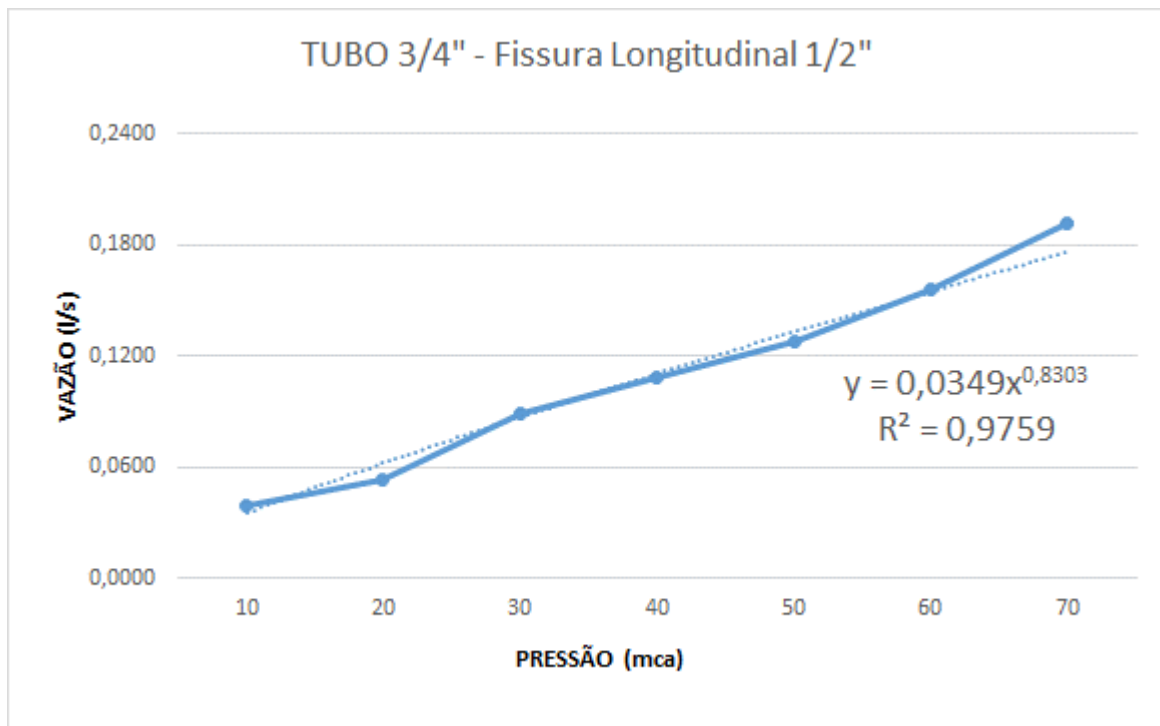


Figura 40– Vazão x pressão para tubo 3/4" FL 1/2"

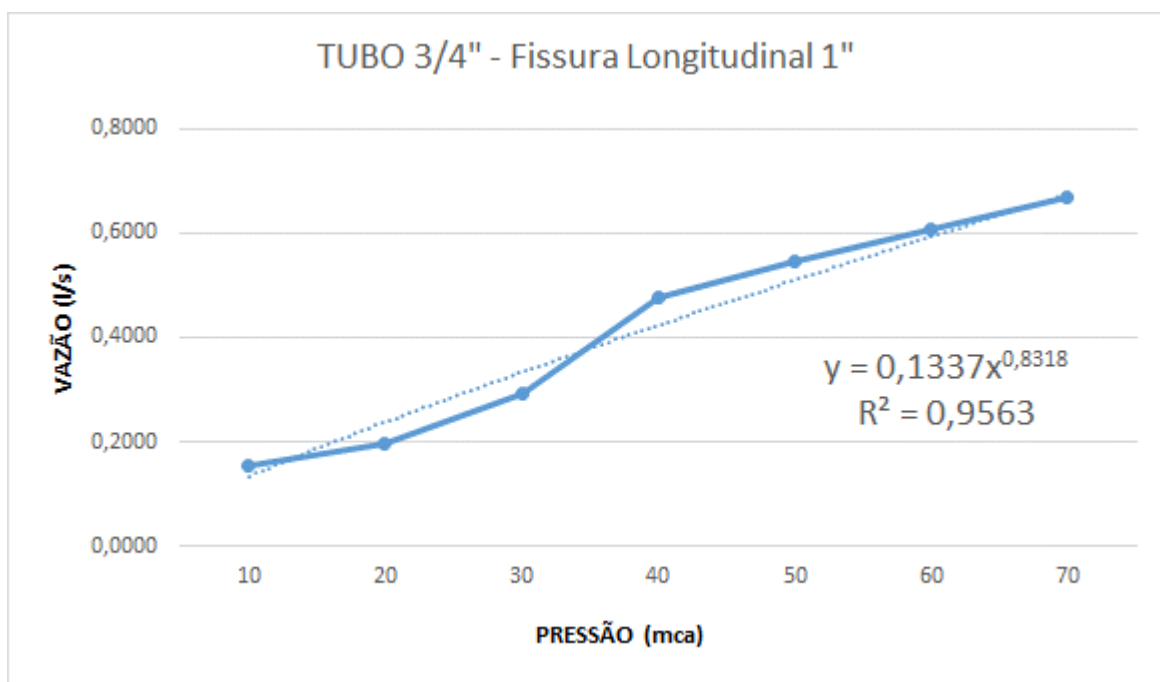


Figura 41– Vazão x pressão para tubo 3/4" FL 1"

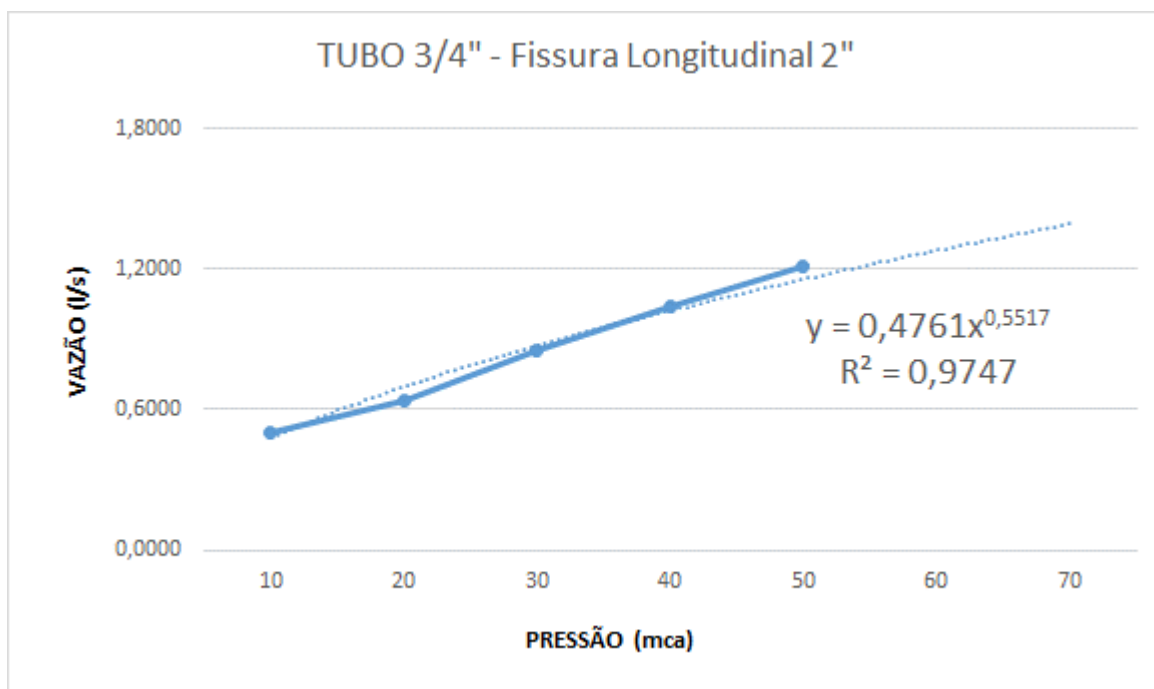


Figura 42– Vazão x pressão para tubo 3/4" FL 2"

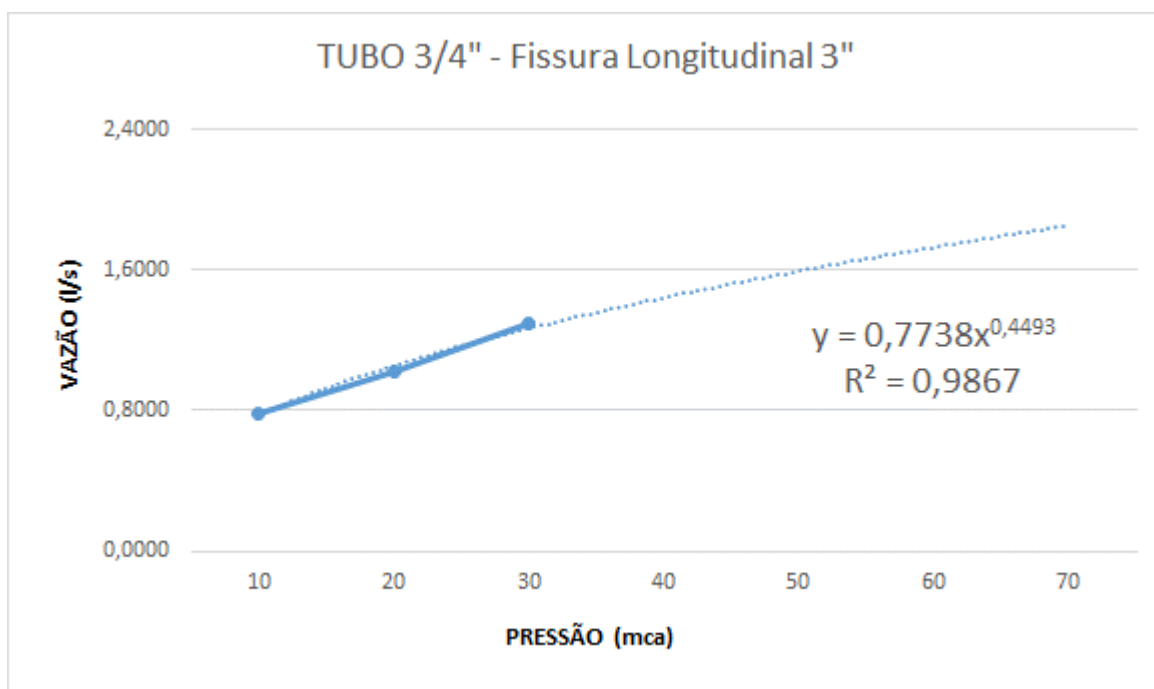


Figura 43– Vazão x pressão para tubo 3/4" FL 3"

Tabela 7– Processamento de dados tubo 3/4"

FL	Q(m ³)	H(m)	((2g) ^{0,5})H ^{N1}	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	3,88889E-05	10	29,97	1,29771E-06	1,99647E-06	1,996469486	0,5000	19,47883	38838077,65
	5,27778E-05	20	53,28	9,90504E-07	1,52385E-06	1,523852868	0,5000	34,63443	69056240,49
	8,88889E-05	30	74,61	1,19136E-06	1,83287E-06	1,832866534	0,5000	48,4972	96696666,71
	0,000108333	40	94,74	1,14346E-06	1,75917E-06	1,75917416	0,5000	61,58193	122785797,8
	0,000127778	50	114,03	1,1206E-06	1,724E-06	1,724001654	0,5000	74,11697	147778930,9
	0,000155556	60	132,66	1,17257E-06	1,80395E-06	1,803946631	0,5000	86,23069	171931997,5
	0,000191667	70	150,78	1,2712E-06	1,95568E-06	1,95568466	0,5000	98,00489	195408129,9
1"	0,000152778	10	30,07	5,08055E-06	7,81623E-06	7,816230002	0,4998	19,54622	38960181,59
	0,000197222	20	53,52	3,68476E-06	5,66887E-06	5,668866628	0,4998	34,79041	69345410,4
	0,000291667	30	74,99	3,88927E-06	5,98349E-06	5,983488773	0,4998	48,74525	97160654,59
	0,000475	40	95,27	4,98598E-06	7,67074E-06	7,67073979	0,4998	61,92362	123428222,1
	0,000544444	50	114,70	4,7468E-06	7,30277E-06	7,30276731	0,4998	74,55317	148601852
	0,000605556	60	133,48	4,53668E-06	6,97951E-06	6,979509852	0,4998	86,7619	172936706
	0,000666667	70	151,74	4,39346E-06	6,75917E-06	6,759169433	0,4998	98,63145	196595477
2"	0,000502778	10	15,78	3,18659E-05	4,90245E-05	49,02450485	0,5000	10,25564	20449531,93
	0,000641667	20	23,13	2,77448E-05	4,26843E-05	42,68432052	0,5000	15,03284	29975167,62
	0,00085	30	28,93	2,93861E-05	4,52094E-05	45,20935087	0,5000	18,80142	37489631,19
	0,001036111	40	33,90	3,05633E-05	4,70205E-05	47,02047106	0,5000	22,03532	43937957,96
	0,001208333	50	38,34	3,15149E-05	4,84844E-05	48,48441352	0,5000	24,9221	49694133,59
3"	0,000783333	10	12,46	6,28488E-05	9,66905E-05	96,69048739	0,5000	8,101452	16154228,49
	0,001022222	20	17,02	6,0068E-05	9,24123E-05	92,41227944	0,5000	11,06154	22056621,9
	0,001294444	30	20,42	6,33962E-05	9,75326E-05	97,5326396	0,5000	13,27191	26464080,03

