

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

CAMILA CRISTINA DE FREITAS LOPES

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO ENERGÉTICA

EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Belo Horizonte – MG, fevereiro de 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

CAMILA CRISTINA DE FREITAS LOPES

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO ENERGÉTICA EM  
TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Dissertação de mestrado  
apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Engenharia  
Química – UFMG, como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Geraldo de Sousa

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Nelson e Rosângela, meus maiores e  
mais queridos mestres.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que durante o período do mestrado se fizeram presentes, que se preocuparam, que foram solidárias e que torceram por mim.

Ao Prof. Ricardo Geraldo Sousa pela orientação, por acreditar no projeto e contribuir para o meu crescimento profissional.

À REGAP pelo apoio institucional e aos seus profissionais, em especial ao engenheiro Marcos Vinícius Duarte. Obrigada por possibilitar a realização desse trabalho dentro da refinaria, pela enorme contribuição técnica oferecida durante todo esse tempo e pela cordialidade com que sempre me recebeu.

À Chemtech e aos seus colaboradores, em especial os gerentes Frederico Medina, Danilo Silva e Leandro Russo, por permitirem que eu flexibilizasse meu horário de trabalho para poder realizar o mestrado.

Ao César, meu querido companheiro, pelo apoio e incentivo constantes, sem os quais eu jamais teria ingressado nesta jornada.

Aos meus pais pela formação dada, pelas palavras de conforto nos momentos difíceis, por serem tão atenciosos e carinhosos comigo.

Aos meus irmãos pela torcida.

À Flávia pelas consultorias em Processo.

A Deus, por me abençoar com tantas pessoas especiais que foram essenciais para a realização deste trabalho.

"É do buscar e não do achar que nasce o que eu não conhecia."  
(*Clarice Lispector*)

## Resumo

Na REGAP, a água de alimentação de caldeira de alta pressão é distribuída, a partir das bombas 121-P-01A/B/C/D, localizadas na unidade Utilidades (U-121), para diversos clientes dentro da refinaria: caldeiras 121-F-01A/B/C, caldeiras 103-E-01, gerador de vapor 209-V-03 e fornos 52-F-01A/B. Esses clientes estão espalhados em uma vasta área e apresentam diferentes demandas de pressão. Para conseguir atender satisfatoriamente a todos, as bombas da U-121 pressurizam a água até valores de  $92\text{kgf/cm}^2$ , sendo necessário realizar quedas de pressão na entrada dos equipamentos que recebem esse fluido. Nesse contexto, o sistema acima descrito foi estudado, a fim de se determinar qual deveria ser a pressão na descarga dessas bombas, capaz de atender a todos os clientes com o mínimo de degradação energética possível. Além disso, determinou-se qual deveriam ser os valores de pressão e vazão praticados quando duas novas unidades, ainda em construção, entrarem em operação. Para se chegar a todos esses valores, foi feito um minucioso levantamento de dados, no qual se obteve, dentre outras informações, o comprimento equivalente de cada tubulação, as elevações final e inicial de cada linha, as perdas de carga nos equipamentos e instrumentos intermediários. A partir de dados do processo fez-se um balanço de massa em todo o sistema e determinou-se qual vazão volumétrica e velocidade de escoamento são praticadas. Posteriormente, calculou-se o número de Reynolds e as perdas de carga nas tubulações. Por fim, determinou-se que a pressão na descarga das bombas poderia ser de  $83\text{kgf/cm}^2$  (5% acima do necessário) e que, para atingir esse valor, deveria ser alterado o ponto de operação do sistema, seja pela redução da rotação do motor ou pela diminuição do diâmetro do rotor.

**Palavras-chave:** Perda de Carga, tubulação, bombas, balanço de massa, balanço de energia.

## Abstract

At REGAP, boiler feed water with high pressure is delivered from pumps 121-P-01A/B/C/D, located at Utilities Unit, for various utilities clients within the refinery: boilers F-121-01A/B/ C, boilers 103-E-01, the steam generator 209-V-03 and furnace 52-F-01A/B. These customers are spread over a vast area and have a range of demands of pressure. To be able to serve all the customers, the U-121 pumps pressurize water to  $92\text{kgf/cm}^2$ , being necessary pressure drop at the entrance of the equipment which receives this fluid. In this context, the system described above was studied in order to determine what should be the pressure in the discharge of these pumps, able to serve all customers with the least possible energy degradation. Furthermore, it was determined which should be the values of pressure and flow applied when two new units, which is still building, come into operation. To achieve all these values, we made a detailed survey data, in which it was obtained, among other information, the equivalent length of each pipe, the initial and final elevations of each line, the head losses in equipment and instruments intermediaries. The process information's provides a mass balance in the whole system and determined with values the volumetric flow and velocity should be. Subsequently, was calculated the Reynolds number and the head losses into the pipes. Finally, it was determined that the pressure at the discharge pumps could be  $83\text{kgf/cm}^2$  (5% higher than necessary) and, to reach this value should be changed from the operation's point of the system, either by reducing the motor's rotation or by reducing the rotor's diameter.

**Keywords:** Head loss, pipe, pump, mass balance, heat balance.

## Lista de Siglas

B: Bombas

BFW: *Boiler Feed Water* ou água de alimentação de caldeira

BW: *Boiler Water* ou água de caldeira

C: Compressor

CCF2: Unidade de Craqueamento Catalítico Fluido II da REGAP

CONTEC : Conselho de Normas Técnicas

F: Forno

GFD ®: Gestão de Folha de Dados

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

HDT: Unidade de Hidrotratamento da REGAP

IAPWS: *International Association for the Properties of Water and Steam*

ISA: *Instrumentation Society of America*

NPSH: *Net Positive Suction Head*

PI: *Process Information*

REGAP: Refinaria Gabriel Passos

SIGEM: Sistema Integrado de Gerenciamento de Empreendimentos

T: Torres

TQ: Tanques

UT: Setor de Utilidades da REGAP



## Lista de Símbolos

	<i>Unidade</i>
$\alpha$ : Fator de correção da velocidade em uma tubulação	-
$d_i$ : Diâmetro interno da tubulação	m
$dv/dy$ : Taxa de cisalhamento	$s^{-1}$
$e$ : Rugosidade da parede do tubo	m
$f_D$ : Fator de atrito de Darcy-Weisbach	-
$g$ : Aceleração da gravidade	$m/s^2$
$h_f$ : Perda de carga, pela equação de Darcy-Weisbach	m
$\Delta h$ : Carga fornecida ao fluido por uma bomba	m
$h_L$ : Perda de carga distribuída	m
$H_{man}$ : Altura manométrica da instalação	m
$H_{th}$ : Altura manométrica total	m
$K$ : Coeficiente de perda de carga	-
$L$ : Comprimento real da tubulação	m
$L_e$ : Comprimento equivalente da tubulação	m
$\dot{m}$ : Vazão mássica	kg/h
$\mu$ : Viscosidade dinâmica	cP
$n$ : Rotação do motor da bomba	rpm
$\eta_t$ : Rendimento total da bomba	-
$\eta$ : Qualquer propriedade do fluido	-
$N$ : Potência necessária ao acionamento da bomba	Kg m/s
$\Delta N$ : Resistências passivas da bomba	Kg m/s
$P$ : Pressão	Pa
$q$ : Fluxo de calor	J
$Q$ : Vazão volumétrica	$m^3/h$
$q_B$ : Perda de vazão por recirculação e vazamentos em uma bomba	$m^3$
$\rho$ : Densidade	$kg/m^3$

Re: Número de Reynolds	-
S: Área de seção reta	$m^2$
$t$ : Tempo	s
$\tau_{yx}$ : Tensão de cisalhamento	Kg/m
U: Energia interna do fluido	J
$v$ : Velocidade de escoamento	m/s
$\bar{v}$ : Velocidade média de escoamento	m/s
$V$ : Volume	$m^3$
Wi: Trabalho realizado no fluido pela vizinhança	J
Wo: Trabalho realizado na vizinhança pelo fluido	J
$y$ : Espessura da camada de fluido	m
z: Elevação	m

## Lista de Figuras

Figura 1- Visualização da tela do programa SteamTab®.....	21
Figura 2 – Classificação das tubulações industriais.....	22
Figura 3 - Exemplos de válvulas empregadas na indústria. ....	23
Figura 4 - Exemplos de conexões utilizadas em tubulações. ....	24
Figura 5 - escoamento através de uma seção cujo diâmetro varia. ....	30
Figura 6 – Balanço de energia para um fluido escoando entre os pontos 1 e 2.....	31
Figura 7 – Esquema típico de bombeamento. ....	35
Figura 8 – Aspecto da curva altura manométrica total <i>versus</i> vazão. ....	40
Figura 9 – Curva de potência <i>versus</i> vazão para bombas axiais e radiais. ....	41
Figura 10 – Curva de rendimento <i>versus</i> vazão para bombas axiais e radiais.....	41
Figura 11 - Curva de $NPSH_{req}$ <i>versus</i> vazão.....	42
Figura 12 - Curvas ( $H_{man}, Q$ ) em várias rotações juntamente com as parábolas de iso-eficiência. ....	44
Figura 13 - Curvas características de uma bomba com rotores de vários diâmetros.....	45
Figura 14 - Representação gráfica das curvas características da bomba e do sistema. ....	46
Figura 15 – Representação gráfica da $H_{man} \times Q$ de uma bomba operando sozinha e associada em série com outra bomba idêntica.....	47
Figura 16 – Representação gráfica da $H_{man} \times Q$ de uma bomba operando sozinha e associada em paralelo com outra bomba idêntica.....	48
Figura 17 – Ponto de operação para bomba única (P1) e associadas (P2), para bombas em série (a) e bombas em paralelo (b). ....	49
Figura 18 – Valores de comprimento equivalente, em função do diâmetro, para diversas conexões. ....	54
Figura 19 – Ilustração de tubulações em série.....	55
Figura 20 – Ilustração de tubulações em paralelo. ....	57
Figura 21- Fotografia das caldeiras da U-121 na REGAP.....	60
Figura 22 – Fotografia indicando a localização das unidades estudadas dentro da REGAP.....	
Figura 23 – Diagrama esquemático do sistema estudado. ....	79

Figura 24 - Representação esquemática dos volumes de controle utilizados para os balanços de massa feitos nos cenários 1 e 2.....	89
Figura 25 - Representação esquemática dos nós de tubulação utilizados para realização do balanço de energia.....	106
Figura 26 - Representação gráfica das curva Hman x Q da bomba 121-P-01A.....	109
Figura 27 - Representação gráfica das curva Hman x Q da bomba 121-P-01D.....	109
Figura 28 – Associação em paralelo das bombas 121-P-01A e 121-P-01D. ....	112
Figura 29 – Associação em paralelo de 3 bombas (2 do tipo 121-P-01A e 1 do tipo 121-P-01D).....	113
Figura 30 – Curvas das alturas manométricas do Sistema para os Cenários 1 e 2. ....	115
Figura 31 – Ponto de operação para o Cenário 1.....	116
Figura 32 – Ponto de operação para o Cenário 2.....	116

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação do vapor, segundo valores de pressão e temperatura. ....	58
Tabela 2 - Relação dos fluxogramas utilizados no trabalho. ....	67
Tabela 3 - Relação dos isométricos utilizados no trabalho. ....	68
Tabela 4 - Relação das plantas de tubulação utilizadas no trabalho. ....	69
Tabela 5 - Perdas de carga em equipamentos intermediários. ....	72
Tabela 6 - Perdas de carga em placas de orifício. ....	72
Tabela 7 - Especificação de material referente a cada uma das tubulações analisadas. ....	73
Tabela 8 - Instrumentos de linha utilizados no trabalho. ....	75
Tabela 9 – Dados de processo retirados da documentação de projeto. ....	76
Tabela 10 – Valores da altura manométrica obtida para diferentes vazões nas bombas 121-P-01A e 121-P-01D. ....	77
Tabela 11 - Exigência de pressão dos consumidores finais. ....	78
Tabela 12 - Ramificações das linhas principais cuja vazão foi desconsiderada. ....	82
Tabela 13 – Comprimento equivalente total, elevações inicial e final para as tubulações analisadas. ....	83
Tabela 14 – Diâmetro e comprimento equivalente de tubos paralelos e valores calculados desses mesmos dados considerando uma única tubulação equivalente. ....	85
Tabela 15 – Valores de densidade e viscosidade da água. ....	86
Tabela 16- Determinação do diâmetro interno de tubulação. ....	87
Tabela 17 – Índice numérico representativo de cada tag de tubulação. ....	90
Tabela 18- Vazão mássica e volumétrica em cada tubulação. ....	94
Tabela 19- Valores de velocidade de escoamento em cada tubulação. ....	96
Tabela 20- Valores calculados do número de Reynolds. ....	98
Tabela 21 - Valores calculados de perda de carga. ....	100
Tabela 22 – Valores de pressão calculados para cada uma das linhas que se conectam a nós de tubulação. ....	107
Tabela 23 – Pressão na descarga das bombas. ....	108
Tabela 24 – Comparação entre os valores de $H_{man}$ reais e calculados. ....	111

Tabela 25 – Valores calculados de vazão em função da altura manométrica para as bombas 121-P-01A e 121-P-01D operando individualmente e em paralelo.....	111
Tabela 26 – Valores calculados de vazão em função da altura manométrica para as bombas 121-P-01A e 121-P-01D operando individualmente e em paralelo.....	112
Tabela 27 - Valores de altura manométrica do sistema, calculados para diferentes vazões. ....	114

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1. Fluido.....	19
2.1.1. Propriedades dos Fluidos .....	20
2.2. Tubulações Industriais.....	22
2.2.1. Tubos e Tubulações.....	22
2.2.2. Componentes de Tubulação.....	23
2.2.3. Tagueamento .....	24
2.2.4. Desenhos de Tubulação .....	26
2.3. Escoamento.....	28
2.3.1. Classificação dos Escoamentos .....	28
2.3.2. Equação da Continuidade .....	30
2.3.3. Teorema de Bernoulli.....	31
2.4. Sistemas de Bombeamento .....	34
2.4.1. Classificação Geral das Bombas .....	37
2.4.2. Rendimentos em uma Bomba.....	38
2.4.3. Potência.....	38
2.4.4. Curvas Características da Bomba.....	39
2.4.5. Leis de Semelhança .....	42
2.4.6. Curva do Sistema e Ponto de Operação.....	45
2.4.7. Associação de Bombas em Paralelo e em Série .....	46
2.5. Perda de Carga .....	49
2.5.1. Perda de Carga Contínua.....	49
2.5.2. Perda de Carga Localizada.....	52
2.6. Associação de Tubulações.....	55
2.6.1. Tubulações em Série .....	55

2.6.2.	Tubulações em Paralelo .....	56
2.7.	REGAP.....	58
2.7.1.	Unidade 121 – Utilidades .....	59
2.7.2.	Unidade 103 – Craqueamento Catalítico Fluido II .....	60
2.7.3.	Unidade 209 – Geração de Hidrogênio .....	61
2.7.4.	Unidade 52 - Coque.....	61
2.7.5.	Unidade 221 - Cogeração .....	62
2.7.6.	Unidade 309 – Geração de Hidrogênio .....	62
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>63</b>
3.1.	Descrição do Problema .....	63
3.2.	Levantamento de Dados .....	65
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>80</b>
4.1.	Premissas Adotadas .....	80
4.2.	Tubos e Componentes.....	82
4.2.1.	Associação de Tubulações.....	84
4.3.	Densidade, Viscosidade e Rugosidade .....	86
4.4.	Diâmetro Interno e Área da Seção .....	87
4.5.	Vazão de Escoamento .....	88
4.5.1.	Balanço de Massa.....	88
4.6.	Velocidade de Escoamento .....	95
4.7.	Número de Reynolds.....	98
4.8.	Perda de Carga .....	100
4.9.	Pressão na Descarga das Bombas .....	102
4.9.1.	Balanço de Energia .....	102
4.10.	Curvas do Sistema e das Bombas.....	108
4.10.1.	Curva de $H_{man}$ versus Q da Bomba.....	108
4.10.2.	Curva de $H_{man}$ versus Q do Sistema .....	113



4.10.3. Ponto de Operação .....	115
4.11. Ajuste do Ponto de Operação .....	117
4.11.1. Alteração na Rotação do Motor .....	117
4.11.2. Alteração no Diâmetro do Rotor .....	118
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
<b>Anexo A – Componentes de Tubulação .....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo B – Balanço de Massa .....</b>	<b>179</b>
Cenário 1 .....	179
Cenário 2 .....	184
<b>Anexo C – Cálculo da Perda de Carga .....</b>	<b>190</b>
Cenário 1 .....	190
Cenário 2 .....	192
<b>Anexo D – Balanço de Energia .....</b>	<b>194</b>
<b>Anexo E – Cálculo da Curva do Sistema .....</b>	<b>200</b>
Cenário 1 .....	200
Cenário 2 .....	200

## 1. INTRODUÇÃO

Em um sistema de bombeamento, no qual um único conjunto de bombas fornece água para diferentes consumidores, com localizações distintas e perdas de cargas específicas, é necessário garantir que todos os clientes receberão o fluido na pressão e vazão solicitada.

Uma alternativa para atender a essas demandas variadas é pressurizar a água até valores acima do exigido por todos os clientes e realizar quedas de pressão, com auxílio de válvulas redutoras de pressão, na entrada dos equipamentos finais.

Essa solução atende às necessidades do processo, porém sob o ponto de vista energético, essa quebra provocada pelas válvulas de controle não é interessante, já que parte considerável da potência consumida para energizar a água nas bombas é dissipada nesses elementos.

Nesse contexto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de analisar cada um dos consumidores de água de alimentação de caldeira da Refinaria Gabriel Passos (REGAP). Com esse estudo, pretende-se concluir se a pressão de descarga nas bombas pode ser reduzida, de tal forma que todos os clientes recebam a água nas condições exigidas, sem, contudo, ser necessário promover quebras de pressão tão significativas na entrada dos equipamentos.

Como objetivos específicos, serão estudados os trajetos percorridos pela água, desde a descarga das bombas até a chegada aos consumidores finais, visando contabilizar todas as perdas de carga associadas ao escoamento. Também serão realizados balanços de massa e energia no sistema, para determinar quais valores de vazão e pressão deverão ser praticados na descarga das bombas.

Atenção especial será dada ao fato de que, apesar da degradação energética nas válvulas de controle, as demandas de pressão e vazão de todos os clientes são atendidas. Portanto, deve-se tomar muito cuidado ao propor alterações no ponto de operação, para não prejudicar o funcionamento do sistema.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse item serão abordados conceitos importantes para o desenvolvimento do tema proposto, tais como, escoamento sob pressão e a perda de carga envolvida nesses escoamentos. Para sustentar o estudo, será feita uma breve revisão sobre os principais conceitos envolvidos na Mecânica dos Fluidos, tratando dos tipos de escoamento e propriedades do fluido estudado. Também serão apresentados fundamentos sobre sistemas de bombeamento e as tubulações industriais. Atenção especial será dada às equações envolvidas no cálculo da perda de carga e no fator de atrito. Adicionalmente, será feita uma breve descrição sobre as unidades operacionais dentro da *REGAP*, que foram alvos de estudo nessa dissertação.

### 2.1. Fluido

Define-se fluido como uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento, não importando quão pequena ela seja (FOX, MCDONALD E PRITCHARD, 2006).

Sendo assim, os fluidos compreendem as fases líquida e gasosa (ou vapor) das formas físicas nas quais a matéria existe.

Para distinguir estado fluido de estado sólido basta comparar o comportamento de ambos quando uma tensão de cisalhamento lhes é aplicada. Ao contrário dos fluidos, a deformação sofrida pelos sólidos não aumenta continuamente com o tempo e é reversível, desde que a força aplicada seja inferior ao limite de resistência do material.

A relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento variará conforme o tipo de fluido. Os *fluidos Newtonianos* são aqueles nos quais a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação. Água, ar e gasolina são alguns exemplos. Estes fluidos obedecem à Equação 1:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv}{dy}$$

Equação 1

onde  $\tau_{yx}$  é a tensão de cisalhamento;  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $dv/dy$  a taxa de cisalhamento (sendo  $v$  = velocidade e  $y$  = espessura da camada de fluido)

A expressão *não-Newtoniano*, por sua vez, é empregada para denominar os fluidos nos quais a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é linear. Esses fluidos geralmente são classificados conforme o tipo de relação estabelecida. Os mais usuais são: Binghamianos, como a pasta de dente, lamas de perfuração e gelatina; Pseudoplásticos, como as soluções de polímeros e suspensões comuns; Dilatantes, como suspensão de amido, silicato de potássio e areia molhada; Dependentes do Tempo, como as tintas; e Viscoelásticos, como o piche. (HOLLAND & BRAGG, 1995)

A Mecânica dos Fluidos é a ciência que estuda o comportamento dos fluidos em repouso e movimento (FOX, MCDONALD E PRITCHARD, 2006).

### **2.1.1. Propriedades dos Fluidos**

Para solucionar um problema de Mecânica dos Fluidos é necessário conhecer as propriedades do fluido estudado, uma vez que essas podem afetar diretamente o tipo de escoamento.

Apesar de gases e líquidos serem constituídos de moléculas, é possível, na maioria dos casos, tratá-los como um meio contínuo para o propósito dos cálculos na Mecânica dos Fluidos.

Como essa ciência se concentra na escala macroscópica - o comprimento característico de qualquer equipamento possui ordem de grandeza muitas vezes maior que o caminho livre médio das moléculas - na maioria das situações encontradas, sendo possível selecionar um volume de medição que seja muito pequeno, se comparado com o campo de escoamento e, ainda assim, conter moléculas suficientes de forma que as propriedades representarão valores médios. (HOLLAND & BRAGG, 1995).

No estudo da Mecânica dos Fluidos, duas propriedades são extremamente importantes: densidade e viscosidade. Na pressão ambiente (1atm) e com

temperaturas variando entre 0° e 100°C, tais propriedades são facilmente encontradas na literatura para fluidos como a água.

Entretanto, quando o fluido trabalha fora desta faixa de temperatura e pressão, as fontes de dados começam a se tornar escassas, mesmo quando o fluido é a água.

O software SteamTab®, disponibilizado gratuitamente pela ChemicalLogic Corporation em seu site (<http://www.chemicallogic.com/index.html>), calcula propriedades de vapor e água para os mais diversos valores de temperatura e pressão. O programa utiliza equações fundamentais de Termodinâmica e Mecânica dos Fluidos aprovadas pela Associação Internacional das Propriedades da Água e Vapor - *International Association for the Properties of Water and Steam* – (IAPWS). A Figura 1 apresenta uma das telas do programa.

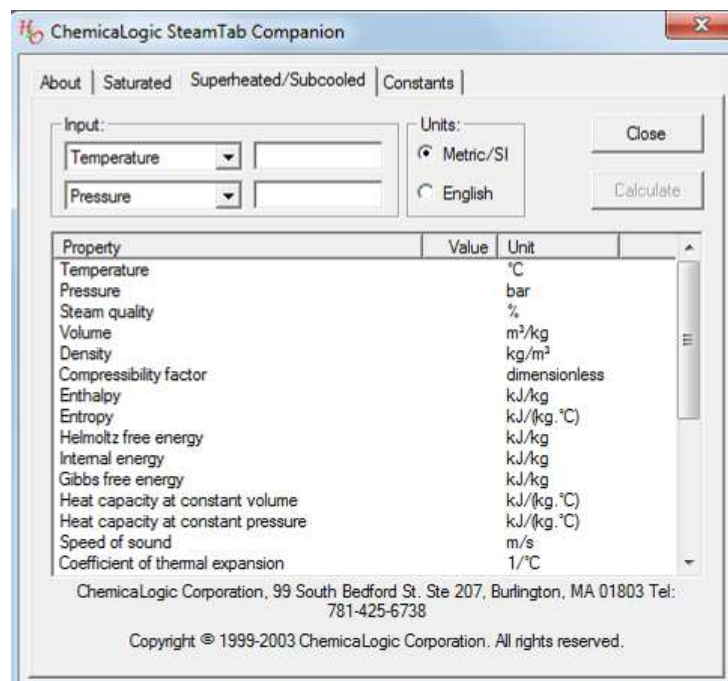


Figura 1- Visualização da tela do programa SteamTab®.

Esse aplicativo foi utilizado durante todo o trabalho de mestrado como a principal fonte de dados das propriedades da água.

## 2.2. Tubulações Industriais

O método mais utilizado para transportar fluidos de um ponto ao outro é forçar o fluido a escoar através de um sistema de tubulações. (CRANE, 1982)

Como, de maneira geral, o ponto de geração ou armazenagem dos fluidos está distante do ponto de utilização, a importância das tubulações na indústria é enorme. (TELLES, 2003)

### 2.2.1. Tubos e Tubulações

Tubos são condutos fechados de seção circular, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Ao conjunto de tubos e acessórios (válvulas, flanges, curvas, conexões, etc.) destinados ao transporte de fluidos denomina-se tubulação. (TELLES, 2003)

As tubulações podem ser classificadas nos seguintes grupos, conforme a função a que se destinam:

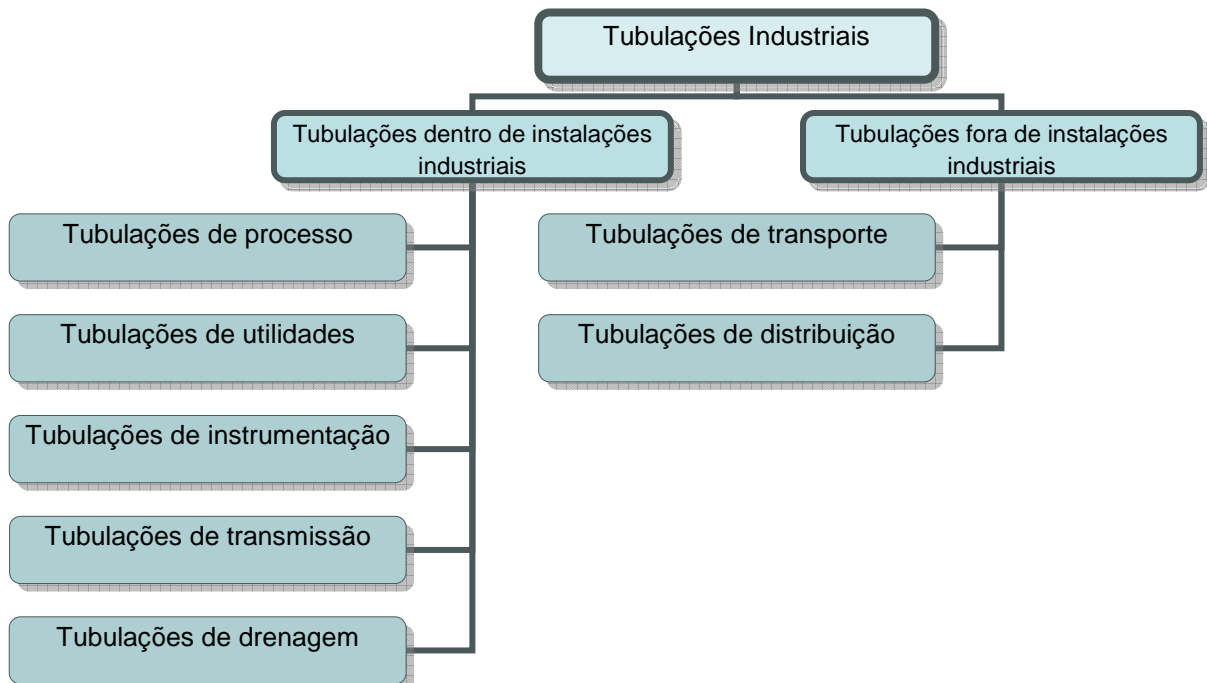


Figura 2 – Classificação das tubulações industriais.  
FONTE: Adaptado de Telles (2003, p.2).

## 2.2.2. Componentes de Tubulação

O que distingue um tubo de uma tubulação é a presença dos componentes de tubulação. Esses componentes são acessórios capazes de conectar tubos, alterar diâmetros, regular fluxos, enfim, adaptar a tubulação para as mais diversas aplicações. Válvulas e conexões são os acessórios mais comuns e serão apresentados nos itens a seguir.

### 2.2.2.1. Válvulas

Válvulas são dispositivos mecânicos utilizados para direcionar, iniciar, parar, misturar ou regular o fluxo ou pressão de um fluido. Podem ser utilizadas para aplicações tanto com líquidos quanto com gases. (VALVE HANDBOOK, 2004)

Existe uma grande variedade de tipos de válvulas, algumas de uso geral e outras para finalidades específicas. As mais comuns são válvulas de bloqueio, regulação e controladoras de pressão. A Figura 3 apresenta alguns exemplos.

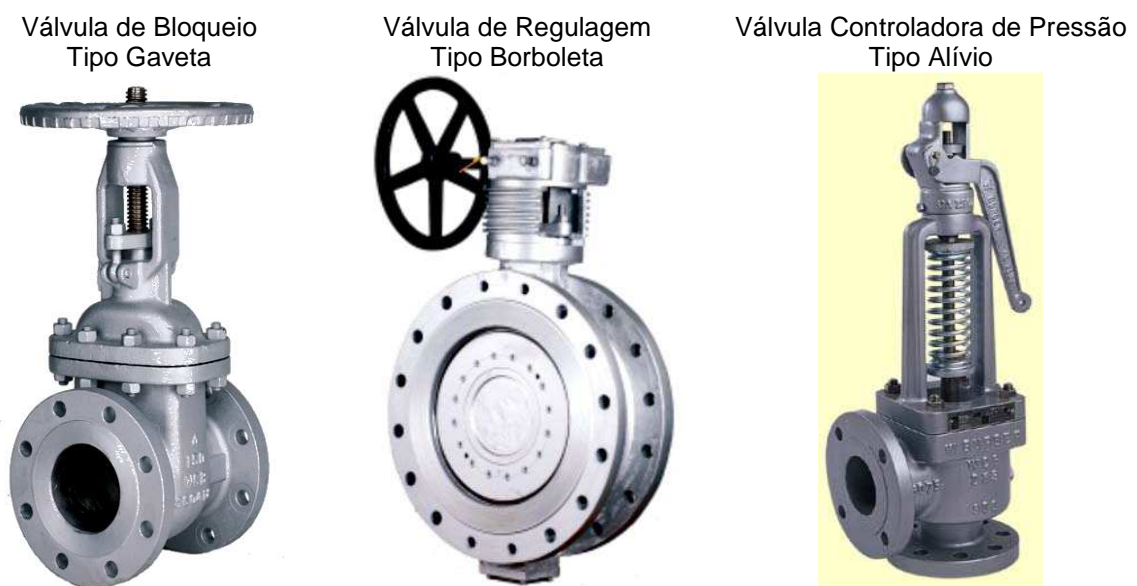


Figura 3 - Exemplos de válvulas empregadas na indústria.  
FONTE: SMN Válvulas.

### 2.2.2.2. Conexões de Tubulação

Embora o nome conexões seja amplamente utilizado na terminologia técnica, a maioria dos acessórios de tubulação não tem por finalidade específica conectar tubos, sendo muitas vezes utilizadas para fazer alterações na direção das

tubulações, derivações, variações no diâmetro, fechamento de extremidades dos tubos e, também, ligações de tubos entre si.

Uma considerável variedade de conexões é utilizada na indústria. Por isto, o conhecimento da resistência que esses componentes oferecem ao escoamento dos fluidos é imprescindível para determinar as características do escoamento e as perdas de energia ocorridas em um sistema de tubulações. O item 2.5.2, apresenta valores de perda de carga para diversas conexões.

Os tipos de conexões mais comuns são: curvas, tê, colares, reduções, luvas, niples, flanges e bujões. A Figura 4 ilustra alguns exemplos.



Figura 4 - Exemplos de conexões utilizadas em tubulações.  
(1-luva, 2- curva, 3- bucha de redução, 4- tê, 5- niple e 6 – bujão.)  
FONTE: Hidráulica Básica, 2009.

### 2.2.3. Tagueamento

Em projetos industriais é necessário adotar uma sistemática de identificação para tubulações, vasos, equipamentos e instrumentos. Essa identificação é denominada *tag*, que significa etiqueta.

O *tag* das tubulações é constituído por uma sigla composta, que geralmente contém de forma abreviada convencional as seguintes informações: diâmetro nominal do



tubo, indicação do tipo ou da classe de fluido contido, número de ordem da linha e indicação da especificação de material (TELLES, 2003).

Por exemplo, o *tag* 6"-121-BW-47-I significa:

6" – diâmetro nominal do tubo

121 – número da unidade industrial na qual a tubulação se origina

BW – tipo de fluido (*boiler water* ou água de caldeira)

47 – número seqüencial da linha

I – sigla indicativa da padronização de material de tubulação, comumente chamada de Spec. Determina as normas do material e características de construção e teste dos tubos, válvulas e conexões (TELLES, 2003).

Todas as vezes que em uma tubulação ocorrer mudança de fluido conduzido, de unidade ou de padronização de material, deve haver mudança de sua identificação, passando a ser considerada como outra tubulação (CONSELHO DE NORMAS TÉCNICAS (CONTEC) – N-1522, 2009).

A identificação dos vasos e equipamentos costuma ser feita adotando-se para cada tipo uma série numérica diferente precedida de uma ou duas letras indicativas. Abaixo são apresentados os principais:

B: bombas

E: trocadores de calor

C: compressores

TQ: tanques

T: torres

F: forno

Quando se tem dois ou mais equipamentos iguais entre si e executando o mesmo serviço, é usual dar-se a todos o mesmo número, distinguindo-se um do outro pelo acréscimo de uma letra. Por exemplo, B-105A, B-105B e B-105C seriam três bombas iguais e para o mesmo serviço. Esse caso é muito frequente nos equipamentos que trabalham em paralelo ou quando uns são reservas dos outros (TELLES, 2003).

A identificação dos instrumentos e das válvulas de controle é feita da mesma forma, adotando-se siglas diferentes para cada tipo de instrumento ou válvula de controle, e séries numéricas diferentes para cada área. As siglas dos instrumentos e das válvulas de controle são geralmente as estabelecidas pelas normas do ISA (*Instrumentation Society of America*) (TELLES, 2003).

Tubulações, equipamentos e instrumentos devem ser designados por sua identificação completa em todos os desenhos, memoriais descritivos, discriminações técnicas ou qualquer outro documento (CONTEC N-1692, 2004).

#### **2.2.4. Desenhos de Tubulação**

Os desenhos de tubulação são ferramentas fundamentais para a representação de uma tubulação. Por meio deles é possível determinar o encaminhamento de uma tubulação, identificando válvulas e componentes, desníveis, mudanças de direção e demais aspectos do trajeto. Além disso, é possível visualizar equipamentos, vasos, tanques e demais características das unidades operacionais por onde a tubulação passa.

##### **2.2.4.1. Fluxogramas**

Fluxogramas são diagramas esquemáticos cuja finalidade é mostrar de maneira simplificada como o sistema funciona. Para isto, são representados nesse documento as tubulações, os equipamentos, os instrumentos e os vasos pertencentes a um determinado sistema, com seus respectivos *tags*. (ver item 2.2.3)

Como não são feitos em escala, esses desenhos não são utilizados para montagem nem fabricação.

##### **2.2.4.2. Plantas de Tubulação**

Segundo Telles (2003, p. 174) "...plantas de tubulação são desenhos feitos em escala, contendo todas as tubulações de uma determinada área, representadas em projeção horizontal, olhando-se de cima para baixo."

A norma da Petrobras N-1692 (2004, p.11) lista uma série de informações que devem estar contidas em uma planta de tubulação, tais como:

- indicação do norte de projeto
- identificação de todos os tubos e seu sentido de fluxo
- elevações de todos os tubos (elevação de fundo, preferencialmente)
- distâncias entre linhas de centro de tubos paralelos e todas as cotas dos pontos de mudança de direção;
- válvulas e acessórios de tubulação, representados em escala conforme simbologia própria;
- suportes de tubulação;
- identificação, dimensões gerais, elevação e localização de plataformas, passarelas e escadas;

Além disso, esses desenhos devem também mostrar construções existentes na área representada, vasos, equipamentos e máquinas ligados à rede de tubulações e todos os instrumentos.

#### **2.2.4.3. Isométricos**

Os isométricos são desenhos utilizados para a construção e montagem das tubulações. Neles são representadas todas as peças que compõe as tubulações, como tubos, válvulas, acessórios de tubulação e outros equipamentos que fazem parte da tubulação. Além disso, há uma lista contendo todos os materiais representados no desenho (TELLES, 2003).