A.8 Tubos Ø 1" FL

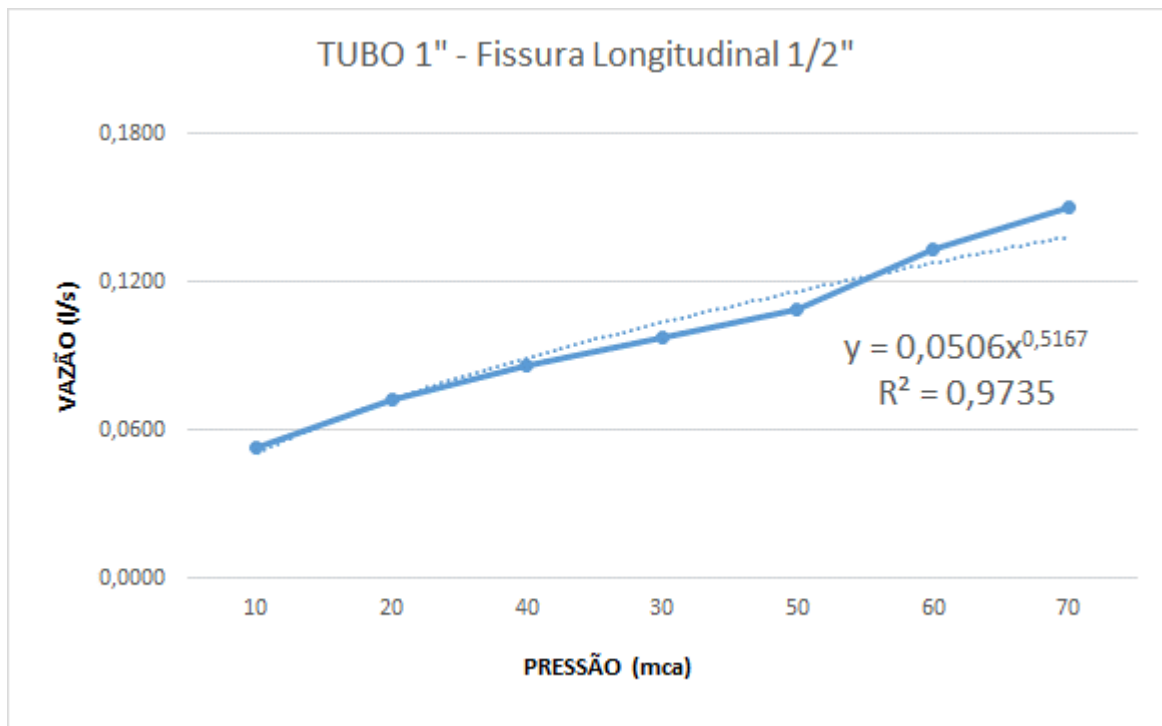


Figura 43– Vazão x pressão para tubo 1" FL 1/2"

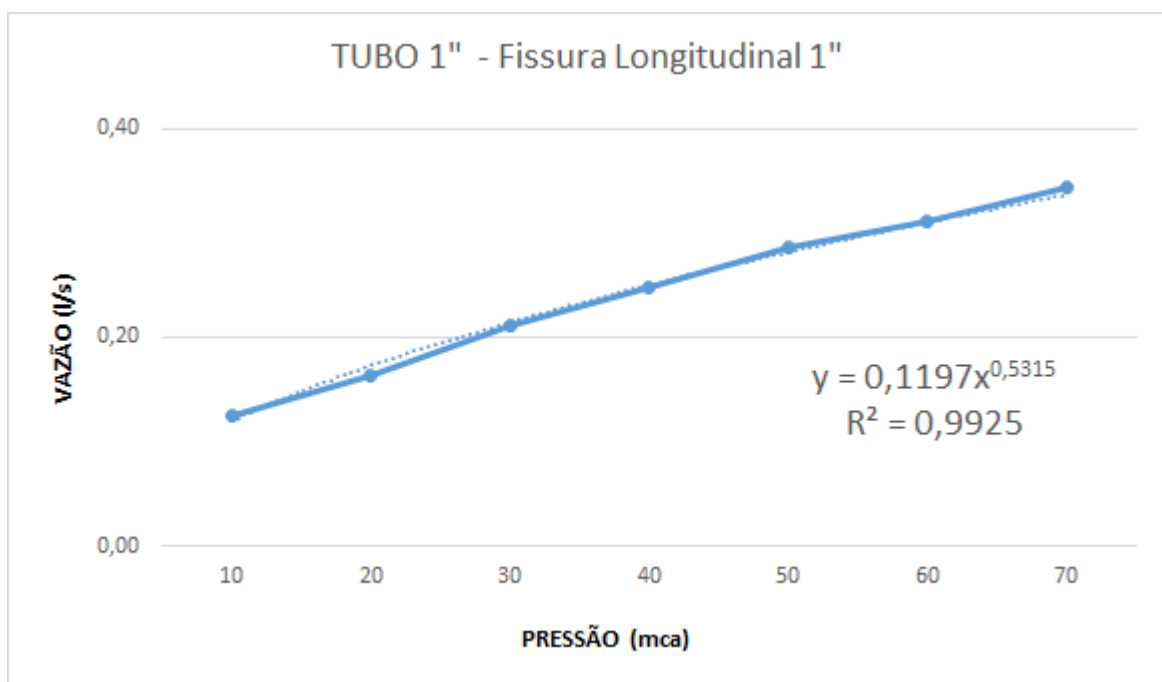


Figura 44– Vazão x pressão para tubo 1" FL 1"

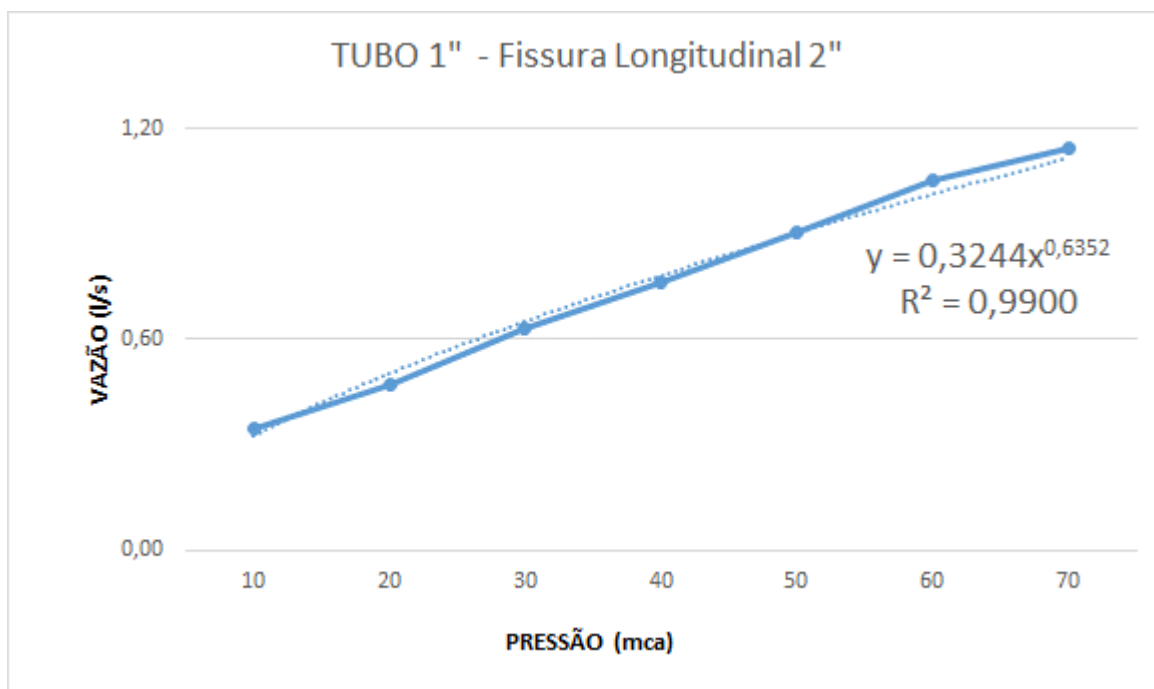


Figura 45– Vazão x pressão para tubo 1" FL 2"

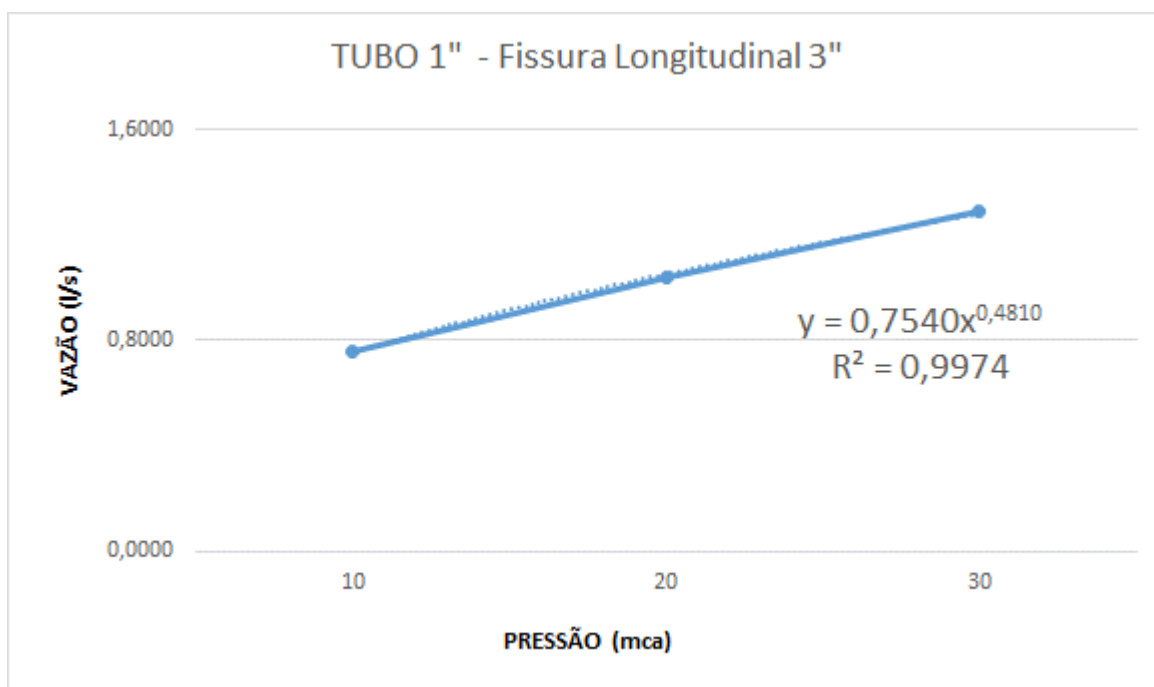


Figura 46– Vazão x pressão para tubo 1" FL 3"

Tabela 8– Processamento de dados tubo 1"

FL	Q(m ³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{1,5}$	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	5,27778E-05	10	14,56	3,62578E-06	5,57812E-06	5,578124999	0,5000	9,461562	18865040
	7,22222E-05	20	20,83	3,468E-06	5,33539E-06	5,335385329	0,5000	13,53646	26989816
	8,61111E-05	30	25,68	3,35337E-06	5,15903E-06	5,159026784	0,5000	16,69135	33280227
	9,72222E-05	40	29,79	3,26311E-06	5,02017E-06	5,020168426	0,5000	19,36633	38613763
	0,000108333	50	33,44	3,24007E-06	4,98473E-06	4,984727788	0,5000	21,73305	43332678
	0,000133333	60	36,74	3,62926E-06	5,58348E-06	5,58348209	0,5000	23,87996	47613321
	0,00015	70	39,78	3,77033E-06	5,80051E-06	5,800510852	0,5000	25,85979	51560828
1"	0,000125	10	15,06	8,29966E-06	1,27687E-05	12,76871386	0,4998	9,789553	19512862
	0,000163889	20	21,77	7,5284E-06	1,15822E-05	11,58215066	0,4998	14,15013	28204501
	0,000211111	30	27,00	7,81757E-06	1,2027E-05	12,02702701	0,4998	17,55306	34987340
	0,000247222	40	31,47	7,85675E-06	1,20873E-05	12,08731283	0,4998	20,45303	40767667
	0,000286111	50	35,43	8,07575E-06	1,24242E-05	12,42422502	0,4998	23,02849	45901146
	0,000311111	60	39,03	7,97037E-06	1,22621E-05	12,26211188	0,4998	25,37174	50571794
	0,000344444	70	42,37	8,13018E-06	1,2508E-05	12,50796675	0,4998	27,538	54889665
2"	0,000344444	10	19,12	1,80123E-05	2,77113E-05	27,71126339	0,5000	12,42976	24784683
	0,000472222	20	29,70	1,58995E-05	2,44607E-05	24,4607241	0,5000	19,30532	38494406
	0,000630556	30	38,43	1,64099E-05	2,5246E-05	25,24602903	0,5000	24,97643	49802460
	0,000763889	40	46,13	1,65597E-05	2,54764E-05	25,47644513	0,5000	29,98412	59787704
	0,000902778	50	53,15	1,69842E-05	2,61296E-05	26,12956955	0,5000	34,55004	68892052
	0,001052778	60	59,68	1,76403E-05	2,71389E-05	27,138896	0,5000	38,79221	77350842
	0,001141667	70	65,82	1,73454E-05	2,66852E-05	26,68518315	0,5000	42,78279	85307978
3"	0,000758333	10	13,41	5,65602E-05	8,70156E-05	87,01563386	0,5000	8,714909	17377457
	0,001036111	20	18,71	5,53683E-05	8,5182E-05	85,18204163	0,5000	12,16349	24253904
	0,001291667	30	22,74	5,67944E-05	8,7376E-05	87,37602238	0,5000	14,78285	29476882

A.9 Tubos Ø 1 1/2" FL

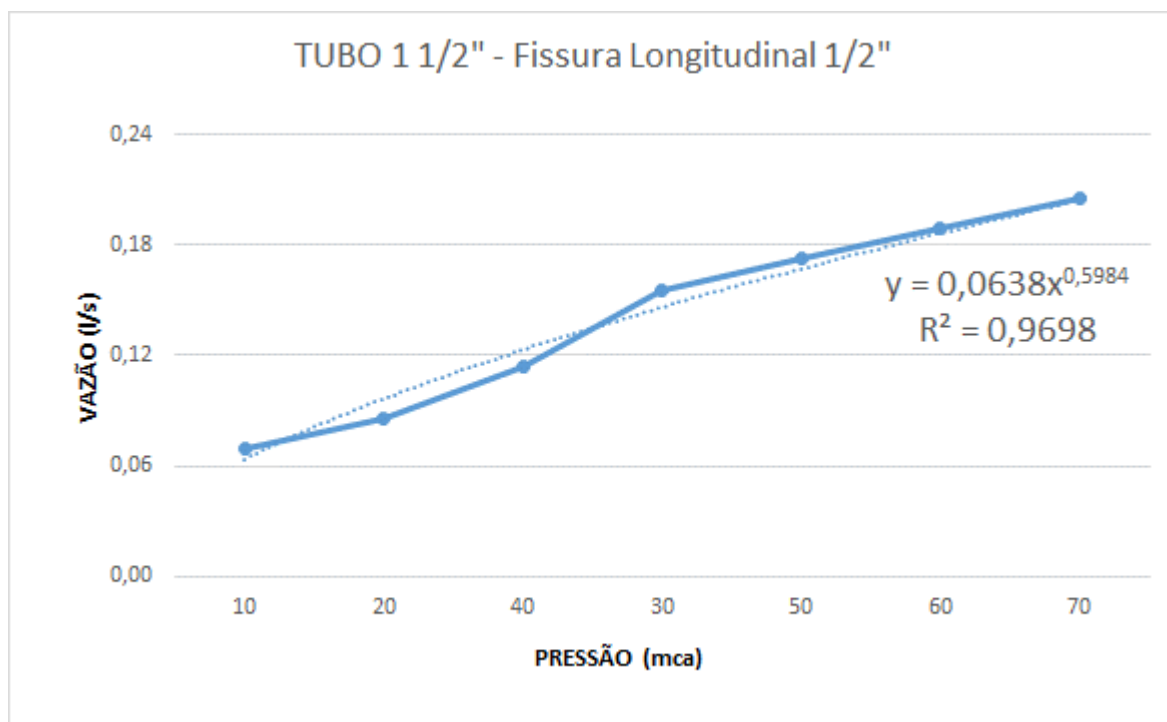


Figura 47– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FL 1/2"

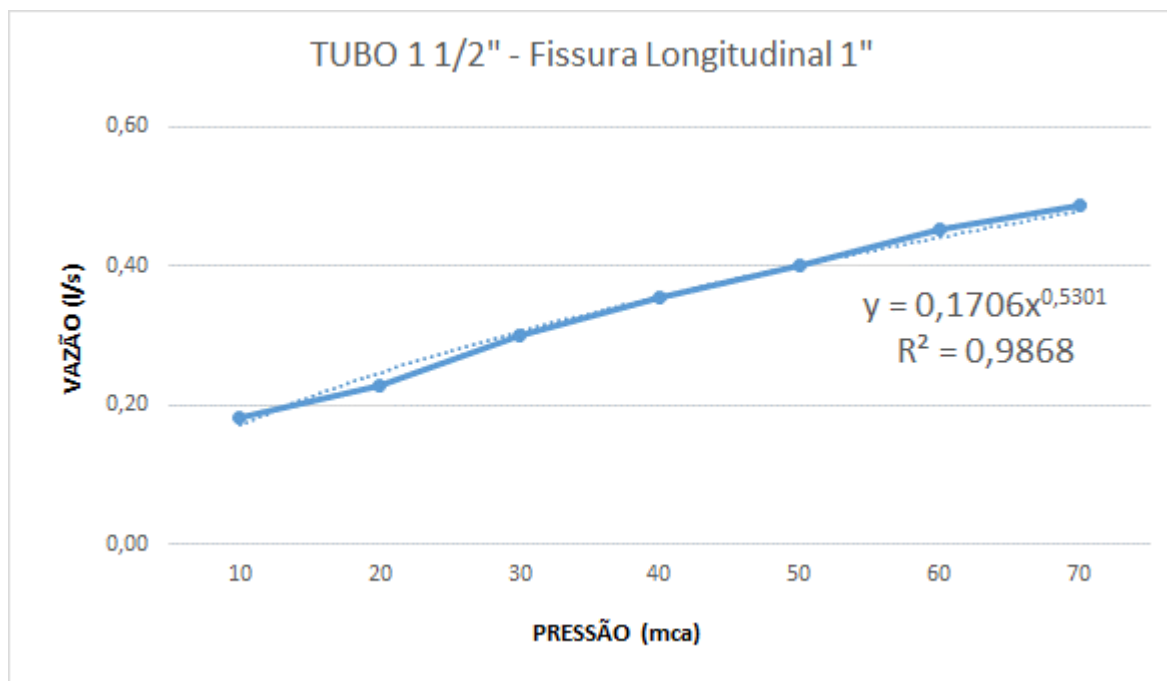


Figura 48– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FL 1"

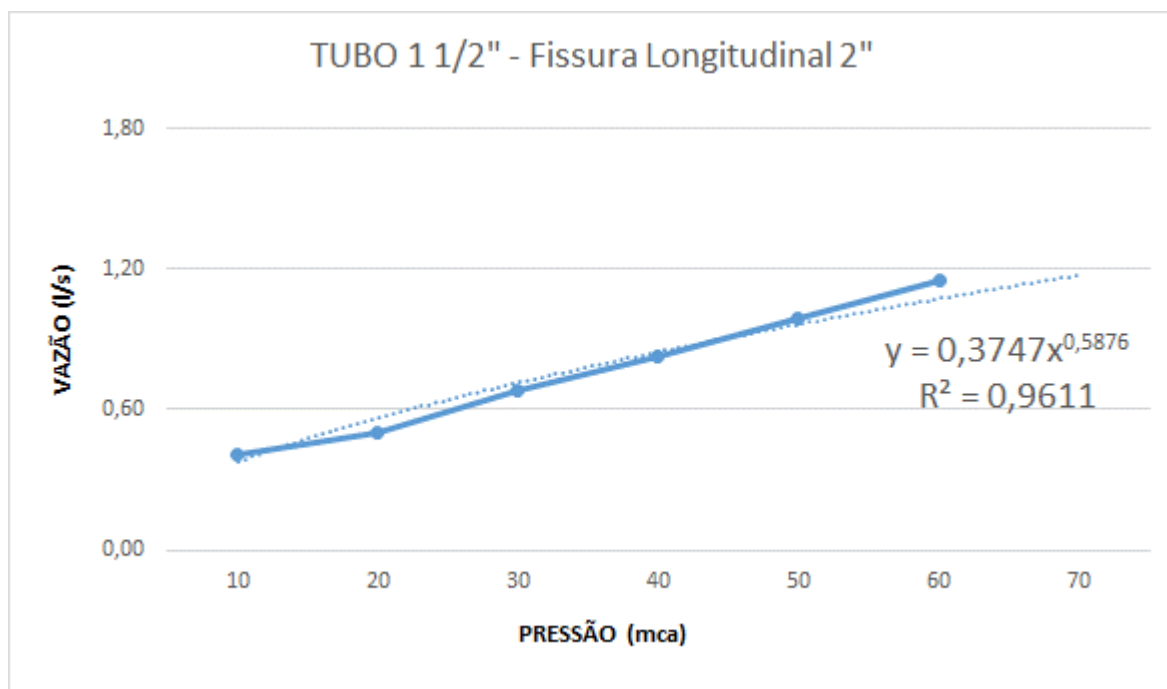


Figura 49– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FL 2"

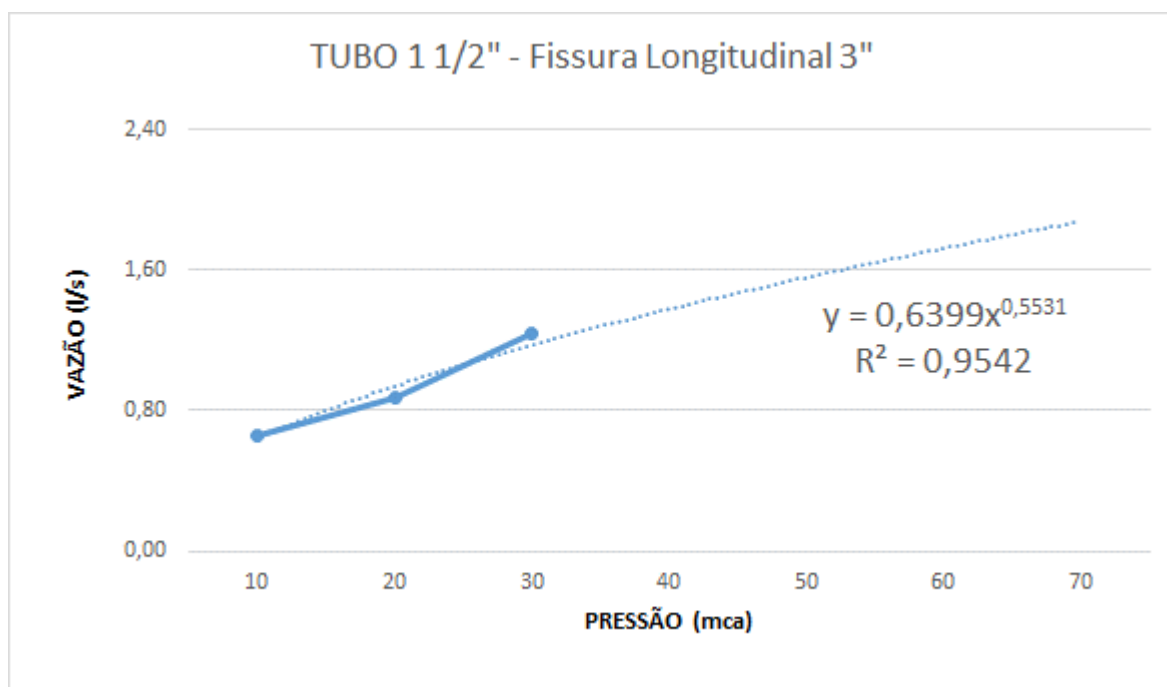


Figura 50– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FL 3"

Tabela 9– Processamento de dados tubo 1 1/2"

FL	Q(m ³)	H(m)	$g^{0,5} H'$	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	6,94444E-05	10	17,57	3,95265E-06	6,081E-06	6,080995048	0,5000	11,41991	22769721,87
	8,61111E-05	20	26,60	3,23723E-06	4,98035E-06	4,980351389	0,5000	17,29017	34474190,34
	0,000113889	30	33,90	3,3591E-06	5,16784E-06	5,16784095	0,5000	22,038	43940711,47
	0,000155556	40	40,27	3,86245E-06	5,94224E-06	5,942237001	0,5000	26,17795	52195182,99
	0,000172222	50	46,03	3,74176E-06	5,75656E-06	5,756555286	0,5000	29,91758	59651501,02
	0,000188889	60	51,33	3,67969E-06	5,66106E-06	5,661061143	0,5000	33,36634	66527841,65
	0,000205556	70	56,29	3,65151E-06	5,61771E-06	5,617714884	0,5000	36,5906	72956567,5
1"	0,000180556	10	15,01	1,20271E-05	1,85032E-05	18,50324919	0,4998	9,758046	19450061,21
	0,000227778	20	21,68	1,05072E-05	1,61649E-05	16,16488029	0,4998	14,0909	28086457,97
	0,0003	30	26,88	1,11622E-05	1,71726E-05	17,17261445	0,4998	17,46968	34821137,13
	0,000355556	40	31,30	1,13581E-05	1,7474E-05	17,47401118	0,4998	20,34768	40557667,81
	0,0004	50	35,23	1,13524E-05	1,74652E-05	17,46518273	0,4998	22,90271	45650440,41
	0,000452778	60	38,81	1,16664E-05	1,79483E-05	17,94833916	0,4998	25,22672	50282741,74
	0,000486111	70	42,11	1,15425E-05	1,77577E-05	17,75767972	0,4998	27,3747	54564156,19
2"	0,000411111	10	17,14	2,39889E-05	3,69059E-05	36,90594723	0,5000	11,13943	22211780,43
	0,000502778	20	25,75	1,95228E-05	3,0035E-05	30,0350245	0,5000	16,73972	33378636,9
	0,000677778	30	32,68	2,07387E-05	3,19057E-05	31,90568096	0,5000	21,24317	42358426,71
	0,000825	40	38,70	2,13174E-05	3,2796E-05	32,79598201	0,5000	25,15552	50159572,07
	0,000991667	50	44,12	2,24751E-05	3,45771E-05	34,57706152	0,5000	28,6799	57187109,56
	0,001152778	60	49,11	2,34722E-05	3,61111E-05	36,1111287	0,5000	31,92306	63653904,25
3"	0,000658333	10	15,83	4,15907E-05	6,39857E-05	63,98570908	0,5000	10,28876	20515694,41
	0,000869444	20	23,22	3,74363E-05	5,75943E-05	57,59427133	0,5000	15,09602	30101345,74
	0,001233333	30	29,06	4,24361E-05	6,52863E-05	65,28626826	0,5000	18,89116	37668817,53