Os desenhos são feitos sem escala e em perspectiva isométrica. Isto é, os trechos verticais de tubulação são representados por traços verticais e os trechos horizontais são representados por traços inclinados com ângulo de 30° sobre a horizontal, para direita ou para a esquerda (CONTEC N-1692, 2004).

Neles devem conter todas as cotas e dimensões dos trechos retos de tubo, ângulos, raios de curvatura, elevações dos tubos, localização e orientação dos bocais de vasos e equipamentos, posição das hastes e volantes das válvulas, etc. (TELLES, 2003) & (CONTEC N-1692, 2004).

Geralmente, faz-se um desenho para cada tubulação individual e não se fazem isométricos para tubulações onde a maior parte dos trechos é reta. Nesses casos, a planta de tubulação é utilizada como documento de referência.

## **2.3. Escoamento**

Escoamento nada mais é que fluido em movimento. À quantidade de fluido que se movimenta através de uma seção reta, perpendicular ao vetor velocidade, num determinado intervalo de tempo, chama-se de vazão.

O lugar geométrico dos pontos ocupados pelas partículas do fluido ao longo do tempo é denominado de trajetória. Já as linhas de corrente são aquelas que num determinado instante são tangentes ao vetor velocidade em cada campo do escoamento, não havendo fluxo de matéria através delas (FOX, MCDONALD E PRITCHARD, 2006).

### **2.3.1. Classificação dos Escoamentos**

Se as propriedades em cada ponto de um campo de escoamento não variam com o tempo, o escoamento é denominado de permanente. Nesse tipo de escoamento, as propriedades podem variar de um ponto para outro, mas, em cada ponto, devem permanecer constantes (FOX, MCDONALD E PRITCHARD, 2006).

Se qualquer propriedade variar no ponto com o tempo, ele é denominado de transiente ou não-permanente.

Matematicamente, a definição de escoamento permanente é:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{Equação 2}$$

onde  $\eta$  representa qualquer propriedade do fluido.

Um escoamento é classificado como laminar quando as partículas fluidas movem-se de forma organizada, sendo os filetes de fluido paralelos entre si, no nível macroscópico. Um escoamento turbulento é aquele no qual as partículas fluidas movem-se em todas as direções, com velocidades variáveis em direção e grandeza.

A transição entre esses dois tipos de escoamento foi quantitativamente descrita, em 1883, por Osborne Reynolds, por meio de um número adimensional (Re) que representa a relação entre as forças de inércia e as viscosas (Equação 3).

$$\text{Re} \equiv \frac{d_i \rho v}{\mu} \quad \text{Equação 3}$$

Reynolds percebeu que a natureza do escoamento era uma função da velocidade do escoamento ( $v$ ), do diâmetro interno da tubulação ( $d_i$ ), da densidade ( $\rho$ ) e viscosidade ( $\mu$ ) do fluido.

Para tubos, tem-se escoamento laminar para valores de  $\text{Re} \leq 2300$  (FOX, MCDONALD & PRITCHARD, 2006).

O termo escoamento compressível é geralmente usado para definir escoamentos nos quais a densidade varia ao longo do escoamento. Em contrapartida, escoamento incompressível é aquele em que a densidade é constante ao longo do escoamento. Na maioria dos casos, essa variação na densidade é causada, principalmente, por variações na pressão e na temperatura de um ponto para outro.

Sob pressões moderadas, os líquidos podem ser considerados incompressíveis. Entretanto, em altas pressões, os efeitos de compressibilidade nos líquidos podem ser importantes. A temperatura, por sua vez, tem pouca influência sobre a massa específica na maioria dos líquidos.

Gases em geral possuem alta compressibilidade se comparados com líquidos. Por exemplo, sob pressão de 1atm a compressibilidade do ar é de  $10^{-5} \text{m}^2/\text{N}$ , enquanto a da água é de  $5 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$  (KREITH *et. al*, 1999).

O escoamento de gases poderá ser considerado incompressível quando a velocidade de escoamento for pequena em relação à velocidade do som e a transmissão de calor for desprezível (FOX, MCDONALD E PRITCHARD, 2006).

Quando o fluido em movimento está completamente envolto por uma superfície sólida o escoamento é classificado como interno ou em duto. Já quando o fluido se

movimenta sobre uma superfície, porém não está contido nela e nem em qualquer outra barreira fixa, o escoamento é classificado como externo.

Tanto o escoamento interno quanto o externo podem ser laminares ou turbulentos, compressíveis ou incompressíveis, permanentes ou transientes.

No presente trabalho, trataremos de escoamentos internos, turbulentos, permanentes e incompressíveis.

### 2.3.2. Equação da Continuidade

A equação da continuidade estabelece o princípio de conservação da massa. Assim, para o escoamento permanente de fluido, entre duas seções transversais, como ilustrado na Figura 5, um balanço de massa pode ser escrito da seguinte forma:

$$\text{Massa que entra} = \text{Massa que sai} + \text{taxa de acúmulo}$$

Sendo  $\rho_1$  e  $\rho_2$  as densidades do fluido que atravessam as seções 1 e 2, respectivamente, e  $Q_1$  e  $Q_2$  as vazões volumétricas do fluido, o balanço de massa ficará:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 + \frac{\partial}{\partial t}(\rho V) \quad \text{Equação 4}$$

onde  $V$  é o volume constante entre as seções 1 e 2,  $\rho$  é a densidade média do fluido no volume  $V$ .

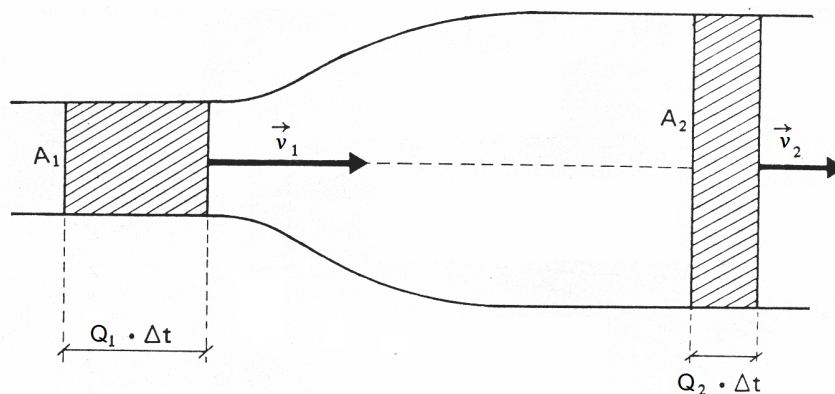


Figura 5 - Escoamento através de uma seção cujo diâmetro varia.

Se não há acúmulo ao longo das seções 1 e 2, a massa que entra na seção  $A_1$  é igual à massa que sai na seção  $A_2$ . Ou seja, a Equação 4 se reduz a:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = cte \quad \text{Equação 5}$$

Sendo  $\bar{v}$  a velocidade média do fluido que atravessa uma área de seção reta  $S$ , a vazão volumétrica pode ser dada por:

$$Q = \bar{v}S \quad \text{Equação 6}$$

Então, o balanço de massa sem acúmulo se torna:

$$\rho_1 \bar{v}_1 S_1 = \rho_2 \bar{v}_2 S_2 \quad \text{Equação 7}$$

Essa é a forma da equação da continuidade mais frequentemente utilizada, válida apenas quando não há acúmulo entre as seções.

### 2.3.3. Teorema de Bernoulli

Considere um fluido escoando entre os pontos 1 e 2, como mostra a Figura 6. Ao longo desse percurso, há transmissão de calor ( $q$ ) para o fluido e realização de trabalho no fluido pela vizinhança ( $W_i$ ) e na vizinhança pelo fluido ( $W_o$ ).

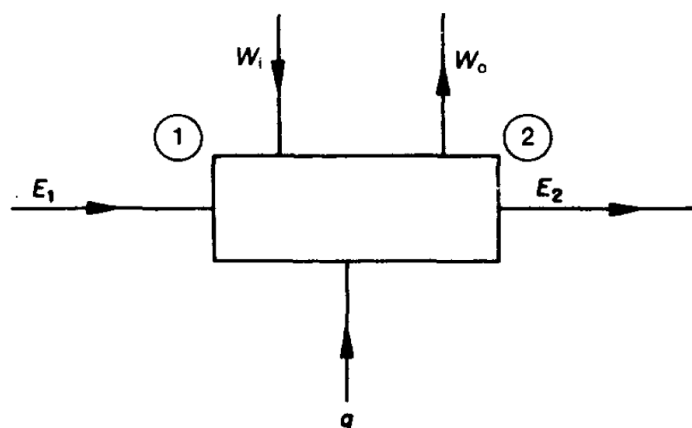


Figura 6 – Balanço de energia para um fluido escoando entre os pontos 1 e 2.

Para a situação acima descrita, pode-se escrever o seguinte balanço de energia:

$$\text{Energia inicial} + \text{Energia que entra} = \text{Energia final} + \text{Energia que sai} + \text{Acúmulo}$$

Substituindo os termos correspondentes no balanço de energia e, considerando que o escoamento ocorre em regime permanente, isto é, sem acúmulo, tem-se a seguinte equação:

$$E_1 + W_i + q = E_2 + W_o \quad \text{Equação 8}$$

que, após rearranjo se transforma em:

$$E_2 = E_1 + q + W_i - W_o \quad \text{Equação 9}$$

Segundo Holland & Bragg (1995, p.10), “um fluido em movimento possui os seguintes tipos de energia: interna, potencial, de pressão e cinética”. Com isto, a energia total (E) da Equação 9 pode ser decomposta nos seguintes termos, por unidade de massa:

$$E = U + zg + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad \text{Equação 10}$$

Onde, conforme o mesmo autor:

$U$ = energia interna, associada ao estado físico do fluido.

$zg$ = energia potencial. Sendo  $z$  a elevação sofrida pelo fluido a partir de um referencial e  $g$  a aceleração da gravidade.

$P/\rho$ = a energia de pressão por unidade de massa do fluido. Isto é, o trabalho requerido para introduzir um fluido de pressão  $P$  em um sistema sem mudar o seu volume.

$v^2/2$  = energia cinética, em que  $v$  é a velocidade do fluido com relação a um ponto de referência.



Considerando que o fluido tem uma densidade constante ou se comporta com gás ideal, para temperaturas constantes,  $\Delta U = 0$ . Se nenhum calor é transferido ao fluido,  $q = 0$ . Adicionalmente, se nesse escoamento não houver bombeamento,  $W_i = 0$  e nem atrito,  $W_o = 0$ .

Logo, unindo as equações Equação 9 e Equação 10 às considerações feitas acima, tem-se:

$$\left( z_2 g + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} \right) = \left( z_1 g + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} \right) \quad \text{Equação 11}$$

A Equação 11 é conhecida como **Equação de Bernoulli**.

Ao dividir a Equação 11 pela gravidade ( $g$ ), cada termo ficará com dimensão de comprimento. Considerando que há bombeamento e atrito no escoamento, situação mais comumente encontrada, chega-se a Equação 12:

$$\left( z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} \right) = \left( z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} \right) + \frac{W_i}{g} - \frac{W_o}{g} \quad \text{Equação 12}$$

Onde;

$z$  = carga potencial

$P/(\rho g)$  = carga de pressão

$v^2/2g$  = carga de velocidade

$W_i/g$  = carga fornecida ao fluido pela bomba, mais conhecido como  $\Delta h$ .

$W_o/g$  = carga devido ao atrito, mais conhecido como  $h_f$ .

Reescrevendo a Equação 12, agora com os termos  $\Delta h$  e  $h_f$ , chega-se a Equação 13:

$$\left( z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} \right) = \left( z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} \right) + \Delta h - h_f \quad \text{Equação 13}$$

A equação de Bernoulli é baseada no princípio da conservação da energia e, uma vez que o termo de trabalho é zero, significa que a energia mecânica total permanece constante ao longo das linhas de corrente (HOLLAND & BRAGG, 1995).

Para permitir que a equação de Bernoulli seja usada para o escoamento em toda a seção do tubo, a Equação 13 deve ser modificada para:

$$\left( z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{\bar{v}_2^2}{2g\alpha} \right) = \left( z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{\bar{v}_1^2}{2g\alpha} \right) + \Delta h - h_f \quad \text{Equação 14}$$

Onde  $\bar{v}$  é a velocidade volumétrica média e  $\alpha$  é o fator de correção adimensional, que leva em consideração a distribuição de velocidade através da tubulação. Para um perfil de velocidade relativamente uniforme, como encontrado em escoamento turbulento,  $\alpha$  tem o valor de aproximadamente 1. Para escoamento laminar de fluido Newtoniano em tubulação,  $\alpha$  tem o valor de  $\frac{1}{2}$  (HOLLAND & BRAGG, 1995).

## **2.4. Sistemas de Bombeamento**

Bombas são dispositivos capazes de transferir energia para um fluido em escoamento a fim de suprir as perdas de carga ocorridas devido ao atrito e, se necessário, bombear o líquido para um nível mais elevado (HOLLAND & BRAGG, 1995).

Existem diferentes configurações de instalações de bombeamento, variando conforme o objetivo. Contudo, um típico sistema de bombeamento pode ser esquematizado conforme Figura 7.

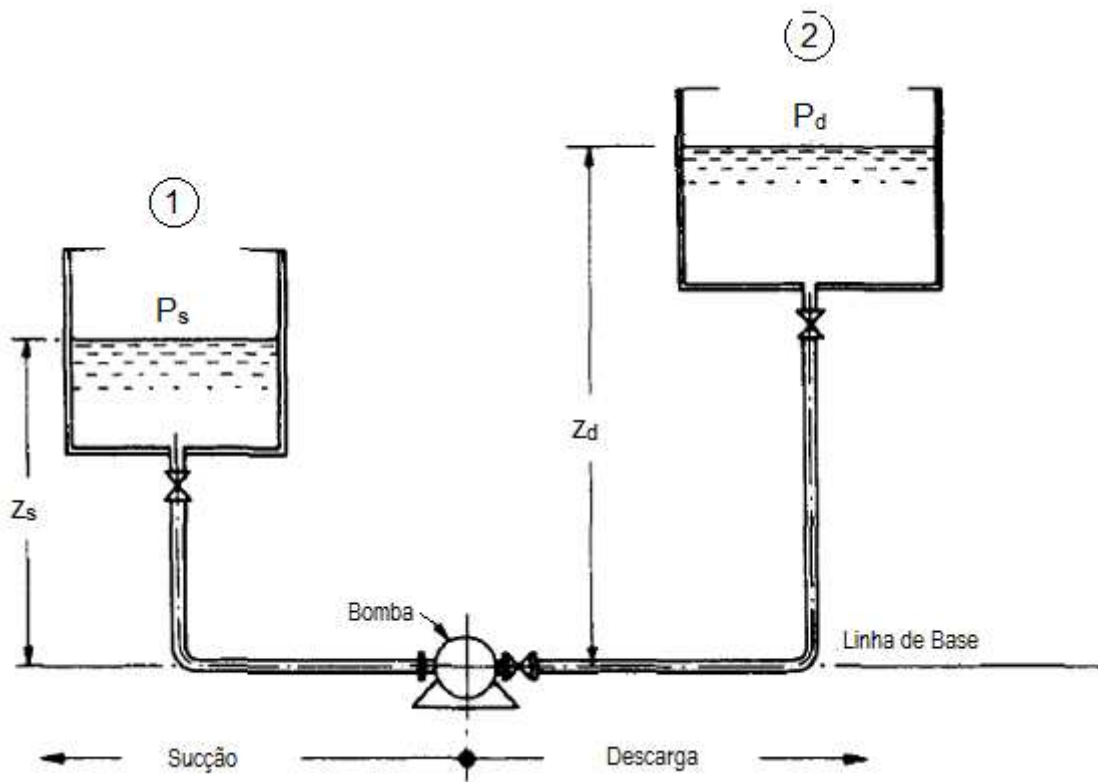


Figura 7 – Esquema típico de bombeamento.  
 FONTE: Adaptado de Holland & Bragg, (1995, p.141.).

Para uma bomba situada entre os pontos 1 e 2, da Figura 7, o balanço energético, considerando o escoamento permanente, é dado por:

$$\left( z_d + \frac{P_d}{\rho_d g} + \frac{\bar{v}_d^2}{2g\alpha} \right) + h_{fd} = \left( z_s + \frac{P_s}{\rho_s g} + \frac{\bar{v}_s^2}{2g\alpha} \right) - h_{fs} + \Delta h \quad \text{Equação 15}$$

Que, conforme visto anteriormente, na Seção 2.3.3, é a Equação de Bernoulli modificada.

Nessa equação,  $h_f$  representa a perda de carga devido ao atrito, estando presente tanto na sucção ( $h_{fs}$ ) quanto no recalque ( $h_{fd}$ ),  $z$  é a carga estática, sendo a diferença entre  $z_d$  e  $z_s$ , isto é, o desnível da instalação e  $P$  a pressão nos reservatórios (Monachesi, 2005).

O termo  $\Delta h$  representa a quantidade de energia que deve ser absorvida por um quilograma de fluido que atravessa a bomba, também conhecido como **Altura**

**Manométrica da Instalação -  $H_{man}$** . Essa energia deve ser tal que vença o desnível da instalação, a diferença de pressão entre os reservatórios e a resistência natural que as tubulações e acessórios oferecem ao escoamento dos fluidos (CARVALHO, 1999).

Algumas referências literárias preferem escrever a Equação 15 em termos de altura manométrica, fazendo uso de nomenclaturas diferentes, porém com o mesmo significado. A Equação 16 apresenta uma dessas formas, escrita para escoamentos em regime permanente e incompressível.

$$H_{man} = \underbrace{H_o}_{\text{carga\_estática}} + \underbrace{\frac{P_d - P_s}{\rho g}}_{\text{carga\_pressão}} + \underbrace{\Delta H}_{\text{carga\_atrito}} \quad \text{Equação 16}$$

A **Altura Manométrica Total  $H_{th}$** , representa a energia cedida a cada quilograma de fluido que atravessa a bomba. O termo  $H_{th}$  compreende a soma da  $H_{man}$  com a energia dissipada no interior da bomba.

Denomina-se **NPSH<sub>requerido</sub>** (*Net Positive Suction Head*), a carga energética líquida requerida pela bomba para promover a sucção do fluido. Essa carga é uma característica do projeto de cada bomba e pode ser determinada nos laboratórios dos fabricantes. Seu valor varia com a vazão.

Já o **NPSH<sub>disponível</sub>**, é a carga energética líquida disponível na instalação para permitir a sucção do fluido. Essa carga, por sua vez, é uma característica geométrica da instalação e seu valor pode ser calculado a partir dos termos apresentados no lado direito da Equação 15. Ou seja:

$$NPSH_{disponível} = \left( z_s + \frac{P_s}{\rho_s g} + \frac{\bar{v}_s^2}{2g\alpha} \right) - h_{fs} \quad \text{Equação 17}$$

Quando o fluido apresenta na sucção da bomba  $NPSH_{disponível}$  menor que o  $NPSH_{requerido}$ , ocorre a cavitação. Este fenômeno acontece devido à vaporização local do fluido, ocasionada quando a pressão cai (em consequência da aceleração brusca do fluido bombeado) para valores menores que a pressão de vapor.

[...] “bolhas” (cavas) de vapor serão formadas (o líquido estará com uma carga inferior à sua pressão de vapor), que, arrastadas pelo fluxo para os pontos de maior pressão no rotor, serão implodidas bruscamente, o que causa ruído intenso (detectável sem aparelhos). Devido a essas “implosões” (liberação da energia na implosão), ocorre desgaste de material na superfície do rotor, formando pequenas cavidades que, com o tempo, vão se transformando em verdadeiras “crateras”, visíveis a olho nu. Em alguns casos, observa-se um “buraco” na superfície do rotor (MONACHESI, 2005, p.56-57).

Observa-se, portanto, que a energia disponível na instalação para sucção deve ser sempre maior que a energia requerida pela bomba, isto é:

$$NPSH_{\text{disponível}} > NPSH_{\text{requerido}},$$

Caso contrário, haverá cavitação em decorrência de uma sucção deficiente.

#### 2.4.1. Classificação Geral das Bombas

Na literatura há diversas maneiras de se classificar as bombas. A mais comum, entretanto, subdivide esses equipamentos em dois grandes grupos:

- Turbobombas ou bombas hidrodinâmicas:

[...] se caracterizam pela existência de um rotor dotado de palhetas e em contato com o fluido. A ação da força centrífuga e/ou força de sustentação produzida pelo escoamento do fluido em torno das palhetas (perfil aerodinâmico) provoca uma depressão à entrada do rotor que aspira ao fluido, e uma sobre pressão à saída do mesmo, responsável pelo recalque do fluido (CARVALHO, 1992, p.85).

- Bombas volumétricas:

[...] se caracterizam por produzir, em uma ou mais de suas câmaras, variações do volume interno, o que provoca as variações de pressão responsáveis pela aspiração e recalque do fluido (obedecendo à equação  $P.V=\text{constante}$ ), quando o volume (V) aumenta, a pressão (P) cai e o fluido é aspirado; quando o volume interno diminui, a pressão aumenta e o fluido é recalcado (CARVALHO, 1992, p.85).

### 2.4.2. Rendimentos em uma Bomba

O rendimento total ( $\eta_T$ ) de uma bomba é dado por:

$$\eta_T = \underbrace{\frac{H_{man}}{H_{th}}}_{\text{Hidráulico}} \times \underbrace{\frac{Q}{Q + q_B}}_{\text{Volumétrico}} \times \underbrace{\frac{(N - \Delta N)}{N}}_{\text{Mecânico}}$$

Equação 18

Onde, segundo Carvalho (1999, p.51-52):

- **Rendimento hidráulico:** relaciona a energia absorvida pelo fluido ( $H_{man}$ ) com a energia cedida pela bomba ao fluido ( $H_{th}$ ). Quanto maior for a perda de carga no interior da bomba, menor será o rendimento hidráulico.
- **Rendimento volumétrico:** relaciona a vazão recalçada ( $Q$ ) com a vazão succionada pela bomba, onde  $q_B$  representa a recirculação e vazamentos.
- **Rendimento mecânico:** leva em consideração que, da potência necessária ao acionamento da bomba ( $N$ ), apenas uma parte é, efetivamente, empregada para o ato de bombeamento. Uma parcela dessa potência necessária será utilizada para vencer as resistências passivas da bomba ( $\Delta N$ ).

### 2.4.3. Potência

A potência necessária para que uma vazão volumétrica  $Q$  de fluido escoe entre dois pontos cuja diferença de energia seja a  $H_{man}$  (altura manométrica) é dada por:

$$P = Q \times \gamma \times H_{man}$$

Equação 19

Entretanto, ao longo do processo de bombeamento nem toda a potência gerada é utilizada para bombear o fluido (ver item 2.4.2). Parte dela é perdida na forma de atrito, vazamentos, recirculação, etc. Por isto, deve-se acrescentar à equação acima, um termo de rendimento, denominado rendimento total  $\eta_T$ , a fim de representar todas as perdas ocorridas no processo (CARVALHO, 1992).

Sendo assim, a expressão para o cálculo de potência necessária ao acionamento de uma bomba é dada por:

$$P = \frac{Q \times \gamma \times H_{man}}{\eta_t}$$

Equação 20

#### 2.4.4. Curvas Características da Bomba

Ao se projetar uma bomba, visa-se, especificamente, o recalque de determinada vazão em certa altura manométrica. Entretanto, essa bomba poderá, dentro da faixa determinada pela economia, ser posta a recalcar vazões diferentes daquela em que foi projetada (CARVALHO, 1992).

O conjunto dos pontos em que a bomba é capaz de operar constitui a faixa de operação da bomba. O funcionamento da bomba e a relação entre as diversas grandezas operacionais que interferem na sua operação podem ser traduzidos em gráficos, denominados Curvas Características.

Tais gráficos são obtidos em bancadas de ensaios dos fabricantes e publicados na forma de catálogos.

As principais curvas características de bombas são:

- Curva: altura manométrica *versus* vazão;
- Curva: potência *versus* vazão;
- Curva: rendimento *versus* vazão;
- Curva:  $NPSH_{requerido}$  *versus* vazão.

##### 2.4.4.1. Curva: altura manométrica x vazão

A altura manométrica desenvolvida por uma bomba é a “Energia por Unidade de Peso” que a bomba fornece ao fluido em escoamento através da mesma; sendo função da rotação de acionamento, de dimensões da bomba e do acabamento interno (CARVALHO, 1992).

Aplicando a Equação da Energia para um volume de controle compreendido entre a entrada e saída da bomba é possível, para diferentes vazões, obter a altura

manométrica correspondente e, a partir desses pontos, traçar a curva  $H_{th}$  versus  $Q$ , conforme ilustrado na Figura 8.

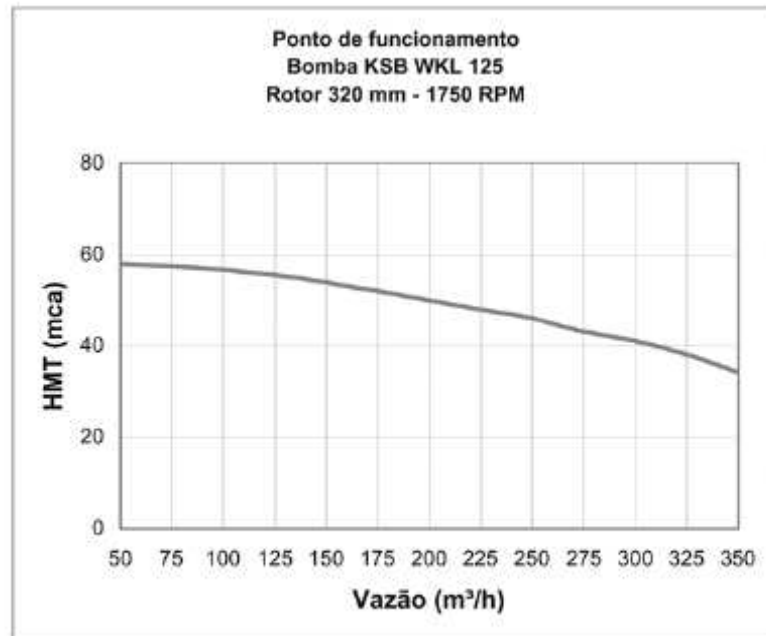


Figura 8 – Aspecto da curva altura manométrica total *versus* vazão.  
FONTE: MONACHESI, 2005.

#### 2.4.4.2. Curva: potência x vazão

A curva de potência versus vazão mostra a relação da potência necessária ao acionamento da bomba com a vazão bombeada, considerando a rotação constante.

Essa potência é a soma da potência útil com a potência dissipada em perdas, inerente a todo processo de transferência de energia na bomba.

A Figura 9 apresenta curvas de potência x vazão para uma bomba centrífuga.

Observe que nas bombas centrífugas a potência necessária ao acionamento aumenta com vazão, já nas bombas axiais, diminui.



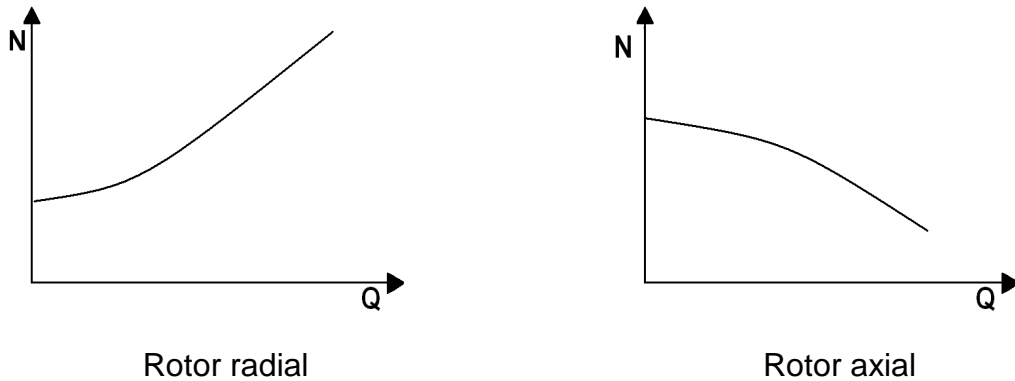


Figura 9 – Curva de potência *versus* vazão para bombas axiais e radiais.

### 2.4.4.3. Curva: rendimento x vazão

A curva de rendimento *versus* vazão apresenta como a eficiência (na qual a energia fornecida pelo eixo da bomba é transmitida ao líquido) varia em função da vazão (CARVALHO, 1992). A análise dessa curva permite determinar em qual vazão a bomba opera melhor, isto é, possui o maior rendimento.

A Figura 10 apresenta curvas de rendimento x vazão para rotores do tipo radial e axial.

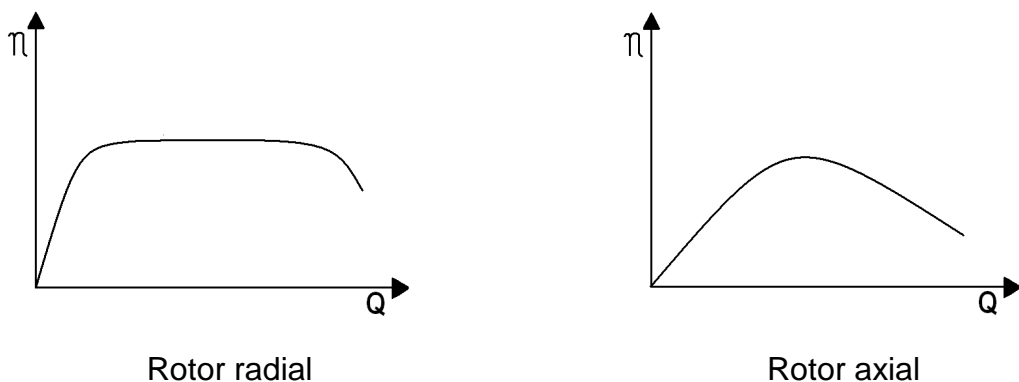


Figura 10 – Curva de rendimento *versus* vazão para bombas axiais e radiais.

Para as bombas centrífugas, o rendimento varia pouco para grandes variações na vazão. Isto indica que, para sistemas onde haja necessidade de oscilar a vazão, esse tipo de bomba é mais indicado (CARVALHO, 1992).

#### 2.4.4.4. Curva: NPSH x vazão

O NPSH requerido por uma bomba está relacionado às características construtivas do equipamento e varia em função da vazão de fluido bombeado. Geralmente, seu valor é obtido por meio de testes de cavitação em laboratórios e fornecido pelos fabricantes de bombas na forma de gráfico  $NPSH_{req}$  x vazão, conforme apresentado na Figura 11.

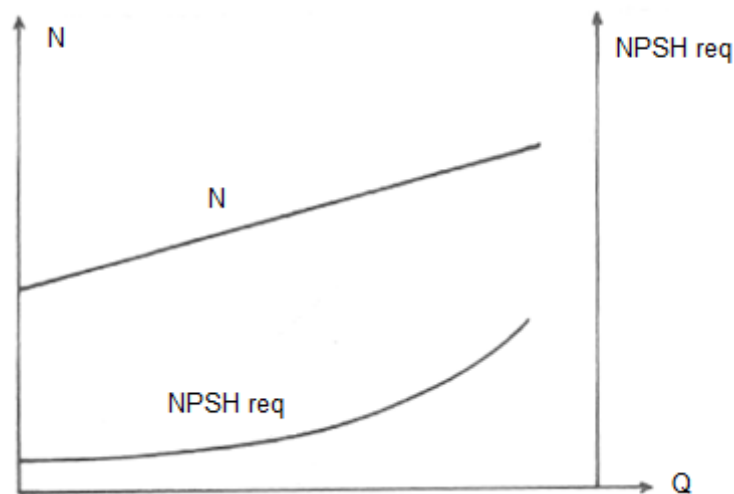


Figura 11 - Curva de  $NPSH_{req}$  versus vazão.

#### 2.4.5. Leis de Semelhança

O traçado das curvas características de uma bomba pode sofrer variações devido a mudanças na rotação do motor, diâmetro do rotor, peso específico do líquido bombeado, viscosidade do fluido, etc.

Por meio das leis de semelhança entre bombas centrífugas, é possível determinar curvas características de bombas a partir de uma curva conhecida, quando algum dos parâmetros citados nas seções anteriores sofrer alteração.

Nas relações dos sub-itens 2.4.5.1 e 2.4.5.2, o índice 1 representa as condições após a modificação do parâmetro (rotação ou diâmetro do rotor).

##### 2.4.5.1. Variação da Rotação do Motor

As curvas características de uma bomba sofrem alteração quando se muda a rotação ( $n$ ) do motor.

Dentro da faixa de pontos na qual uma bomba opera com o mesmo rendimento, existe uma proporcionalidade entre os valores de vazão ( $Q$ ), altura manométrica ( $H_{man}$ ) e potência ( $N$ ) com a rotação da bomba, assim sendo, sempre que se alterar a rotação da bomba haverá, em consequência, alteração nas suas curvas características, sendo a correção para a nova rotação feita por meio das seguintes relações (Monachesi, 2005):

- A vazão é diretamente proporcional à rotação:  $Q_1 = \frac{n_1}{n} Q$
- A altura manométrica varia com o quadrado da rotação:  $H_{man1} = \left(\frac{n_1}{n}\right)^2 \times H_{man}$
- A potência absorvida varia com o cubo da rotação:  $N_1 = \left(\frac{n_1}{n}\right)^3 \times N$

Assim, uma vez conhecida as características de uma bomba na rotação  $n$ , pode-se facilmente traçar a característica da bomba em nova rotação  $n_1$ .

Muitos fabricantes costumam apresentar as curvas características em várias rotações. Para simplificar o uso dessas curvas, ao invés de apresentar as curvas ( $\eta, Q$ ) para várias rotações, o fabricante une sobre as curvas ( $H_{man}, Q$ ) todos os pontos de mesmo rendimento, formando as chamadas parábolas de iso-eficiência (CARVALHO, 1992).

A Figura 12 apresenta curvas de ( $H_{man}, Q$ ) em várias rotações, juntamente com as parábolas de iso-eficiência.

O fato de as curvas características variarem com a rotação do motor possibilita a utilização de variadores de velocidade (em bombas de motor elétrico de corrente alternada) para obter maior eficiência energética em bombeamentos cuja vazão seja variável.

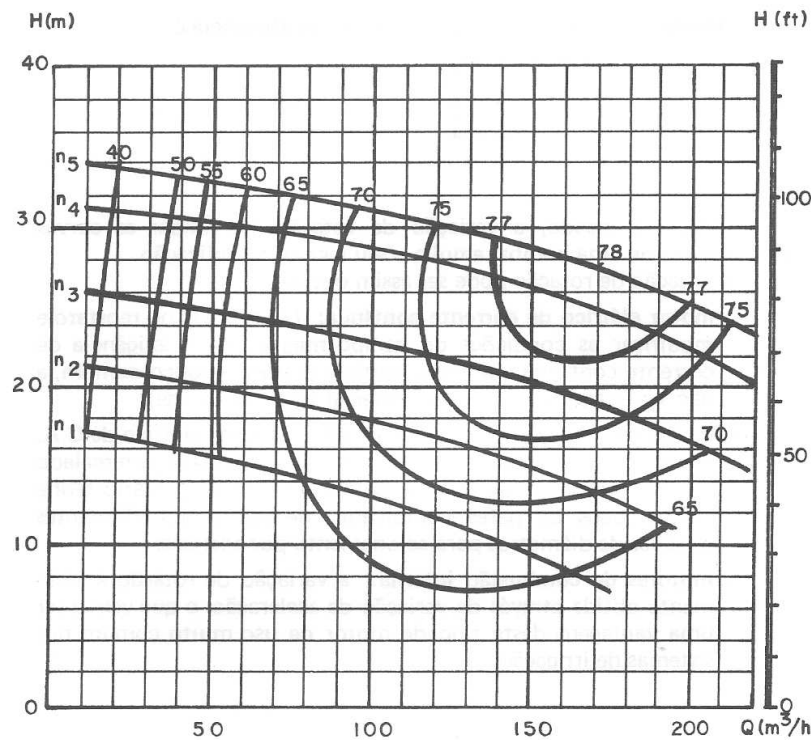


Figura 12 - Curvas ( $H_{man}, Q$ ) em várias rotações juntamente com as parábolas de iso-eficiência.

#### 2.4.5.2. Variação do Diâmetro do Rotor

Assim como as variações na rotação do motor, mudanças no diâmetro do rotor também exercem influência sobre as curvas características das bombas.