A.10 Tubos Ø /2" FL

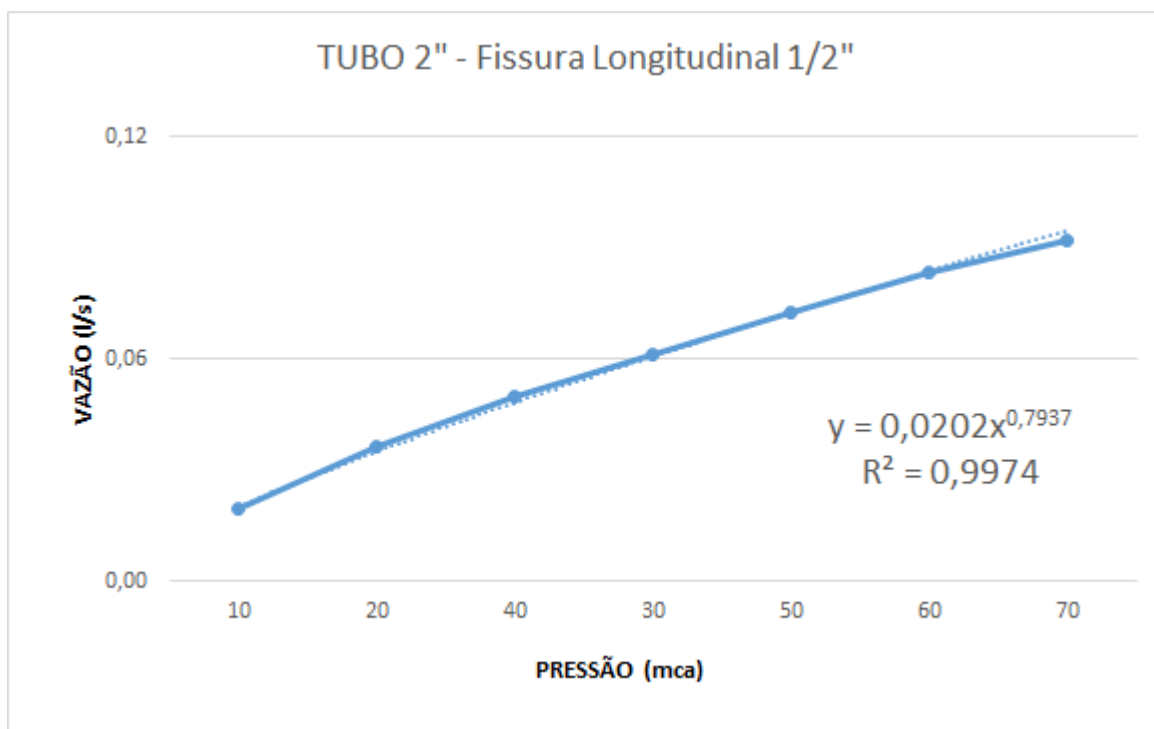


Figura 51– Vazão x pressão para tubo 2" FL 1/2"

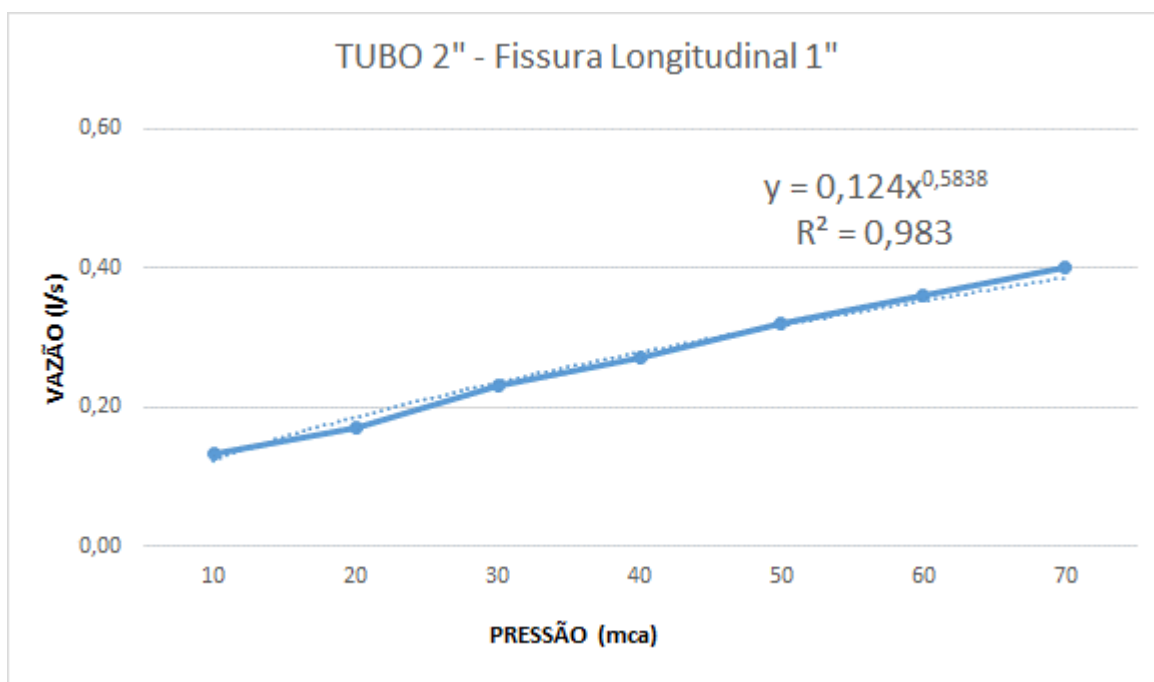


Figura 52– Vazão x pressão para tubo 2" FL 1"

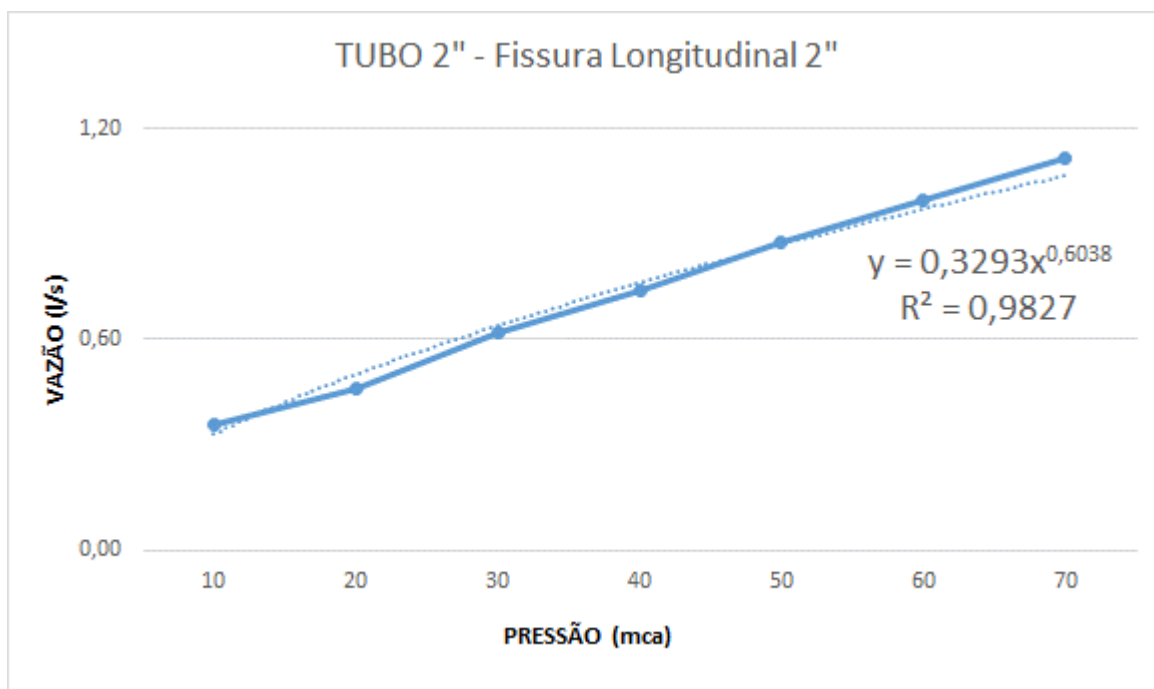


Figura 53– Vazão x pressão para tubo 2" FL 2"

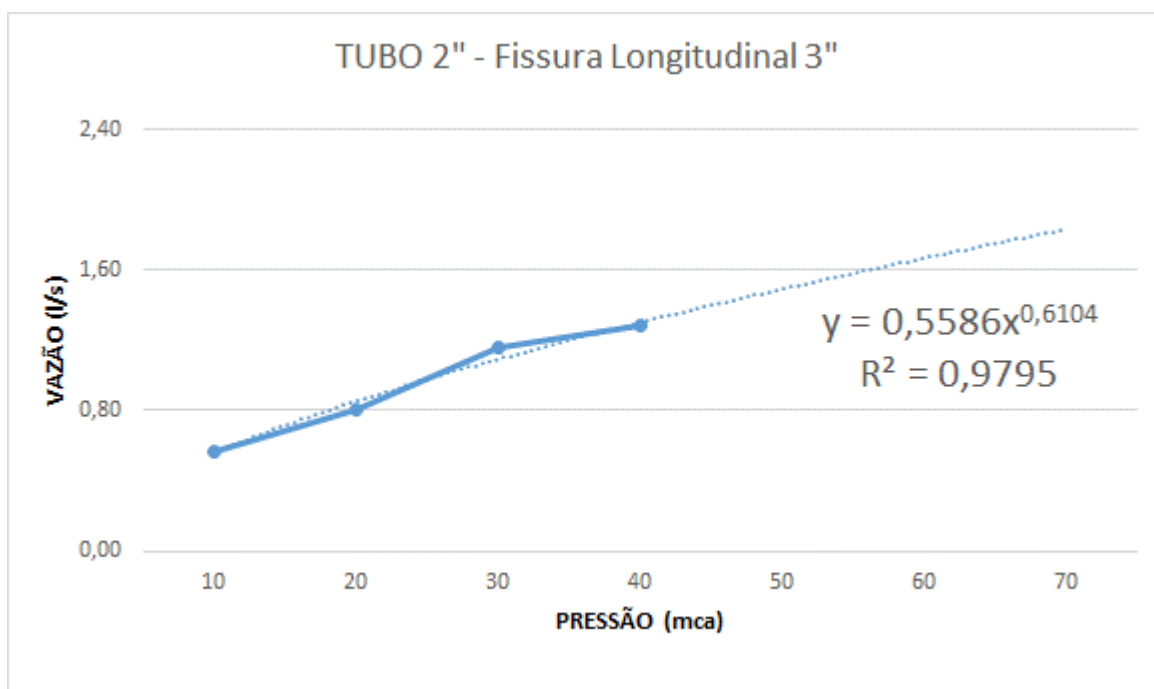


Figura 54– Vazão x pressão para tubo 2" FL 3"

Tabela 10– Processamento de dados tubo 2"

FL	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{0,5}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	1,94444E-05	10	27,55	7,05905E-07	1,08601E-06	1,086007141	0,5000	17,90453	35699137,68
	3,61111E-05	20	47,75	7,56247E-07	1,16346E-06	1,163457399	0,5000	31,03776	61884976,92
	0,00005	30	65,88	7,58978E-07	1,16766E-06	1,167658933	0,5000	42,82072	85378567,85
	6,11111E-05	40	82,78	7,38271E-07	1,1358E-06	1,135801157	0,5000	53,80441	107278512
	7,22222E-05	50	98,81	7,30885E-07	1,12444E-06	1,124437955	0,5000	64,22962	128064930,5
	8,33333E-05	60	114,20	7,29711E-07	1,12263E-06	1,122631563	0,5000	74,23035	148004995,2
	9,16667E-05	70	129,06	7,10244E-07	1,09268E-06	1,092683202	0,5000	83,89135	167267682,6
1"	0,000133333	10	16,99	7,84855E-06	1,20747E-05	12,07468691	0,4998	11,04238	22010047,12
	0,000169444	20	25,46	6,65482E-06	1,02382E-05	10,23818952	0,4998	16,55024	32988478,38
	0,000230556	30	32,26	7,14632E-06	1,09943E-05	10,9943446	0,4998	20,97038	41798852,65
	0,000272222	40	38,16	7,13332E-06	1,09743E-05	10,97433198	0,4998	24,80536	49442861,25
	0,000319444	50	43,47	7,3483E-06	1,13051E-05	11,30508398	0,4998	28,25671	56322206,55
	0,000361111	60	48,35	7,46804E-06	1,14893E-05	11,48929269	0,4998	31,43023	62647778,05
	0,0004	70	52,91	7,56036E-06	1,16313E-05	11,63131714	0,4998	34,38991	68547119,28
2"	0,000355556	10	17,79	1,99875E-05	3,075E-05	30,74996393	0,5000	11,5628	23055968,59
	0,000458333	20	27,03	1,69539E-05	2,60829E-05	26,0829479	0,5000	17,57214	35038482,04
	0,000616667	30	34,53	1,78573E-05	2,74727E-05	27,47272899	0,5000	22,4465	44757846,8
	0,000741667	40	41,08	1,80524E-05	2,7773E-05	27,77295431	0,5000	26,70464	53248477,47
	0,000875	50	47,01	1,86132E-05	2,86357E-05	28,635654	0,5000	30,55631	60928636,65
	0,000944444	60	52,48	1,89489E-05	2,91521E-05	29,15210656	0,5000	34,11227	68019133,76
	0,001113889	70	57,60	1,93385E-05	2,97515E-05	29,7514966	0,5000	37,43976	74654083,53
3"	0,000569444	10	18,06	3,15284E-05	4,85052E-05	48,50522262	0,5000	11,73986	23409181,1
	0,0008	20	27,57	2,90129E-05	4,46353E-05	44,63529603	0,5000	17,92304	35738385,64
	0,001161111	30	35,32	3,28768E-05	5,05797E-05	50,57968368	0,5000	22,95608	45774228,72

A.11 Tubos Ø 1/2" FC

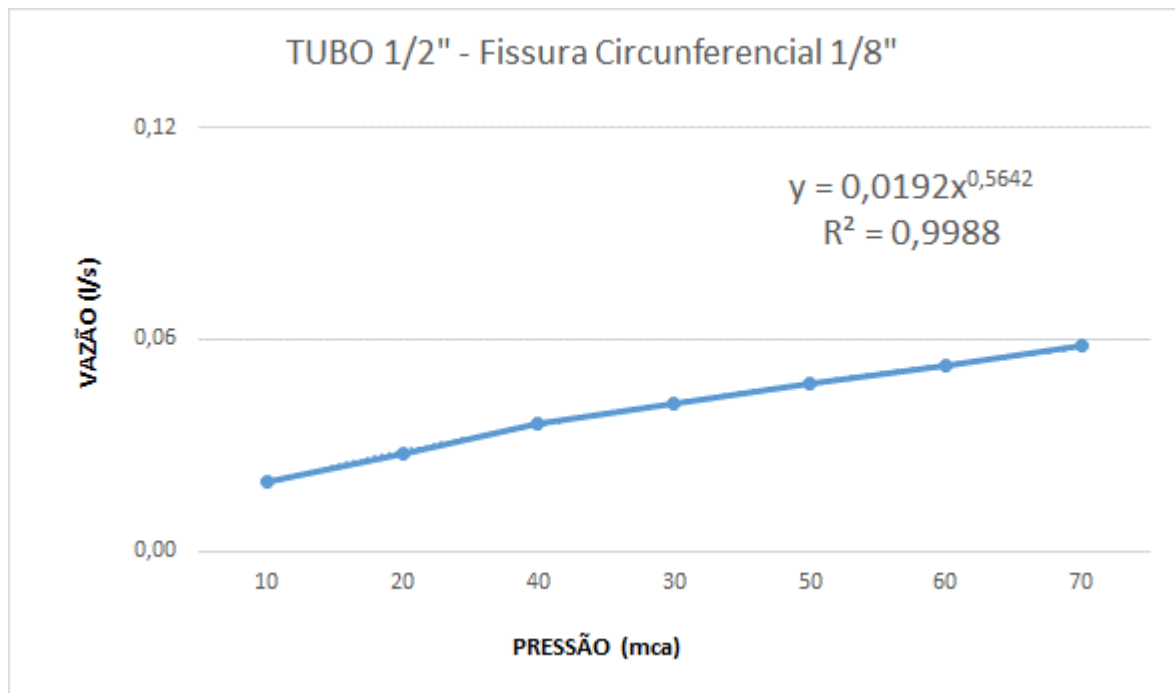


Figura 55– Vazão x pressão para tubo 1/2" FC 1/8"

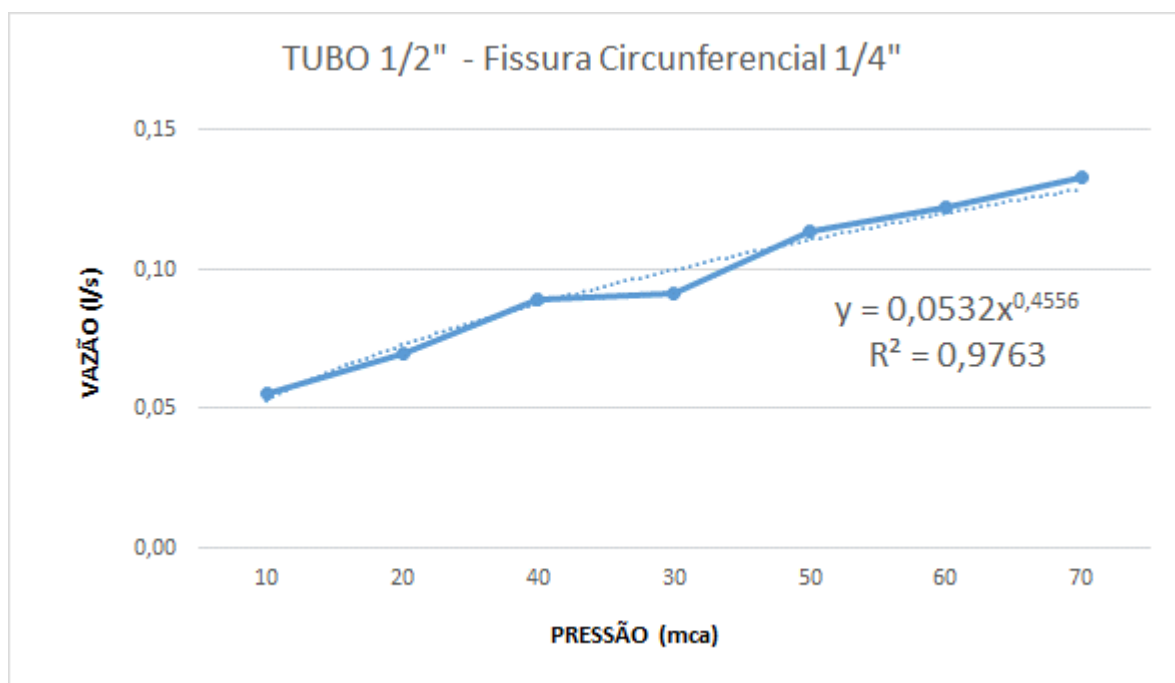


Figura 56– Vazão x pressão para tubo 1/2" FC 1/4"

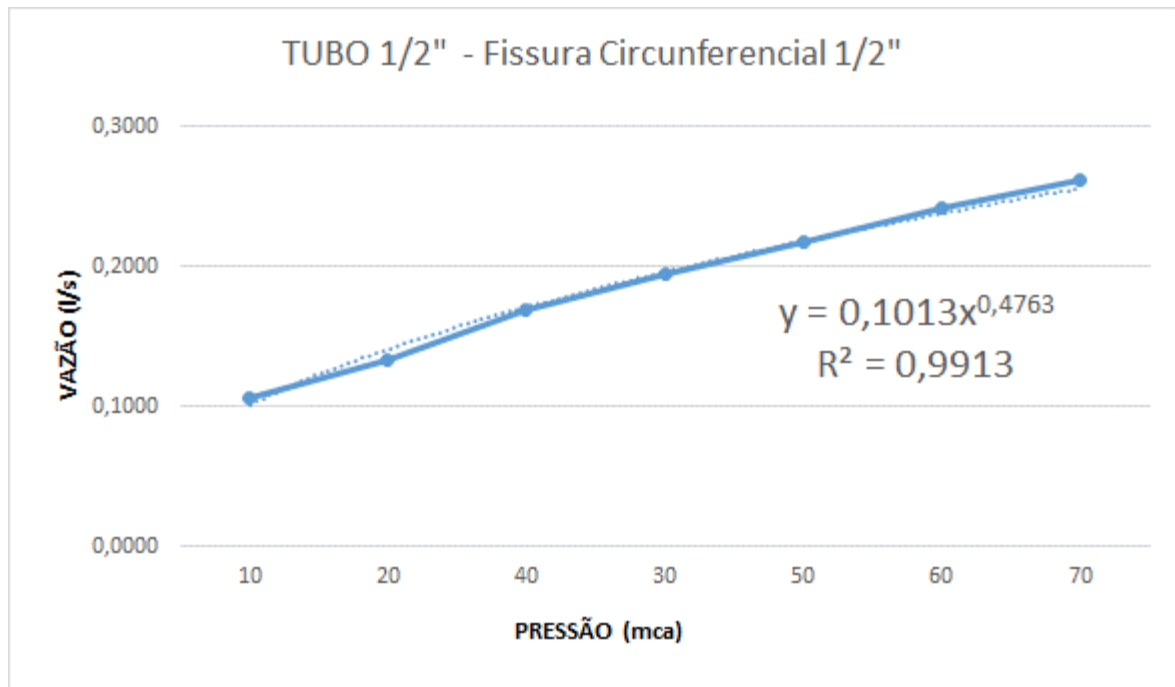


Figura 57– Vazão x pressão para tubo 1/2" FC 1/2"

Tabela 11– Processamento de dados tubo 1/2"

FC	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{1,486}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	Rh	V(m/s)	Re
1/8"	1,94444E-05	10	16,24	1,19742E-06	1,84218E-06	1,842182622	0,4998	10,55511	21040508
	2,77778E-05	20	24,01	1,15693E-06	1,77989E-06	1,779891453	0,4998	15,60644	31109809
	3,61111E-05	30	30,18	1,19646E-06	1,84071E-06	1,840713432	0,4998	19,618	39106418
	4,16667E-05	40	35,50	1,1737E-06	1,80569E-06	1,805691913	0,4998	23,07518	45997949
	4,72222E-05	50	40,26	1,17284E-06	1,80437E-06	1,804366212	0,4998	26,17109	52169311
	5,27778E-05	60	44,63	1,18268E-06	1,81951E-06	1,819513602	0,4998	29,00653	57821474
	5,83333E-05	70	48,68	1,19829E-06	1,84353E-06	1,843527505	0,4998	31,64224	63075476
1/4"	5,55556E-05	10	12,65	4,39317E-06	6,75872E-06	6,75872283	0,4999	8,21983	16387929
	6,94444E-05	20	17,34	4,00441E-06	6,16063E-06	6,16063365	0,4999	11,27229	22473636
	8,88889E-05	30	20,86	4,2611E-06	6,55554E-06	6,555535533	0,4999	13,55936	27033390
	9,16667E-05	40	23,78	3,85446E-06	5,92994E-06	5,929936583	0,4999	15,45829	30819288
	0,000113889	50	26,33	4,32595E-06	6,6553E-06	6,655301945	0,4999	17,11251	34117312
	0,000122222	60	28,61	4,27243E-06	6,57297E-06	6,572969361	0,4999	18,59467	37072321
	0,000133333	70	30,69	4,34473E-06	6,6842E-06	6,684196542	0,4999	19,94755	39769555
1/2"	0,000105556	10	13,26	7,95851E-06	1,22439E-05	12,24385669	0,5000	8,621103	17189282
	0,000133333	20	18,45	7,22618E-06	1,11172E-05	11,11719674	0,5000	11,99343	23913234
	0,000169444	30	22,38	7,57051E-06	1,16469E-05	11,64693421	0,5000	14,54842	29007519
	0,000194444	40	25,67	7,57504E-06	1,16539E-05	11,6539059	0,5000	16,68492	33267403
	0,000216667	50	28,55	7,58968E-06	1,16764E-05	11,67642329	0,5000	18,55591	36997906
	0,000241667	60	31,14	7,76129E-06	1,19404E-05	11,94044337	0,5000	20,23934	40354425
	0,000261111	70	33,51	7,79212E-06	1,19879E-05	11,98787755	0,5000	21,78126	43428809

A.12 Tubos Ø 3/4" FC

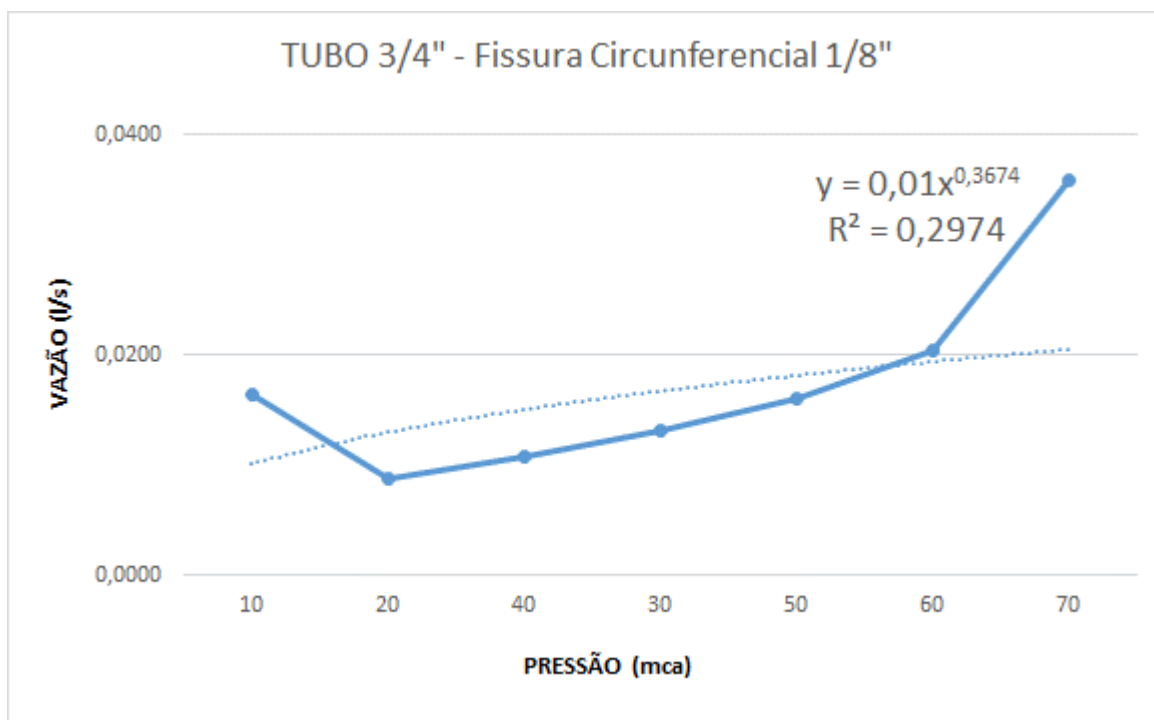


Figura 58– Vazão x pressão para tubo 3/4" FC 1/8"

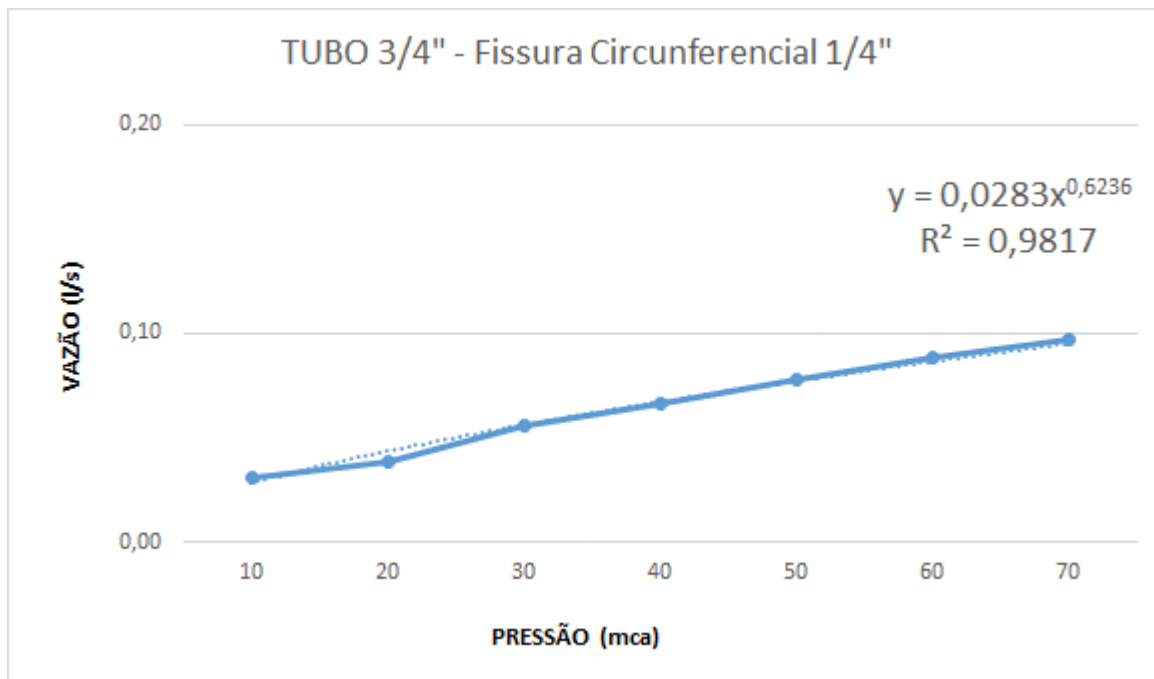


Figura 59– Vazão x pressão para tubo 3/4" FC 1/4"