É prática usual dos fabricantes de bombas construir a carcaça do equipamento de tal forma que essa possa receber, em seu interior, rotores de vários diâmetros, sem afetar sensivelmente a hidráulica do conjunto (CARVALHO, 1992).

Para uma rotação constante, a variação do diâmetro do rotor dá origem às curvas características paralelas, conforme Figura 13, em que as curvas superiores referem-se aos rotores de maiores diâmetros.

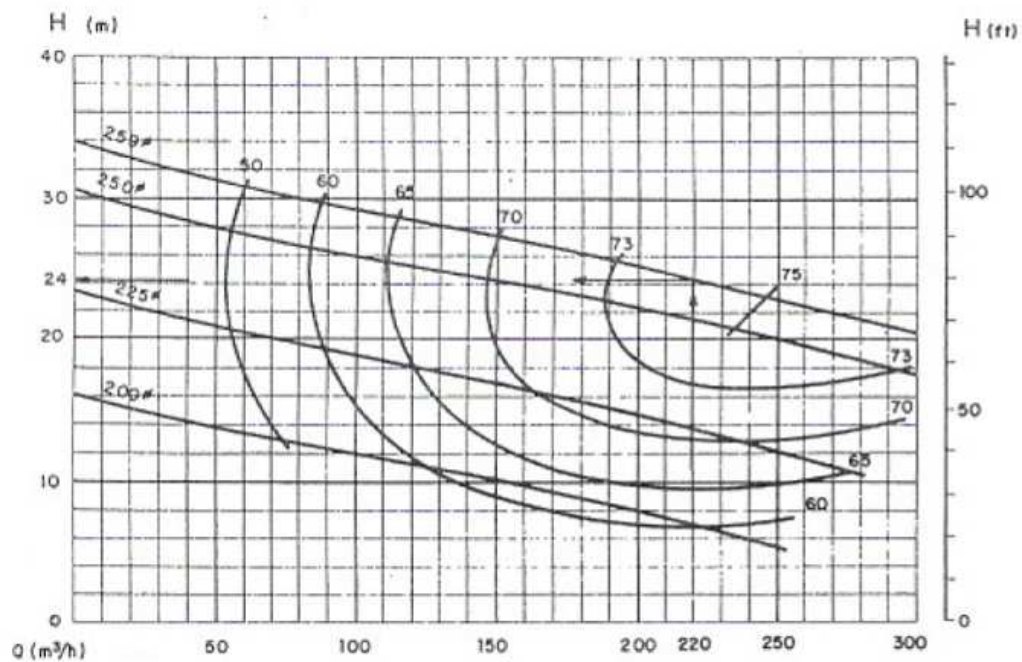


Figura 13 - Curvas características de uma bomba com rotores de vários diâmetros.

A adequação das curvas características para o novo diâmetro é feita por meio das seguintes relações (Monachesi, 2005):

- A vazão é diretamente proporcional à rotação (para variações no diâmetro de até 20%.):  $Q_1 = \frac{d_1}{d} Q$
- A altura manométrica varia com o quadrado da rotação:  $H_{man1} = \left(\frac{d_1}{d}\right)^2 \times H_{man}$
- A potência absorvida varia com o cubo da rotação:  $N_1 = \left(\frac{d_1}{d}\right)^3 \times N$

Antes de executar o rebaixamento do diâmetro do rotor é recomendável consultar o fabricante da bomba.

#### 2.4.6. Curva do Sistema e Ponto de Operação

Nas seções anteriores, diferentes tipos de curvas características para bombas foram apresentados. Assim como foi feito para as bombas, é possível também traçar uma curva característica do sistema, representando como a altura manométrica do sistema varia em função da vazão.

A interseção da curva característica do sistema com a curva característica da bomba  $H_{man} \times Q$ , define o Ponto de Operação, conforme apresentado na Figura 14.

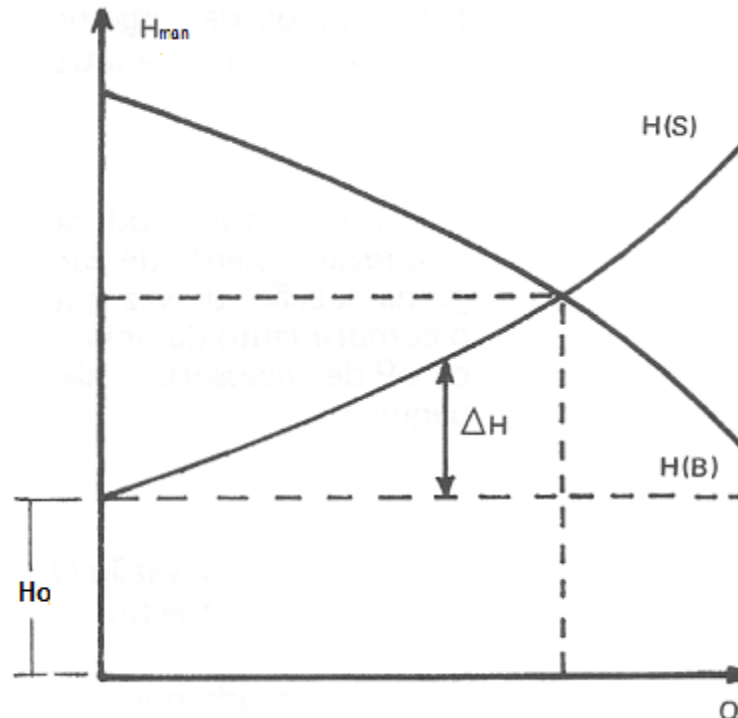


Figura 14 - Representação gráfica das curvas características da bomba e do sistema.

onde  $H(S)$  é a curva característica do sistema;  $H(B)$  a curva característica da bomba,  $\Delta H$  a perda de carga no sistema e  $H_o$  a carga estática do sistema, representada na Equação 16.

O Ponto de Operação determina a vazão na qual a altura manométrica desenvolvida pela bomba é igual à altura manométrica exigida pelo sistema.

#### 2.4.7. Associação de Bombas em Paralelo e em Série

As bombas podem ser associadas:

- Em série
- Em paralelo

**A associação em série** ocorre quando o recalque de uma bomba coincide com a sucção da bomba seguinte (como se a bomba de jusante fosse um *booster*). Assim,

para cada vazão, as alturas manométricas serão a soma das alturas individuais de cada bomba. (Monachesi, 2005)

Esse tipo de arranjo é indicado para instalações de alturas relativamente elevadas, quando se torna necessário o desenvolvimento de grandes pressões (CARVALHO, 1992).

A Figura 15 ilustra a curva da associação de duas bombas em série. A curva inferior representa a altura manométrica em função da vazão para apenas uma bomba e a curva superior representa esses valores para as duas bombas em série. Essa segunda curva é obtida somando-se, para cada vazão, as alturas manométricas de cada bomba individualmente, sejam as bombas iguais ou diferentes. No caso da associação de mais de duas bombas, basta repetir esse procedimento.

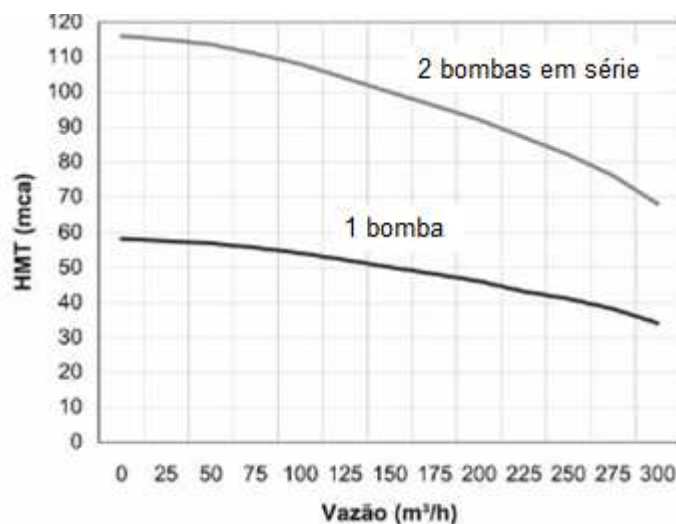


Figura 15 – Representação gráfica da  $H_{man} \times Q$  de uma bomba operando sozinha e associada em série com outra bomba idêntica.  
 FONTE: Monachesi (2005).

**A associação em paralelo** ocorre quando duas ou mais bombas bombeiam em uma única tubulação ao mesmo tempo.

Tem como finalidade aumentar a vazão recalçada e dar ao sistema uma maior flexibilidade em termos de atendimento da demanda, por meio da retirada ou colocação das unidades em funcionamento (CARVALHO, 1992).

Segundo Monachesi (2005, p.135)

[...] a curva desse tipo de associação (no caso em que a distância entre as bombas e o ponto de junção é pequena - menos de 10 metros) é obtida somando-se, para cada altura manométrica, as vazões indicadas nas curvas individuais de cada bomba, independente das bombas serem iguais ou não.

[...] se a distância entre as bombas e o ponto de união das tubulações é significativamente distante, é preciso fazer a correção da curva da associação.

A Figura 16 ilustra a associação em paralelo de duas bombas iguais. É possível fazer a associação em paralelo de bombas diferentes, porém essas deverão ter potências semelhantes, a fim de se evitar correntes secundárias no sentido da bomba de maior potência para a de menor.

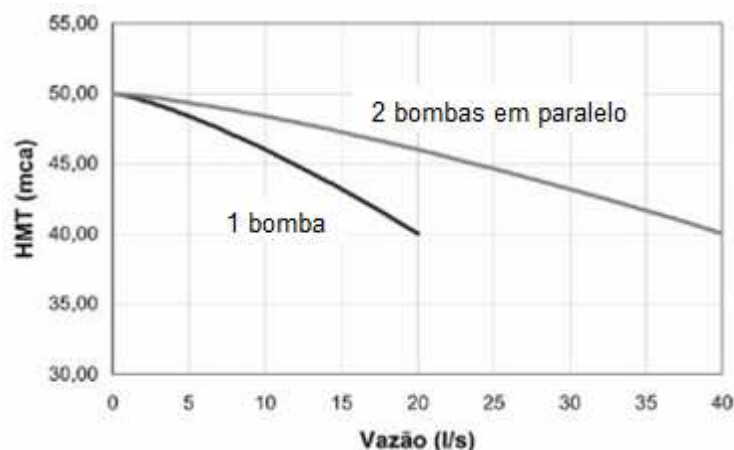


Figura 16 – Representação gráfica da  $H_{\text{man}} \times Q$  de uma bomba operando sozinha e associada em paralelo com outra bomba idêntica.

FONTE: Monachesi (2005).

Quando associadas, cada bomba produz uma vazão menor do que produziria se não estivesse associada. Isto é, a descarga obtida com  $x$  bombas em paralelo é menor do que  $x$  vezes o valor da descarga de uma das bombas funcionando isoladamente e em condições análogas. Isso significa que a bomba quando funcionando sozinha irá requerer uma potência de acionamento maior, o que implica na necessidade de seleção de um motor capaz de atender esse ponto de funcionamento (CARVALHO, 1992).

Ao se colocar a curva do sistema juntamente com a curva da associação das bombas em série ou em paralelo, torna-se possível verificar os pontos de



funcionamento de cada bomba quando trabalhando em conjunto. Um diagrama como o apresentado na Figura 17, permite analisar se as bombas associadas trabalham em um ponto de melhor rendimento ou não (MONACHESI, 2005).

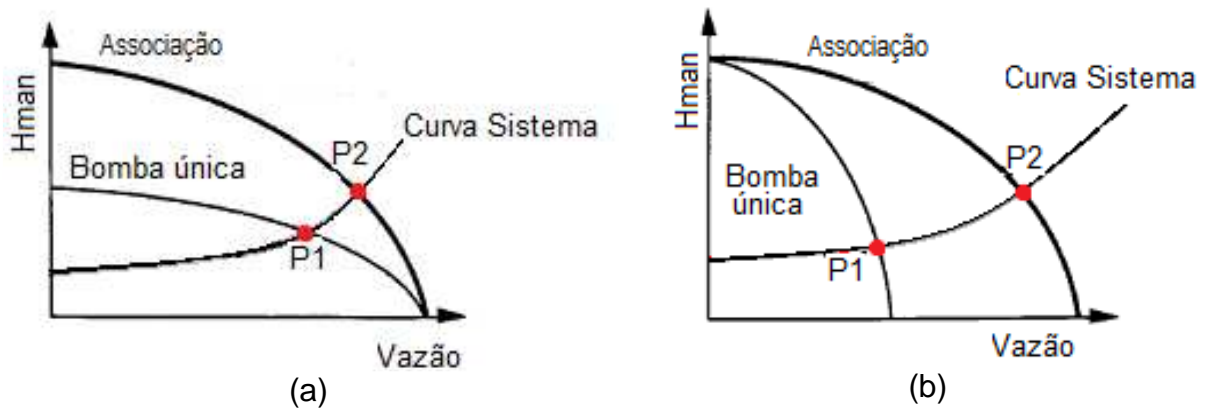


Figura 17 – Ponto de operação para bomba única (P1) e associadas (P2), para bombas em série (a) e bombas em paralelo (b).

## 2.5. Perda de Carga

A perda de carga na instalação consiste em uma resistência oferecida pelas tubulações e acessórios (que são rugosos) ao escoamento do fluido (que é viscoso).

Para melhor compreensão do fenômeno, pode ser dividida em dois tipos:

- Perda de carga contínua (ou maior) - perda que se dá ao longo dos tubos, provocada pelo escoamento contínuo;
- Perda de carga localizada (ou menor) - perda que se dá quando existem pontos singulares na tubulação. Causada por reduções bruscas no diâmetro das tubulações, curvas, derivações, válvulas parcialmente fechadas, entradas e saídas de reservatórios, acessórios em geral (Monachesi, 2005).

### 2.5.1. Perda de Carga Contínua

Há quase dois séculos, estudos e pesquisas vêm sendo realizados procurando estabelecer leis que possam reger as perdas de carga em tubulações. Várias fórmulas foram estabelecidas e, dentre essa gama de opções, destaca-se a formulação de Darcy-Weisbach, também conhecida como Equação Universal para Perda de Carga Distribuída.

Em meados do século XIX Julius Weisbach (1806-1871) e Henry-Darcy (1803-1858), desenvolveram uma equação empírica para o cálculo da perda de pressão devido ao atrito do fluido com as paredes do tubo. Essa equação intitulada anos depois como equação de Darcy-Weisbach, pode ser escrita como:

$$h_L = f_D \frac{L v^2}{d_i 2g}$$

Equação 21

Onde  $h_L$ =perda de carga distribuída,  $f_D$ =fator de atrito de Darcy-Weisbach,  $L$ =comprimento da tubulação,  $d_i$ =diâmetro interno da tubulação,  $v$ =velocidade e  $g$ =gravidade.

A determinação do fator de atrito  $f_D$  representa a principal dificuldade no cálculo da perda de carga, pois depende de características do fluido, do material envolvido (em alguns casos) e do tipo de escoamento. Além disso, a quase totalidade das formulações propostas é implícita com relação à  $f_D$ , o que torna necessária a utilização de ferramentas computacionais para a resolução das equações matemáticas.

Para **escoamento laminares**, dentro de seções circulares, o valor de  $f_D$  é dado por:

$$f_D = \frac{64}{\text{Re}}$$

Equação 22

No escoamento laminar o fator de atrito é uma função do número de Reynolds apenas, não dependendo da rugosidade. Quando o escoamento torna-se turbulento, as paredes da tubulação passam a exercer uma influência maior sobre o fator de atrito, de forma que  $f_D$  se torna uma função rugosidade  $e$  da parede. A forma na qual essa dependência ocorre é obtida a partir de experimentos cuidadosos utilizando superfícies artificialmente rugosas. A partir de medições de vazão e de queda de pressão, calculou-se o fator de atrito e, hoje, esses resultados experimentais são apresentados em tabelas, gráficos e funções. (HOLLAND & BRAGG, 1995).

Para **escoamentos turbulentos em tubos lisos**, a relação mais utilizada segundo Holland & Bragg (1995, p. 116) é a proposta por von Kármán

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = 2 \log(f_D^{1/2} \text{Re}) - 0,20 \quad \text{Equação 23}$$

Nessa equação, o termo de rugosidade não aparece, pois se trata de um tubo liso. Essa equação é bastante precisa, porém tem a desvantagem de ser implícita com relação a  $f_D$  (HOLLAND & BRAGG, 1995).

Para **escoamentos turbulentos em tubos rugosos** von Karman desenvolveu a Equação 24 (WELTY, WICKS E WILSON, 2001).

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = 2,03 \log\left(\frac{d_i}{e}\right) + 1,08 \quad \text{Equação 24}$$

Que se assemelha com a obtida por Nikuradse a partir de dados experimentais (WELTY, WICKS E WILSON, 2001).

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = 2,0 \log\left(\frac{d_i}{e}\right) + 1,14 \quad \text{Equação 25}$$

Nas Equações Equação 24 e Equação 25, o fator de atrito é função apenas da rugosidade do tubo, não levando em conta as características do fluido, ao contrário da Equação 23, que é função de Reynolds e, portanto, carrega em si aspectos do fluido em estudo.

Hunter Rouse (1906-1996) produziu um gráfico de  $f_D$  como função de Re e do produto  $\text{Re} \sqrt{f}$ . Ele também apresentou a relação do escoamento laminar e uma tabela de rugosidade de tubo comercial. Dois anos mais tarde, Lewis F. Moody (1880-1953) recriou o diagrama de Rouse na forma que é usado hoje: o Diagrama de Moody (CENGEL & CIMBALA, 2007).

O Diagrama de Moody, durante muito tempo apresentou-se como a principal alternativa para o cálculo do fator de atrito. Após o cálculo do número de Reynolds e

da rugosidade relativa,  $e/D$ , basta unir esses pontos no diagrama para encontrar o fator de atrito correspondente. Hoje em dia, com a diversidade de ferramentas computacionais disponíveis, prefere-se empregar as equações algébricas a utilizar o Diagrama para o cálculo do fator de atrito.

Recentemente, Haaland mostrou que, para a faixa de aplicação  $10^8 \geq Re \geq 4 \times 10^4$  e  $0,05 \geq e/D \geq 0$ ,  $f_D$  pode ser calculado de maneira explícita por (WELTY, WICKS E WILSON, 2001):

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = -1,8 \log \left[ \left( \frac{e}{3,7d_i} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad \text{Equação 26}$$

### 2.5.2. Perda de Carga Localizada

O cálculo das perdas de carga menores (ou localizadas) pode ser feito de duas formas:

- Método Direto
- Método dos Comprimentos Equivalentes

Segundo o **Método Direto**, a perda de carga é dada por

$$h_{l_m} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad \text{Equação 27}$$

onde o *coeficiente de perda*, K, deve ser determinado experimentalmente para cada componente da tubulação.

Já pelo **Método dos Comprimentos Equivalentes**, calcula-se  $h_{l_m}$  por:

$$h_{l_m} = f_D \frac{L_e}{D} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad \text{Equação 28}$$

Onde  $L_e$  é comprimento equivalente, ou seja, substitui-se o acessório por um comprimento de tubulação reta, de mesmo diâmetro e material, na qual ocorra uma perda de carga igual àquela que aconteceria no acessório.

Na literatura, encontram-se valores tabelados tanto para  $K$  quanto para  $L_e$  em função do componente da tubulação. A Figura 18, apresenta algum destes valores.

Segundo CARVALHO (1999, p.115)

“o método dos comprimentos equivalentes conduz a resultados mais exatos que o método direto, principalmente quando são usadas as tabelas de comprimentos equivalentes dos fabricantes dos acessórios empregados na instalação.”

Ambas as equações acima são aproximações para o cálculo da perda de carga localizada em tubulação, porém como a equação do método dos comprimentos equivalentes leva em consideração o fator de atrito e o diâmetro da tubulação, ela acaba se tornando uma aproximação menos grosseira de  $h_{l_m}$ .




















DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MEDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D-1 1/2	CURVA 90° R/D-1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ANGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAIDA DE LADO	TÊ SAIDA BILATERAL	VALVULA DE PÊ E CRIVO	SAIDA DA CANALIZAÇÃO	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pól.																			
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Figura 18 – Valores de comprimento equivalente, em função do diâmetro, para diversas conexões.  
(FONTE: NETO, 1973, p. 225).

## 2.6. Associação de Tubulações

Durante o estudo de um sistema de tubulações é comum encontrar variações nos diâmetros das linhas ou com ramificações. Uma das maneiras de simplificar a análise é encontrar uma tubulação que seja equivalente ao sistema em estudo.

Segundo Matos&Falco (1998, p.94) “...duas tubulações são equivalentes quando são capazes de conduzir à mesma vazão sob a mesma perda de carga.”

Isto é, para encontrar a tubulação equivalente a um sistema de linhas, deve-se determinar qual o comprimento L que deveria ter uma tubulação de diâmetro pré-fixado D, capaz de produzir a mesma perda de carga que o feixe de linhas associadas.

Nesse trabalho vamos nos deparar com duas situações distintas:

- Tubulações em série
- Tubulações em paralelo

### 2.6.1. Tubulações em Série

A configuração geral para tubulações em série é semelhante à da Figura 19.



Figura 19 – Ilustração de tubulações em série

Aplicando a definição de tubulações equivalentes ao sistema de tubulações em série tem-se:

$$h_f = h_{f_1} + h_{f_2} + \dots + h_{f_n} \quad \text{Equação 29}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \quad \text{Equação 30}$$

Conforme Equação 21, tem-se que:

$$h_L = f_D \frac{L v^2}{D 2g}$$

Equação 21

sabe-se que:

$$Q = A \times v = \frac{\pi \times D^2}{4} \times v$$

Equação 31

logo

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

Equação 32

substituindo na Equação 21

$$h_L = f_D \frac{L}{D} \frac{\left( \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \right)^2}{2g} = f_D L \frac{8}{\pi^2 \times g} \frac{Q^2}{D^5}$$

Equação 33

Ao se considerar que os diâmetros envolvidos possuem valores próximos, os tubos são de mesmo material e o escoamento é turbulento, a variação de  $f_D$  será pouco significativa e, portanto, a Equação 29 pode ser alterada para (MATOS&FALCO, 1988):

$$\frac{L}{D^5} = \frac{L_1}{D_1^5} = \frac{L_2}{D_2^5} = \frac{L_n}{D_n^5}$$

Equação 34

ou, generalizando

$$\frac{L}{D^5} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L_i}{D_i^5}$$

Equação 35

### 2.6.2. Tubulações em Paralelo

A configuração geral para tubulações em paralelo é semelhante à da Figura 20





Figura 20 – Ilustração de tubulações em paralelo.

Aplicando a definição de tubulações equivalentes ao sistema de tubulações em paralelo tem-se:

$$h_f = h_{f_1} = h_{f_2} = \dots = h_{f_n} \quad \text{Equação 36}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad \text{Equação 37}$$

Rearranjando a Equação 33 tem-se:

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 h_f \pi^2 g}{8 f_D L}} \quad \text{Equação 38}$$

Substituindo a Equação 38 na Equação 37, com as mesmas considerações feitas no item 2.6.1, chega-se a Equação 39:

$$\sqrt{\frac{D^5}{L}} = \sqrt{\frac{D_1^5}{L_1}} + \sqrt{\frac{D_2^5}{L_2}} + \dots + \sqrt{\frac{D_n^5}{L_n}} \quad \text{Equação 39}$$

ou, generalizando

$$\sqrt{\frac{D^5}{L}} = \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{\frac{D_i^5}{L_i}} \quad \text{Equação 40}$$

## 2.7. REGAP

A Refinaria Gabriel Passos (*REGAP*) está localizada no município de Betim e ocupa uma área de 12,5 Km<sup>2</sup>.

Possui capacidade instalada de 151 mil barris/dia, divididos em 17 diferentes tipos de derivados de petróleo sendo os principais (LADEIRA *et al*, 2006):

- gasolina
- diesel
- gás de cozinha
- querosene de aviação
- óleos combustíveis
- asfalto
- nafta petroquímica
- coque

Não há dúvidas de que a principal matéria prima utilizada na refinaria seja o petróleo, porém outros insumos são necessários à produção dos derivados citados acima. Como, por exemplo, o vapor.

Classificado como utilidade, o vapor é utilizado em inúmeras unidades de processamento, seja para o acionamento de turbinas, aquecimento de tubulações, retificação de produtos, etc. De acordo com os valores de temperatura e pressão o vapor é dividido em 3 categorias, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do vapor, segundo valores de pressão e temperatura.

<b>Categoria</b>	<b>Pressão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Vapor de alta pressão	60	450
Vapor de média pressão	17,5	280
Vapor de baixa pressão	3,5	180

Para a geração de vapor, a água sofre tratamento prévio, sendo desmineralizada, desaerada, pressurizada e aquecida. Assim como o vapor, essa água também é

dividida nas categorias alta e média pressão, possuindo os mesmos valores de pressão que o vapor e temperaturas de, no máximo, as temperaturas de saturação nas dadas pressões. Como essa água é utilizada em muitos casos para alimentar as caldeiras geradoras de vapor, esse insumo é comumente denominado de *BFW* (*boiler feed water*).

A principal consumidora de água de alta pressão na *REGAP* é a unidade 121 – Utilidades, entretanto, outras unidades de processo também consomem esse insumo para gerar vapor dentro de seu limite de bateria. São elas a Unidade de Craqueamento Catalítico II, Unidade de Hidrotratamento e Unidade de Coqueamento. Além dessas unidades já existentes, estão sendo construídas a Unidade de Cogeração e a Unidade de Geração de Hidrogênio que também serão consumidoras de água de alta pressão.

Os itens abaixo descrevem a utilização desse insumo em cada uma das unidades de processo.

### **2.7.1. Unidade 121 – Utilidades**

O setor de utilidades (UT) da refinaria Gabriel Passos é a unidade responsável pelos sistemas de águas (estação de tratamento e água potável), sistemas de água de refrigeração industrial, sistema de ar comprimido, sistema de combustíveis e sistema de vapor (LADEIRA *et al.*, 2006).

Para a geração de vapor, a unidade conta com as caldeiras 121-F-01A, 121-F-01B e 121-F-01C, cuja capacidade nominal de produção de vapor é de 120t/h cada uma. Normalmente, as caldeiras são alimentadas com cerca de 63t/h de água de alta pressão, previamente aquecida nos trocadores de calor 121-E-01A e 121-E-01B. Entretanto, cada equipamento tem capacidade para operar com até 120t/h. A Figura 21 apresenta uma fotografia das caldeiras da unidade 121.

Antes de ir para as caldeiras, essa água passa por um desaerador térmico (121-V-01 A/B/C) para retirada dos gases oxigênio (O<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Após o processo de desaeração, a água é bombeada pelas bombas 121-P-01A, 121-P-01B, 121-P-01C e 121-P-01D para as 3 caldeiras da U-121, conforme citado anteriormente, e também para consumidores menores em outras unidades de

processo, unidades 102, 52 e 209 e, futuramente, para as unidades 221 e 309, descritas na sequência.



Figura 21- Fotografia das caldeiras da U-121 na REGAP.

### 2.7.2. Unidade 103 – Craqueamento Catalítico Fluido II

O Craqueamento Catalítico Fluido é um processo químico que transforma frações mais pesadas do petróleo em outras mais leves a partir da quebra de moléculas dos compostos reagentes, com auxílio de catalisadores.

A partir de uma mistura de Gasóleos de Vácuo, produzidos na Unidade de Destilação, a unidade de Craqueamento Catalítico Fluido II (CCF2), produz gás combustível; GLP; nafta; óleo leve; óleo decantado. A capacidade atual de processamento da U-103 é de 3.800m<sup>3</sup>/d de carga de craqueamento. (LADEIRA *et al.*, 2006).

A mistura carga-catalisador é aquecida a altas temperaturas, sendo vaporizada e craqueada. Os produtos do craqueamento são separados do catalisador no vaso separador e enviados para uma fracionadora, onde são separados de acordo com a faixa de destilação. O catalisador é enviado para o regenerador, para que possa retornar ao processo.

Os gases de combustão, produzidos no regenerador, são enviados ao trocador de calor 103-E-01 para gerar vapor de alta pressão. Cerca de 11t/h de água de alta pressão, vindos da U-121, são consumidos no 103-E-01.

### 2.7.3. Unidade 209 – Geração de Hidrogênio

A Unidade 209 – Geração de Hidrogênio é responsável pela produção de hidrogênio de alta pureza (superior a 99,9%) para consumo próprio e da U-210 – Hidrotratamento de Diesel, podendo produzir até 360.000Nm<sup>3</sup>/d (LADEIRA *et al.*, 2006).

São consumidos na U-209, aproximadamente, 26,5Nm<sup>3</sup>/h de água de alimentação de caldeira de alta pressão. Essa água, após passar pelo pré-aquecedor 209-E-04, vai para o vaso 209-V-03.

O vaso opera como uma caldeira, onde há equilíbrio do vapor e da água líquida que será vaporizada na saída dos gases de exaustão do forno reformador. O vapor produzido pode ser consumido no processo, dentro da própria unidade, ou exportado, caso haja excedente.

No reator 209-R-02, o monóxido de carbono produzido 209-F-01 é colocado para reagir com excesso de vapor, gerando mais hidrogênio e água. O vapor que não reagiu nem nos tubos do forno reformador nem no reator é condensado, em parte, no trocador 209-E-04, cedendo calor para a água de caldeira, que segue para o vaso (209-V-03) e depois para o forno reformador (209-F-01), onde será vaporizada.

### 2.7.4. Unidade 52 - Coque

Diariamente, na unidade 52, aproximadamente 3800m<sup>3</sup> de resíduo de vácuo são transformados em produtos mais leves, como o gás combustível, GLP, naftas, gasóleos e coque (LADEIRA *et al.*, 2006).

Para isto, a carga fresca alimentada passa por uma bateria de pré-aquecimento de onde segue para o fundo da torre fracionadora. Nesse equipamento, é formada a carga combinada que irá alimentar os fornos 52-F-1 A/B. A alimentação de cada forno é feita por meio de 4 passes, havendo um controle para a vazão de cada um deles em, aproximadamente, 500m<sup>3</sup>/d. Com o objetivo aumentar a velocidade de escoamento da carga e, assim, diminuir o tempo de residência no interior dos tubos dos fornos, injeta-se, aproximadamente, 2,0m<sup>3</sup>/d de água de caldeira em cada um dos passes. Essa água é proveniente da *Utilidades* (U-121) e deve ser injetada na tubulação com pressão igual a da carga e temperatura inferior. Para garantir que

esse valor não seja ultrapassado, a jusante de cada um dos pontos de injeção de água há uma válvula controladora de vazão.

A carga sai do forno parcialmente vaporizada e convertida. Nas saídas das câmaras, os passes são interligados tornando-se, novamente, uma única tubulação que enviará a carga aquecida para os tambores de coque.

#### **2.7.5. Unidade 221 - Cogeração**

A Unidade de Cogeração (U-221) será responsável por fornecer energia elétrica e vapor de alta pressão a outras unidades de processos. Para isto, a Unidade conta com uma turbina a gás (221-T-01) que acionará o gerador elétrico (221-G-01). Os gases efluentes da turbina a gás serão enviados a uma caldeira recuperadora, que deverá produzir, no mínimo, 120t/h de vapor superaquecido a 450°C e 60kgf/cm<sup>2</sup> (manométrica).

Para gerar o vapor, essa unidade receberá água de alta pressão, proveniente da U-121, por meio do *tie-in* 201 para a alimentação da caldeira 221-F-01. A água de alta pressão será fornecida à U-221 a 140°C e 93 kgf/cm<sup>2</sup> (manométrica), com vazão de cerca de 122,8t/h.

#### **2.7.6. Unidade 309 – Geração de Hidrogênio**

A Unidade de Geração de Hidrogênio (U-309) será semelhante a U-209 já existente, descrita no item 2.7.3.

Nessa unidade, a previsão de consumo de água de alimentação de caldeira de alta pressão é de 30t/h. Essa água terá como destino o atemperador 309-Z-07 e, após passar pelo pré-aquecedor 309-E-03, irá para o vaso 309-V-03.

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse projeto, inicialmente estudou-se o problema de degradação energética apresentado pelo setor de Otimização de Processos da *REGAP*. Em seguida, foi feito um amplo trabalho de levantamento de campo, cujo objetivo foi rastrear todas as tubulações e equipamentos envolvidos no volume de controle em estudo. Posteriormente, contabilizou-se as perdas de carga presentes e após a realização de balanços de massa e de energia em todo o sistema, foi possível chegar às considerações finais.

#### 3.1. *Descrição do Problema*

A unidade 121 – Utilidades é responsável, dentre outras coisas, pelo fornecimento de água de alimentação de caldeira (BFW) de alta pressão para diversas unidades dentro da *REGAP*. Atualmente, os clientes mais significativos são: caldeiras 121-F-01A/B/C da U-121; caldeira 103-E-01 da U-103; gerador de vapor 209-V-03 da U-209 e fornos 52-F-01A/B da U-052. Em breve, duas novas unidades, ainda em construção, passarão a consumir também a BFW de alta pressão: U-221 e U-309.

Toda a água fornecida para as unidades supracitadas é oriunda do recalque das bombas 121-P-01A/B/C/D. Os níveis de pressão de água requeridos por esses consumidores são diversos e a localização dos mesmos ao longo da refinaria é bastante esparsa, como pode ser visto na Figura 22, com perdas de carga consideráveis ao longo dos caminhos.



Figura 22 – Fotografia indicando a localização das unidades estudadas dentro da REGAP.  
FONTE: Google Heart (2011).



Para atender a todos os clientes, as bombas pressurizam água até valores acima do exigido pelos clientes, sendo preciso realizar quebras de pressão significativas na entrada dos equipamentos dos consumidores finais.

O pior caso de quebra de pressão ocorre dentro da própria unidade 121. A pressão da água da descarga das bombas 121P-01 é de  $90\text{kgf/cm}^2$ , aproximadamente. No entanto, a reinante na entrada de água das caldeiras 121-F-01 é de, no máximo,  $65\text{kgf/cm}^2$ . De forma a adequar a esse valor, cada caldeira possui uma válvula de controle, responsável pela quebra de pressão. Válvulas desse tipo também estão presentes próximo às entradas de outros equipamentos que recebem a água de alimentação de caldeira de alta pressão.

Sob o ponto de vista energético, a diminuição de pressão provocada pelas válvulas de controle é indesejável, pois parte considerável da potência consumida para pressurizar a água nas bombas é dissipada nesses elementos.

Como alternativa para mitigar essa perda, verificou-se a possibilidade de alterar o ponto de operação do sistema. Isso pode ser feito pela modificação das curvas da bomba e/ou do sistema, de tal forma que a pressão correspondente ao ponto de operação seja mais próxima da exigida pelo sistema.

Entretanto é preciso bastante cuidado ao alterar o ponto de operação, uma vez que, apesar da degradação energética nas válvulas de controle, as demandas de pressão e vazão são atendidas em todos os clientes.

### **3.2. Levantamento de Dados**

A *REGAP* possui distintos bancos de armazenamento de dados e consulta de informações industriais. Para esse projeto foram utilizados os seguintes sistemas:

- Meridian ®: biblioteca digital, na qual se encontra armazenada grande parte dos documentos de projeto da *REGAP*. Os desenhos isométricos, plantas de tubulação e fluxogramas de engenharia utilizados nesse trabalho, foram consultados nesse sistema.

- Arquivo Técnico: biblioteca de documentos, onde é possível encontrar cópias físicas de praticamente toda a documentação da Refinaria.
- GFD ® (Gestão de Folha de Dados): como o próprio nome diz, as folhas de dados de equipamentos, válvulas de controle, placas de orifício, etc., encontram-se digitalizadas nesse sistema.
- SIGEM (Sistema Integrado de Gerenciamento de Empreendimentos): site que hospeda todos os documentos emitidos durante a fase de projeto das unidades que ainda não estão em funcionamento, como é o caso da U-221 e U-309.
- PI (*Process Information*): banco de dados que armazena todas as informações de processo, como temperatura, pressão, vazão, etc., medidas via instrumentos instalados na tubulação. Esse sistema permite que sejam feitas consultas em intervalos de tempos especificados pelo usuário e com a frequência que for desejada.

Inicialmente, o levantamento das tubulações envolvidas no projeto foi feito a partir dos fluxogramas de engenharia. Como o fluxograma REG-121-90-13\_fl 01 contém as bombas P-121-01A/B/C/D ele foi o primeiro a ser analisado e, a partir dos fluxogramas que são chamados nos limites desse desenho, foram levantados um a um todos os fluxogramas envolvidos, desde as bombas até cada cliente da água de alimentação de caldeira de alta pressão.