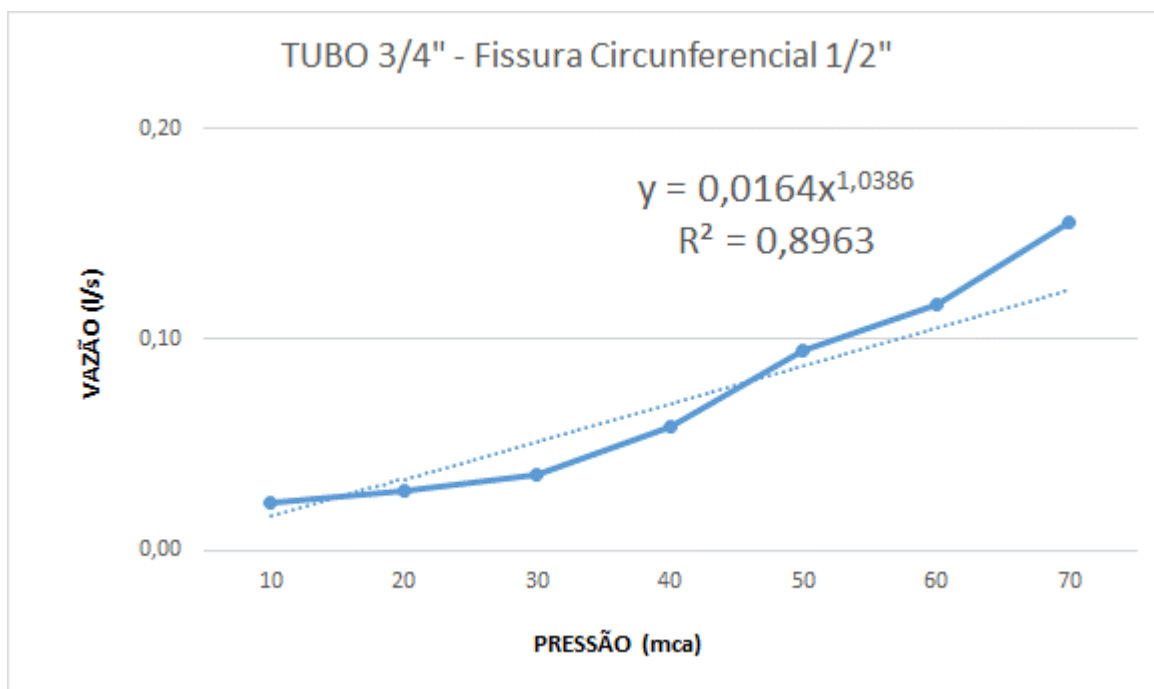


Figura 60– Vazão x pressão para tubo 3/4" FC 1/2"

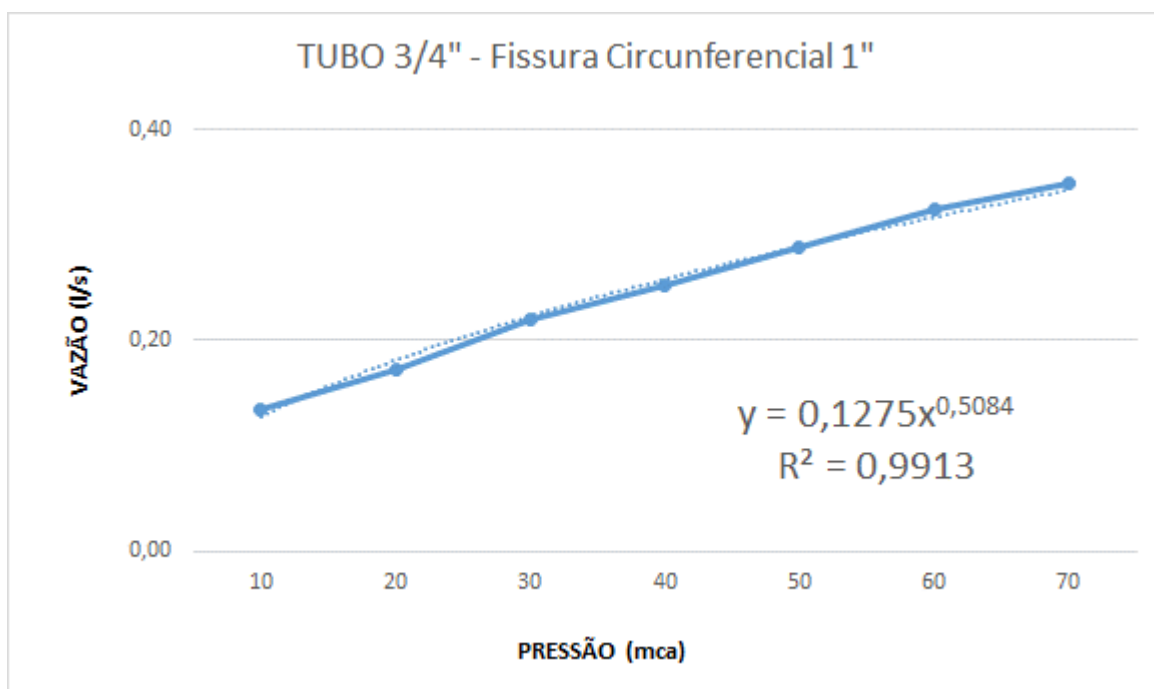


Figura 61– Vazão x pressão para tubo 3/4" FC 1"

Tabela 12– Processamento de dados tubo 3/4"

FC	Q(m ³)	H(m)	((2g) ^{0,5})H ^{N1}	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	Rh	V(m/s)	Re
1/8"	1,63636E-05	10	10,32	1,58537E-06	2,43903E-06	2,439028987	0,4998	6,709078	13373843,14
	8,65385E-06	20	13,32	6,49922E-07	9,9988E-07	0,999880023	0,4998	8,654885	17252603,66
	1,07692E-05	30	15,45	6,96852E-07	1,07208E-06	1,072080696	0,4998	10,04517	20023987,89
	1,30952E-05	40	17,18	7,62372E-07	1,17288E-06	1,172880322	0,4998	11,16502	22256305,08
	1,60976E-05	50	18,64	8,63394E-07	1,3283E-06	1,328298374	0,4998	12,11893	24157823,54
	2,0303E-05	60	19,94	1,0184E-06	1,56677E-06	1,566769957	0,4998	12,95853	25831462,44
	3,57895E-05	70	21,10	1,69636E-06	2,60978E-06	2,609777206	0,4998	13,71361	27336647,01
1/4"	3,05556E-05	10	18,62	1,64112E-06	2,5248E-06	2,524802004	0,4999	12,10216	24128152,42
	3,88889E-05	20	28,69	1,35567E-06	2,08564E-06	2,085644918	0,4999	18,64598	37174605,88
	5,55556E-05	30	36,94	1,50399E-06	2,31383E-06	2,313831996	0,4999	24,01019	47869278,54
	6,66667E-05	40	44,20	1,50839E-06	2,32061E-06	2,320605259	0,4999	28,72814	57275472,18
	7,77778E-05	50	50,80	1,53119E-06	2,35567E-06	2,355672856	0,4999	33,01722	65826651,28
	8,88889E-05	60	56,91	1,56186E-06	2,40287E-06	2,402865709	0,4999	36,99287	73752914,55
	9,72222E-05	70	62,65	1,55172E-06	2,38726E-06	2,387259046	0,4999	40,72546	81194610,98
1/2"	2,22222E-05	10	48,41	4,59027E-07	7,06195E-07	0,706194983	0,5000	31,46754	62741908,6
	2,77778E-05	20	99,45	2,79318E-07	4,29719E-07	0,429719328	0,5000	64,64168	128886514,5
	3,61111E-05	30	151,53	2,38316E-07	3,6664E-07	0,366640012	0,5000	98,49201	196379369,3
	5,83333E-05	40	204,29	2,85541E-07	4,39293E-07	0,439293148	0,5000	132,7891	264762963
	9,44444E-05	50	257,57	3,66671E-07	5,64109E-07	0,564109368	0,5000	167,4222	333816632,9
	0,000116667	60	311,27	3,74808E-07	5,76628E-07	0,576628419	0,5000	202,3256	403409029,1
	0,000155556	70	365,32	4,25811E-07	6,55094E-07	0,655094335	0,5000	237,4552	473452648,2
1"	0,000133333	10	14,28	9,33661E-06	1,4364E-05	14,36401594	0,5000	9,282455	18508653,41
	0,000172222	20	20,31	8,47805E-06	1,30432E-05	13,04315576	0,5000	13,20403	26328036,58
	0,000219444	30	24,96	8,79036E-06	1,35236E-05	13,5236302	0,5000	16,22674	32355138,92
	0,000252778	40	28,90	8,74787E-06	1,34583E-05	13,45825441	0,5000	18,78236	37450888,24
	0,000288889	50	32,37	8,92534E-06	1,37313E-05	13,73129919	0,5000	21,03871	41949923,5
	0,000325	60	35,51	9,15212E-06	1,40802E-05	14,08018649	0,5000	23,08208	46024271,04
	0,00035	70	38,41	9,1132E-06	1,40203E-05	14,02030116	0,5000	24,9638	49776306,33

A.13 Tubos Ø 1" FC

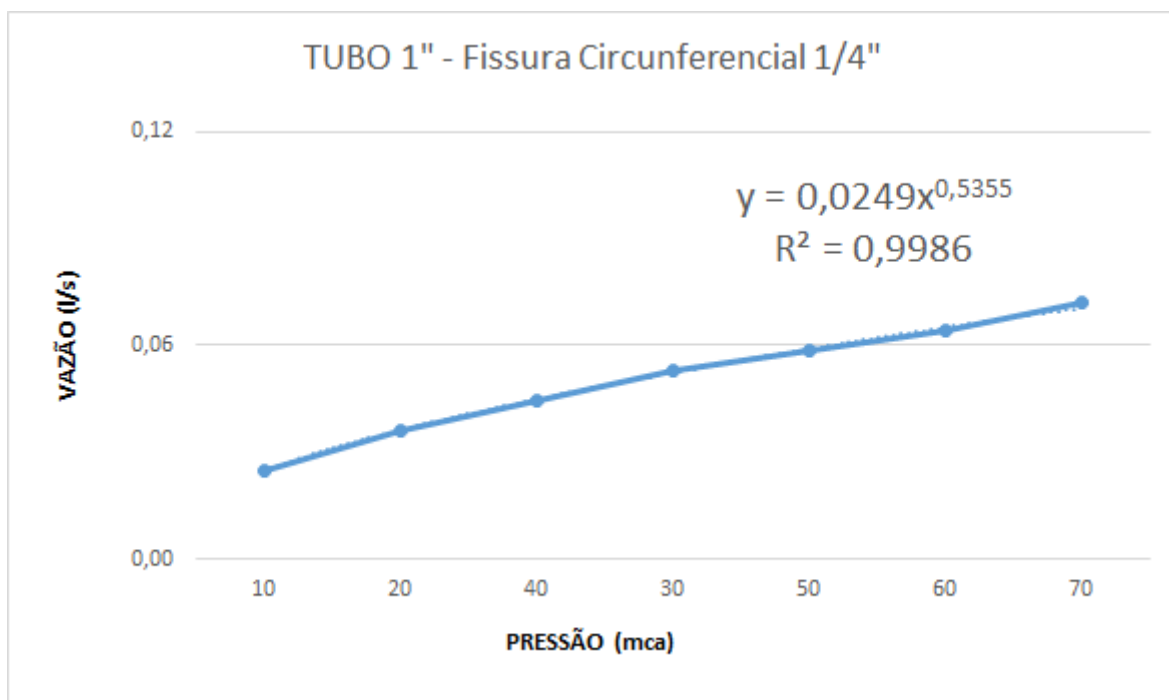


Figura 62– Vazão x pressão para tubo 1" FC 1/4"

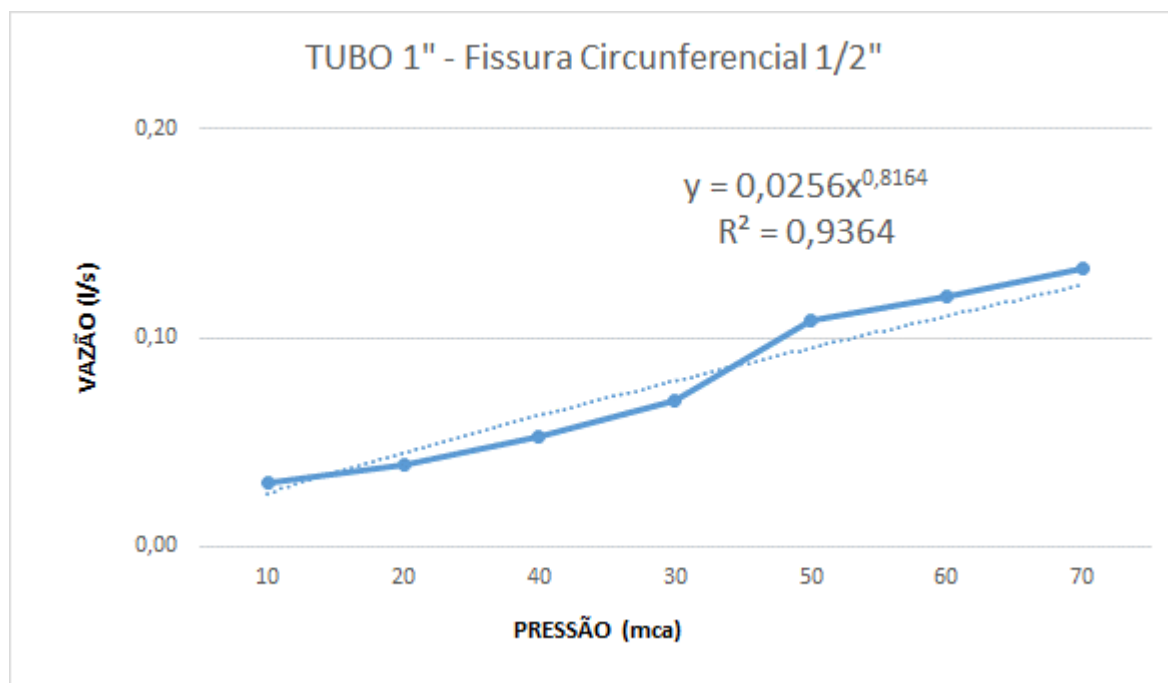


Figura 63– Vazão x pressão para tubo 1" FC 1/2"

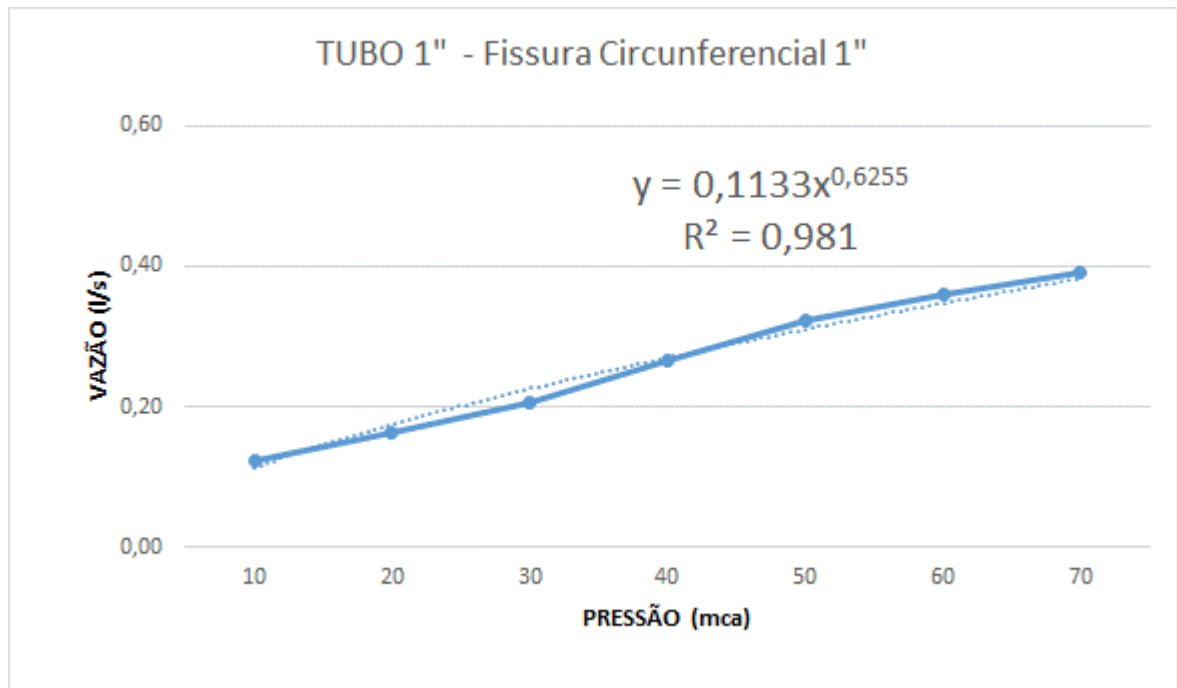


Figura 64– Vazão x pressão para tubo 1" FC 1”

Tabela 13– Processamento de dados tubo 1"

FC	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5})H^{N1}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	Rh	V(m/s)	Re
1/4"	0,000025	10	15,20	1,64471E-06	2,53033E-06	2,530329918	0,4999	9,880135	19698087,74
	3,61E-05	20	22,03	1,63904E-06	2,5216E-06	2,521601364	0,4999	14,32071	28551283,1
	4,44E-05	30	27,37	1,62356E-06	2,49779E-06	2,497791549	0,4999	17,7935	35475007,79
	5,28E-05	40	31,93	1,65272E-06	2,54264E-06	2,542641416	0,4999	20,75707	41383497,59
	5,83E-05	50	35,99	1,62095E-06	2,49376E-06	2,493764846	0,4999	23,39167	46636130,07
	6,39E-05	60	39,68	1,61019E-06	2,47721E-06	2,477208049	0,4999	25,79068	51419051,62
	7,22E-05	70	43,09	1,67599E-06	2,57845E-06	2,578445692	0,4999	28,00998	55843684,92
1/2"	3,06E-05	10	29,02	1,05279E-06	1,61967E-06	1,619672939	0,5000	18,86526	37614710,68
	3,89E-05	20	51,11	7,60878E-07	1,17058E-06	1,170581856	0,5000	33,22184	66239739,25
	5,28E-05	30	71,17	7,41617E-07	1,14095E-06	1,140949572	0,5000	46,25777	92231552,3
	6,94E-05	40	90,01	7,71554E-07	1,18701E-06	1,187005887	0,5000	58,50388	116648592,4
	0,000108	50	107,99	1,00317E-06	1,54333E-06	1,543334756	0,5000	70,19432	139957713
	0,000119	60	125,32	9,5309E-07	1,46629E-06	1,466291834	0,5000	81,46021	162420336,7
	0,000133	70	142,13	9,38104E-07	1,44324E-06	1,443237612	0,5000	92,38488	184202604,1
1"	0,000122	10	18,70	6,53583E-06	1,00551E-05	10,05512138	0,5000	12,15522	24236774,54
	0,000164	20	28,85	5,68075E-06	8,73962E-06	8,739616792	0,5000	18,75241	37391172,62
	0,000206	30	37,18	5,52892E-06	8,50603E-06	8,506032074	0,5000	24,16586	48185255,68
	0,000267	40	44,51	5,99143E-06	9,21759E-06	9,217589211	0,5000	28,9302	57685059,84
	0,000322	50	51,17	6,29652E-06	9,68695E-06	9,686946308	0,5000	33,26355	66325504,28
	0,000358	60	57,36	6,24747E-06	9,61149E-06	9,611490571	0,5000	37,28177	74337581,91
	0,000392	70	63,16	6,20095E-06	9,53992E-06	9,539924325	0,5000	41,05553	81862244,31

A.14 Tubos Ø 1 1/2" FC

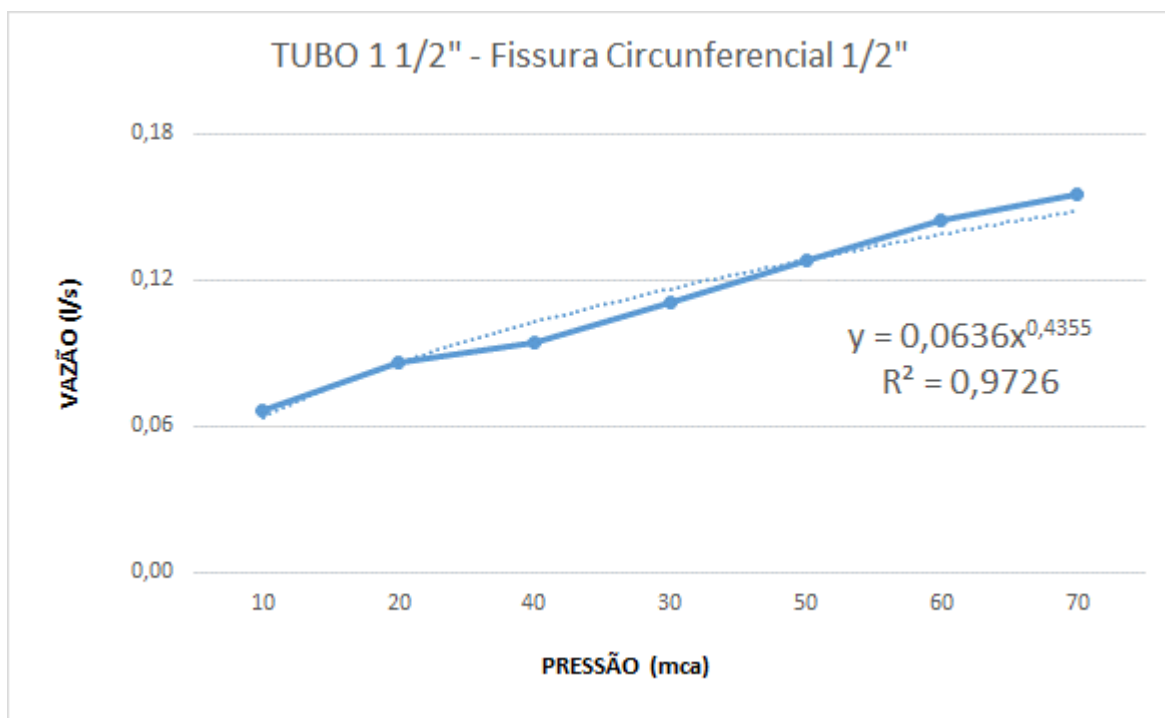


Figura 65– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FC 1/2"

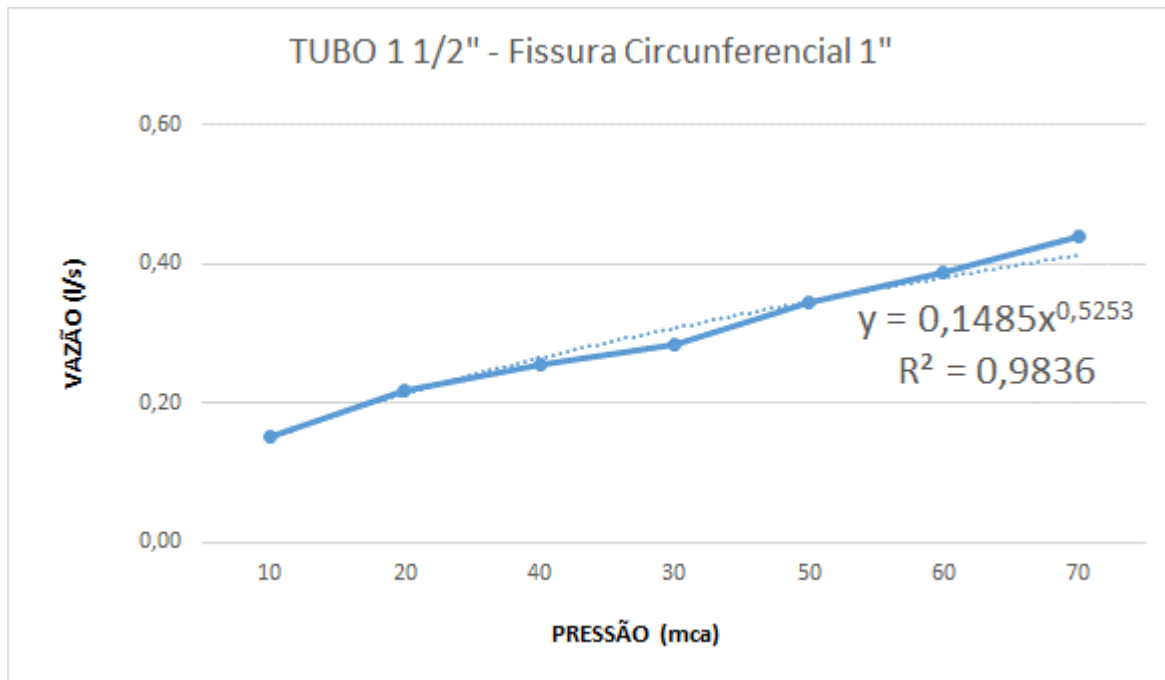


Figura 66– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FC 1"

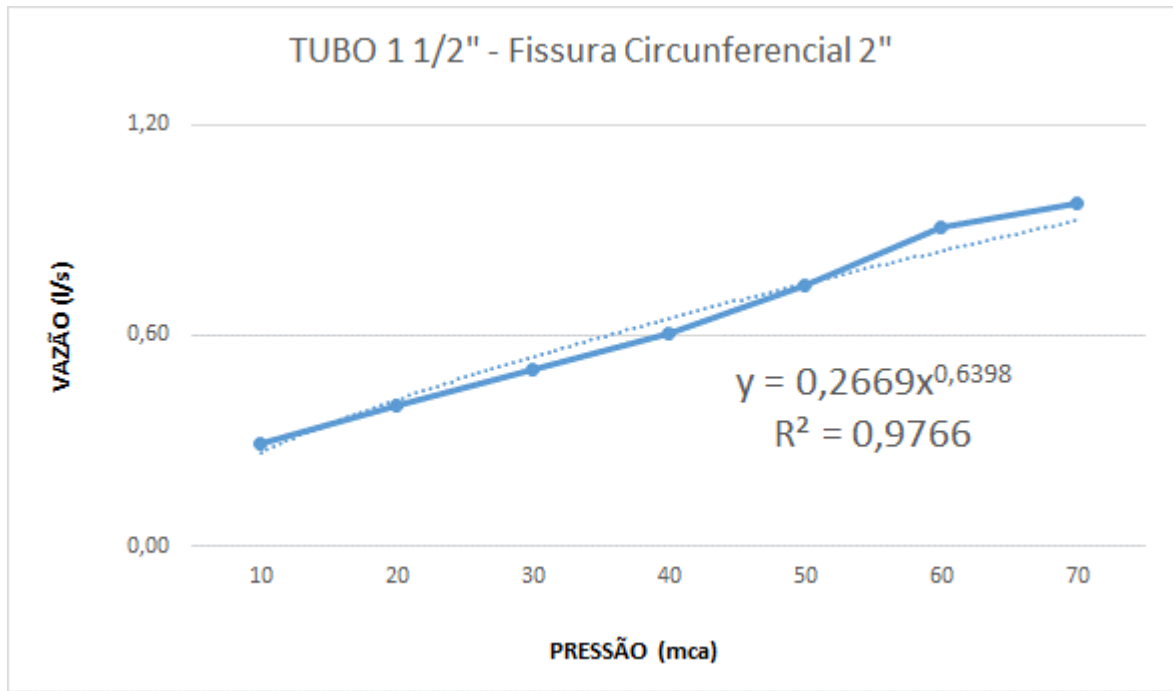


Figura 67– Vazão x pressão para tubo 1 1/2" FC 2”