O motivo de se iniciar a pesquisa pelos fluxogramas se deve ao fato desses documentos apresentarem, de forma sucinta, as tubulações e equipamentos envolvidos em determinada área.

Os fluxogramas utilizados são mostrados na Tabela 2.

A partir da análise dos fluxogramas, foi possível levantar o *tag* das tubulações envolvidas, porém, conforme dito anteriormente (ver p.26), por se tratarem de documentos resumidos, o encaminhamento das tubulações não é representado nesses documentos e, portanto, não é possível determinar todos os acidentes presentes, como curvas e desníveis. Por isto, foi necessário buscar maiores

informações em documentos mais detalhados como as plantas de tubulação e os isométricos.

Tabela 2 - Relação dos fluxogramas utilizados no trabalho.

Fluxograma	Tubulações		Equipamentos
REG-121-90-13	6"-121-BW-47-I	6"-121-BW-61-I	121-P-01A
	6"-121-BW-48-I	6"-121-BW-62-I	121-P-01B
	6"-121-BW-49-I	8"-121-BW-63-I	121-P-01C
	6"-121-BW-50-I	4"-121-BW-64-I	121-P-01D
	8"-121-BW-46-I	8"-121-BW-4022-Fb	121-E-01A
	6"-121-BW-58-I	6"-121-BW-4025-Fb	121-E-01B
	6"-121-BW-60-I	8"-021-BW-4029-Fb	
REG-121-90-12	2"-121-BW-51-I	4"-121-BW-64-I	121-F-01A/B/C
REG-209-90-04	3"-209-BW-199-Fb	3"-209-BW-201-Fb	209-E-04
	3"-209-BW-200-Fb		
REG-209-90-03	3"-209-BW-201-Fb	3"-209-BW-202-Ef	209-V-03
REG-000-90-55	3"-103-BFW-001-271	3"-103-BFW-201-271	-
REG-103-90-11	3"-103-BFW-001-271		103-E-01
REG-052-90-07 FL22	1 ½"-52-BFW-310-Fb	1 ½"-52-BFW-311-Fb	-
REG-052-90-07 FL04	1 ½"-52-BFW-311-Fb	1"-52-BFW-317-Fb	52-F-01A 52-F-01B
	1"-52-BFW-313-Fb	1"-52-BFW-318-Fb	
	1"-52-BFW-314-Fb	1"-52-BFW-319-Fb	
	1"-52-BFW-315-Fb	1"-52-BFW-320-Fb	
	1"-52-BFW-316-Fb		

Para se fazer o detalhamento dos itens compreendidos em uma tubulação, o isométrico é o documento mais indicado, pois nele são representados todos os componentes de tubulação com descrição do material construtivo e dimensões, assim como as cotas e elevações de toda a linha. Nessa etapa do levantamento, foram selecionados os documentos listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos isométricos utilizados no trabalho.

Unidade	Isométrico	Tubulações
<b>103 - Craqueamento Catalítico Fluido</b>	REG-IS-0103-BFW-001	3"-21-BFW-2001-271
<b>121- Utilidades</b>	REG-IS-0121-BW-047-E	6"-121-BW-047-I
	REG-IS-0121-BW-048	6"-121-BW-048-I
	REG-IS-0121-BW-049	6"-121-BW-049-I
	REG-IS-0121-BW-050	6"-121-BW-050-I
	REG-IS-0121-BW-058	6"-121-BW-58-I
	REG-IS-0121-BW-060	6"-121-BW-60-I
	REG-IS-0121-BW-061	6"-121-BW-61-I
	REG-IS-0121-BW-062	6"-121-BW-62-I
	REG-IS-0121-BW-064	4"-121-BW-64-I
<b>209 – Geração de Hidrogênio</b>	REG-IS-0209-BW-199	3"-209-BW-199-Fb
	REG-IS-0209-BW-200	3"-209-BW-200-Fb
	REG-IS-0209-BW-201	3"-209-BW-201-Fb
	REG-IS-0210-BW-620	3"-121-BW-620-Fb
<b>52 - Coque</b>	REG-IS-0021-BW-2011	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-IS-52-BFW-311	1"-52-BFW-311-Fb
	REG-IS-52-BFW-320-Fb	1"-52-BFW-320-Fb
<b>221 - Cogeração</b>	REG-IS-121-BW-4022	8"-121-BW-4022-Fb

Porém, como dito no item 2.2.4.3, não se faz isométricos para tubulações que apresentem a maior parte dos trechos retos, como em *pipe-racks* e tubovias. Uma vez que as unidades consumidoras de água de alimentação de caldeira de alta pressão encontram-se espalhadas em pontos distintos da refinaria, várias tubulações apresentam longos trechos retos e, portanto, não possuem isométricos.

Para esses casos, foi preciso fazer um levantamento das plantas de tubulação que contém as linhas e os componentes foram contabilizados a partir desses documentos, conforme Tabela 4:

Tabela 4 - Relação das plantas de tubulação utilizadas no trabalho.

Unidade	Planta de tubulação	Tubulações
<b>209 – Hidrotratamento de Diesel</b>	REG-028-20-139	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-140	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-141	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-142	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-143	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-144	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-145	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-146	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-147	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-150	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-151	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-152	3"-21-BW-4027-Fb 3"-210-BW-620
	REG-028-20-270	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-209-20-016	3"-209-BW-201-Fb 3"-209-BW-202-Fb
	REG-209-20-018	3"-209-BW-202-Fb
	REG-209-20-019	3"-209-BW-201-Fb
	REG-209-20-020	3"-209-BW-201-Fb
	REG-209-20-022	3"-209-BW-202-Fb
<b>52 – Coque</b>	REG-028-20-248	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-249	1 ½"-21-BFW-2011-Fb

	REG-028-20-250	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-251	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-252	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-253	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-254	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-028-20-267	1 ½"-21-BFW-2011-Fb
	REG-052-20-044	1"-52-BFW-320-Fb
	REG-052-20-064	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-066	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-068	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-070	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-072	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-076	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-078	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-079	1 ½"-52-BFW-310-Fb
	REG-052-20-081	1 ½"-52-BFW-310-Fb 1"-52-BFW-311-Fb
	REG-052-20-082	1"-52-BFW-311-Fb
	REG-052-20-083	1"-52-BFW-311-Fb
<b>103 - Craqueamento Catalítico Fluido</b>	REG-028-20-261	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-262	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-265	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-274	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-275	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-276	4"-21-BFW-2001-271
	REG-028-20-277	4"-21-BFW-2001-271
<b>121 - Utilidades</b>	REG-121-20-004	8"-121-BW-46-I

		6"-121-BW-50-I 6"-121-BW-58-I 2"-121-BW-51-I 6"-121-BW-59-I 6"-121-BW-47-I 6"-121-BW-48-I 6"-121-BW-49-I 2"-121-BW-64-I 6"-121-BW-50-I 2"-121-BW-51-I
	REG-121-20-005	4"-121-BW-46-I 4"-121-BW-46-E
<b>221- Cogeração 309 - Geração de Hidrogênio</b>	REG-028-20-263	4"-21-BFW-2001-271 3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-264	3"-21-BW-4027-Fb
	REG-028-20-624	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-623	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-602	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-601	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-599	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-598	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-597	8"-21-BW-4029-Fb
	REG-028-20-596	8"-21-BW-4029-Fb

Para contabilizar toda a perda de carga envolvida nos sistemas, foi necessário considerar as perdas envolvidas quando o fluido passa por algum equipamento intermediário antes de chegar ao destino final. Para esses casos, a perda de carga envolvida foi encontrada pesquisando nas folhas de dados do próprio equipamento. Os documentos de referência estão listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Perdas de carga em equipamentos intermediários.

Unidade	Tag do Equipamento	Perda de Carga (kgf/cm <sup>2</sup> )	Documento de Referência
U-121	121-E-01A	1,0	FD-121-EE-45/1
	121-E-01B	1,0	FD-121-EE-45/1
U-209	209-E-04	0,5	FD-209-045-003

Além das tubulações e equipamentos, também foi necessário levar em conta as perdas associadas às placas de orifício, instaladas nas tubulações para medir a vazão de fluido. Essas informações foram obtidas nas folhas de dados desses instrumentos, listadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Perdas de carga em placas de orifício.

Tag da Placa de Orifício	Tag da Tubulação	Perda de Carga (mmH <sub>2</sub> O)	Documento de Referência
121-FE-702A	6"-121-BW-47-I	4100	FD-0121-81-27
121-FE-702B	6"-121-BW-48-I	4100	FD-0121-81-27
121-FE-702C	6"-121-BW-49-I	4044	FD-0121-81-27
121-FE-702D	6"-121-BW-50-I	4044	FD-0121-81-27
121-FE-703	4"-121-BW-64-I	1100	FD-0121-81-27
121-FE-071A	4"-121-BW-46-E	19024	FD-0121-81-27
121-FE-071B	4"-121-BW-64-I	19024	FD-0121-81-27
121-FE-071C	4"-121-BW-64-I	19024	FD-0121-81-27
209-FE-012	3"-209-BW-201-Fb	5500	FD-0209-81-02
103-FE-052	3"-103-BW-001-271	5000	FD-0103-81-49
052-FE-013	1"-52-BFW-320-Fb	2500	FD-0052-81-07

Para o cálculo do diâmetro interno das tubulações foi preciso consultar as Especificações de Material de Tubulação correspondentes a cada tag, conforme descrito em 2.2.3. Desses documentos foram retirados dados de espessura de



parede de tubulação e de seu material construtivo. As especificações que foram consultadas estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Especificação de material referente a cada uma das tubulações analisadas.

<b>Tag da Tubulação</b>	<b>Padronização de Material (Spec)</b>	<b>Documento de Referência</b>
6"-121-BW-47-I	I	EBE 121-EG-20/00
6"-121-BW-48-I	I	EBE 121-EG-20/01
6"-121-BW-49-I	I	EBE 121-EG-20/02
6"-121-BW-50-I	I	EBE 121-EG-20/03
8"-121-BW-46-I	I	EBE 121-EG-20/04
4"-121-BW-46-E	E	EBE 121-EG-20/05
6"-121-BW-58-I	I	EBE 121-EG-20/06
6"-121-BW-60-I	I	EBE 121-EG-20/07
6"-121-BW-61-I	I	EBE 121-EG-20/08
6"-121-BW-62-I	I	EBE 121-EG-20/09
8"-121-BW-63-I	I	EBE 121-EG-20/10
4"-121-BW-64-I	I	EBE 121-EG-20/11
4"-21-BFW-2001-271	271	JGC S 8600.00-L002
3"-21-BW-4027-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-210-BW-620-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-209-BW-199-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-209-BW-200-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-209-BW-201-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-209-BW-202-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
3"-103-BW-001-271	271	JGC S 8600.00-L002
1 1/2"-21-BFW-2011-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
1 1/2"-52-BFW-310-Fb	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003

<b>1"-52-BFW-311-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-313-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-314-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-315-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-316-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-317-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-318-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-319-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-52-BFW-320-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>8"-121-BW-4022-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>8"-21-BW-4029-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>6"-021-BW-4027-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-103-BFW-010-Fa</b>	Fa	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>3"-21-BW-2008-271</b>	271	JGC S 8600.00-L002
<b>3"-21-BW-4038-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>1"-209-BW-209-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>2"-209-BW-946-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>2"-21-BW-4037-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>2"-21-BW-4036-Fb</b>	Fb	PROMON ET-5250-2212-200-MON-003
<b>2"-221-BW-51-I</b>	I	EBE 121-EG-20/00

As informações de processo como temperatura, pressão e vazão do fluido foram obtidas a partir dos instrumentos instalados na tubulação. Quando há comunicação do instrumento com painel de controle da refinaria, pode-se buscar dados históricos no PI, nos demais casos, deve-se considerar o valor indicado momentaneamente pelo instrumento no campo. Para as unidades 221 e 309, que ainda estão na etapa de projeto, foram adotados os valores de processo apresentados nos Memoriais Descritivos e Listas de Consumidores de Utilidades de cada uma das unidades: MD-

5250.00-5132-941-PEI-001, LI-5250.00-32311-940-KAO-009, LI-5250.00-2316-940-KAO-007 e LI-5250.00-2315-941-KAO-002. Os instrumentos contabilizados são apresentados na Tabela 8 e os valores obtidos da documentação de projeto na Tabela 10.

Tabela 8 - Instrumentos de linha utilizados no trabalho.

<b>Tag da Tubulação</b>	<b>Tag do Instrumento</b>	<b>Variável Medida</b>	<b>Valor medido</b>
<b>8"-121-BW-46-I</b>	121-PI-717	Pressão	91,99 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>6"-121-BW-61-I</b>	121-TI-711A	Temperatura	152,72 °C
<b>6"-121-BW-62-I</b>	121-TI-711B	Temperatura	141,76°C
<b>4"-121-BW-64-I(1)</b>	121-FIC-071A	Vazão	60991,89 kg/h
	121-PI-071A	Pressão	61,83 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>4"-121-BW-64-I(2)</b>	121-FIC-071B	Vazão	60283,09 kg/h
	121-PI-071B	Pressão	63,14 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>4"-121-BW-64-I(3)</b>	121-FIC-071C	Vazão	68555,12 kg/h
	121-PI-071C	Pressão	62,38 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>3"-209-BW-199-Fb</b>	209-PIC-130	Pressão	74,23 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>3"-209-BW-200-Fb</b>	209-TI-045	Temperatura	140,79°C
<b>3"-209-BW-201-Fb</b>	209-FIC-012	Vazão	24969,538 kg/h
	209-TI-046	Temperatura	264,88°C
<b>3"-103-BW-001-271 (1)</b>	103-FIC-052	Vazão	11677,89 kg/h
	103-PIC-557	Pressão	87,86 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>1 1/2"-52-BFW-310-Fb</b>	052-FI-550	Vazão	1777,55 kg/h
	052-PI-554	Pressão	81,62 kgf/cm <sup>2</sup>
	052-TI-553	Temperatura	94,88°C
<b>2"-221-BW-51-I</b>	121-FIC-071A/B/C (medidor de campo)	Vazão	14630,8 kg/h

Os dados do PI utilizados foram coletados de hora em hora durante um ano, num total de 8760 medições para cada instrumento. Alterações no processo como a parada de unidade, manutenção de equipamentos, problemas operacionais, etc., podem afetar os valores medidos. Nesse sentido, foi feito um pré-tratamento e refinamento dos dados de forma a não comprometer os cálculos feitos no trabalho.

Tabela 9 – Dados de processo retirados da documentação de projeto.

<b>Tag da Tubulação</b>	<b>Documento de Referência</b>	<b>Variável Medida</b>	<b>Valor medido</b>
<b>8"-21-BW-4029-Fb(1)</b>	MD-5250.00-5132-941-PEI-001	Vazão (kg/h)	122800
		Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	93
		Temperatura (°C)	140
<b>3"-21-BW-2008-271</b>	balanço de água de alta.xls	Vazão (kg/h)	10,84
<b>3"-21-BW-4038-Fb</b>	LI-5250.00-32311-940-KAO-009	Vazão (kg/h)	29998
<b>1"-209-BW-209-Fb</b>	I-FD-5250.00-2311-422-CJV-024 (FD 209-Z-10)	Vazão (kg/h)	632
		Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	80
		Temperatura (°C)	145
<b>2"-209-BW-946-Fb</b>	FD-0209-45-006 (209-E-08)	Vazão (kg/h)	7000
		Temperatura (°C)	145
<b>2"-21-BW-4037-Fb</b>	LI-5250.00-2316-940-KAO-007	Vazão (kg/h)	8481,3
<b>2"-21-BW-4036-Fb</b>	LI-5250.00-2315-941-KAO-002	Vazão (kg/h)	8229,9
<b>8"-21-BW-4029-Fb(2)</b>	MD-5250.00-5132-941-PEI-001	Temperatura (°C)	140

Para obter as curvas das bombas 121-P-01 A/B/C/D, foi necessário levantar nas folhas de dados desses equipamentos os valores de Vazão e Altura Manométrica correspondentes. O dados obtidos estão na Tabela 10. Além disso, levantou-se junto ao fornecedor da bomba as parábolas de iso-eficiência para diferentes valores de diâmetro do rotor. A rotação da bomba, também retirada da folha de dados, é de

3500rpm e o diâmetro do rotor mede 260mm. Essas informações serão necessárias na determinação de um novo ponto de operação.

Tabela 10 – Valores da altura manométrica obtida para diferentes vazões nas bombas 121-P-01A e 121-P-01D.

121-P-01A			121-P-01D		
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	H (m.c.a)	H (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	H (m.c.a)	H (m)
0	1007	1075,4358	0	1081	1154,465
96,4	950	1014,5621	109,9	968,9	1034,746
140,6	894	954,75629	167,3	913,1	975,1543
188,7	857,5	915,77575	187,3	881,2	941,0864
208,5	820	875,72725	228,6	798,1	852,3389

Como as bombas A e D operaram com muito mais frequência durante o último ano, se comparado às bombas B e C, os valores de vazão e  $H_{man}$  dessas outras bombas não serão utilizados e, portanto, não foram apresentados na Tabela 10.

Por fim, para determinar com qual pressão a água de alimentação de caldeira deve chegar aos equipamentos finais, fez-se um levantamento com os responsáveis pela operação dos mesmos na REGAP, além de pesquisas nas folhas de dados dos equipamentos e, no caso da U-52, na Lista de Linhas. Os valores e as fontes de informação podem ser vistos na Tabela 11.

Dentre fluxogramas, plantas de tubulação, isométricos, folhas de dados, desenho de equipamentos, listas de linhas, etc., foram utilizados nesse trabalho cerca de 100 documentos, dos quais nem todos encontram-se anexados devido ao grande volume dos mesmos. Todo esse levantamento permitiu analisar o diagrama esquematizado na Figura 23. Especial cuidado foi tomado para que a posição relativa das unidades fosse mantida na figura conforme elas estão na REGAP.

Tabela 11 - Exigência de pressão dos consumidores finais.

Unidade	Consumidor final	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (Pa)	Documento de Referência
52	3"-52-P-0007ABCD-O2-VA	54,9 <sup>1</sup>	5384831,5	0052-LL-01
52	3"-52-P-0004ABCD-O2-VA	54,9 <sup>1</sup>	5384831,5	0052-LL-01
103	103-E-01	62	6080123,0	REGAP
121	121-F-01 A/B/C/D	62	6080123,0	P-15-2727-1LO-ISO
209	209-V-03	62	6080123,0	REGAP
221	Limite de bateria da unidade	93	9120184,5	MD-5250.00-5132-941-PEI-001
309	Limite de bateria da unidade	71,5 <sup>2</sup>	7013716,1	MA-5250.00-32311-940-KAO-001

1 - Pressão de projeto da linha.

2 - Pressão de projeto do Equipamento 309-E-03

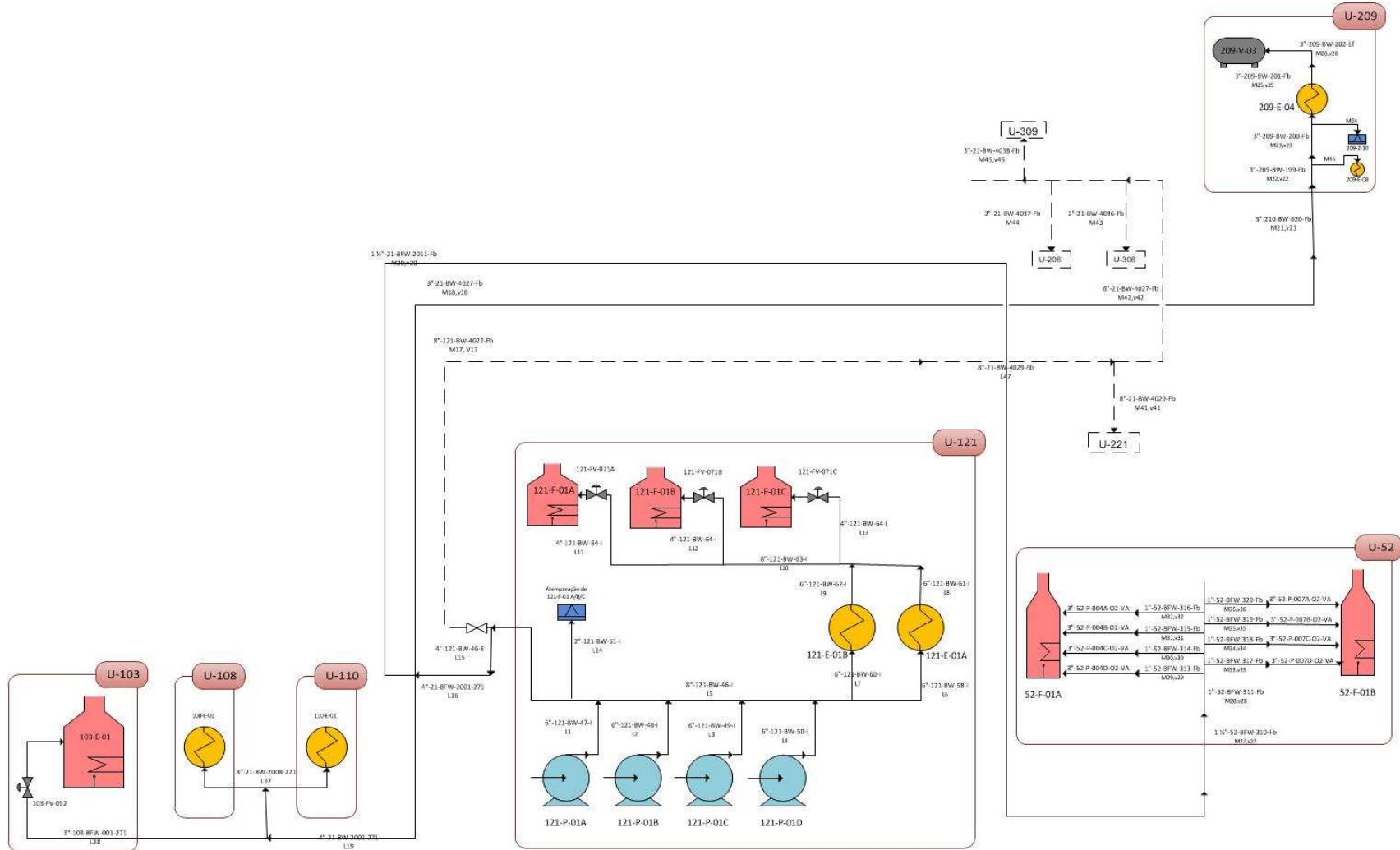


Figura 23 – Diagrama esquemático do sistema estudado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinar qual a pressão que as bombas 121P01A/B/C/D devem recalcar a água de forma que essa tenha energia suficiente para chegar aos clientes mais distantes, é necessário calcular todas as perdas de pressão que o fluido sofrerá desde a origem até o destino final.

A Equação de Bernoulli modificada, apresentada em 2.3.3 nos mostra, após rearranjos, que:

$$\underbrace{\frac{P_1}{\rho_1 g}}_{\text{Pressão no Recalque}} = \underbrace{\frac{P_2}{\rho_2 g}}_{\text{Pressão no Consumidor}} + \underbrace{\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g\alpha}}_{\text{Variação de Velocidade}} + \underbrace{z_2 - z_1}_{\text{Variação de Elevação}} - \underbrace{(\Delta h - h_f)}_{\text{Perdas de Carga}}$$

Equação 41

Logo, para calcular a pressão que a bomba deve recalcar a água é preciso determinar a pressão em cada consumidor final, a variação da velocidade do escoamento, a variação na elevação entre origem e destino, além das perdas de carga envolvidas no trajeto.

Os cálculos serão feitos considerando dois cenários distintos. No **Cenário 1**, os volumes de controle abrangem apenas as unidades que estão em operação na REGAP, isto é, unidades 52, 121, 103 e 209. Já no **Cenário 2**, em conjunto com as unidades operantes, serão analisadas as unidades 221 e 309 que entrarão em funcionamento no próximo ano e também consumirão a água de alimentação de caldeira.

### 4.1. Premissas Adotadas

Para realização dos cálculos, serão adotadas as seguintes premissas:

- Flanges não serão contabilizados, por possuírem, de uma maneira geral, o mesmo diâmetro interno da tubulação, não representando, dessa forma, um componente responsável por gerar perda de carga;
- Todas as conexões responsáveis por derivações de outras tubulações ou de instrumentos, serão contabilizadas como sendo tês, independentes de serem colar de encaixe, meia luva ou qualquer outra conexão. Essa simplificação será feita, pois



dentre todas as conexões desse tipo, o tê apresenta a maior perda de carga, sendo, portanto, o pior caso.

- *By-pass* não serão contabilizados. Considera-se que o trecho de tubulação compreendido entre o *by-pass*, isso é, o caminho principal, apresenta maior perda de carga, que o próprio *by-pass*. Além disso, *by-pass* são feitos para funcionar esporadicamente.
- Não será calculada a perda de carga causada por drenos, *vents* e tomadas para instrumentação. Para esses casos será considerado apenas um tê reto, que fará a derivação a partir da linha tronco.
- Não será feita distinção entre redução concêntrica e excêntrica.
- Ao longo do percurso das tubulações, foram identificadas algumas ramificações cuja vazão e/ou periodicidade de operação era pouco significativa, em comparação com a tubulação principal. Após validar as informações com a equipe de operação da *REGAP*, a vazão de BFW que vai para essas ramificações foi desconsiderada. A Tabela 12 apresenta essas linhas.

Tabela 12 - Ramificações das linhas principais cuja vazão foi desconsiderada.

<b>Tubulação Principal</b>	<b>Ramificação</b>	<b>Justificativa</b>
6"-121-BW-047-I	4"-121-BW-079-I	Trecho não está em funcionamento
6"-121-BW-047-I	2"-121-BW-002-E	Recirculação para o vaso 121-V-001-A/B
6"-121-BW-048-I	2"-121-BW-005-I	Recirculação para o vaso 121-V-001-A/B
6"-121-BW-049-I	2"-121-BW-008-I	Recirculação para o vaso 121-V-001-A/B
6"-121-BW-050-I	2"-121-BW-011-I	Recirculação para o vaso 121-V-001-A/B
8"-121-BW-046-I	6"-121-BW-59-I	By- pass dos equipamentos 121-E-01A/B
8"-121-BW-046-I	6"-121-BW-80-I	By- pass dos equipamentos 121-E-01A/B
3"-210-bw-620-Fb	1"-210-bw-1364-Fb	Uso esporádico. A água é utilizada apenas quando se deseja lavar a turbina.
3"-209-BW-201-Fb	1.1/2"-209-BD-524-FB	Tubulação de PSV
3"-103-BFW-001-271	1"-103-BFW-009-271	Vazão insignificante
3"-103-BFW-001-271	1"-103-BFW-012-271	Vazão insignificante
3"-103-BFW-001-271	2"-103-BFW-004-054	Vazão insignificante
3"-103-BFW-001-271	1/2"-103-BFW-003-271	Vazão insignificante
1.1/2"-52-BFW-310-Fb	1.1/2"-52-BFW-323-Fb	Trecho não está em funcionamento
1"-52-BFW-311-Fb	1"-52-BFW-312-Fb	Vazão insignificante

## **4.2. Tubos e Componentes**

Conforme descrito no item 3.2, foram contabilizados todos os tubos e componentes de tubulação a partir de fluxogramas, plantas de tubulação e isométricos.

A partir desses dados, calculou-se o comprimento equivalente da tubulação, considerando as perdas de carga contínuas e localizadas, além do desnível apresentado em cada trecho. Tais informações são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Comprimento equivalente total, elevações inicial e final para as tubulações analisadas.

Tag	Comprimento Equivalente (m)	Elevação Inicial (m)	Elevação Final (m)
6"-121-BW-47-I	20,63	11,85	15,23
6"-121-BW-48-I	20,67	11,85	15,23
6"-121-BW-49-I	20,67	11,85	15,23
6"-121-BW-50-I	20,67	11,85	15,23
8"-121-BW-46-I	49,48	15,23	15,23
4"-121-BW-46-E	17,87	15,23	10,10
6"-121-BW-58-I	34,58	15,23	11,56
6"-121-BW-60-I	37,55	15,23	11,56
6"-121-BW-61-I	33,54	11,55	15,23
6"-121-BW-62-I	37,36	11,55	15,23
8"-121-BW-63-I	0,00	15,23	15,23
4"-121-BW-64-I(1)	51,97	15,23	20,78
4"-121-BW-64-I(2)	50,79	15,23	20,80
4"-121-BW-64-I(3)	51,97	15,23	20,78
4"-21-BFW-2001-271(1)	17,49	10,10	9,03
3"-21-BW-4027-Fb	1112,83	9,03	10,31
3"-210-BW-620-Fb	133,58	10,31	17,93
3"-209-BW-199-Fb	71,77	17,93	10,33
3"-209-BW-200-Fb	19,06	10,33	11,02
3"-209-BW-201-Fb	70,86	12,26	5,80
3"-209-BW-202-Fb	37,12	5,80	15,70
4"-21-BFW-2001-271(2)	522,67	9,03	11,20
3"-103-BW-001-271	124,64	11,20	16,60
1,5"-21-BFW-2011-Fb	1395,47	9,03	0,46
1,5"-52-BFW-310-Fb	205,11	0,46	10,05
1"-52-BFW-311-Fb	74,04	10,05	7,63

1"-52-BFW-320-Fb	34,74	7,63	3,31
8"-121-BW-4022-Fb	82,86	15,23	10,96
8"-121-BW-4025-Fb	18,35	13,84	15,23
8"-21-BW-4029-Fb(1)	20,35	9,10	7,03
6"-221-BW-02-Fb	43,58	6,91	7,40
2"-221-BW-03-Fb	10,39	6,80	7,36
6"-021-BW-4027-Fb	376,18	10,89	10,07
3"-309-BW-392	38,84	16,70	16,35
1"-309-BW-264-A54	3,84	16,27	15,32
3"-309-BW-80-A54	15,75	16,26	10,32
3"-309-BW-081-A54	16,63	10,32	11,17
4"-309-BW-207-A34	41,80	11,17	10,95
8"-21-BW-4029-Fb(2)	591,29	10,71	9,10

Os itens de tubulação presentes em cada uma das linhas podem ser vistos no Anexo A – Componentes de Tubulação.

#### 4.2.1. Associação de Tubulações

O item 2.6 mostrou que é possível simplificar a análise de tubulações associadas, encontrando uma nova tubulação que seja equivalente ao sistema.

Nas unidades 52 e 121, têm-se feixes de tubos paralelos que podem ser tratados sob essa perspectiva.

Para esses casos, calculou-se, a partir de um diâmetro  $D$  (utilizou-se o mesmo diâmetro dos feixes), qual o comprimento equivalente que a tubulação deveria ter de tal forma que conduzisse a mesma vazão que o feixe de tubos gerando a mesma perda de carga. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 14.

Feita essa consideração, a partir de agora, serão adotados em todos os cálculos os *tags* das tubulações equivalentes e não mais os *tags* das linhas que compõe cada um dos feixes de tubos, isso é:

- *Tag As-1*: em substituição às linhas 6"-121-BW-47-I, 6"-121-BW-48-I, 6"-121-BW-49-I e 6"-121-BW-50-I.
- *Tag As-2*: em substituição às linhas 6"-121-BW-58-I, 6"-121-BW-60-I, 6"-121-BW-61-I e 6"-121-BW-62-I.
- *Tag As-3*: em substituição às linhas 4"-121-BW-64-I(1), 4"-121-BW-64-I(2) e 4"-121-BW-64-I(3).
- *Tag As-4*: em substituição às linhas 1"-52-BFW-313-Fb, 1"-52-BFW-314-Fb, 1"-52-BFW-315-Fb, 1"-52-BFW-316-Fb, 1"-52-BFW-317-Fb, 1"-52-BFW-318-Fb, 1"-52-BFW-319-Fb e 1"-52-BFW-320-Fb.

Tabela 14 – Diâmetro e comprimento equivalente de tubos paralelos e valores calculados desses mesmos dados considerando uma única tubulação equivalente.

Tubulação equivalente					
Tag	D(mm)	Le(mm)	Tag	D(mm)	Le(mm)
6"-121-BW-47-I	146,3	20629	As-1	146,3	5162
6"-121-BW-50-I	146,3	20669			
6"-121-BW-60-I	146,3	37546	As-2	146,3	17848
6"-121-BW-62-I	146,3	37361			
6"-121-BW-58-I	146,3	34582			
6"-121-BW-61-I	146,3	33542			
4"-121-BW-64-I(1)	97,2	51973	As-3	97,2	5731
4"-121-BW-64-I(2)	97,2	50793			
4"-121-BW-64-I(3)	97,2	51975			
1"-52-BFW-313-Fb	20,7	34742	As-4	25,4	709
1"-52-BFW-314-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-315-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-316-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-317-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-318-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-319-Fb	20,7	34742			
1"-52-BFW-320-Fb	20,7	34742			

### 4.3. Densidade, Viscosidade e Rugosidade

A partir dos valores de pressão e temperatura de cada uma das tubulações e com auxílio do programa SteamTab ® (ver p.21), determinou-se os valores de densidade e viscosidade da água. Tais propriedades são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de densidade e viscosidade da água.

TAG	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade (μPa.s)
As-1	926,33	191,43
8"-121-BW-46-I	926,33	191,43
4"-121-BW-46-E	926,33	191,43
As-2	926,73	192,36
8"-121-BW-63-I	922,38	187,42
As-3	922,37	187,26
4"-21-BFW-2001-271(1)	929,55	197,30
3"-21-BW-4027-Fb	929,55	197,30
3"-210-BW-620-Fb	929,55	197,30
3"-209-BW-199-Fb	929,14	197,10
3"-209-BW-200-Fb	929,14	197,10
3"-209-BW-201-Fb	778,85	100,27
3"-209-BW-202-Fb	778,85	100,27
4"-21-BFW-2001-271(2)	926,16	191,35
3"-103-BW-001-271	926,16	191,35
1,5"-21-BFW-2011-Fb	965,59	299,79
1,5"-52-BFW-310-Fb	965,59	299,79
1"-52-BFW-311-Fb	965,59	299,79
As-4	965,59	299,79
8"-121-BW-4022-Fb	930,81	198,77
8"-21-BW-4029-Fb(1)	930,81	198,77
8"-21-BW-4029-Fb(2)	930,81	198,77
6"-021-BW-4027-Fb	930,81	198,77
3"-21-BW-2008-271	930,65	198,70
3"-21-BW-4038-Fb	930,81	198,77
1"-209-BW-209-Fb	925,69	191,13
2"-209-BW-946-Fb	926,05	191,29
2"-21-BW-4037-Fb	930,81	198,77
2"-21-BW-4036-Fb	930,81	198,77
2"-221-BW-51-I	930,76	198,79

A rugosidade dos tubos de aço carbono foi retirada da literatura e, segundo Matos & Falco (1998, p.66), é de 0,0046mm para tubos novos. Não foram encontradas referências que contivessem valores de rugosidade para tubos usados.

#### 4.4. Diâmetro Interno e Área da Seção

A partir do *tag* de uma tubulação é possível inferir, dentre outras informações, o diâmetro nominal do tubo e a especificação do material utilizado, conforme descrito no item 2.2.3. Com auxílio da especificação do material, determina-se a espessura da parede da tubulação e, dessa forma, calcula-se o diâmetro interno de cada tubo.

A Tabela 16 apresenta todas as combinações de diâmetro e especificações utilizadas nesse trabalho, assim como os valores de diâmetro interno e área da seção reta, ambos calculados a partir desses dados..

Tabela 16- Determinação do diâmetro interno de tubulação.

Diâmetro Nominal (pol)	Especificação	Espessura da parede		Diâmetro interno (mm)	Área da seção reta (mm <sup>2</sup> )
		Sch	(mm)		
1	Fb	160	6,35	20,70	337,00
1	Fa	160	6,35	20,70	337,00
1 1/2	Fb	160	7,14	33,90	907,00
2	Fb	160	8,71	42,90	1440,00
2	I	80	5,54	49,20	1900,00
3	271	80	7,62	73,60	4260,00
3	Fb	160	11,1	66,70	3400,00
4	E	40	6,02	102,30	8210,00
4	I	80	8,66	97,20	7420,00
4	271	80	8,66	97,20	7420,00
6	I	80	10,97	146,30	16820,00
6	Fb	160	18,2	131,80	13640,00
8	I	80	12,7	193,70	29480,00
8	Fb	120	18,2	182,60	26190,00

Os documentos utilizados como referência foram apresentados na Tabela 8, no Item 3.2

#### **4.5. Vazão de Escoamento**

A vazão de fluido foi obtida a partir de instrumentos medidores de vazão instalados nas tubulações.

Entretanto, nem todas as linhas possuem medição e em algumas, apesar de possuírem, o instrumento encontra-se descalibrado, não apresentando valores confiáveis.

Para esses casos, em que não há informação de vazão, foi necessário utilizar a Equação da Continuidade, descrita no item 2.3.2, de forma a fazer balanços de massa em todo o sistema de tubulação.

##### **4.5.1. Balanço de Massa**

Foram feitos dois balanços de massa. O primeiro, para o Cenário 1, representado à esquerda na Figura 24 e o segundo, Cenário 2, representado à direita na mesma figura.

A fim de facilitar os cálculos, o sistema em estudo foi dividido em 5 volumes de controle para o Cenário 1, e 7 volumes para o Cenário 2. Essa divisão pode ser observada também na Figura 24. Para cada tag de tubulação foi associado um índice numérico correspondente, apresentados na Tabela 17.



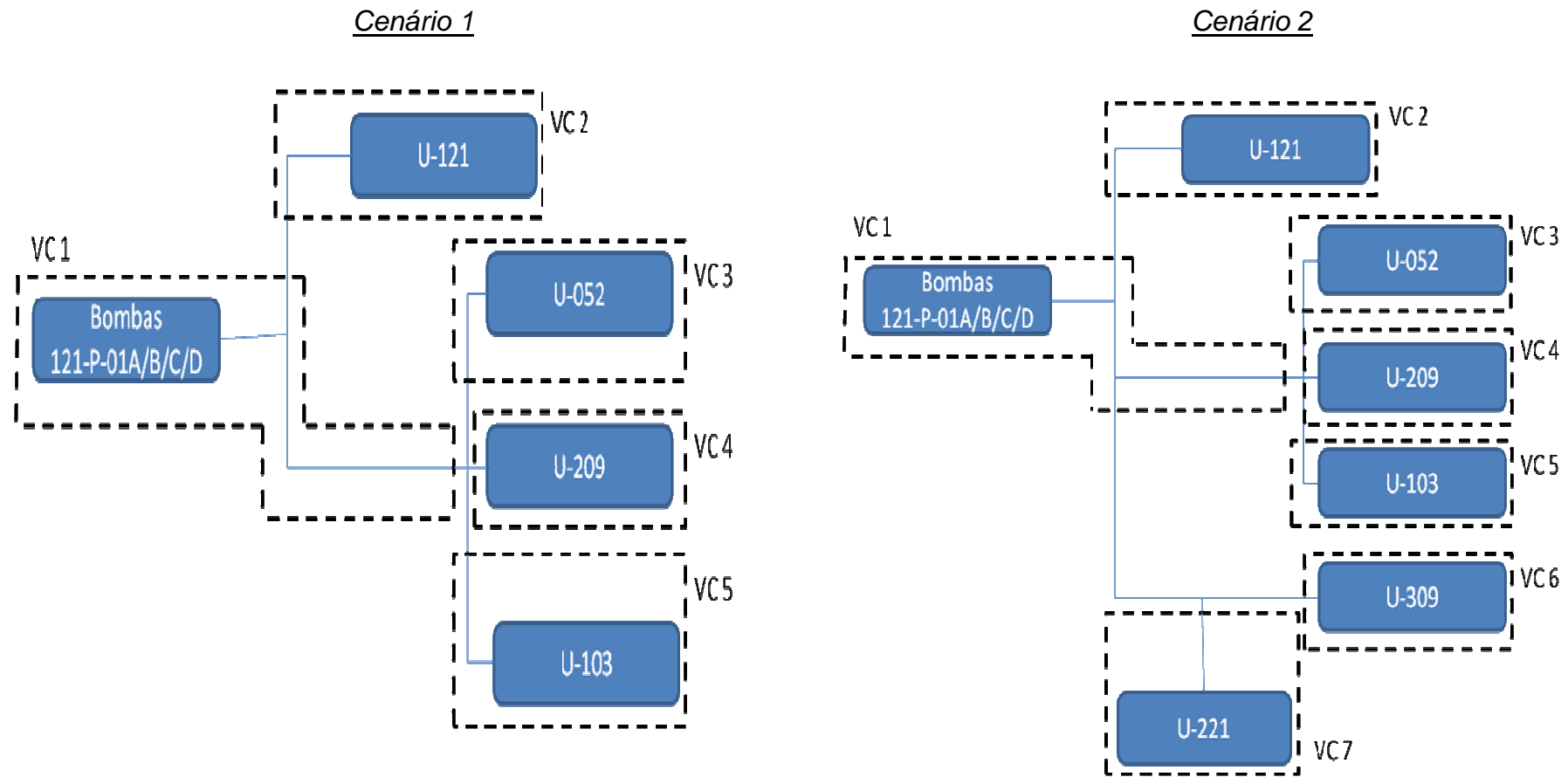


Figura 24 - Representação esquemática dos volumes de controle utilizados para os balanços de massa feitos nos cenários 1 e 2.

Tabela 17 – Índice numérico representativo de cada tag de tubulação.

Tag	Índice	Tag	Índice
6"-121-BW-47-I	1	3"-209-BW-202-Fb	26
6"-121-BW-48-I	2	1,5"-52-BFW-310-Fb	27
6"-121-BW-49-I	3	1"-52-BFW-311-Fb	28
6"-121-BW-50-I	4	1"-52-BFW-313-Fb	29
8"-121-BW-46-I	5	1"-52-BFW-314-Fb	30
6"-121-BW-58-I	6	1"-52-BFW-315-Fb	31
6"-121-BW-60-I	7	1"-52-BFW-316-Fb	32
6"-121-BW-61-I	8	1"-52-BFW-317-Fb	33
6"-121-BW-62-I	9	1"-52-BFW-318-Fb	34
8"-121-BW-63-I	10	1"-52-BFW-319-Fb	35
4"-121-BW-64-I(1)	11	1"-52-BFW-320-Fb	36
4"-121-BW-64-I(2)	12	3"-21-BW-2008-271	37
4"-121-BW-64-I(3)	13	3"-103-BW-001-271	38
2"-221-BW-51-I	14	8"-21-BW-4029-Fb(1)	41
4"-121-BW-46-E	15	6"-021-BW-4027-Fb	42
4"-21-BFW-2001-271(1)	16	2"-21-BW-4036-Fb	43
8"-121-BW-4022-Fb	17	2"-21-BW-4037-Fb	44
3"-21-BW-4027-Fb	18	3"-21-BW-4038-Fb	45
4"-21-BFW-2001-271(2)	19	2"-209-BW-946-Fb	46
1,5"-21-BFW-2011-Fb	20	8"-21-BW-4029-Fb(2)	47
3"-210-BW-620-Fb	21	As-1	As-1
3"-209-BW-199-Fb	22	As-2	As-2
3"-209-BW-200-Fb	23	As-3	As-3
1"-209-BW-209-Fb	24	As-4	As-4
3"-209-BW-201-Fb	25		

A partir da análise da Figura 23 e para os volumes de controle da Figura 24, foi possível escrever as seguintes equações para o balanço de massa do sistema

estudado. Observe que foram utilizados os índices da Tabela 17, ao invés dos *tags* das tubulações.

### **Cenário 1:**

#### VC1:

$$\overset{\cdot}{m}_1 + \overset{\cdot}{m}_2 + \overset{\cdot}{m}_3 + \overset{\cdot}{m}_4 = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 42

$$\overset{\cdot}{m}_6 + \overset{\cdot}{m}_7 + \overset{\cdot}{m}_{14} + \overset{\cdot}{m}_{15} = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 43

$$\overset{\cdot}{m}_{15} = \overset{\cdot}{m}_{16}$$

Equação 44

$$\overset{\cdot}{m}_{16} = \overset{\cdot}{m}_{19} + \overset{\cdot}{m}_{20} + \overset{\cdot}{m}_{18}$$

Equação 45

#### VC 2:

$$\overset{\cdot}{m}_1 + \overset{\cdot}{m}_2 + \overset{\cdot}{m}_3 + \overset{\cdot}{m}_4 = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 42

$$\overset{\cdot}{m}_7 = \overset{\cdot}{m}_9$$

Equação 46

$$\overset{\cdot}{m}_6 = \overset{\cdot}{m}_8$$

Equação 47

$$\overset{\cdot}{m}_8 + \overset{\cdot}{m}_9 = \overset{\cdot}{m}_{10}$$

Equação 48

$$\overset{\cdot}{m}_{11} + \overset{\cdot}{m}_{12} + \overset{\cdot}{m}_{13} = \overset{\cdot}{m}_{10}$$

Equação 49

$$\overset{\cdot}{m}_6 + \overset{\cdot}{m}_7 + \overset{\cdot}{m}_{14} + \overset{\cdot}{m}_{15} = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 43

$$\overset{\cdot}{m}_{15} = \overset{\cdot}{m}_{16}$$

Equação 44

$$\overset{\cdot}{m}_{16} = \overset{\cdot}{m}_{19} + \overset{\cdot}{m}_{20} + \overset{\cdot}{m}_{18}$$

Equação 45

VC 3:

$$\overset{\cdot}{m}_{20} = \overset{\cdot}{m}_{27} = \overset{\cdot}{m}_{28} = \overset{\cdot}{m}_{29} + \overset{\cdot}{m}_{30} + \overset{\cdot}{m}_{31} + \overset{\cdot}{m}_{32} + \overset{\cdot}{m}_{33} + \overset{\cdot}{m}_{34} + \overset{\cdot}{m}_{35} + \overset{\cdot}{m}_{36}$$

Equação 50

VC 4:

$$\overset{\cdot}{m}_{18} = \overset{\cdot}{m}_{21} = \overset{\cdot}{m}_{22} + \overset{\cdot}{m}_{46}$$

Equação 51

$$\overset{\cdot}{m}_{22} = \overset{\cdot}{m}_{23} + \overset{\cdot}{m}_{24}$$

Equação 52

$$\overset{\cdot}{m}_{23} = \overset{\cdot}{m}_{25} = \overset{\cdot}{m}_{26}$$

Equação 53

VC 5:

$$\overset{\cdot}{m}_{19} - \overset{\cdot}{m}_{37} = \overset{\cdot}{m}_{38}$$

Equação 54

**Cenário 2:**

Para esse cenário, além do acréscimo das equações de massa referentes aos volumes de controle 6 e 7, será necessário fazer alterações nas equações do volume de controle 1, para incluir a linha 17. As equações para os demais volumes (VC2 a VC5) são iguais para os dois cenários.

VC 1:

$$\overset{\cdot}{m}_1 + \overset{\cdot}{m}_2 + \overset{\cdot}{m}_3 + \overset{\cdot}{m}_4 = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 42

$$\overset{\cdot}{m}_6 + \overset{\cdot}{m}_7 + \overset{\cdot}{m}_{14} + \overset{\cdot}{m}_{15} + \overset{\cdot}{m}_{17} = \overset{\cdot}{m}_5$$

Equação 55

$$\overset{\cdot}{m}_{15} = \overset{\cdot}{m}_{16}$$

Equação 44

$$\overset{\cdot}{m}_{16} = \overset{\cdot}{m}_{19} + \overset{\cdot}{m}_{20} + \overset{\cdot}{m}_{18}$$

Equação 45

VC 6:

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{47}$$

Equação 56

VC 7:

$$\dot{m}_{47} = \dot{m}_{41} + \dot{m}_{42}$$

Equação 57

Os valores de vazão mássica encontrados para cada tubulação são apresentados na Tabela 19. Adicionalmente, a tabela apresenta a vazão volumétrica, obtida pela razão entre vazão mássica e densidade do fluido (para densidade, ver item 4.3). Os cálculos detalhados podem ser vistos no Anexo B – Balanço de Massa.

Como pode ser observado na Tabela 10, hoje as bombas juntas trabalham com uma vazão total de 261358kg/h, isto é, 281m<sup>3</sup>/h. Quando as unidades novas entrarem em funcionamento (VC 6 e VC7), essa bombas deverão aumentar a vazão de fluido para 430867kg/h (463m<sup>3</sup>/h), ou seja, 65% a mais do valor atual.

Para obter a vazão máxima na qual as bombas 121-P-01A e 121-P-01D conseguem trabalhar, deve-se somar as vazões máximas individuais de cada uma delas, apresentadas na Tabela 10. A capacidade de recalque do sistema em estudo é de 437,1m<sup>3</sup>/h. Essa vazão está acima da exigida para o Cenário 1, que é de 281m<sup>3</sup>/h e, portanto, esses equipamentos são capazes de atender a demanda de vazão. Entretanto, para o Cenário 2, que consome 463m<sup>3</sup>/h de água de alimentação de caldeira, as 2 bombas apenas não serão capazes de recalcar toda a vazão de fluido desejada, sendo necessário fazer uso de uma 3ª bomba. Com 3 bombas funcionando em paralelo, considerando que essa 3ª bomba será similar as já instaladas em campo, a capacidade de recalque de fluido passa a ser de 656m<sup>3</sup>/h, o que atende a vazão calculada para o Cenário 2

Tabela 18- Vazão mássica e volumétrica em cada tubulação.

Tag	Vazão Mássica (kg/h)		Vazão Volumétrica (m <sup>3</sup> /h)	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
6"-121-BW-47-I	130678,91	215433,51	140,82	232,15
6"-121-BW-48-I	0,00	0,00	0,00	0,00
6"-121-BW-49-I	0,00	0,00	0,00	0,00
6"-121-BW-50-I	130678,91	215433,51	140,82	232,15
8"-121-BW-46-I	261357,82	430867,02	281,64	464,30
6"-121-BW-58-I	94915,04	94915,04	102,28	102,28
6"-121-BW-60-I	94915,04	94915,04	102,28	102,28
6"-121-BW-61-I	94915,04	94915,04	102,28	102,28
6"-121-BW-62-I	94915,04	94915,04	102,28	102,28
8"-121-BW-63-I	189830,07	189830,07	204,56	204,56
4"-121-BW-64-I(1)	60991,89	60991,89	65,72	65,72
4"-121-BW-64-I(2)	60283,08	60283,08	64,96	64,96
4"-121-BW-64-I(3)	68555,11	68555,11	73,87	73,87
2"-221-BW-51-I	14630,80	14630,80	15,77	15,77
4"-121-BW-46-E	56896,94	56896,94	61,31	61,31
4"-21-BFW-2001-271(1)	56896,94	56896,94	61,31	61,31
4"-21-BFW-2001-271(2)	22517,87	22517,87	24,26	24,26
8"-121-BW-4022-Fb	n/a <sup>1</sup>	169509,20	n/a <sup>1</sup>	182,66
3"-21-BW-4027-Fb	32601,53	32601,53	35,13	35,13
1,5"-21-BFW-2011-Fb	1777,54	1777,54	1,92	1,92
3"-210-BW-620-Fb	32601,53	32601,53	35,13	35,13
3"-209-BW-199-Fb	25601,53	25601,53	27,59	27,59
3"-209-BW-200-Fb	24969,53	24969,53	26,91	26,91
1"-209-BW-209-Fb	632,00	632,00	0,68	0,68
3"-209-BW-201-Fb	24969,53	24969,53	26,91	26,91
3"-209-BW-202-Fb	24969,53	24969,53	26,91	26,91

1,5"-52-BFW-310-Fb	1777,54	1777,54	1,92	1,92
1"-52-BFW-311-Fb	1777,54	1777,54	1,92	1,92
1"-52-BFW-313-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-314-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-315-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-316-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-317-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-318-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-319-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
1"-52-BFW-320-Fb	222,19	222,19	0,24	0,24
3"-21-BW-2008-271	10840,00	10840,00	11,68	11,68
3"-103-BW-001-271	11677,87	11677,87	12,58	12,58
8"-21-BW-4029-Fb(1)	n/a <sup>1</sup>	122800,00	n/a <sup>1</sup>	132,33
6"-021-BW-4027-Fb	n/a <sup>1</sup>	46709,20	n/a <sup>1</sup>	50,33
2"-21-BW-4036-Fb	n/a <sup>1</sup>	8229,90	n/a <sup>1</sup>	8,87
2"-21-BW-4037-Fb	n/a <sup>1</sup>	8481,30	n/a <sup>1</sup>	9,14
3"-21-BW-4038-Fb	n/a <sup>1</sup>	29998,00	n/a <sup>1</sup>	32,33
2"-209-BW-946-Fb	n/a <sup>1</sup>	7000,00	n/a <sup>1</sup>	7,54
8"-21-BW-4029-Fb(2)	n/a <sup>1</sup>	169509,20	n/a <sup>1</sup>	182,66

1 - n/a = não se aplica. A tubulação não pertence ao cenário estudado

#### **4.6. Velocidade de Escoamento**

A velocidade de escoamento pode ser obtida pela razão entre a vazão volumétrica do fluido e a área de uma seção reta da tubulação, calculados, no item 4.5.

A Tabela 19 apresenta os valores de velocidade obtidos. Aqui também foram feitos os cálculos considerando os Cenários 1 e 2.

Tabela 19- Valores de velocidade de escoamento em cada tubulação.

Tag	Velocidade de Escoamento (m/s)	
	Cenário 1	Cenário 2
6"-121-BW-47-I	2,33	3,84
6"-121-BW-48-I	0,00	0,00
6"-121-BW-49-I	0,00	0,00
6"-121-BW-50-I	2,33	3,84
As-1	4,66	7,68
8"-121-BW-46-I	2,66	4,38
6"-121-BW-58-I	1,69	1,69
6"-121-BW-60-I	1,69	1,69
6"-121-BW-61-I	1,71	1,71
6"-121-BW-62-I	1,69	1,69
As-2	3,37	3,37
8"-121-BW-63-I	1,94	1,94
4"-121-BW-64-I(1)	2,48	2,48
4"-121-BW-64-I(2)	2,45	2,45
4"-121-BW-64-I(3)	2,78	2,78
As-3	7,70	7,70
2"-221-BW-51-I	2,30	2,30
4"-121-BW-46-E	2,08	2,08
4"-21-BFW-2001-271(1)	2,29	2,29
4"-21-BFW-2001-271(2)	0,91	0,91
8"-121-BW-4022-Fb	n/a <sup>1</sup>	1,93
3"-21-BW-4027-Fb	2,87	2,87
1,5"-21-BFW-2011-Fb	0,56	0,56
3"-210-BW-620-Fb	2,87	2,87
3"-209-BW-199-Fb	2,25	2,25
3"-209-BW-200-Fb	2,20	2,20



1"-209-BW-209-Fb	0,56	0,56
3"-209-BW-201-Fb	2,62	2,62
3"-209-BW-202-Fb	2,62	2,62
1,5"-52-BFW-310-Fb	0,56	0,56
1"-52-BFW-311-Fb	1,52	1,52
1"-52-BFW-313-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-314-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-315-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-316-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-317-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-318-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-319-Fb	0,19	0,19
1"-52-BFW-320-Fb	0,19	0,19
As-4	1,52	1,52
3"-21-BW-2008-271	0,76	0,76
3"-103-BW-001-271	0,82	0,82
8"-21-BW-4029-Fb(1)	n/a <sup>1</sup>	1,40
6"-021-BW-4027-Fb	n/a <sup>1</sup>	1,02
2"-21-BW-4036-Fb	n/a <sup>1</sup>	1,71
2"-21-BW-4037-Fb	n/a <sup>1</sup>	1,76
3"-21-BW-4038-Fb	n/a <sup>1</sup>	2,63
2"-209-BW-946-Fb	n/a <sup>1</sup>	1,46
8"-21-BW-4029-Fb(2)	n/a <sup>1</sup>	2,15

1 - n/a = não se aplica. A tubulação não pertence ao cenário estudado

As variações nas velocidades de escoamento entre uma tubulação e outra podem ser atribuídas a dois fatores: alterações na vazão de fluido e mudanças no diâmetro/área de seção da tubulação. Como pode ser observado na Tabela 16 e na Tabela 19 ambos os fenômenos foram bem recorrentes nas linhas estudadas.

#### 4.7. Número de Reynolds

A partir de valores tabelados de densidade e viscosidade e de valores calculados de diâmetro interno e velocidade é possível calcular o número de Reynolds, utilizando a Equação 3. Os valores calculados para os Cenários 1 e 2 estão na Tabela 20.

Tabela 20- Valores calculados do número de Reynolds.

Tag	Re	
	Cenário 1	Cenário 2
6"-121-BW-47-I	1.649.387,0	2.719.132,9
6"-121-BW-50-I	1.649.387,0	2.719.132,9
As-1	3.298.775,0	5.438.265,8
8"-121-BW-46-I	2.491.934,0	4.108.130,5
6"-121-BW-58-I	1.169.374,0	1.169.373,7
6"-121-BW-60-I	1.169.374,0	1.169.373,7
6"-121-BW-61-I	1.266.267,0	1.266.266,8
6"-121-BW-62-I	1.169.374,0	1.169.373,7
As-2	2.338.747,0	2.338.747,4
8"-121-BW-63-I	1.848.585,0	1.848.585,1
4"-121-BW-64-I(1)	1.186.270,0	1.186.270,4
4"-121-BW-64-I(2)	1.169.284,0	1.169.284,4
4"-121-BW-64-I(3)	1.333.372,0	1.333.372,0
As-3	3.682,4	3.682,4
2"-221-BW-51-I	529.387,6	529.387,7
4"-121-BW-46-E	1.028.775,0	1.028.774,7
4"-21-BFW-2001-271(1)	1.049.375,0	1.049.374,5
4"-21-BFW-2001-271(2)	428.216,4	428.216,4
8"-121-BW-4022-Fb	n/a <sup>1</sup>	1.651.568,0
3"-21-BW-4027-Fb	900.459,3	900.459,3
1,5"-21-BFW-2011-Fb	61.558,6	61.558,6

3"-210-BW-620-Fb	900.459,3	900.459,3
3"-209-BW-199-Fb	707.825,0	707.825,0
3"-209-BW-200-Fb	690.351,6	690.351,6
1"-209-BW-209-Fb	56.419,4	56.419,4
3"-209-BW-201-Fb	1.356.958,0	1.356.958,1
3"-209-BW-202-Fb	1.356.958,0	1.356.958,1
1,5"-52-BFW-310-Fb	61.558,6	61.558,6
1"-52-BFW-311-Fb	101.166,5	101.166,6
1"-52-BFW-313-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-314-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-315-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-316-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-317-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-318-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-319-Fb	12.645,8	12.645,8
1"-52-BFW-320-Fb	12.645,8	12.645,8
As-4	101.166,5	101.166,6
3"-21-BW-2008-271	261.823,2	261.823,2
3"-103-BW-001-271	292.890,6	292.890,6
8"-21-BW-4029-Fb(1)	n/a <sup>1</sup>	1.196.469,3
6"-021-BW-4027-Fb	n/a <sup>1</sup>	630.727,0
2"-21-BW-4036-Fb	n/a <sup>1</sup>	342.631,5
2"-21-BW-4037-Fb	n/a <sup>1</sup>	353.097,9
3"-21-BW-4038-Fb	n/a <sup>1</sup>	822.388,7
2"-209-BW-946-Fb	302.823,1	302.823,1
8"-21-BW-4029-Fb(2)	n/a <sup>1</sup>	1.741.154,7

1 - n/a = não se aplica. A tubulação não pertence ao cenário estudado

Como pode ser observado na Tabela 20, todos os valores do número de Reynolds calculados são maiores que 2300, portanto, não se tem escoamento laminar durante todo o percurso (ver item 2.3.1).

#### **4.8. Perda de Carga**

Conforme descrito no item 2.5, para o cálculo da perda de carga contínua foram utilizadas as equações de Darcy-Weisbach (Equação 21) e Haaland (Equação 26). Para o cálculo da perda de carga localizada, utilizou-se a Equação 28.

Como foi visto, as equações apresentam inúmeras variáveis que devem ser previamente determinadas ao se iniciar o cálculo efetivo da perda de carga. Todas essas variáveis foram inseridas em uma planilha Excel para a realização dos cálculos.

As perdas de carga foram contabilizadas por *tag* de tubulação e estão apresentadas na Tabela 21. O Anexo C – Cálculo da Perda de Carga, apresenta a planilha de cálculo completa.

Mais uma vez, os cálculos foram feitos considerando-se os Cenários 1 e 2.

Tabela 21 - Valores calculados de perda de carga.

Tag	Fator de Atrito		Hf Darcy-Weisbach (m)	
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2
6"-121-BW-47-I	0,0155	0,0154	0,61	1,63
6"-121-BW-50-I	0,0155	0,0154	0,61	1,63
As-1	0,0153	0,0152	0,60	1,62
8"-121-BW-46-I	0,0146	0,0144	1,34	3,62
6"-121-BW-58-I	0,0156	0,0156	0,54	0,54
6"-121-BW-60-I	0,0156	0,0156	0,58	0,58
6"-121-BW-61-I	0,0156	0,0156	0,53	0,53
6"-121-BW-62-I	0,0156	0,0156	0,58	0,58
As-2	0,0154	0,0154	1,09	1,09

8"-121-BW-63-I	0,0147	0,0147	0,00	0,00
4"-121-BW-64-I(1)	0,0169	0,0169	2,83	2,83
4"-121-BW-64-I(2)	0,0169	0,0169	2,70	2,70
4"-121-BW-64-I(3)	0,0169	0,0169	3,56	3,56
As-3	0,0167	0,0167	2,97	2,97
4"-121-BW-46-E	0,0168	0,0168	0,65	0,65
4"-21-BFW-2001-271(1)	0,0170	0,0170	0,82	0,82
4"-21-BFW-2001-271(2)	0,0175	0,0175	3,99	3,99
8"-121-BW-4022-Fb	n/a <sup>1</sup>	0,0149	n/a <sup>1</sup>	1,28
3"-21-BW-4027-Fb	0,0184	0,0184	128,56	128,56
1,5"-21-BFW-2011-Fb	0,0241	0,0241	16,12	16,12
3"-210-BW-620-Fb	0,0184	0,0184	15,43	15,43
3"-209-BW-199-Fb	0,0185	0,0185	5,15	5,15
3"-209-BW-200-Fb	0,0185	0,0185	1,30	1,30
3"-209-BW-201-Fb	0,0183	0,0183	6,79	6,79
3"-209-BW-202-Fb	0,0183	0,0183	3,56	3,56
1,5"-52-BFW-310-Fb	0,0241	0,0241	2,37	2,37
1"-52-BFW-311-Fb	0,0255	0,0255	10,73	10,73
1"-52-BFW-313-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-314-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-315-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-316-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-317-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-318-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-319-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10
1"-52-BFW-320-Fb	0,0323	0,0323	0,10	0,10

As-4	0,0255	0,0255	0,10	0,10
3"-103-BW-001-271	0,0188	0,0188	1,10	1,10
8"-21-BW-4029-Fb(1)	n/a <sup>1</sup>	0,0150	n/a <sup>1</sup>	0,17
6"-021-BW-4027-Fb	n/a <sup>1</sup>	0,0163	n/a <sup>1</sup>	2,48
8"-21-BW-4029-Fb(2)	n/a <sup>1</sup>	0,0150	n/a <sup>1</sup>	12,06

Com o passar dos anos, é comum haver um aumento da rugosidade das paredes da tubulação, causando, por consequência, maior atrito ao escoamento do fluido. Na equação de Darcy-Weisbach, o termo que poderia contemplar o fator “idade da tubulação” é a variável rugosidade ( $e$ ). Entretanto, os valores de  $e$  encontrados na literatura não fazem distinção entre tubulação nova e usada.

Todavia, nesse projeto, apesar das tubulações estudadas possuírem, em média, 30 anos (exceto a U-209 que tem 10 anos) é feito um rigoroso controle do desgaste dos tubos. A concentração de ferro (material construtivo da tubulação) na água em escoamento é monitorada e seu valor não pode estar acima de 0,02ppm. Além disso, relatos dos funcionários da REGAP confirmam que, quando essas tubulações são abertas, as paredes das mesmas apresentam excelente estado de conservação, aparentando serem novos os tubos.

Portanto, utilizou-se nesse trabalho  $e = 0,0046\text{mm}$ , que é o valor de rugosidade para tubos novos de aço carbono.

#### **4.9. Pressão na Descarga das Bombas**

Uma vez que todas as variáveis da Equação 41 foram determinadas, torna-se possível calcular a pressão necessária na descarga das bombas para atender as exigências de pressão dos consumidores finais (ver Tabela 11). Para isso, será necessário fazer um balanço de energia em todo o sistema.

##### **4.9.1. Balanço de Energia**

O cálculo da pressão foi feito no sentido inverso ao fluxo de fluido. Isso é, ao valor de pressão exigido pelo cliente final foram somadas todas as perdas energéticas

decorridas no trajeto entre bomba e esse cliente, a fim de se determinar qual a pressão que a bomba deveria recalcar, conforme explicitado na Equação 40.

Nos pontos em que havia a junção de 2 ou mais tubulações, utilizou-se o valor de pressão da linha que possuía o maior valor para essa propriedade. Dessa forma, determinou-se o trajeto de maior demanda energética, ou seja, o caminho crítico. Uma vez que o fluido possui energia suficiente para vencer o caminho crítico, ele será capaz de atender satisfatoriamente, em termos de pressão, aos demais consumidores.

Conforme apresentado na Figura 25, foram determinados 6 nós de tubulação. O Cenário 1 comporta os 5 primeiros nós e o cenário 2 todos eles.

A Tabela 22 apresenta as tubulações que estão conectadas em cada um desses nós e a pressão calculada para as linhas que saem deles. As equações utilizadas são mostradas na sequência e os cálculos detalhados no Anexo D – Balanço de Energia.

### **Nó 1:**

- Pressão no início da Linha As-2

$$E_{1\_As-2} = E_{2\_As-3} + H_F \quad \text{Equação 58}$$

$$P_{1\_As-2} = \rho g \left\{ \frac{P_{2\_As-3}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{2\_As-3})^2 - (V_{1\_As-2})^2}{2g} \right] + (Z_{2\_As-3} - Z_{1\_As-2}) + (H_{F\_As-2} + H_{F_{10}} + H_{F\_As-3}) \right\} \quad \text{Equação 59}$$

- Pressão no início da Linha 4"-121-BFW-2022-Fb (L17)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente os nós 2 e 6.

$$E_{1\_17} = E_{1\_41} + H_F \quad \text{Equação 60}$$

$$P_{1\_17} = \rho g \left\{ \frac{P_{1\_41}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1\_41})^2 - (V_{1\_17})^2}{2g} \right] + (Z_{1\_41} - Z_{1\_17}) + (H_{F_{47}} + H_{F_{17}}) \right\} \quad \text{Equação 61}$$

- Pressão no início da Linha 4"-121-BW-46-E (L15)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente os nós 3 e 4.

$$E_{1_{15}} = E_{1_{18}} + H_F \quad \text{Equação 62}$$

$$P_{1_{15}} = \rho g \left\{ \frac{P_{1_{18}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{15}})^2 - (V_{1_{18}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{15}} - Z_{1_{18}}) + (H_{F_{16}} + H_{F_{15}}) \right\} \quad \text{Equação 63}$$

### **Nó 2:**

- Pressão no início da Linha 4"-21-BFW-2001-271 (L19)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente o nó 3.

$$E_{1_{19}} = E_{2_{38}} + H_F \quad \text{Equação 64}$$

$$P_{1_{19}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{38}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{19}})^2 - (V_{2_{38}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{19}} - Z_{2_{38}}) + (H_{F_{38}} + H_{F_{19}}) \right\} \quad \text{Equação 65}$$

- Pressão no início da Linha 3"-21-BW-4027-Fb (L18)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente os nós 4 e 5.

$$E_{1_{18}} = E_{2_{26}} + H_F \quad \text{Equação 66}$$

$$P_{1_{18}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{26}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{18}})^2 - (V_{2_{26}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{18}} - Z_{2_{26}}) + (H_{F_{26}} + H_{F_{25}} + H_{F_{23}} + H_{F_{22}} + H_{F_{21}} + H_{F_{18}}) \right\} \quad \text{Equação 67}$$

- Pressão no início da Linha 1 ½"-21-BFW-2011-Fb (L20)

$$E_{1_{20}} = E_{2_{As-3}} + H_F \quad \text{Equação 68}$$

$$P_{1_{20}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{As-3}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{20}})^2 - (V_{2_{As-3}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{20}} - Z_{2_{As-3}}) + (H_{F_{As-3}} + H_{F_{28}} + H_{F_{27}} + H_{F_{20}}) \right\} \quad \text{Equação 69}$$

### **Nó 3:**

- Pressão no início da Linha 4"-103-BFW-001-271 (L38)

$$E_{1_{38}} = E_{2_{38}} + H_F \quad \text{Equação 70}$$

$$P_{1_{38}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{38}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{38}})^2 - (V_{2_{38}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{38}} - Z_{2_{38}}) + (H_{F_{38}}) \right\} \quad \text{Equação 71}$$



**Nó 4 :**

- Pressão no início da Linha 3"-209-BW-199-Fb (L22)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente o nó 5.

$$E_{1_{22}} = E_{1_{23}} + H_F \quad \text{Equação 72}$$

$$P_{1_{22}} = \rho g \left\{ \frac{P_{1_{23}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{23}})^2 - (V_{1_{22}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{23}} - Z_{1_{22}}) + (H_{F_{22}}) \right\} \quad \text{Equação 73}$$

**Nó 5**

- Pressão no início da Linha 3"-209-BW-200-Fb (L23)

$$E_{1_{23}} = E_{2_{26}} + H_F \quad \text{Equação 74}$$

$$P_{1_{23}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{26}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{23}})^2 - (V_{2_{26}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{23}} - Z_{2_{26}}) + (H_{F_{26}} + H_{F_{25}} + H_{F_{23}}) \right\} \quad \text{Equação 75}$$

**Nó 6**

- Pressão no início da Linha 6"-021-BW-4027-Fb (L42)

$$E_{1_{42}} = E_{1_{45}} + H_F \quad \text{Equação 76}$$

$$P_{1_{42}} = \rho g \left\{ \frac{P_{1_{45}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{42}})^2 - (V_{1_{45}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{42}} - Z_{1_{45}}) + (H_{F_{42}}) \right\} \quad \text{Equação 77}$$

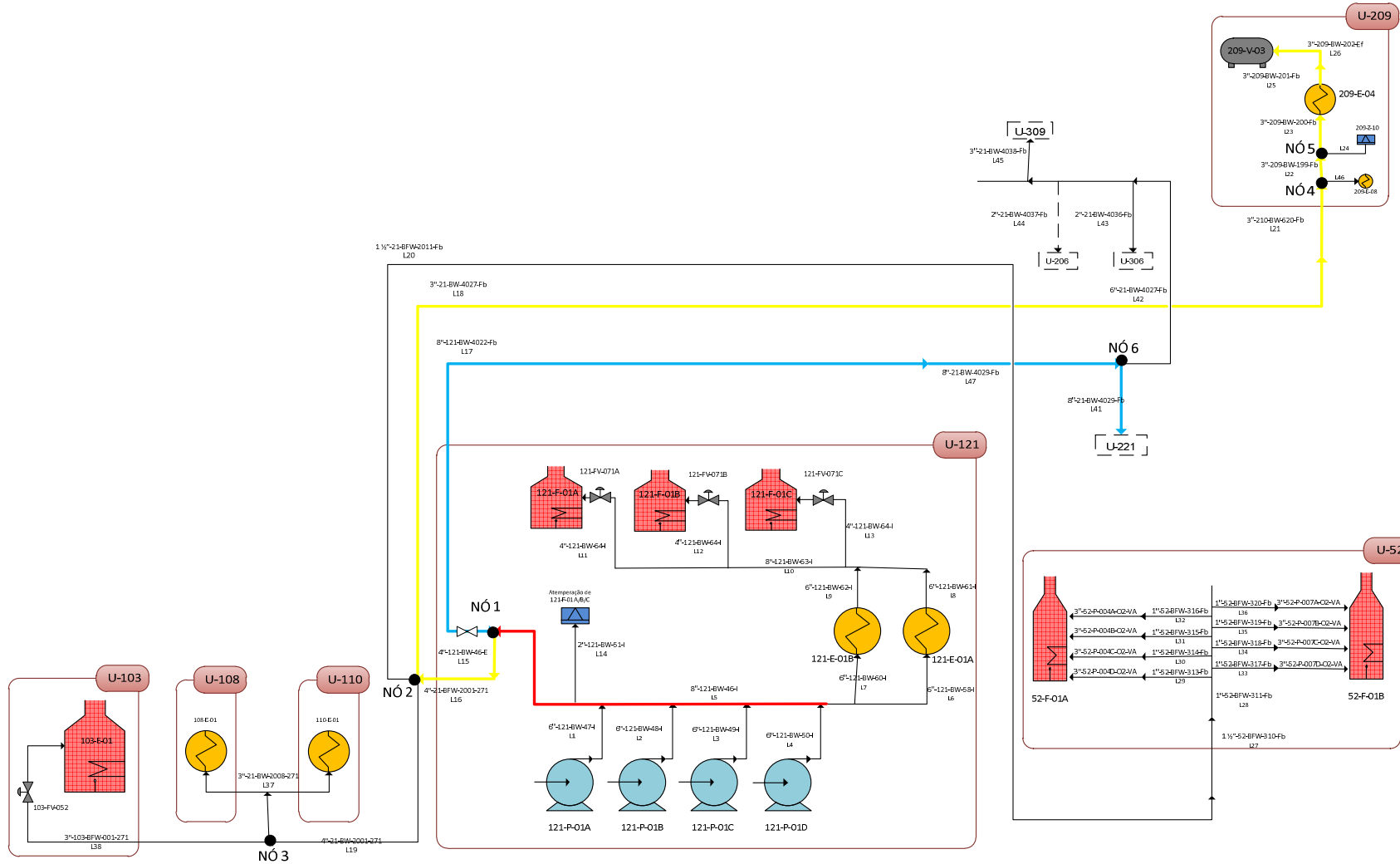


Figura 25 - Representação esquemática dos nós de tubulação utilizados para realização do balanço de energia.