Tabela 14– Processamento de dados tubo 1 1/2"

FC	Q(m³)	H(m)	$((2g)^{0,5} H)^{n1}$	CdA	A(m²)	A(mm²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	6,66667E-05	10	12,07	5,52153E-06	8,49466E-06	8,494657691	0,5000	7,84807	15647960
	8,61111E-05	20	16,33	5,27365E-06	8,1133E-06	8,113304426	0,5000	10,61357	21161979
	9,44444E-05	30	19,48	4,84775E-06	7,45808E-06	7,458083677	0,5000	12,66337	25248991
	0,000111111	40	22,08	5,03166E-06	7,74101E-06	7,74100782	0,5000	14,35357	28619026
	0,000127778	50	24,34	5,25055E-06	8,07776E-06	8,077761679	0,5000	15,81846	31539817
	0,000144444	60	26,35	5,48235E-06	8,43438E-06	8,434379057	0,5000	17,12568	34146217
	0,000155556	70	28,18	5,52072E-06	8,49342E-06	8,49341748	0,5000	18,31484	36517238
1"	0,000152778	10	14,85	1,02899E-05	1,58306E-05	15,83059836	0,5000	9,65079	19243091
	0,000216667	20	21,37	1,01394E-05	1,55991E-05	15,59905133	0,5000	13,88973	27695288
	0,000255556	30	26,44	9,66505E-06	1,48693E-05	14,86930512	0,5000	17,18679	34269409
	0,000283333	40	30,75	9,21268E-06	1,41734E-05	14,17335612	0,5000	19,99056	39859967
	0,000344444	50	34,58	9,96095E-06	1,53245E-05	15,32453774	0,5000	22,47666	44817102
	0,000386111	60	38,06	1,01461E-05	1,56094E-05	15,60941365	0,5000	24,73579	49321659
	0,000438889	70	41,26	1,06359E-05	1,6363E-05	16,36295468	0,5000	26,82211	53481653
2"	0,000288889	10	19,33	1,49479E-05	2,29968E-05	22,9968303	0,5000	12,56212	25048595
	0,000397222	20	30,11	1,31912E-05	2,02942E-05	20,29418838	0,5000	19,5732	39028545
	0,0005	30	39,03	1,28103E-05	1,97081E-05	19,70810954	0,5000	25,37027	50587772
	0,000602778	40	46,92	1,28472E-05	1,9765E-05	19,7649806	0,5000	30,49726	60810889
	0,000738889	50	54,12	1,3653E-05	2,10046E-05	21,00464128	0,5000	35,17741	70143007
	0,000905556	60	60,81	1,48903E-05	2,29082E-05	22,90820554	0,5000	39,52975	78821472
	0,000975	70	67,12	1,45265E-05	2,23485E-05	22,34848211	0,5000	43,62712	86991556

A.15 Tubos Ø /2" FC

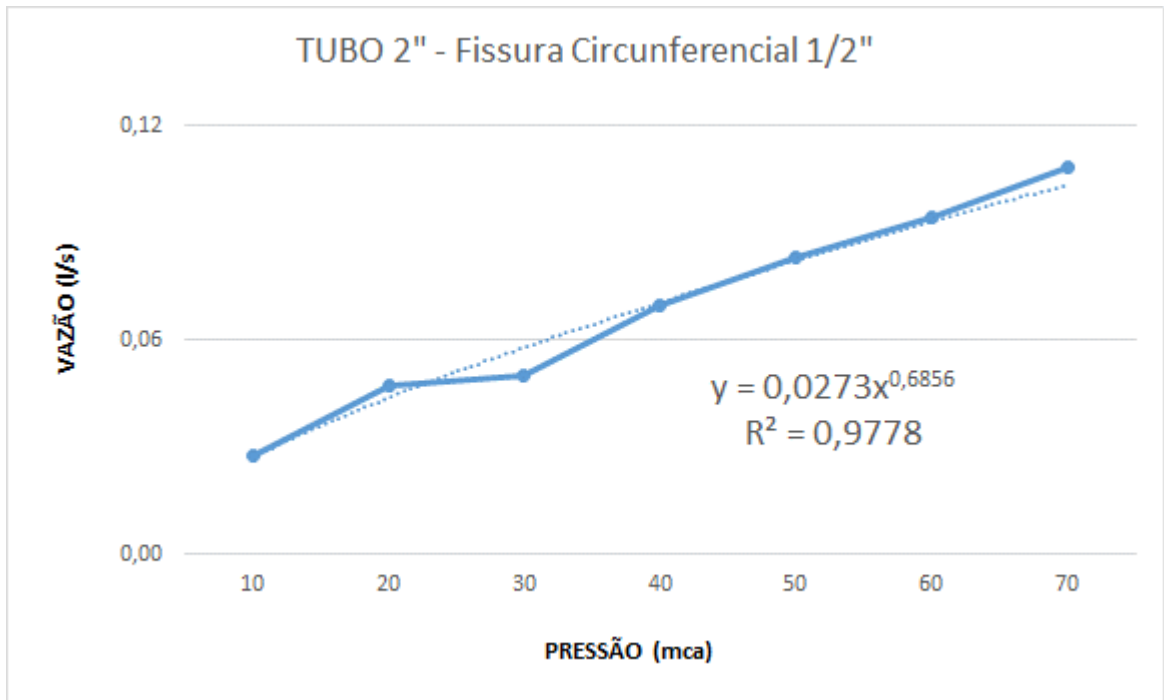


Figura 68– Vazão x pressão para tubo 2" FC 1/2"

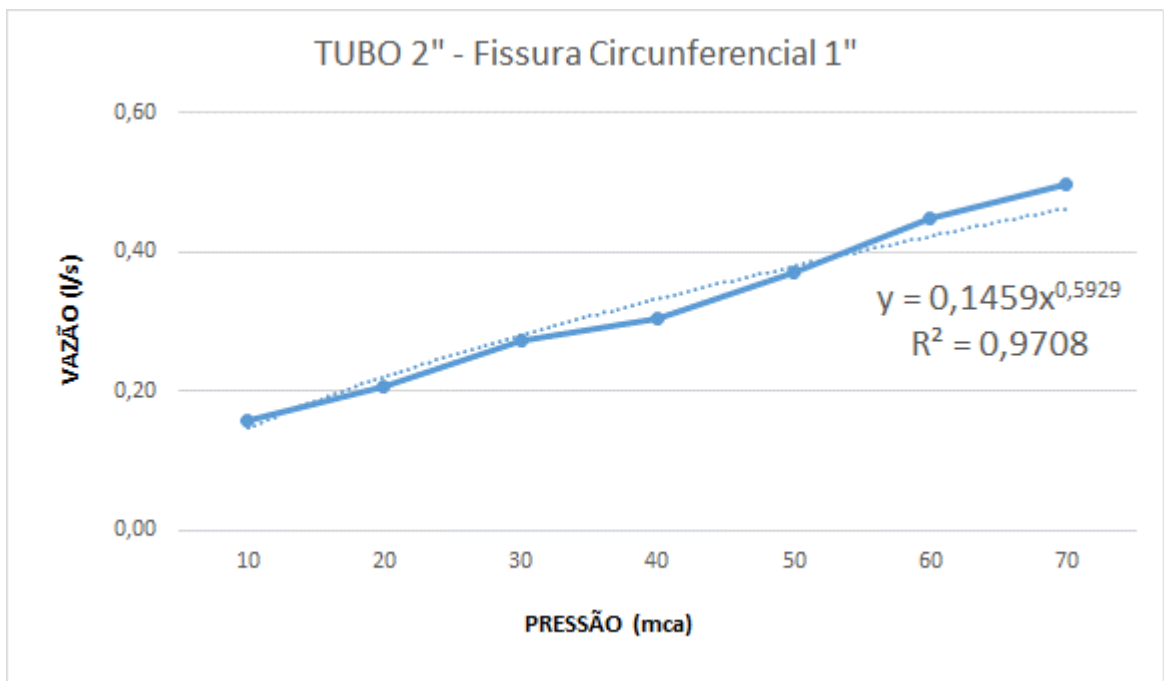


Figura 69– Vazão x pressão para tubo 2" FC 1"

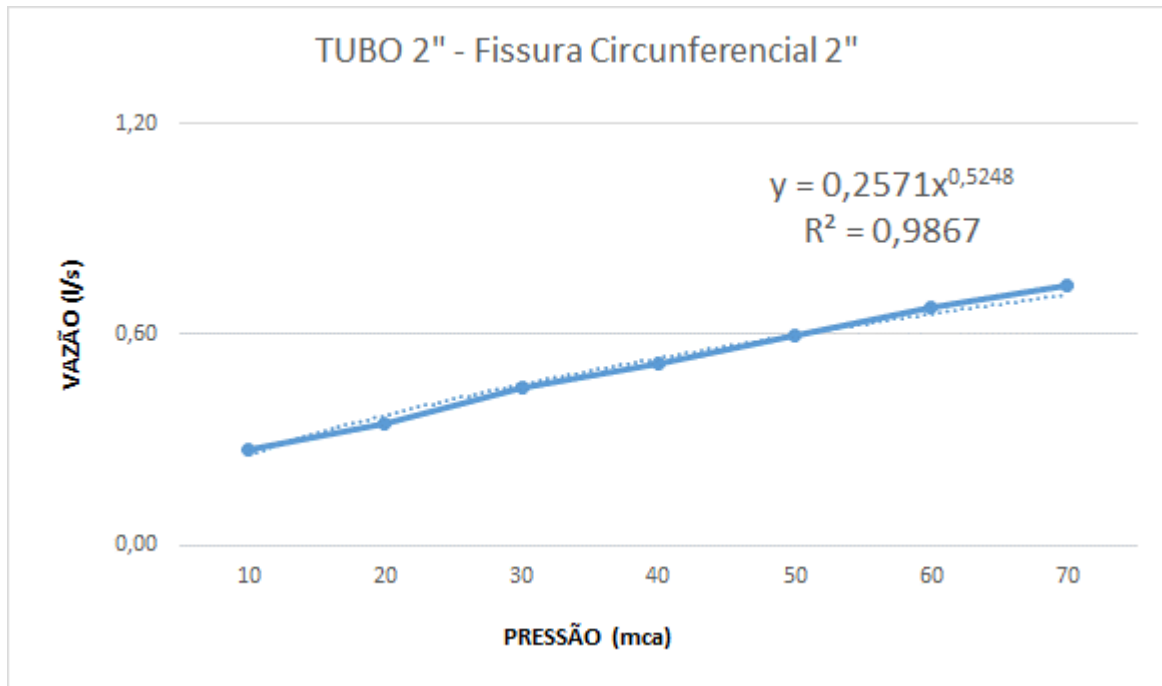


Figura 70– Vazão x pressão para tubo 2" FC 2"

Tabela 15– Processamento de dados tubo 2"

FC	Q(m ³)	H(m)	((2g) ^{0,5})H ^{N1}	CdA	A(m ²)	A(mm ²)	Rh	V(m/s)	Re
1/2"	2,77778E-05	10	21,48	1,29345E-06	1,98992E-06	1,989915528	0,5000	13,95927	27832852,99
	4,72222E-05	20	34,54	1,36713E-06	2,10328E-06	2,103281478	0,5000	22,45169	44765546,5
	0,00005	30	45,61	1,09624E-06	1,68653E-06	1,686525119	0,5000	29,64676	59111510,61
	6,94444E-05	40	55,55	1,25002E-06	1,9231E-06	1,923102001	0,5000	36,11064	7199595,38
	8,33333E-05	50	64,74	1,28723E-06	1,98035E-06	1,980350493	0,5000	42,08009	83901854,59
	9,44444E-05	60	73,36	1,28744E-06	1,98067E-06	1,980674274	0,5000	47,68298	95073224,35
	0,000108333	70	81,54	1,32866E-06	2,04409E-06	2,044090086	0,5000	52,99832	105671273,6
1"	0,000158333	10	17,35	9,12689E-06	1,40414E-05	14,04137043	0,5000	11,2762	22484064,52
	0,000205556	20	26,17	7,85596E-06	1,20861E-05	12,08608589	0,5000	17,00762	33912164,28
	0,000272222	30	33,28	8,18067E-06	1,25856E-05	12,58564637	0,5000	21,62958	43128069,12
	0,000302778	40	39,46	7,67208E-06	1,18032E-05	11,80320011	0,5000	25,65218	51148887,46
	0,000369444	50	45,05	8,20126E-06	1,26173E-05	12,6173156	0,5000	29,28075	58384039,32
	0,000447222	60	50,19	8,91062E-06	1,37086E-05	13,70864849	0,5000	32,62336	65049011,2
	0,000497222	70	54,99	9,04154E-06	1,39101E-05	13,91006131	0,5000	35,74551	71274380,44
2"	0,000272222	10	14,83	1,83558E-05	2,82397E-05	28,23974149	0,5000	9,639685	19221327,21
	0,000347222	20	21,34	1,62734E-05	2,5036E-05	25,03595212	0,5000	13,86894	27654379,19
	0,000447222	30	26,40	1,69426E-05	2,60656E-05	26,06557337	0,5000	17,15758	34211853,71
	0,000516667	40	30,70	1,68306E-05	2,58932E-05	25,89324627	0,5000	19,95372	39787298,78
	0,000597222	50	34,51	1,73048E-05	2,66228E-05	26,62279467	0,5000	22,43274	44730404,97
	0,000675	60	37,98	1,77738E-05	2,73443E-05	27,34432067	0,5000	24,6852	49221761,07
	0,000738889	70	41,18	1,79441E-05	2,76063E-05	27,60633961	0,5000	26,76519	53369216,02