Tabela 22 – Valores de pressão calculados para cada uma das linhas que se conectam a nós de tubulação.

Nó	Tubulação de entrada	Tubulação de Saída	Pressão calculada (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	8"-121-BW-46-I	AS-2	64,6
		4"-121-BFW-2022-Fb	93,5
		4"-121-BW-46-E	90,2
2	4"-21-BFW-2001-271	3"-21-BW-4027-Fb	83,4
		1 ½"-21-BFW-2011-Fb	69,3
		4"-21-BW-2001-271	64,2
3	4"-21-BW-2001-271	3"-21-BW-2008-271	55,0 <sup>1</sup>
		4"-103-BFW-001-271	63,6
4	3"-210-BW-620-Fb	2"-209-BW-946-Fb	67,4 <sup>1</sup>
		3"-209-BW-199-Fb	70,3
5	3"-209-BW-199-Fb	1"-209-BW-209-Fb	60 <sup>1</sup>
		3"-209-BW-200-Fb	70,5
6	8"-21-BW-4029-Fb(2)	8"-21-BW-4029-Fb(1)	93 <sup>2</sup>
		6"-021-BW-4027-Fb	71,8

1 - Essa pressão não foi calculada. Valor informado pela operação da REGAP.

2 - Essa pressão não foi calculada. Valor informado Tabela 10.

A análise da Tabela 22 nos permite determinar o caminho crítico para o cenário 1 e 2, demarcados, respectivamente, em amarelo e azul na Figura 25.

Para finalizar os cálculos e determinar qual pressão deverá reinar na descarga das bombas, foi feito um último balanço de energia no trajeto demarcado em vermelho na Figura 25. Esse trecho corresponde a conexão entre os caminhos críticos de ambos os cenários e as bombas. As equações utilizadas são apresentadas na sequência e os valores encontrados na Tabela 24.

As variáveis densidade, pressão, velocidade, elevações inicial e final e perdas de carga, foram calculadas, respectivamente, nos itens 4.3, 3.2, 4.6, 4.2 e 4.8

**Cenário 1:**

$$E_{1\_As-1} = E_{1\_18} + H_F \quad \text{Equação 78}$$

$$P_{1\_As-1} = \rho g \left\{ \frac{P_{1\_18}}{\rho g} + \left[ \frac{(v_{1\_18})^2 - (v_{1\_As-1})^2}{2g} \right] + (Z_{1\_18} - Z_{1\_As-1}) + (H_{F_{16}} + H_{F_{15}} + H_{F_5} + H_{F_{As-1}}) \right\} \quad \text{Equação 79}$$

**Cenário 2:**

$$E_{1\_As-1} = E_{1\_17} + H_F \quad \text{Equação 80}$$

$$P_{1\_As-1} = \rho g \left\{ \frac{P_{1\_17}}{\rho g} + \left[ \frac{(v_{1\_17})^2 - (v_{1\_As-1})^2}{2g} \right] + (Z_{1\_17} - Z_{1\_As-1}) + (H_{F_5} + H_{F_{As-1}}) \right\} \quad \text{Equação 81}$$

Tabela 23 – Pressão na descarga das bombas

Cenário	Pressão na descarga das bombas (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	83,4
2	94,0

O acréscimo de dois novos consumidores (U-221 e U-309) ao sistema em operação faz com que a exigência de pressão na descarga das bombas aumente de 83,4kgf/cm<sup>2</sup> para 94,0kgf/cm<sup>2</sup>, como apresentado na

Tabela 23. Isso representa uma aumento de 13% na pressão de descarga atual.

**4.10. Curvas do Sistema e das Bombas**

Para se determinar o ponto de operação de um sistema de bombeamento é preciso ter em mãos as curvas de  $H_{man}$  versus Q da bomba e do sistema estudado (ver seção 2.4.6).

**4.10.1. Curva de  $H_{man}$  versus Q da Bomba**

As curvas das bombas foram plotadas a partir dos dados de vazão e altura manométrica apresentados na Tabela 10.

A Figura 26 apresenta a curva da bomba 121-P-01A e a Figura 27 da 121-P-01D.

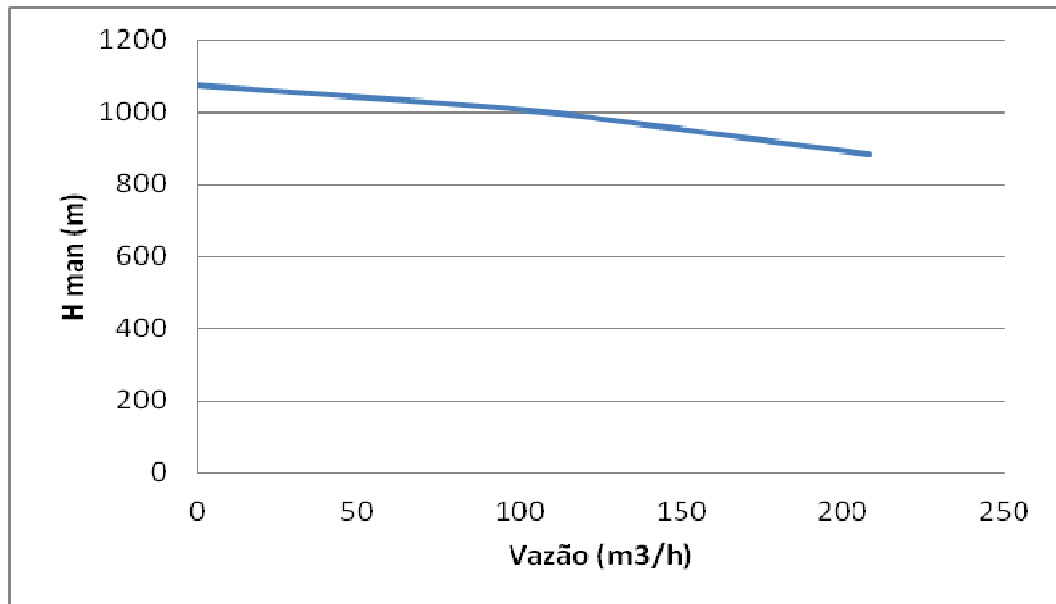


Figura 26 - Representação gráfica das curva Hman x Q da bomba 121-P-01A

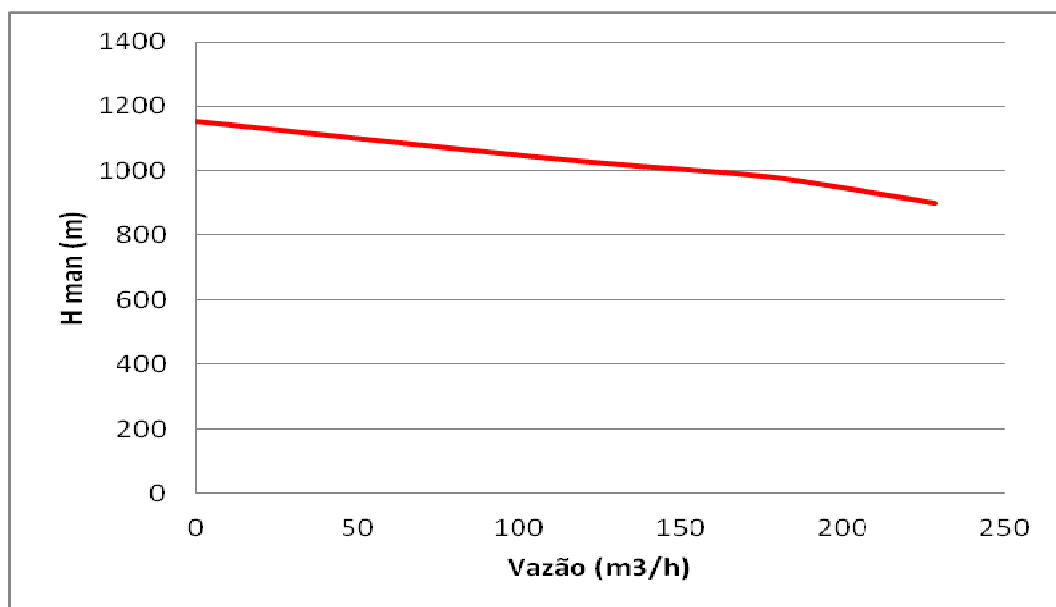


Figura 27 - Representação gráfica das curva Hman x Q da bomba 121-P-01D

Como as bombas estão associadas em paralelo, além da curva de cada uma delas em separado, torna-se necessário construir o gráfico das bombas associadas.

Para bombas em paralelo, a associação aumenta a vazão de fluido bombeado, que passa a ser a soma das vazões bombeadas por cada bomba separadamente. Enquanto a altura manométrica do conjunto permanece igual ao que era antes da associação. Essas considerações puderam ser feitas pois no arranjo físico das bombas, a distância entre elas é pequena, não ultrapassando os 10m recomendados no item 2.4.7.

Como as alturas manométricas apresentadas na Tabela 10 não são iguais para as duas bombas, foi necessário calcular quais vazões seriam requeridas na bomba A, para apresentar alturas iguais a da bomba D e vice-versa.

Esse cálculo foi feito da seguinte maneira. Inicialmente, encontrou-se a equação da curva de cada uma das bombas. Com auxílio de ferramentas computacionais, foram testados vários métodos de regressão, sendo que a regressão polinomial para o 3º grau foi a que apresentou o maior valor de  $R^2$  (coeficiente de correlação linear).

As equações calculadas para cada uma das bombas, assim como valor de  $R^2$  foram:

**Bomba 121-P-01A:**

$$H_{man} = 8 \times 10^{-6} Q^3 - 0,0047 Q^2 - 0,292 Q + 1075,8$$

Equação 82

$$R^2 = 0,99$$

**Bomba 121-P-01D:**

$$H_{man} = -3 \times 10^{-5} Q^3 + 0,0096 Q^2 - 1,7253 Q + 1154,4$$

Equação 83

$$R^2 = 0,98$$

Para testar a validade de cada uma das equações, calculou-se para as vazões apresentadas na Tabela 10, qual seria a altura manométrica correspondente e esse resultado foi comparado com o real. A Tabela 24 apresenta os valores encontrados.

Uma vez validada as equações das curvas, foi possível calcular o valor de vazão necessário para que cada uma das bombas atingisse as mesmas alturas manométricas (Tabela 26) e traçar o gráfico dessas bombas associadas, como mostra a Figura 29.

Tabela 24 – Comparação entre os valores de  $H_{man}$  reais e calculados.

Tag da Bomba	Q (m <sup>3</sup> /h)	$H_{man}$ real (m)	$H_{man}$ calculado (m)	$\Delta H_{man}$ (%)
121-P-01A	0	1075	1076	0,03
	96,4	1015	1011	-0,34
	140,6	955	964	0,98
	188,7	916	907	-0,95
	208,5	876	883	0,84
121-P-01D	0	1154	1154	-0,01
	109,9	1035	1041	0,60
	167,3	975	994	1,93
	187,3	941	971	3,17
	228,6	852	903	5,98

Tabela 25 – Valores calculados de vazão em função da altura manométrica para as bombas 121-P-01A e 121-P-01D operando individualmente e em paralelo.

$H_{man}$ (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)		
	121-P-01A	121-P-01D	121-P-01A e 121-P-01D em paralelo
852	234,53	250,91	485,44
876	214,39	241,11	455,50
916	181,34	222,15	403,49
941	160,45	207,94	368,39
955	148,49	198,88	347,37
975	130,89	184,06	314,95
1015	92,40	144,53	236,94
1035	70,09	118,27	188,36
1075	2,63	64,51	67,14

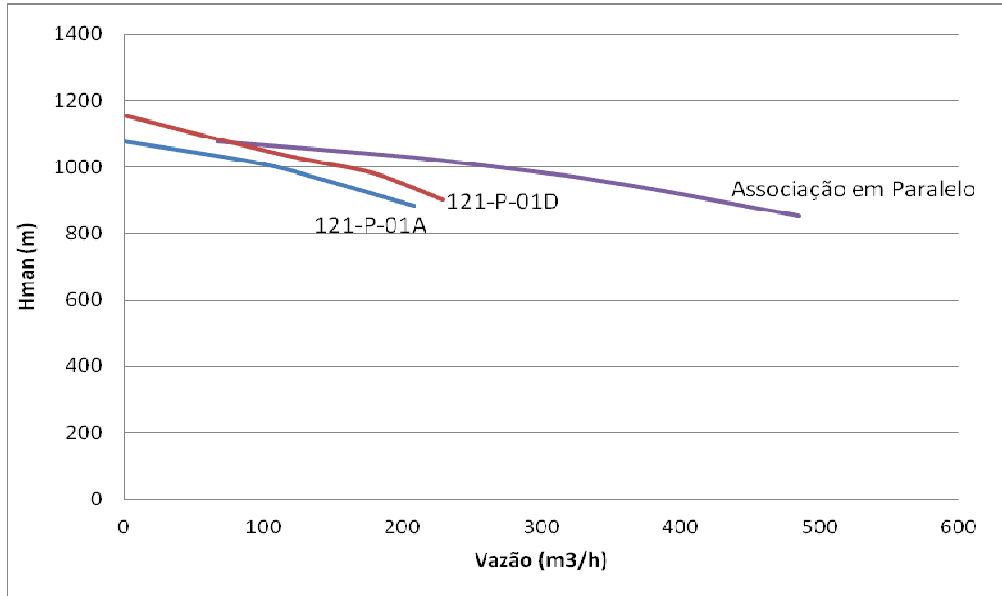


Figura 28 – Associação em paralelo das bombas 121-P-01A e 121-P-01D.

Conforme calculado na seção 4.5.1, para atender ao Cenário 1, as 2 bombas associadas são suficientes, entretanto, para a vazão do Cenário 2 torna-se necessário a utilização de uma 3ª bomba. Partindo do pressuposto que essa 3ª bomba será semelhante a 121-P-01A, os valores de vazão e altura manométrica são apresentados na Tabela 26 e a curva da associação em paralelo dessas 3 bombas na Figura 29.

Tabela 26 – Valores calculados de vazão em função da altura manométrica para as bombas 121-P-01A e 121-P-01D operando individualmente e em paralelo.

$H_{man}$ (m)	Q ( $m^3/h$ )		
	121-P-01A	121-P-01D	2 bombas 121-P-01A e 1 bomba 121-P-01D em paralelo
852	234,53	250,91	719,96
876	214,39	241,11	669,90
916	181,34	222,15	584,82
941	160,45	207,94	528,83
955	148,49	198,88	495,86
975	130,89	184,06	445,84
1015	92,40	144,53	329,34
1035	70,09	118,27	258,45
1075	2,63	64,51	69,76



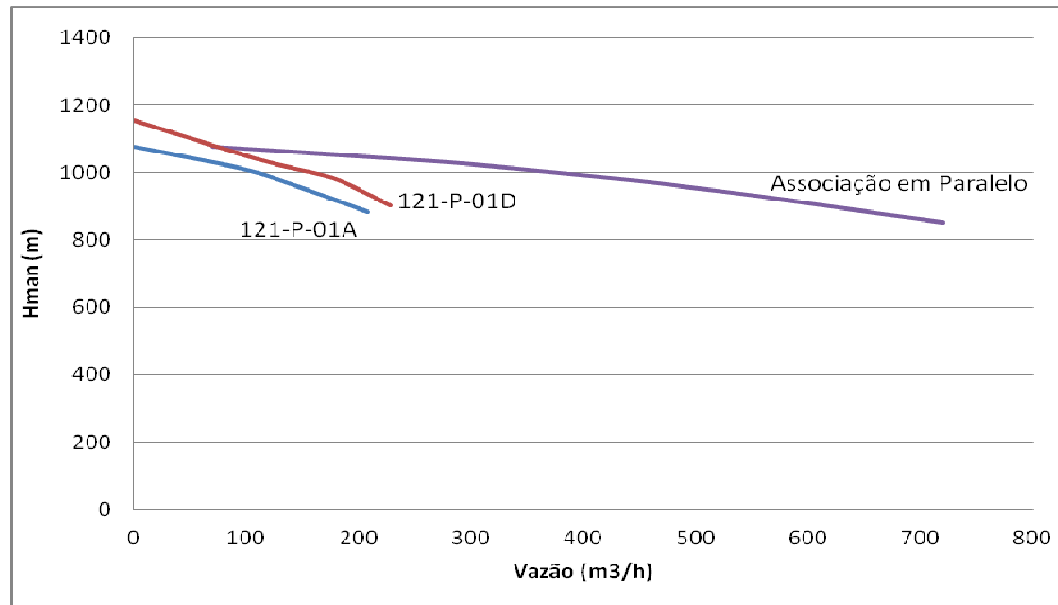


Figura 29 – Associação em paralelo de 3 bombas (2 do tipo 121-P-01A e 1 do tipo 121-P-01D).

Nota-se que a altura manométrica desenvolvida no sistema não supera o valor da  $H_{man}$  da bomba 121-P-01A (curva representada em azul nos gráficos) que possui o menor valor de  $H_{man}$ . Esse fenômeno é explicado pelo fato de que, caso a altura seja maior que  $H_{man_A}$ , a bomba estará operando com vazão nula, não contribuindo, portanto, para a associação sugerida.

#### 4.10.2. Curva de $H_{man}$ versus Q do Sistema

A curva  $H_{man}$  versus Q de um sistema pode ser obtida a partir da Equação 16, calculada para diferentes valores de vazão.

Esses valores de vazão podem ser escolhidos arbitrariamente. Entretanto, nesse trabalho, a fim de abranger uma faixa representativa, foram selecionadas as seguintes vazões:

- Nula
- 25% da vazão de operação do sistema
- 50% da vazão de operação do sistema
- vazão de operação do sistema
- 1,25% da vazão de operação do sistema
- 1,50% da vazão de operação do sistema

Para cada valor de vazão foi calculada a perda de carga correspondente e a altura manométrica desenvolvida (conforme Equação 15). Os valores encontrados para os Cenários 1 e 2 são apresentados na Tabela 27 e foram plotados no gráfico da Figura 30.

Todos os cálculos foram feitos considerando o trajeto que apresenta a maior demanda de pressão, ou seja, das bombas até a U-209 – para o cenário 1, e das bombas até a U-221 para o cenário 2. As contas detalhadas estão disponíveis no Anexo E – Cálculo da Curva do Sistema.

Tabela 27 - Valores de altura manométrica do sistema, calculados para diferentes vazões.

Cenário	Vazão As1 (m <sup>3</sup> /h)	Hman (m)
1	0,00	628,30
	70,41	643,56
	140,82	689,35
	281,64	872,51
	352,04	1009,87
	422,45	1177,77
2	0,00	628,30
	116,07	648,71
	232,15	709,94
	464,30	954,86
	580,37	1138,55
	696,44	1363,06

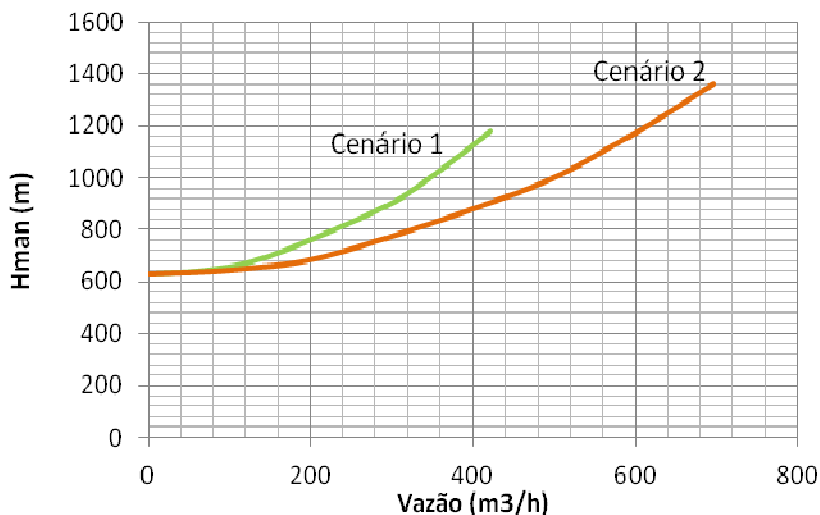


Figura 30 – Curvas das alturas manométricas do Sistema para os Cenários 1 e 2.

Como pode ser observado, o aumento da vazão provoca maior perda de carga no sistema, isso porque, conforme Equação 21 e Equação 24, a perda de carga varia com o quadrado da velocidade. Entretanto, apesar dessa variação, há uma carga estática fixa, que não varia com a vazão e cujo valor corresponde ao  $H_{man}$  calculado para vazão nula. Essa carga estática fixa é função de propriedades do sistema que são constantes, como a pressão na entrada e saída do sistema e a variação da elevação.

#### 4.10.3. Ponto de Operação

A interseção da curva do sistema com a curva da bomba fornece o ponto de operação.

Os pontos de operação dos cenários 1 e 2 são representados, respectivamente, nos gráficos das Figuras 32 e 33.

Para o Cenário 1, o ponto de operação apresenta uma altura manométrica de 980m, isto é 91kgf/cm<sup>2</sup> para 325m<sup>3</sup>/h. Os valores calculados de pressão e vazão foram de 281,64m<sup>3</sup>/h (Tabela 19) e 83,4kgf/cm<sup>2</sup> (Tabela 24). Ou seja, o sistema está trabalhando com valores de pressão acima do necessário.

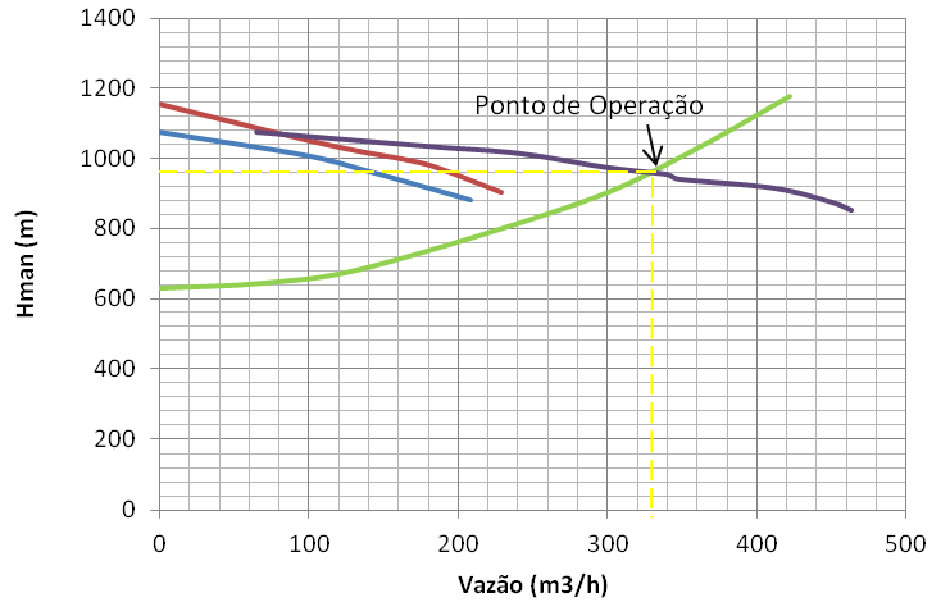


Figura 31 – Ponto de operação para o Cenário 1.

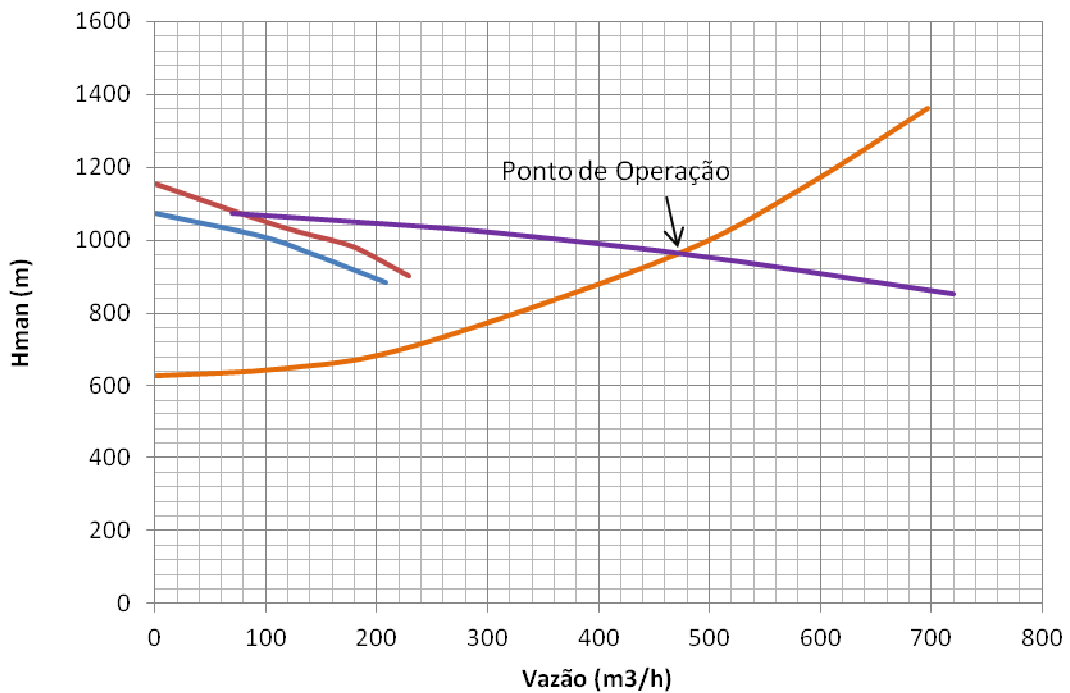


Figura 32 – Ponto de operação para o Cenário 2

Como as características do sistema e da associação da bombas mudaram, ao se passar de um cenário para o outro, o ponto de operação também sofreu alteração. No Cenário 2, a altura manométrica foi de 980m (91kgf/cm<sup>2</sup>) para uma vazão de 465m<sup>3</sup>/h. Os valores calculados foram 464,30m<sup>3</sup>/h (Tabela 19) e 94,0kgf/cm<sup>2</sup> (Tabela 23).

O acréscimo de novas unidades no sistema causa um aumento na demanda de fluido a ser bombeado e, com isso, a curva do sistema desloca-se no sentido positivo do eixo que representa essa variável. Isso faz com que as curvas da bomba e do sistema se interceptem em um novo ponto.

Em ambos os cenários, os valores de pressão e vazão desenvolvidos no ponto de operação estão diferentes dos valores calculados. Indicando que as bombas trabalharão sempre fora do ponto correto.

Para regular o ponto de operação pode-se fazer uso de duas estratégias distintas: variar a curva da bomba ou variar a curva do sistema.

Para alterar a curva do sistema deve-se alterar ou a perda de carga do sistema ou o valor de  $H_0$ . Para a implementação de uma dessas duas opções só é possível se forem feitas alterações nas características construtivas do sistema o que, muitas vezes, se torna inviável em sistemas já instalados e/ou em operação.

Sendo assim, para modificar o ponto de operação, serão consideradas apenas as soluções que visam alterar a curva da bomba.

## **4.11. Ajuste do Ponto de Operação**

A variação da curva da bomba, conforme apresentado em 2.4.5, pode ser obtida das seguintes maneiras: alterando a rotação do motor (para um diâmetro constante) ou variando o diâmetro do rotor (para uma rotação constante). Ambas as soluções serão analisadas .

### **4.11.1. Alteração na Rotação do Motor**

Conforme apresentado em 2.4.5.1, a altura manométrica de uma bomba varia com o quadrado da rotação, para um mesmo rendimento. Isto é:

$$H_{man1} = \left( \frac{n_1}{n} \right)^2 \times H_{man}$$

Equação 84

Sendo que o índice 1 representa a bomba após a variação na rotação. Ou seja,  $H_{man1}$  é a altura em que o sistema deveria operar, calculada no item 4.9. Já  $H_{man}$  é a

altura na qual o sistema opera atualmente, medida em campo e apresentada na Tabela 8. Os valores dessas variáveis são:

- $H_{man1} = 899\text{m}$  ( $83,4\text{kgf/cm}^2$ ),
- $H_{man} = 992\text{m}$  ( $92\text{kgf/cm}^2$ )
- $n = 3550\text{rpm}$  (ver p.77 ).

Substituindo esses valores na Equação 84, a nova rotação das bombas deverá ser de 3380rpm, ou seja, 4,8% de redução em relação à rotação atual (3550rpm).

Como o cenário 2 não está em operação, não é possível traçar esse paralelo entre o real e o desejado.

#### 4.11.2. Alteração no Diâmetro do Rotor

Conforme apresentado em 2.4.5.2, a altura manométrica varia com o quadrado da diâmetro:

$$H_{man1} = \left(\frac{d_1}{d}\right)^2 \times H_{man}$$

Equação 85

Sendo que o índice 1 representa a bomba após a variação na rotação.

Para o Cenário 1 tem-se  $H_{man1} = 899\text{m}$ ,  $H_{man} = 992\text{m}$  e  $d = 260\text{mm}$  (ver p.77 ).

Substituindo esses valores na Equação 93, o novo diâmetro do rotor da bomba deverá ser de 247mm.

Em contato com o fabricante da bomba, foi verificado que o diâmetro comercial de rotor fabricado para esse equipamento mais próximo do valor calculado é 250mm. Sendo assim, o rotor deverá ser usinado até atingir o diâmetro desejado.

## 5. CONCLUSÕES

Inicialmente fez-se um vasto apanhado de informações. Foram levantados desenhos de tubulação, dados de pressão, vazão e temperatura, folha de dados de equipamentos e instrumentos, especificação de material das tubulações. Com esse estudo foi possível ver o quão complexa é a rede de dados de um sistema e como todos os documentos relacionam-se entre si. Por isso é tão importante manter um padrão único de codificação, como é feito com os *tags*, por exemplo, para possibilitar o intercâmbio de informações entre diversos documentos.

O balanço de massa possibilitou determinar quais deveriam ser as vazões de descarga das bombas nos cenários 1 e 2,  $281,64\text{m}^3/\text{h}$  e  $464,30\text{m}^3/\text{h}$ , respectivamente. Para 2 bombas operando em paralelo, a vazão máxima que pode ser recalçada é  $437,1\text{m}^3/\text{h}$ , o que atende ao Cenário 1. Entretanto, para o Cenário 2, será necessário por em operação uma 3ª bomba. Recomenda-se que essa nova bomba seja semelhante às que já se encontram instaladas na unidade.

Os valores dos balanços de massa calculados foram validados com a operação da REGAP e apresentaram valores compatíveis com o real. Isso mostra que os dados coletados do PI representam bem a realidade, além do mais, indica que as ramificações que foram desconsideradas na seção 4.1 realmente possuíam vazões inexpressivas.

A partir do balanço de massa calculou-se a velocidade de escoamento do fluido, a qual variou bastante ao longo do trajeto, com valores que vão de 0,56 a 3,84m/s.

O cálculo do número de Reynolds comprovou que o durante todo o percurso o escoamento não apresentou perfil laminar.

Conforme informado pela operação da REGAP, apesar dos tubos não serem recém instalados, eles apresentam aspecto de novo e, portanto, o cálculo da perda de carga foi feito sob essa perspectiva.

Pelo balanço de energia calculou-se a pressão que deveria ser praticada na descarga das bombas para cada um dos cenários.

Conforme apresentado na seção 3.2 – Tabela 9, a pressão no *header* de descarga das bombas é de 92kgf/cm<sup>2</sup>. Pelos cálculos realizados na seção 4.9, conclui-se que 83,4kgf/cm<sup>2</sup> atendem satisfatoriamente o sistema. Ou seja, o fluido está sendo pressurizado 4,9% acima do desejado. Nessa mesma seção, calculou-se qual será a demanda energética quando as unidades 221 e 309 entrarem em operação. O valor encontrado para a pressão foi de 94kgf/cm<sup>2</sup>.

A curva das bombas associadas mostrou que, quando associadas em paralelo, as bombas conseguem recalcar o dobro da vazão para uma mesma altura manométrica. Esse arranjo é extremamente interessante, pois além de aumentar a vazão torna o sistema mais flexível, possibilitando a colocação ou retirada dos equipamentos sem interromper o funcionamento do sistema. A unidade de Utilidades trabalha com duas bomba operando e outras duas em reserva, para garantir a disponibilidade desse sistema. Por isso, quando for instalada a bomba que irá atender ao cenário 2, sugere-se que sejam adquiridas 2 bombas, para que uma sempre fique de reserva da outra.

Plotando a curva das bombas juntamente com a curva do sistema foi possível determinar o ponto de operação por meio da interseção das curvas.

Para o Cenário 1, o ponto de operação apresenta uma altura manométrica de 960m, isto é 89,5kgf/cm<sup>2</sup>. O valor calculado foi de 83,4kgf/cm<sup>2</sup> e o valor medido em campo foi 92kgf/cm<sup>2</sup>. Ou seja, a pressão praticada em campo está acima do ponto de operação e do valor necessário para atender a todos os clientes.

Para ajustar essa pressão, pode-se variar a velocidade de rotação do rotor. Atualmente o valor praticado é de 3550rpm, podendo ser reduzido a 3380rpm, ou seja, 4,8% de redução. Outra opção é reduzir o diâmetro do rotor de 260mm para 247mm.

A redução do diâmetro do rotor é uma solução simples que pode ser feita durante uma parada programada para manutenção de alguma dessas bombas. Como a unidade possui 2 bombas reservas, é possível fazer essa intervenção sem parar de operar o sistema.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, Djalma Francisco. Instalações elevatórias: bombas. 5. ed. Belo Horizonte: PUC-MG: FUMARC, 1992. 355p.

CENGEL, Y. A. CIMBALA, J. M. Mecânica dos Fluidos – Fundamentos e Aplicações. 1ª Ed McGraw-Hill Companies, 2007.

Comissão de Normalização Técnica – CONTEC. N-1522: Identificação de Tubulações Industriais. Rio de Janeiro, 2009. 24 p.

Comissão de Normalização Técnica – CONTEC. N-1692: Apresentação de Projetos de Detalhamento de Tubulação. Rio de Janeiro, 2004. 27 p.

CRANE, CO. Flow of Fluids, Through Valves, Fittings and Pipes. 25ª Ed. Chicago. 1982. 128 p.

FOX, Robert W., McDONALD, Alan T., PRITCHARD, Philip J. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 6ª Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2006. 797 p.

<http://www.chemicallogic.com/index.html>; último acesso em outubro, 2011.

<http://guiadobulicosodasgalaxias.wordpress.com/2009/09/19/hidraulica-basica-conclusao> - Guia de Hidráulica - último acesso em julho, 2011

<http://www.scribd.com/doc/15673340/Apostila-de-Bombas>, último acesso em agosto, 2010.

<http://www.smvvalv.com.br/site/home.php> - SMN Válvulas - último acesso em outubro, 2011.

HOLLAND, F. A; BRAGG, R. Fluid flow for chemical engineers. 2ª Ed. London: Edward Arnold, 1995. 358p.

KREITH, F.; BERGER, S.A.; *et. al.* Mechanical Engineering Handbook: Fluid Mechanics. Ed. Frank Kreith, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 208 p.

LADEIRA, Bruno A. M., CRISTO, Helder P., OLIVEIRA, Marcelo S., CARVALHO, Mateus A., Relatório do vivencial realizado na *REGAP*, 2006, 137p. (monografia)  
– Universidade Petrobras - Curso de Engenharia de Processamento de Petróleo

MATOS, Edson E., FALCO, Reinaldo. *Bombas Industriais*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 474 p.

MONACHESI, Marcelo G., *Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 272p.

NETTO, José M. Azevedo. *Manual de Hidráulica*, 6ª Ed. São Paulo: EDGARD BLUCHER, 1973. 225 p.

TELLES, Pedro C. Silva. *Tubulações Industriais: Cálculo*. 9ª Ed. São Paulo: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2006. 163 p.

TELLES, Pedro C. Silva. *Tubulações Industriais: Materiais, Projeto, Montagem*. 10ª Ed. São Paulo: Cromossete Gráfica e Editora Ltda, 2003. 252 p.

VALVE HANDBOOK: Downloaded from Digital Engineering Library @ McGraw-Hill ([www.digitalengineeringlibrary.com](http://www.digitalengineeringlibrary.com)) Copyright © 2004 The McGraw-Hill Companies

WELTY, James R., WICKS, Charles E., WILSON, Robert E., RORRER, Gregory L. *Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer*. 4ª Ed. – . New York: John Wiley, 2001. 759p.

## Anexo A – Componentes de Tubulação

Tag: 6"-121-BW-48-I

De: 121-P-01B

Para: 8"-121-bw-46-I

L<sub>eq</sub>: 20669,41

Z<sub>1</sub>: 101851

Z<sub>2</sub>: 105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-0121-BW-048 E	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-048 E	TUBO	4	266	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-048 E	REDUÇÃO	6		2440
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	665	
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		1930
IS-0121-BW-048 E	VÁLVULA DE RETENÇÃO	6		110
IS-0121-BW-048 E	VÁLVULA GAVETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1100	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	565	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	2089	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1935	
IS-0121-BW-048 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-048 E	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-048 E	PLACA DE ORIFÍCIO	6	0,41	
IS-0121-BW-048 E	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1065	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340

IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1845	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1084	
IS-0121-BW-048 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-048 E	TUBO	6	1055	

Tag: 6"-121-BW-49-I

De: 121-P-01A

Para: 121-P-01C

L<sub>eq</sub> 20669,41

Z<sub>1</sub> 101851

Z<sub>2</sub> 105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		pol	Tubo	Equivalente
				0
IS-0121-BW-049 D	FLANGE	4		
IS-0121-BW-049 D	TUBO	4	266	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-049 D	REDUÇÃO	6		2440
IS-0121-BW-049 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	665	
IS-0121-BW-049 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-049 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	VÁLVULA DE RETENÇÃO	6		1930
IS-0121-BW-049 D	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1100	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	565	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	2089	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1935	
IS-0121-BW-049 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340

IS-0121-BW-049 D	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-049 D	PLACA DE ORIFÍCIO	6	0,41	
IS-0121-BW-049 D	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1065	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1845	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1084	
IS-0121-BW-049 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-049 D	TUBO	6	1055	

Tag: 6"-121-BW-50-I

De: 121-P-01A

Para: 121-P-01D

$L_{eq}$  20669,41

$Z_1$  101851

$Z_2$  105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Tubo
REG-				Equivalentes
IS-0121-BW-050 D	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-050 D	TUBO	4	266	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-050 D	REDUÇÃO	6		2440
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	665	
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	VÁLVULA DE RETENÇÃO	6		1930
IS-0121-BW-050 D	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1100	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	565	

IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	2089	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1935	
IS-0121-BW-050 D	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-050 D	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-050 D	PLACA DE ORIFÍCIO	6	0,41	
IS-0121-BW-050 D	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1065	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1845	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1084	
IS-0121-BW-050 D	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-050 D	TUBO	6	1055	

Tag: 8"-121-BW-46-I

De: 6"-121-bw-47, 48, 49, 50

Para: unidades processo

L<sub>eq</sub> 49475

Z<sub>1</sub> 101558

Z<sub>2</sub> 105119,00

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)		
			REG-	pol	Tubo
121-20-04	Tubo	8		2987	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8			430
121-20-04	Tubo	8		661	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8			430
121-20-04	Tubo	8		4276	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8			430
121-20-04	Tubo	8		10231	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8			430
121-20-04	Tubo	8		4770	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8			430

121-20-04	Tubo	8	344	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	Tubo	8	4876	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	Tubo	8	4138	
121-20-04	VÁLVULA GAVETA	8		140
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	Tubo	8	1174	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	Tubo	8	5043	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	Tubo	8	755	
121-20-04	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
121-20-04	TUBO	8	1690	
121-20-04	REDUÇÃO	8		3660

Tag: 6"-121-BW-47-I

De: 121-P-01A

L<sub>eq</sub> 20629,41

Z<sub>1</sub> 101851

Z<sub>2</sub> 105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro (pol)		Comprimento (mm)	
		Externo	Tubo	Equivalente	
REG-					0
IS-0121-BW-047 E	FLANGE	4			
IS-0121-BW-047 E	TUBO	4	266		
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-047 E	REDUÇÃO	6			2440,00
IS-0121-BW-047 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6			340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	665		
IS-0121-BW-047 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6			340
IS-0121-BW-047 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6			340
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6			340

IS-0121-BW-047 E	VÁLVULA DE RETENÇÃO	6		1930
IS-0121-BW-047 E	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1100	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	565	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	2089	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1935	
IS-0121-BW-047 E	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		300
IS-0121-BW-047 E	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-047 E	PLACA DE ORIFÍCIO	6	0,41	
IS-0121-BW-047 E	FLANGE	6		0
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1065	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1845	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1084	
IS-0121-BW-047 E	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-047 E	TUBO	6	1055	

Tag: 4"-121-BW-46-E

De: 6"-121-bw-47, 48, 49, 50

Para: unidades processo

L<sub>eq</sub> 17869,11

z<sub>1</sub> 5119,00

z<sub>2</sub> 400,00

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-121-20-04	Tubo	4	3365	
121-20-05	TUBO	4	9505	
121-20-05	FLANGE DE ORIFÍCIO	4	0,11	
121-20-05	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
121-20-05	TUBO	4	4719	
121-20-05	VÁLVULA GAVETA	4		70



Tag: 6"-121-BW-58-I

De: 8"-121-bw-46-I

Para: 121-E6-A

L<sub>eq</sub> 34582

Z<sub>1</sub> 105229

Z<sub>2</sub> 101558

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	475	
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	6516	
IS-0121-BW-058 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	501	
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	9517	
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	4070	
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-058 I	TUBO	6	5763	
IS-0121-BW-058 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-058 I	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-058 I	REDUÇÃO	8		3660
IS-0121-BW-058 I	CURVA 45°	8		300
IS-0121-BW-058 I	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-0121-BW-058 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-0121-BW-058 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-0121-BW-058 I	FLANGE	8		0

Tag: 6"-121-BW-60-I

De: 8"-121-bw-46-I

Para: 121-E6-B

L<sub>eq</sub> 37546

Z<sub>1</sub> 105229

Z<sub>2</sub> 101558

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	475	
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	6516	
IS-0121-BW-060 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	501	
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	13117	
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	4070	
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-060 I	TUBO	6	5127	
IS-0121-BW-060 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-060 I	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-060 I	REDUÇÃO	8		3660
IS-0121-BW-060 I	CURVA 45°	8		300
IS-0121-BW-060 I	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-0121-BW-060 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-0121-BW-060 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-0121-BW-060 I	FLANGE	8		0

Tag: 6"-121-BW-61-I

De: 121-E6-A

Para: 8"-121-BW-63-I

L<sub>eq</sub> 33542

Z<sub>1</sub> 101550

Z<sub>2</sub> 105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
IS-0121-BW-061 I	FLANGE	8		0
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-0121-BW-061 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-0121-BW-061 I	CURVA 45°	8		300
IS-0121-BW-061 I	REDUÇÃO	8		3660
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	6930	
IS-0121-BW-061 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-061 I	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-0121-BW-061 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-061 I	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-061 I	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	5152	
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	6483	
IS-0121-BW-061 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	699	
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	4835	
IS-0121-BW-061 I	CURVA 45°	6		230
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6	1103	
IS-0121-BW-061 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-0121-BW-061 I	TUBO	6		

Tag: 6"-121-BW-62-I

De: 121-E6-B

Para: 8"-121-BW-63-I

L<sub>eq</sub> 37361

Z<sub>1</sub> 101550

Z<sub>2</sub> 106229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro			Comprimento (mm)	
		pol	Tubo	Equivalente		
IS-0121-BW-062 I	FLANGE	8				0
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	8				430
IS-0121-BW-062 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	8				430
IS-0121-BW-062 I	CURVA 45°	8				300
IS-0121-BW-062 I	REDUÇÃO	8				3660
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	6575			
IS-0121-BW-062 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6				340
IS-0121-BW-062 I	VÁLVULA GAVETA	6				110
IS-0121-BW-062 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6				340
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	2283			
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	5152			
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	7800			
IS-0121-BW-062 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	6				340
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	699			
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	4982			
IS-0121-BW-062 I	CURVA 45°	6				230
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	895			
IS-0121-BW-062 I	CURVA 90°RAIO LONGO	6				340
IS-0121-BW-062 I	TUBO	6	755			

Tag: 8"-121-BW-63-I  
 De: 121-BW-61 E 62 I  
 Para: 4"-121-64-I  
 L<sub>eq</sub> 0  
 Z<sub>1</sub> 106229  
 Z<sub>2</sub> 106229

peelo fluxograma reg-121-30-04 pode considerar que logo após as linhas 121-bw-61 e 62 I descarregarem na 8"-121-bw-63-I, ela descarrega na 6"-121-BW-64 I, portanto, não é necessário contabilizar nenhum componente para esta tubulação, neste trecho.

Tag: 4"-121-BW-64-I(1)

De: 8"-121-BW-63-I  
 Para: 121-F01-A  
 L<sub>eq</sub> 51973  
 Z<sub>1</sub> 105229  
 Z<sub>2</sub> 110784

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	448	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	800	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	3802	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1180	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	2109	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	6500	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	708	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	216	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	9629	

IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	3799	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1200	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	600	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	774	
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4		70
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	745	
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	3		2600
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4		70
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	950	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	560	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1363	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1043	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1382	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	995	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	4		3400

Tag: 4"-121-BW-64-I(2)

De: 8"-121-BW-63-I

Para: 121-F01-B  
 L<sub>eq</sub> 50792,9  
 Z<sub>1</sub> 105229  
 Z<sub>2</sub> 110798

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)		
			REG-	pol	Tubo
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		448	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		800	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		3802	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		1180	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		2109	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		6500	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	PLACA DE ORIFÍCIO	4		1,9	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		708	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		216	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4			0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		9629	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		3813	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		1200	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		600	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4			210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4		774	
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4			70

IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	745	
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	3		2600
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4		70
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	950	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	560	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	660	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1043	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1382	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	292	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	4		3400

Tag: 4"-121-BW-64-I(3)

De: 8"-121-BW-63-I

Para: 121-F01-C

L<sub>eq</sub> 51974,9

Z<sub>1</sub> 105229

Z<sub>2</sub> 110784

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	448	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210



IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	800	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	3802	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1180	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	2109	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	6500	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	PLACA DE ORIFÍCIO	4	1,9	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	708	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	216	
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	4		0
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	9629	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	3799	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1200	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	600	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	774	
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4		70
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	745	
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	3		2600
IS-0121-BW-064 I	FLANGE	3		0
IS-0121-BW-064 I	REDUÇÃO	4		1520
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GAVETA	4		70

IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	950	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	560	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1363	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1043	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	1382	
IS-0121-BW-064 I	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-0121-BW-064 I	TUBO	4	995	
IS-0121-BW-064 I	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-0121-BW-064 I	VÁLVULA GLOBO	4		3400

Tag: 4"-21-BFW-2001-271(1)

De: 4"-121-BW-46-E  
 3"-21-BW-4027, 1 1/2"-21-BFW-2011-Fb e  
 Para: 4"-21-BFW-2001-271  
 L<sub>eq</sub> 17487,28  
 Z<sub>1</sub> 832400  
 Z<sub>2</sub> 826143

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)		
			REG-	pol	Tubo
028-20-263	TUBO	4		4719	
028-20-263	VÁLVULA GAVETA	4			70
028-20-263	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
028-20-263	TUBO	4		8723,12	
028-20-263	TÊ PASSAGEM DIRETA	4			210
028-20-263	VÁLVULA GAVETA	4			70
028-20-263	TÊ PASSAGEM DIRETA	4			210
028-20-263	TUBO	4		857,16	
028-20-263	CURVA 90°RAIO LONGO	4			210
028-20-263	TUBO	4		1538	
028-20-263	TÊ SAÍDA BILATERAL	4			670

Tag: 3"-21-BW-4027-Fb

De: 4"-21-BFW-2001-271  
 Para: 3"-210-BW-620  
 L<sub>eq</sub> 1112825,00  
 Z<sub>1</sub> 831329  
 Z<sub>2</sub> 833039

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)		
			REG-	pol	Tubo
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		238	
IS-21-BW-4027_FL1	VÁLVULA GAVETA	3			50
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		2380	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3			160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		1131	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3			160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		7399	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3			160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		1545	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3			160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3		42862	

IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	1910	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	506	
IS-21-BW-4027_FL1	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	7691	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	5005	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	7991	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	1894	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	44447	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	1532	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	3892	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL1	TUBO	3	989	
IS-21-BW-4027_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	28175	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	6573	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	81408	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	1514	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	5331	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	1072	
IS-21-BW-4027_FL2	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	1144	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	5250	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	1525	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	32956	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	1507	
IS-21-BW-4027_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL2	TUBO	3	11562	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160

IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	2053	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	17800	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 45°	3		120
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	1789	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 45°	3		120
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	2492	
IS-21-BW-4027_FL3	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	2441	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	3998	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	28155	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	1483	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	6003	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	5980	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	2708	
IS-21-BW-4027_FL3	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	3293	
IS-21-BW-4027_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL3	TUBO	3	1372	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	53998	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	1500	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	3187	
IS-21-BW-4027_FL4	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	2420	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	6059	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	5656	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	1497	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	63972	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	1489	
IS-21-BW-4027_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	3655	

IS-21-BW-4027_FL4	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL4	TUBO	3	2330	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	6006	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	6068	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	1602	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	72611	
IS-21-BW-4027_FL5	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	913	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	6253	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	85590	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	6180	
IS-21-BW-4027_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL5	TUBO	3	87862	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	1775	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	6282	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	7372	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	6325	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	1521	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	60236	
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	2157	
IS-21-BW-4027_FL6	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	6192	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	2516	
IS-21-BW-4027_FL6	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL6	TUBO	3	70280	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	1597	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	5027	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	3320	

IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	2670	
IS-21-BW-4027_FL7	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	2357	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	1596	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	5046	
IS-21-BW-4027_FL7	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	74903	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	1569	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	28259	
IS-21-BW-4027_FL7	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	383	
IS-21-BW-4027_FL7	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-21-BW-4027_FL7	TUBO	3	1258	
IS-21-BW-4027_FL7	VÁLVULA GAVETA	3		50

Tag: 3"-210-BW-620-Fb

De: 3"-21-BW-4027-Fb

Para: 3"-209-BW-199-Fb

L<sub>eq</sub> 118632

Z<sub>1</sub> 832606

Z<sub>2</sub> 840231

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-210-BW-620-FL01	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-210-BW-620-FL01	FLANGE	3		0
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	185	
IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	186	
IS-210-BW-620-FL01	FLANGE	3		0
IS-210-BW-620-FL01	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-210-BW-620-FL01	FLANGE	3		0
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	185	
IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	546	

IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	150	
IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	120	
IS-210-BW-620-FL01	REDUÇÃO	4		1520
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	4	75	
IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	4	75	
IS-210-BW-620-FL01	REDUÇÃO	4		1520
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	120	
IS-210-BW-620-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	1890	
IS-210-BW-620-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-210-BW-620-FL01	TUBO	3	114	
IS-210-BW-620-FL01	DESNÍVEL	3	7539	
IS-210-BW-620-FL09	TUBO	3	481	
IS-210-BW-620-FL09	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-210-BW-620-FL09	TUBO	3	51019	
IS-210-BW-620-FL10	TUBO	3	50871	
IS-210-BW-620-FL10	TÊ SAÍDA LATERAL	3		520
IS-210-BW-620-FL10	TUBO	3	86	

Tag: 3"-209-BW-199-Fb

De: 3"-210-BW-620

Para: 3"-209-BW-200-Fb

L<sub>eq</sub> 71770

Z<sub>1</sub> 840231

Z<sub>2</sub> 832625

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Tubo
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	884	
IS-209-BW-199-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	7015	
IS-209-BW-199-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	250	
IS-209-BW-199-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160



IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	989	
IS-209-BW-199-FL01	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL01	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-199-FL01	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	209	
IS-209-BW-199-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	350	
IS-209-BW-199-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	9549	
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	6297	
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3		
IS-209-BW-199-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL01	TUBO	3	5703	
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	12000	
IS-209-BW-199-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	12116	
IS-209-BW-199-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	1000	
IS-209-BW-199-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	4220	
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3		
IS-209-BW-199-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	4345	
IS-209-BW-199-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL02	TUBO	3	537	
IS-209-BW-199-FL02	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL03	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-199-FL03	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-199-FL03	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL03	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-199-FL03	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL03	TUBO	3	222	
IS-209-BW-199-FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-199-FL03	TUBO	3	94	
IS-209-BW-199-FL03	REDUÇÃO	3		1160

IS-209-BW-199-FL03	FLANGE	3		0
IS-209-BW-199-FL03	VÁLVULA GLOBO	3		2600
IS-209-BW-199-FL03	FLANGE	3		0

Tag: 3"-209-BW-200-Fb

De: 3"-209-BW-199-Fb

Para: 209-E-04

L<sub>eq</sub> 19060

Z<sub>1</sub> 832625

Z<sub>2</sub> 833320

Doc REG-	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-209-BW-200-FL04	REDUÇÃO	3		1160
IS-209-BW-200-FL04	TUBO	3	91	
IS-209-BW-200-FL04	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL04	TUBO	3	219	
IS-209-BW-200-FL04	FLANGE	3		0
IS-209-BW-200-FL04	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-200-FL04	FLANGE	3		0
IS-209-BW-200-FL04	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-200-FL04	FLANGE	3		0
IS-209-BW-200-FL04	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-200-FL04	FLANGE	3		0
IS-209-BW-200-FL04	TUBO	3	535	
IS-209-BW-200-FL04	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL04	TUBO	3	86	
IS-209-BW-200-FL03	TUBO	3	88	
IS-209-BW-200-FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL03	TUBO	3	421	
IS-209-BW-200-FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-200-FL03	TUBO	3	6000	
IS-209-BW-200-FL03	TUBO	3	4050	
IS-209-BW-200-FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL03	TUBO	3	250	
IS-209-BW-200-FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	400	
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	800	

IS-209-BW-200-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	210	
IS-209-BW-200-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	310	
IS-209-BW-200-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	700	
IS-209-BW-200-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-200-FL01	TUBO	3	360	
IS-209-BW-200-FL01	REDUÇÃO	4		1520
IS-209-BW-200-FL01	FLANGE	4		0

Tag: 3"-209-BW-201-Fb

De: 209-E-04

Para: 3"-209-BW-202-Ef

$L_{eq}$  70855,09

$Z_1$  834560

$Z_2$  828100

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Tubo
IS-209-BW-201-FL03	FLANGE	4		0
IS-209-BW-201-FL03	TUBO	4	200	
IS-209-BW-201-FL03	TUBO	4	208	
IS-209-BW-201-FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-209-BW-201-FL03	TUBO	4	75	
IS-209-BW-201-FL03	REDUÇÃO	4		1520
IS-209-BW-201-FL03	TUBO	3	70	
IS-209-BW-201-FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-201-FL03	TUBO	3	335	
IS-209-BW-201-FL03	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-209-BW-201-FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL02	TUBO	3	976	
IS-209-BW-201-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-201-FL02	TUBO	3	134	
IS-209-BW-201-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL02	TUBO	3	1160	
IS-209-BW-201-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160

IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	500	
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	10824	
IS-209-BW-201-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	134	
IS-209-BW-201-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	3750	
IS-209-BW-201-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	4106	
IS-209-BW-201-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	1000	
IS-209-BW-201-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	7260	
IS-209-BW-201-FL01	TUBO	3	12000	
209-20-20	TUBO	3	4600	
209-20-20	FLANGE	3		0
209-20-20	VÁLVULA DE RETENÇÃO	3		970
209-20-20	FLANGE	3		0
209-20-20	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
209-20-20	TUBO	3	1000	
209-20-20	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
209-20-20	TUBO	3	9070	
209-20-20	TUBO	3	6099,75	
209-20-20	FLANGE	3		0
209-20-20	PLACA DE ORIFÍCIO	3	0,55	
209-20-20	FLANGE	3		0
209-20-20	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
209-20-19	TUBO	3	1115	
209-20-19	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
209-20-19	TUBO	3	1087,7875	
209-20-19	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160

Tag: 3"-209-BW-202-Fb

De: 3"-209-BW-201-Fb

Para: 209-V-03

L<sub>eq</sub> 37116,71

Z<sub>1</sub> 828100

Z<sub>2</sub> 838000

Doc REG-	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
		pol	Tubo	Equivalente
209-20-16	TUBO	3	1000	
209-20-16	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
209-20-16	REDUÇÃO	3		1160
209-20-16	VÁLVULA GAVETA	2		400
209-20-16	VÁLVULA GAVETA	2		400
209-20-16	REDUÇÃO	2		670
209-20-16	VÁLVULA GLOBO	1 1/2		
209-20-16	REDUÇÃO	2		670
209-20-16	VÁLVULA GAVETA	2		400
209-20-16	VÁLVULA GAVETA	2		400
209-20-16	REDUÇÃO	3		1160
209-20-16	TUBO	3	21750	
209-20-18	TUBO	3	949,9625	
209-20-18	TUBO	3	4000	
209-20-18	VÁLVULA GAVETA	3		50
209-20-22	TUBO	3	3946,75	

Tag: 4"-21-BFW-2001-271(2)

De: 4"-21-BFW-2001-271

Para: LB - 4"-21-BFW-2001-271

L<sub>eq</sub> 522674,02

Z<sub>1</sub> 830862

Z<sub>2</sub> 833500

Doc REG-	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
		pol	Tubo	Equivalente
028-20-263	TUBO	4	44701,02	
028-20-261	TUBO	4	2049	
028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	2166,666667	

028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	15075	
028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	2166,666667	
028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	2045	
028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	2166,666667	
028-20-261	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-261	TUBO	4	56340	
028-20-262	TUBO	4	31700	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	1000	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	11265	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	6040	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	11265	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	1000	
028-20-262	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-262	TUBO	4	21700	
028-20-265	TUBO	4	26600	
028-20-274	TUBO	4	46795	
028-20-274	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
028-20-274	TUBO	4	13511	
028-20-275	TUBO	4	65000	
028-20-276	TUBO	4	1500	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1000	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1003	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1000	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	9472	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	5779	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	9210	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1000	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1214	

028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	1000	
028-20-276	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
028-20-276	TUBO	4	54184	
028-20-277	TUBO	4	49834	
028-20-277	TÊ SAÍDA LATERAL	4		670
028-20-277	TUBO	3	2185	
028-20-277	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
028-20-277	TUBO	3	2185	
028-20-277	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
028-20-277	TUBO	3	13702	

Tag: 3"-103-BW-001-271

De: LB - 3"-21-BFW-2001-271

Para: 103-E-01

L<sub>eq</sub> 124643,5

Z<sub>1</sub> 12398

Z<sub>2</sub> 16600

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-103-BFW-01_FL01	FLANGE	3		0
IS-103-BFW-01_FL01	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-103-BFW-01_FL01	FLANGE	3	2049	0
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	165	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	150	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	150	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	280	
IS-103-BFW-01_FL01	REDUÇÃO	4		1520
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	4	280	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	4		210
IS-103-BFW-01_FL01	REDUÇÃO	4		1520
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	280	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 45°	3		120



IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 45°	3		120
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	15850	
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 45°	3		120
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	382	
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	2850	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	4500	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	200	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	800	
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	1380	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	3620	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	5000	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	1550	
IS-103-BFW-01_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	800	
IS-103-BFW-01_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL01	TUBO	3	1320	
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	3	1000	
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	4		1520
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	4	3791	
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	4		0
IS-103-BFW-01_FL02	PLACA DE ORIFÍCIO	4	0,5	
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	4		0

IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	4	700	
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	4		1520
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	615	
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	774	
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	830	
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	463	
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	2		0
IS-103-BFW-01_FL02	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	2		0
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	341	
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	2		670
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	1 1/2		
IS-103-BFW-01_FL02	VÁLVULA GLOBO	1 1/2		
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	1 1/2		
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	2		670
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	2	338	
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	2		0
IS-103-BFW-01_FL02	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	2		0
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	3		1160
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	6		2440
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	6	100	
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	6	100	
IS-103-BFW-01_FL02	REDUÇÃO	6		2440

IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	3		0
IS-103-BFW-01_FL02	VÁLVULA RETENÇÃO	3		
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	3		0
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	3	380	
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	3		0
IS-103-BFW-01_FL02	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	3		0
IS-103-BFW-01_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	3	1389	
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	3	1500	
IS-103-BFW-01_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-103-BFW-01_FL02	TUBO	3	596	
IS-103-BFW-01_FL02	FLANGE	3		0

Tag: 1,5"-21-BFW-2011-Fb

De: 4"-21-BFW-2001-271

Para: LB 1 1/2"-52-BFW-310-Fb

L<sub>eq</sub> 1395470

Z<sub>1</sub> 831624

Z<sub>2</sub> 823963

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-0021-BW-2011_FL01	TUBO	2	100	
IS-0021-BW-2011_FL01	TUBO	1 1/2	1100	
IS-0021-BW-2011_FL01	TUBO	1 1/2	130700	
IS-0021-BW-2011_FL01	REDUÇÃO	2		670
IS-0021-BW-2011_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL01	CURVA 45°	1 1/2		600
IS-0021-BW-2011_FL01	FLANGE	2		0
IS-0021-BW-2011_FL01	FLANGE	2		0
IS-0021-BW-2011_FL02	TUBO	1 1/2	165300	
IS-0021-BW-2011_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL03	TUBO	1 1/2	166100	
IS-0021-BW-2011_FL03	CURVA 45°	1 1/2		600
IS-0021-BW-2011_FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL04	TUBO	1 1/2	223000	
IS-0021-BW-2011_FL04	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL04	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL05	TUBO	1 1/2	117200	
IS-0021-BW-2011_FL05	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL05	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL05	CURVA 45°	1 1/2		600
IS-0021-BW-2011_FL06	TUBO	1 1/2	200800	
IS-0021-BW-2011_FL06	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL06	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL07	TUBO	1 1/2	92700	

IS-0021-BW-2011_FL07	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL07	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL08	TUBO	1 1/2	137200	
IS-0021-BW-2011_FL08	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL08	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL09	TUBO	1 1/2	145300	
IS-0021-BW-2011_FL09	TÊ PASSAGEM DIRETA	1 1/2		900
IS-0021-BW-2011_FL09	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900

Tag: 1,5"-52-BFW-310-Fb

De: LB 1 1/2"-52-BFW-310-Fb

Para: 1"-52-BFW-311-FB

L<sub>eq</sub> 205105,9

Z<sub>1</sub> 822764

Z<sub>2</sub> 832354

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-52-BFW-310_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	2365	
IS-52-BFW-310_FL1	VÁLVULA GAVETA	1 1/2		300
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	212	
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	245	
IS-52-BFW-310_FL1	TÊ DE PASSAGEM PLENA	1 1/2		
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	137	
IS-52-BFW-310_FL1	TÊ DE PASSAGEM PLENA	1 1/2		
IS-52-BFW-310_FL1	REDUÇÃO	3		
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	3	405	
IS-52-BFW-310_FL1	TÊ DE PASSAGEM PLENA	3		
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	3	407	
IS-52-BFW-310_FL1	REDUÇÃO	3		
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	814	
IS-52-BFW-310_FL1	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL1	TUBO	1 1/2	8226	

IS-52-BFW-310_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL2	REDUÇÃO	2		
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	2	4561	
IS-52-BFW-310_FL2	FLANGE DE ORIFÍCIO	2	1,9	
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	2	1005	
IS-52-BFW-310_FL2	REDUÇÃO	2		
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	1 1/2	1462	
IS-52-BFW-310_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	1 1/2	2555	
IS-52-BFW-310_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	1 1/2	6435	
IS-52-BFW-310_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL2	TUBO	1 1/2	1223	
IS-52-BFW-310_FL2	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL3	TUBO	1 1/2	28001	
IS-52-BFW-310_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL3	TUBO	1 1/2	1248	
IS-52-BFW-310_FL3	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL3	TUBO	1 1/2	2172	
IS-52-BFW-310_FL3	TÊ DE PASSAGEM PLENA	1 1/2		
IS-52-BFW-310_FL3	TUBO	1 1/2	66326	
IS-52-BFW-310_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	1275	
IS-52-BFW-310_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	36160	
IS-52-BFW-310_FL4	TÊ DE PASSAGEM PLENA	1 1/2		
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	718	
IS-52-BFW-310_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	1258	
IS-52-BFW-310_FL4	CURVA 90°RAIO LONGO	1 1/2		900
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	22583	
IS-52-BFW-310_FL4	TÊ DE PASSAGEM PLENA	1 1/2		
IS-52-BFW-310_FL4	TUBO	1 1/2	511	

IS-52-BFW-310_FL4	TÊ SAÍDA LATERAL	1 1/2		2800
-------------------	------------------	-------	--	------

Tag: 1"-52-BFW-311-Fb

De: 1 1/2"-52-BFW-310-Fb

Para: 1"-52-BFW-320-Fb

L<sub>eq</sub> 74036

Z<sub>1</sub> 832354

Z<sub>2</sub> 829899

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	1213	
IS-52-BFW-311_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	3641	
IS-52-BFW-311_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	2520	
IS-52-BFW-311_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	1152	
IS-52-BFW-311_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	2719	
IS-52-BFW-311_FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	408	
IS-52-BFW-311_FL01	VÁLVULA GAVETA	1		200
IS-52-BFW-311_FL01	TUBO	1	653	
IS-52-BFW-311_FL02	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	378	
IS-52-BFW-311_FL02	VÁLVULA GLOBO	1		8200
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	319	
IS-52-BFW-311_FL02	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	788	
IS-52-BFW-311_FL02	VÁLVULA GAVETA	1		200
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	149	
IS-52-BFW-311_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	151	
IS-52-BFW-311_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	588	
IS-52-BFW-311_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	2159	
IS-52-BFW-311_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL02	TUBO	1	231	
IS-52-BFW-311_FL02	CURVA 45°	1		400

IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	1622	
IS-52-BFW-311_FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	1249	
IS-52-BFW-311_FL03	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	6527	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	842	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	6396	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	1695	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	7177	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	709	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	7307	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-311_FL03	TUBO	1	343	
IS-52-BFW-311_FL03	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700

Tag: 1"-52-BFW-320-Fb

De: 1"-52-BFW-311-Fb

Para: 3"-52-P-007A-02-VA

L<sub>eq</sub> 34742,25

Z<sub>1</sub> 829926

Z<sub>2</sub> 825611

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1	1233	
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1	375	
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1	6563	
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1	5320	
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	REDUÇÃO	1/2		150
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TÊ SAÍDA LATERAL	1/2		100
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1/2	311	



IS-52-BFW-320-Fb_FL01	VÁLVULA GAVETA	1/2		100
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	TUBO	1/2	662	
IS-52-BFW-320-Fb_FL01	REDUÇÃO	1/2		150
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	413	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	637	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	253	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	VÁLVULA GAVETA	1		200
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	150	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	1		500
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	301	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	VÁLVULA GLOBO	1		8200
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	262	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	517	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	VÁLVULA GAVETA	1		200
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	300	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TÊ SAÍDA LATERAL	1		1700
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	TUBO	1	245	
IS-52-BFW-320-Fb_FL02	FLANGE DE ORIFÍCIO	1	0,25	

Tag: 8"-121-BW-4022-Fb

De: 8"-121-BW-46-I (TIE-IN 201)

Para: 8"-121-BW-4029

L<sub>eq</sub> 82859,9

Z<sub>1</sub> 103629

Z<sub>2</sub> 100960

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
IS-121-BW-4022-FL01	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	2784	
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	489	

IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	4900	
IS-121-BW-4022-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	2081	
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	4000	
IS-121-BW-4022-FL01	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL01	TUBO	8	3561	
IS-121-BW-4022-FL01	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	32060	
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	2320	
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	2330	
IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	PLACA DE ORIFÍCIO	8	1,9	
IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	5906	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 45°RAIO LONGO	8		
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	3974	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 45°RAIO LONGO	8		
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	1694	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	800	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	2100	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 45°RAIO LONGO	8		
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	849	
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 45°RAIO LONGO	8		
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	2437	
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	1000	
IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	FIGURA 8	8		
IS-121-BW-4022-FL02	VÁLVULA GAVETA	8		140
IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	500	
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	VÁLVULA GAVETA	8		140

IS-121-BW-4022-FL02	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4022-FL02	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4022-FL02	TUBO	8	193	

Tag: 8"-121-BW-4025-Fb

De: 8"-121-BW-46-I (TIE-IN 215)

Para: 8"-121-BW-4022

L<sub>eq</sub> 18351

Z<sub>1</sub> 103842

Z<sub>2</sub> 105229

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Equivalente
IS-121-BW-4025	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	3719	
IS-121-BW-4025	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	1862	
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	4665	
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	2500	
IS-121-BW-4025	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	1550	
IS-121-BW-4025	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4025	VÁLVULA GAVETA	8		140
IS-121-BW-4025	FLANGE	8		0
IS-121-BW-4025	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-121-BW-4025	TUBO	8	475	

Tag: 8"-21-BW-4029-Fb(1)

De: 8"-121-BW-4022-Fb

Para: 6"-221-BW-02-Fb

L<sub>eq</sub> 20349

Z<sub>1</sub> 831399

Z<sub>2</sub> 829329

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
IS-21-BW-4029_FL5	TUBO	8	2324	
IS-21-BW-4029_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_FL5	TUBO	8	12617	
IS-21-BW-4029_FL5	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_FL5	TUBO	8	936	
IS-21-BW-4029_FL5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_FL5	TUBO	8	1157	
IS-21-BW-4029_FL5	VÁLVULA GAVETA	8		140
IS-21-BW-4029_FL5	TUBO	8	1745	
IS-21-BW-4029_FL5	VÁLVULA GAVETA	8		140

Tag: 8"-21-BW-4029-Fb(2)

De: 8"-121-BW-4022-Fb

Para: 6"-221-BW-02-Fb

L<sub>eq</sub> 591287

Z<sub>1</sub> 833010

Z<sub>2</sub> 831399

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	14747	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	2289	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	51432	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	1299	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	6889	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430

IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	3950	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	6837	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	1319	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	51789	
IS-21-BW-4029_F1	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	753	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	1222	
IS-21-BW-4029_F1	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F1	TUBO	8	4339	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	1752	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	8021	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	3019	
IS-21-BW-4029_F2	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	3032	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	7999	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	1754	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	75821	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	3057	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F2	TUBO	8	10312	
IS-21-BW-4029_F2	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	25382	

IS-21-BW-4029_F3	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	1912	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	1044	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	652	
IS-21-BW-4029_F3	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	758	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	992	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	32587	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	1567	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	7997	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	1607	
IS-21-BW-4029_F3	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F3	TUBO	8	4426	
IS-21-BW-4029_F3	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	7718	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	1604	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	13888	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	1666	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	10959	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 45°	8		300
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	498	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 45°	8		300

IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	22854	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	4143	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	13189	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	1200	
IS-21-BW-4029_F4	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F4	TUBO	8	68932	
IS-21-BW-4029_F5	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	1071	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	1255	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	6218	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	2574	
IS-21-BW-4029_F5	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	2540	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	6254	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	1273	
IS-21-BW-4029_F5	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-21-BW-4029_F5	TUBO	8	62005	
IS-21-BW-4029_F5	TÊ PASSAGEM DIRETA	8		430

Tag: 6"-221-BW-02-Fb

De: 8"-121-BW-4029-Fb

Para: 221-F-01

$L_{eq}$  43575,9

$Z_1$  829206

$Z_2$  829703

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	FLANGE	8		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	CURVA 90°RAIO LONGO	8		430
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	REDUÇÃO	8		3660
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	200	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	756	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	1700	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	26716	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	200	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	400	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	400	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	600	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	2983	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	FLANGE	6		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	PLACA DE ORIFÍCIO	6	1,9	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	FLANGE	6		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	1252	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	200	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TÊ PASSAGEM DIRETA	6		340



IS-5250.00-5132-200-TZW-127	TUBO	6	567	
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	FLANGE	6		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	VÁLVULA GAVETA	6		110
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	FLANGE	6		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-127	221-F-01			0

Tag: 2"-221-BW-03-Fb

De: 6"-221-BW-O2-Fb

Para: 221-Z-19

$L_{eq}$  10385,9

$Z_1$  829103

$Z_2$  829663

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TUBO	2	278	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TUBO	2	3321	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	FLANGE	2		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	PLACA DE ORIFÍCIO	2	1,9	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	FLANGE	2		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TUBO	2	500	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TUBO	2	200	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TÊ PASSAGEM DIRETA	2		1100
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	TUBO	2	1225	
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	FLANGE	2		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	FLANGE	2		0
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	REDUÇÃO	3		1160
IS-5250.00-5132-200-TZW-128	FLANGE	3		0

Tag:

6"-021-BW-4027-Fb

De:

8"-021-BW-4029

171

Para:

3"-21-BW-4038-Fb

L<sub>eq</sub>

376183,7

Z<sub>1</sub>

887

Z<sub>2</sub>

70

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Tubo
DE-5250.00-6100-200-SPS-024	TUBO	6	10887	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	12900	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	2600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	6101	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	3541	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	6101	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	2600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	37513,6	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	3600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	CURVA 45°RAIO LONGO	6		
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	TUBO	6	2116	
DE-5250.00-6100-200-SPS-023	DESNÍVEL	6	3594	
REG-28-20-144	-	6		
REG-28-20-145	-	6		
REG-28-20-146	-	6		
REG-28-20-147	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
REG-28-20-147	TUBO	6	18817	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	44501	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	1600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	6721,5	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	6909	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	6722	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	1600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	TUBO	6	3904	
DE-5250.00-6100-200-SPS-042	DESNÍVEL	6	0	

DE-5250.00-6100-200-SPS-041	TUBO	6	55988,7	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	3160	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	1600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	6785	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	6960	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	1600	
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-040	TUBO	6	29380	
DE-5250.00-6100-200-SPS-039	TUBO	6	33328,4	
DE-5250.00-6100-200-SPS-039	CURVA 90°RAIO LONGO	6		340
DE-5250.00-6100-200-SPS-039	TUBO	6	16717,5	
DE-5250.00-6100-200-SPS-002	-	6		
DE-5250.00-6100-200-SPS-003	-	6		
DE-5250.00-6100-200-SPS-004	-	6		
DE-5250.00-6100-200-SPS-005	TUBO	6	27965	
DE-5250.00-6100-200-SPS-005	TUBO	3	2971	
DE-5250.00-6100-200-SPS-005	VÁLVULA GAVETA	3		50
DE-5250.00-6100-200-SPS-005	VÁLVULA GAVETA	3		50
DE-5250.00-6100-200-SPS-005	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160

Tag: 3"-309-BW-392

De: 6"-21-BW-4027-Fb

Para: 3I-309-BW-080-A54/1"-309-BW-264-A54

L<sub>eq</sub> 38836

Z<sub>1</sub> 839002

Z<sub>2</sub> 838645

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		pol	Tubo	Equivalente
IS-309-BW-392	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-309-BW-392	TUBO	3	307	
IS-309-BW-392	TUBO	3	200	
IS-309-BW-392	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-309-BW-392	TUBO	3	209	
IS-309-BW-392	TUBO	3	100	
IS-309-BW-392	TUBO	3	153	
IS-309-BW-392	TUBO	3	347	
IS-309-BW-392	TUBO	6	3648	
IS-309-BW-392	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-392	TUBO	3	100	
IS-309-BW-392	TUBO	3	1931	
IS-309-BW-392	TUBO	3	27511	
IS-309-BW-392	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-309-BW-392	TUBO	3	3750	
IS-309-BW-392	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160

Tag: 1"-309-BW-264-A54

De: 3"-209-BW-392-Fb

Para: 309-Z-07

L<sub>eq</sub> 3842

Z<sub>1</sub> 838574

Z<sub>2</sub> 837617

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	
		1	Tubo	Equivalente
IS-309-BW-264	TUBO	1	304	
IS-309-BW-264	TUBO	1	653	
IS-309-BW-264	CURVA 90°RAIO LONGO	1		500
IS-309-BW-264	TUBO	1	2385	

Tag: 3"-209-BW-80-A54

De: 6"-221-BW-O2-Fb

Para: 221-Z-19

L<sub>eq</sub> 16051

Z<sub>1</sub> 838559

Z<sub>2</sub> 832624

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			REG-	Equivalente
		pol	Tubo	
IS-309-BW-080	TUBO	3	914	
IS-309-BW-080	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-309-BW-080	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-080	TUBO	3	3425	
IS-309-BW-080	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-080	TUBO	3	2000	
IS-309-BW-080	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-080	TUBO	3	1245	
IS-309-BW-080	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-080	TUBO	3	1795	
IS-309-BW-080	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-309-BW-080	TUBO	3	258	
IS-309-BW-080	REDUÇÃO	3		1160
IS-309-BW-080	TUBO	2	304	
IS-309-BW-080	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-080	TUBO	2	380	
IS-309-BW-080	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-080	TUBO	2	278	
IS-309-BW-080	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-309-BW-080	TUBO	2	572	
IS-309-BW-080	REDUÇÃO	2		670
IS-309-BW-080	VÁLVULA GAVETA	1 1/2		300

Tag: 3"-209-BW-081-A54

De: 3"-209-BW-080-A54

Para: 4"-309-BW-207-A34

L<sub>eq</sub> 16629

Z<sub>1</sub> 832624

Z<sub>2</sub> 833472

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			Tubo	Equivalente
REG-		pol		
IS-309-BW-081	REDUÇÃO	2		670
IS-309-BW-081	TUBO	2	361	
IS-309-BW-081	TUBO	2	211	
IS-309-BW-081	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-309-BW-081	TUBO	2	462	
IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-081	TUBO	2	380	
IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-081	TUBO	2	209	
IS-309-BW-081	REDUÇÃO	3		1160
IS-309-BW-081	TUBO	3	169	
IS-309-BW-081	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-309-BW-081	TUBO	3	303	
IS-309-BW-081	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-081	TUBO	3	235	
IS-309-BW-081	TUBO	3	234	
IS-309-BW-081	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-081	TUBO	3	189	
IS-309-BW-081	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-309-BW-081	TUBO	3	258	
IS-309-BW-081	REDUÇÃO	3		1160
IS-309-BW-081	TUBO	2	304	
IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-081	TUBO	2	380	

IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-081	TUBO	2	278	
IS-309-BW-081	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-309-BW-081	TUBO	2	211	
IS-309-BW-081	TUBO	2	394	
IS-309-BW-081	REDUÇÃO	2		670
IS-309-BW-081	VÁLVULA GLOBO	1 1/2		
IS-309-BW-081	REDUÇÃO	2		670
IS-309-BW-081	TUBO	2	328	
IS-309-BW-081	TUBO	2	211	
IS-309-BW-081	CURVA 90°RAIO LONGO	2		1100
IS-309-BW-081	TUBO	2	462	
IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400
IS-309-BW-081	TUBO	2	380	
IS-309-BW-081	VÁLVULA GAVETA	2		400

Tag: 4"-209-BW-207-A34

De: 3"-209-BW-081-A54

Para: 309-E-03

L<sub>eq</sub> 41802

Z<sub>1</sub> 833472

Z<sub>2</sub> 833250

Doc	Item de tubulação	Diâmetro	Comprimento (mm)	
			pol	Tubo
IS-309-BW-207	TUBO	2	209	
IS-309-BW-207	REDUÇÃO	3		1160
IS-309-BW-207	TUBO	3	169	
IS-309-BW-207	TÊ PASSAGEM DIRETA	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	303	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	234	
IS-309-BW-207	TUBO	3	235	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160



IS-309-BW-207	TUBO	3	1509	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	589	
IS-309-BW-207	VÁLVULA DE RETENÇÃO	3		970
IS-309-BW-207	TUBO	3	120	
IS-309-BW-207	TUBO	3	285	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	203	
IS-309-BW-207	TUBO	3	866	
IS-309-BW-207	VÁLVULA GAVETA	3		50
IS-309-BW-207	TUBO	3	1903	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	2489	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	1000	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	264	
IS-309-BW-207	TUBO	3	5682	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	1000	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	3623	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	3		160
IS-309-BW-207	TUBO	3	990	
IS-309-BW-207	REDUÇÃO	4		1520
IS-309-BW-207	TÊ SAÍDA LATERAL	4		670
IS-309-BW-207	TUBO	4	605	
IS-309-BW-207	TUBO	4	5812	
IS-309-BW-207	PLACA DE ORIFÍCIO	4		
IS-309-BW-207	TUBO	4	2664	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-309-BW-207	TUBO	4	622	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210

IS-309-BW-207	TUBO	4	927	
IS-309-BW-207	TUBO	4	303	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-309-BW-207	TUBO	4	1196	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-309-BW-207	TUBO	4	302	
IS-309-BW-207	TUBO	4	258	
IS-309-BW-207	CURVA 90°RAIO LONGO	4		210
IS-309-BW-207	TUBO	4	260	

## Anexo B – Balanço de Massa

A resolução das equações de balanço de massa não segue a ordem numérica dos volumes de controle e sim a conveniência do cálculo.

### Cenário 1

VC 2:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_9 \quad \text{Equação 86}$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_8 \quad \text{Equação 87}$$

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad \text{Equação 88}$$

$$\dot{m}_{11} + \dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} = \dot{m}_{10} \quad \text{Equação 89}$$

Substituindo os valores da Tabela 8,

$$\dot{m}_{11} = 60992$$

$$\dot{m}_{11} = 60283$$

$$\dot{m}_{11} = 68555$$

Logo, a na Equação 89 se torna

$$60991,89 + 60283,08 + 68555,11 = \dot{m}_{10}$$

$$\dot{m}_{10} = 189830,07$$

e a Equação 88:

$$\frac{\dot{m}_{10}}{2} = \dot{m}_8 = \dot{m}_9$$

$$\dot{m}_8 = 94915,04$$

$$\dot{m}_9 = 94915,04$$

Substituindo esses valores na Equação 86:

$$\dot{m}_6 = 94915,04$$

e na Equação 87

$$\dot{m}_7 = 94915,04$$

VC 3:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{27} = \dot{m}_{28} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{30} + \dot{m}_{31} + \dot{m}_{32} + \dot{m}_{33} + \dot{m}_{34} + \dot{m}_{35} + \dot{m}_{36}$$

Equação 90

$$\frac{\dot{m}_{28}}{7} = \dot{m}_{29} = \dot{m}_{30} = \dot{m}_{31} = \dot{m}_{32} = \dot{m}_{33} = \dot{m}_{34} = \dot{m}_{35} = \dot{m}_{36}$$

Equação 91

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{27} = 1777,54$$

Logo, a Equação 91 se torna:

$$\dot{m}_{20} = 1777,54$$

$$\dot{m}_{28} = 1777,54$$

$$\dot{m}_{29} = \dot{m}_{30} = \dot{m}_{31} = \dot{m}_{32} = \dot{m}_{33} = \dot{m}_{34} = \dot{m}_{35} = \dot{m}_{36} = 222,19$$

#### VC 4:

#### Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{21} = \dot{m}_{22} + \dot{m}_{46} \quad \text{Equação 92}$$

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23} + \dot{m}_{24} \quad \text{Equação 93}$$

$$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} \quad \text{Equação 94}$$

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{46} = 7000$$

$$\dot{m}_{24} = 632$$

$$\dot{m}_{25} = 24969,53$$

Logo, pela Equação 109

$$\dot{m}_{23} = 24969,53$$

$$\dot{m}_{26} = 24969,53$$

Substituindo os valores na Equação 93

$$\dot{m}_{22} = 25601,53$$

e na Equação 92

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{21} = 32601,53$$

VC 5:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{19} - \dot{m}_{37} = \dot{m}_{38}$$

Equação 95

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{37} = 10840$$

$$\dot{m}_{38} = 11677,87$$

Logo a Equação 95 se torna:

$$\dot{m}_{19} - \dot{m}_{37} = \dot{m}_{38}$$

$$\dot{m}_{19} - 10840 = 11677,87$$

$$\dot{m}_{19} = 22517,87$$

VC1:

Equações do Balanço de Massa:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 = \dot{m}_5$$

Equação 96

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_7 + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15} = \dot{m}_5$$

Equação 97

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$$

Equação 98

$$\dot{m}_{16} = \dot{m}_{19} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{18}$$

Equação 99

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$$

Equação 100

Substituindo valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{14} = 14630,80$$

$$\dot{m}_2 = 0$$

$$\dot{m}_3 = 0$$

e utilizando as variáveis calculadas nos outros volumes de controle, tem-se:

- Equação 95

$$94915,04 + 94915,04 + 14630,80 + 56896,94 = \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_5 = 261357,82$$

- Equação 94 :

$$\frac{\dot{m}_5}{2} = \dot{m}_1 = \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_1 = 130678,91$$

$$\dot{m}_4 = 130678,91$$

- Equação 97

$$\dot{m}_{16} = 22517,87 + 1777,54 + 32601,53$$

$$\dot{m}_{16} = 56896,94$$

- Equação 98

$$\dot{m}_{15} = 56896,94$$

## **Cenário 2**

VC 2:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_9 \quad \text{Equação 101}$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_8 \quad \text{Equação 102}$$

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad \text{Equação 103}$$

$$\dot{m}_{11} + \dot{m}_{12} + \dot{m}_{13} = \dot{m}_{10} \quad \text{Equação 104}$$

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{11} = 60992$$

$$\dot{m}_{12} = 60283$$

$$\dot{m}_{13} = 68555$$

Logo, a Equação 89 se torna:

$$60991,89 + 60283,08 + 68555,11 = \dot{m}_{10}$$

$$\dot{m}_{10} = 189830,07$$

e Equação 88 passa a ser:

$$\frac{\dot{m}_{10}}{2} = \dot{m}_8 = \dot{m}_9$$



$$\dot{m}_8 = 94915,04$$

$$\dot{m}_9 = 94915,04$$

Substituindo esses valores na Equação 86:

$$\dot{m}_6 = 94915,04$$

e na Equação 87

$$\dot{m}_7 = 94915,04$$

VC 3:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{27} = \dot{m}_{28} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{30} + \dot{m}_{31} + \dot{m}_{32} + \dot{m}_{33} + \dot{m}_{34} + \dot{m}_{35} + \dot{m}_{36}$$

Equação 105

$$\frac{\dot{m}_{28}}{7} = \dot{m}_{29} = \dot{m}_{30} = \dot{m}_{31} = \dot{m}_{32} = \dot{m}_{33} = \dot{m}_{34} = \dot{m}_{35} = \dot{m}_{36}$$

Equação 106

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{27} = 1777,54$$

Logo, a Equação 91 se torna:

$$\dot{m}_{20} = 1777,54$$

$$\dot{m}_{28} = 1777,54$$

$$\dot{m}_{29} = \dot{m}_{30} = \dot{m}_{31} = \dot{m}_{32} = \dot{m}_{33} = \dot{m}_{34} = \dot{m}_{35} = \dot{m}_{36} = 222,19$$

VC 4:

## Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{21} = \dot{m}_{22} + \dot{m}_{46} \quad \text{Equação 107}$$

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23} + \dot{m}_{24} \quad \text{Equação 108}$$

$$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} \quad \text{Equação 109}$$

## Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{46} = 7000$$

$$\dot{m}_{24} = 632$$

$$\dot{m}_{25} = 24969,53$$

Logo:

$$\dot{m}_{23} = 24969,53$$

$$\dot{m}_{26} = 24969,53$$

Substituindo os valores na Equação 93:

$$\dot{m}_{22} = 25601,53$$

e na Equação 92

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{21} = 32601,53$$

VC 5:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{19} - \dot{m}_{37} = \dot{m}_{38}$$

Equação 110

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{37} = 10840$$

$$\dot{m}_{38} = 11677,87$$

Logo a Equação 95 se torna:

$$\dot{m}_{19} - \dot{m}_{37} = \dot{m}_{38}$$

$$\dot{m}_{19} - 10840 = 11677,87$$

$$\dot{m}_{19} = 22517,87$$

VC 7:

Equações do Balanço de Massa

$$\dot{m}_{47} = \dot{m}_{41} + \dot{m}_{42}$$

Equação 111

$$\dot{m}_{42} = \dot{m}_{43} + \dot{m}_{44} + \dot{m}_{45}$$

Equação 112

Substituindo os valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{41} = 122800$$

$$\dot{m}_{43} = 8229,90$$

$$\dot{m}_{44} = 8481,30$$

$$\dot{m}_{45} = 29998$$

Substituindo esses valores na Equação 112

$$\dot{m}_{42} = 8229,90 + 8481,30 + 2998,0$$

$$\dot{m}_{42} = 46709,2$$

Logo, a Equação 111 será:

$$\dot{m}_{47} = 122800 + 46709,2$$

$$\dot{m}_{47} = 169509,2$$

VC 6:

$$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{47}$$

Equação 113

Substituindo os valores calculados no VC 7:

$$\dot{m}_{17} = 169509,2$$

VC 1:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 = \dot{m}_5$$

Equação 114

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_7 + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15} + \dot{m}_{17} = \dot{m}_5$$

Equação 115

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$$

Equação 116

$$\dot{m}_{16} = \dot{m}_{19} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{18}$$

Equação 117

Substituindo valores da Tabela 8

$$\dot{m}_{14} = 14630,80$$

$$\dot{m}_2 = 0$$

$$\dot{m}_3 = 0$$

e utilizando as variáveis calculadas nos outros volumes de controle, tem-se:

Equação 123

$$94915,04 + 94915,04 + 14630,80 + 56896,94 + 169509,20 = \dot{M}_5$$

$$\dot{m}_5 = 430867,02$$

Equação 122

$$\frac{\dot{m}_5}{2} = \dot{m}_1 = \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_1 = 215433,51$$

$$\dot{m}_4 = 215433,51$$

Equação 97

$$\dot{m}_{16} = 22517,87 + 1777,54 + 32601,53$$

$$\dot{m}_{16} = 56896,94$$

Equação 98

$$\dot{m}_{15} = 56896,94$$

## Anexo C – Cálculo da Perda de Carga

### Cenário 1

tag	v	$\mu$	$\rho$	Reynolds	Tipo Escoamento	Rugosidade	Fd	Le	Hf Darcy Weisbach
	m/s	N.s/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>			m		m	m
6"-121-BW-47-I	2,37	0,00019143	926,326	1649387	turbulento	0,000046	0,015500149	20,61	0,61
6"-121-BW-48-I	0	0,00019143	926,326	0	-	0,000046	-	20,6	-
6"-121-BW-49-I	0	0,00019143	926,326	0	-	0,000046	-	20,6	-
6"-121-BW-50-I	2,3	0,00019143	926,326	1649387	turbulento	0,000046	0,015500149	20,6	0,61
As-1	4,6	0,00019143	926,326	3298775	turbulento	0,000046	0,015313099	5,2	0,60
8"-121-BW-46-I	2,6	0,00019143	926,326	2491934	turbulento	0,000046	0,014569013	49,4	1,34
6"-121-BW-58-I	1,7	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	34,6	0,54
6"-121-BW-60-I	1,7	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	37,5	0,58
6"-121-BW-61-I	1,7	0,0001811	919,27	1266267	turbulento	0,000046	0,015609463	33,5	0,53
6"-121-BW-62-I	1,7	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	37,4	0,58
As-2	3,4	0,00019611	929,212	2338747	turbulento	0,000046	0,015390888	17,8	1,09
8"-121-BW-63-I	1,9	0,00018742	922,375	1848585	turbulento	0,000046	0,01467371	0	0,00
4"-121-BW-64-I(1)	2,5	0,00018709	921,642	1186270	turbulento	0,000046	0,016916682	51,9	2,83
4"-121-BW-64-I(2)	2,4	0,0001876	922,761	1169284	turbulento	0,000046	0,016922109	50,8	2,70
4"-121-BW-64-I(3)	2,8	0,00018709	922,72	1333372	turbulento	0,000046	0,016875272	51,9	3,56
As-3	7,7	0,00018709	922,72	3692127	turbulento	0,000046	0,0166562	5,7	2,97
2"-221-BW-51-I	2,3	0,00019879	930,761	529387,6	turbulento	0,000046	0,019875025	n/a	-
4"-121-BW-46-E	2,1	0,00019143	926,326	1028775	turbulento	0,000046	0,01680341	17,9	0,65
4"-21-BFW-2001-271(1)	2,3	0,0001973	929,549	1049375	turbulento	0,000046	0,016965206	17,5	0,82

4"-21-BFW-2001-271(2)	0,9	0,00019135	926,162	428216,4	turbulento	0,000046	0,017538513	522,6	3,99
3"-21-BW-4027-Fb	2,9	0,0001973	929,549	900459,3	turbulento	0,000046	0,018394947	1112,8	128,56
1,5"-21-BFW-2011-Fb	0,6	0,00029979	965,593	61558,62	turbulento	0,000046	0,024141078	1395,4	16,12
3"-210-BW-620-Fb	2,9	0,0001973	929,549	900459,3	turbulento	0,000046	0,018394947	133,5	15,43
3"-209-BW-199-Fb	2,2	0,0001971	929,137	707825	turbulento	0,000046	0,018495567	71,7	5,15
3"-209-BW-200-Fb	2,2	0,0001971	929,137	690351,6	turbulento	0,000046	0,018507356	19,0	1,30
1"-209-BW-209-Fb	0,6	0,00019113	925,692	56419,4	turbulento	0,000046	0,026522845	-	-
3"-209-BW-201-Fb	2,6	0,00010027	778,847	1356958	turbulento	0,000046	0,018268067	70,8	6,79
3"-209-BW-202-Fb	2,6	0,00010027	778,847	1356958	turbulento	0,000046	0,018268067	37,1	3,56
1,5"-52-BFW-310-Fb	0,6	0,00029979	965,593	61558,62	turbulento	0,000046	0,024141078	205,1	2,37
1"-52-BFW-311-Fb	1,5	0,00029979	965,593	101166,5	turbulento	0,000046	0,025536945	74,0	10,73
1"-52-BFW-313-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-314-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-315-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-316-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-317-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-318-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-319-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
1"-52-BFW-320-Fb	0,2	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,7	0,10
As-4	1,5	0,00029979	965,593	101166,5	turbulento	0,000046	0,025536945	0,7	0,10
3"-21-BW-2008-271	0,7	0,0001987	930,648	261823,2	turbulento	0,000046	0,018915561	-	-
3"-103-BW-001-271	0,8	0,00019135	926,162	292890,6	turbulento	0,000046	0,018789747	124,6	1,10
2"-209-BW-946-Fb	1,4	0,00019129	926,045	302823,1	turbulento	0,000046	0,020816437	-	-

**Cenário 2**

tag	v	$\mu$	$\rho$	Reynolds	Tipo Escoamento	Rugosidade	Fd	Le	Hf Darcy Weisbach
	m/s	N.s/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>			m		m	m
6"-121-BW-47-I	3,84	0,00019143	926,326	2719133	turbulento	0,000046	0,015353676	20,63	1,63
6"-121-BW-48-I	0,00	0,00019143	926,326	-	-	0,000046	-	20,67	-
6"-121-BW-49-I	0,00	0,00019143	926,326	-	-	0,000046	-	20,67	-
6"-121-BW-50-I	3,84	0,00019143	926,326	2719133	turbulento	0,000046	0,015353676	20,67	1,63
As-1	7,68	0,00019143	926,326	5438266	turbulento	0,000046	0,015237161	5,16	1,62
8"-121-BW-46-I	4,38	0,00019143	926,326	4108131	turbulento	0,000046	0,014447112	49,48	3,62
6"-121-BW-58-I	1,69	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	34,58	0,54
6"-121-BW-60-I	1,69	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	37,55	0,58
6"-121-BW-61-I	1,71	0,0001811	919,27	1266267	turbulento	0,000046	0,015609463	33,54	0,53
6"-121-BW-62-I	1,69	0,00019611	929,212	1169374	turbulento	0,000046	0,015647795	37,36	0,58
As-2	3,37	0,00019611	929,212	2338747	turbulento	0,000046	0,015390888	17,85	1,09
8"-121-BW-63-I	1,94	0,00018742	922,375	1848585	turbulento	0,000046	0,01467371	0,00	0,00
4"-121-BW-64-I(1)	2,48	0,00018709	921,642	1186270	turbulento	0,000046	0,016916682	51,97	2,83
4"-121-BW-64-I(2)	2,45	0,0001876	922,761	1169284	turbulento	0,000046	0,016922109	50,79	2,70
4"-121-BW-64-I(3)	2,78	0,00018709	922,72	1333372	turbulento	0,000046	0,016875272	51,97	3,56
As-3	7,70	0,00018709	922,72	3692127	turbulento	0,000046	0,0166562	5,73	2,97
2"-221-BW-51-I	2,30	0,00019879	930,761	529387,6	turbulento	0,000046	0,019875025	n/a	-
4"-121-BW-46-E	2,08	0,00019143	926,326	1028775	turbulento	0,000046	0,01680341	17,87	0,65
4"-21-BFW-2001-271(1)	2,29	0,0001973	929,549	1049375	turbulento	0,000046	0,016965206	17,49	0,82
4"-21-BFW-2001-271(2)	0,91	0,00019135	926,162	428216,4	turbulento	0,000046	0,017538513	522,67	3,99
8"-121-BW-4022-Fb	1,93	0,00019877	930,813	1651568	turbulento	0,000046	0,014877105	82,86	1,28
3"-21-BW-4027-Fb	2,87	0,0001973	929,549	900459,3	turbulento	0,000046	0,018394947	1112,83	128,56



1,5"-21-BFW-2011-Fb	0,56	0,00029979	965,593	61558,62	turbulento	0,000046	0,024141078	1395,47	16,12
3"-210-BW-620-Fb	2,87	0,0001973	929,549	900459,3	turbulento	0,000046	0,018394947	133,58	15,43
3"-209-BW-199-Fb	2,25	0,0001971	929,137	707825	turbulento	0,000046	0,018495567	71,77	5,15
3"-209-BW-200-Fb	2,20	0,0001971	929,137	690351,6	turbulento	0,000046	0,018507356	19,06	1,30
1"-209-BW-209-Fb	0,56	0,00019113	925,692	56419,4	turbulento	0,000046	0,026522845	n/a	-
3"-209-BW-201-Fb	2,62	0,00010027	778,847	1356958	turbulento	0,000046	0,018268067	70,86	6,79
3"-209-BW-202-Fb	2,62	0,00010027	778,847	1356958	turbulento	0,000046	0,018268067	37,12	3,56
1,5"-52-BFW-310-Fb	0,56	0,00029979	965,593	61558,62	turbulento	0,000046	0,024141078	205,11	2,37
1"-52-BFW-311-Fb	1,52	0,00029979	965,593	101166,5	turbulento	0,000046	0,025536945	74,04	10,73
1"-52-BFW-313-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-314-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-315-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-316-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-317-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-318-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-319-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
1"-52-BFW-320-Fb	0,19	0,00029979	965,593	12645,82	turbulento	0,000046	0,03230713	34,74	0,10
As-4	1,52	0,00029979	965,593	101166,5	turbulento	0,000046	0,025536945	0,71	0,10
3"-21-BW-2008-271	0,76	0,0001987	930,648	261823,2	turbulento	0,000046	0,018915561	-	-
3"-103-BW-001-271	0,82	0,00019135	926,162	292890,6	turbulento	0,000046	0,018789747	124,64	1,10
8"-21-BW-4029-Fb(1)	1,40	0,00019877	930,813	1196469	turbulento	0,000046	0,015035657	20,35	0,17
6"-021-BW-4027-Fb	1,02	0,00019877	930,813	630727	turbulento	0,000046	0,016332708	376,18	2,48
2"-21-BW-4036-Fb	1,71	0,00019877	930,813	342631,5	turbulento	0,000046	0,020727766	-	-
2"-21-BW-4037-Fb	1,76	0,00019877	930,813	353097,9	turbulento	0,000046	0,020707617	-	-
3"-21-BW-4038-Fb	2,63	0,00019877	930,813	822388,7	turbulento	0,000046	0,018430246	-	-
2"-209-BW-946-Fb	1,46	0,00019129	926,045	302823,1	turbulento	0,000046	0,020816437	-	-
8"-21-BW-4029-Fb(2)	2,15	0,00019877	930,813	1741155	turbulento	0,000046	0,015000656	591,29	12,06

## Anexo D – Balanço de Energia

Os nós não foram calculados em ordem numérica, mas sim de acordo com a conveniência de cálculo.

Os valores das variáveis foram retirados das seguintes referências, exceto quando indicado:

- Pressão(Pa): Tabela 11
- Densidade(kg/m<sup>3</sup>): Tabela 15
- Velocidade de escoamento (m/s): Tabela 19
- Elevação(m): Tabela 13
- Perda de carga (m): Tabela 21
- Aceleração da gravidade: 9,8 m/s<sup>2</sup>

### Nó 3:

Pressão no início da Linha 3"-103-BFW-001-271 (L38)

$$E_{1_{38}} = E_{2_{38}} + H_F \quad \text{Equação 118}$$

$$P_{1_{38}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{38}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{38}})^2 - (V_{2_{38}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{38}} - Z_{2_{38}}) + (H_{F_{38}}) \right\} \quad \text{Equação 119}$$

Sabe-se que:

$$P_{2_{38}} = 6080123,0 \quad \rho = 926,2 \quad H_{F_{38}} = 1,1$$

$$v_{2_{38}} = 0,82 \quad v_{1_{38}} = 0,035$$

$$z_{2_{38}} = 16,6 \quad z_{1_{38}} = 11,2$$

Substituindo valores na Equação 115:

$$P_{1_{38}} = 6237162,90 \text{ Pa} = 63,6 \text{ kgf/cm}^2$$

**Nó 2:**

Pressão no início da Linha 4"-21-BFW-2001-271 (L19)

$$E_{1_{19}} = E_{2_{38}} + H_F \quad \text{Equação 120}$$

$$P_{1_{19}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{38}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{19}})^2 - (V_{2_{38}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{19}} - Z_{2_{38}}) + (H_{F_{38}} + H_{F_{19}}) \right\} \quad \text{Equação 121}$$

Sabe-se que:

$$P_{2_{38}} = 6178189,5 \quad \rho = 926,2 \quad H_{f_{38}} = 1,1$$

$$V_{2_{38}} = 0,82 \quad V_{1_{19}} = 0,9 \quad H_{f_{19}} = 9,9$$

$$Z_{2_{38}} = 16,6 \quad Z_{1_{19}} = 9,0$$

Substituindo valores na Equação 121:

$$P_{1_{19}} = 6292978,27 \text{Pa} = 64,2 \text{kgf/cm}^2$$

Pressão no início da Linha 3"-21-BW-4027-Fb (L18)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente os nós 4 e 5.

$$E_{1_{18}} = E_{2_{26}} + H_F \quad \text{Equação 122}$$

$$P_{1_{18}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{26}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{18}})^2 - (V_{2_{26}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{18}} - Z_{2_{26}}) + (H_{F_{26}} + H_{F_{25}} + H_{F_{23}} + H_{F_{22}} + H_{F_{21}} + H_{F_{18}}) \right\} \quad \text{Equação 123}$$

Sabe-se que:

$$P_{2_{26}} = 6178189,5 \quad \rho = 926,2 \quad H_{f_{18}} = 128,6 \quad H_{f_{23}} = 1,3$$

$$V_{2_{26}} = 2,6 \quad V_{1_{18}} = 2,9 \quad H_{f_{21}} = 15,4 \quad H_{f_{25}} = 6,8$$

$$Z_{2_{26}} = 15,7 \quad Z_{1_{18}} = 9,0 \quad H_{f_{22}} = 5,1 \quad H_{f_{26}} = 3,6$$

Substituindo valores na Equação 123:

$$P_{1_{18}} = 8177181,66\text{Pa} = 83,4\text{kgf/cm}^2$$

Pressão no início da Linha 1 ½"-21-BFW-2011-Fb (L20)

$$E_{1_{20}} = E_{2_{As-3}} + H_F \quad \text{Equação 124}$$

$$P_{1_{20}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{As-3}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{20}})^2 - (V_{2_{As-3}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{20}} - Z_{2_{As-3}}) + (H_{F_{As-3}} + H_{F_{28}} + H_{F_{27}} + H_{F_{20}}) \right\} \quad \text{Equação 125}$$

Sabe-se que:

$$P_{2_{As-3}} = 6178189,5 \quad \rho = 926,7 \quad H_{f_{As-3}} = 7,5 \quad H_{f_{28}} = 10,7$$

$$v_{2_{As-3}} = 7,7 \quad v_{1_{20}} = 0,6 \quad H_{f_{20}} = 16,1$$

$$z_{2_{As-3}} = 20,8 \quad z_{1_{20}} = 9,0 \quad H_{f_{27}} = 2,4$$

Substituindo valores na Equação 125:

$$P_{1_{20}} = 6798828,50\text{Pa} = 69,3\text{kgf/cm}^2$$

## **Nó 5**

Pressão no início da Linha 3"-209-BW-200-Fb (L23)

$$E_{1_{23}} = E_{2_{26}} + H_F \quad \text{Equação 126}$$

$$P_{1_{23}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{26}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{23}})^2 - (V_{2_{26}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{23}} - Z_{2_{26}}) + (H_{F_{26}} + H_{F_{25}} + H_{F_{23}}) \right\} \quad \text{Equação 127}$$

Sabe-se que:

$$P_{2_{26}} = 6178189,5 \quad \rho = 929,1 \quad H_{f_{23}} = 1,3$$

$$v_{2_{26}} = 2,6 \quad v_{1_{23}} = 2,2 \quad H_{f_{25}} = 6,8$$

$$z_{2_{26}} = 15,7 \quad z_{1_{23}} = 10,3 \quad H_{f_{26}} = 3,6$$

Substituindo valores na Equação 127:

$$P_{1,23} = 6917644,00\text{Pa} = 70,5\text{kgf/cm}^2$$

#### **Nó 4 :**

Pressão no início da Linha 3"-209-BW-199-Fb (L22)

$$E_{1,22} = E_{1,23} + H_F \quad \text{Equação 128}$$

$$P_{1,22} = \rho g \left\{ \frac{P_{1,23}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1,23})^2 - (V_{1,22})^2}{2g} \right] + (Z_{1,23} - Z_{1,22}) + (H_{F,22}) \right\} \quad \text{Equação 129}$$

Sabe-se que:

$$P_{1,23} = \text{Calculado pela Equação 127} \quad \rho = 929,1 \quad H_{f,22} = 5,1$$

$$v_{1,23} = 2,2 \quad v_{1,22} = 2,2$$

$$z_{1,23} = 10,3 \quad z_{1,22} = 17,9$$

Substituindo valores na Equação 129:

$$P_{1,22} = 6895126,15\text{Pa} = 70,3\text{kgf/cm}^2$$

#### **Nó 6**

Pressão no início da Linha 6"-021-BW-4027-Fb (L42)

$$E_{1,42} = E_{1,45} + H_F \quad \text{Equação 130}$$

$$P_{1,42} = \rho g \left\{ \frac{P_{1,45}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1,42})^2 - (V_{1,45})^2}{2g} \right] + (Z_{1,42} - Z_{1,45}) + (H_{F,42}) \right\} \quad \text{Equação 131}$$

Sabe-se que:

$$P_{1,45} = 71,5 \quad \rho = 930,8 \quad H_{f,42} = 2,5$$

$$v_{1,45} = 2,6 \quad v_{1,42} = 1,0$$

$$z_{1_{45}} = 10,9 \qquad z_{1_{42}} = 10,9$$

Substituindo valores na Equação 131:

$$P_{1_{42}} = 7037153,18\text{Pa} = 71,8\text{kgf/cm}^2$$

### **Nó 1:**

Pressão no início da Linha As-2

$$E_{1_{As-2}} = E_{2_{As-3}} + H_F \qquad \text{Equação 132}$$

$$P_{1_{As-2}} = \rho g \left\{ \frac{P_{2_{As-3}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{2_{As-3}})^2 - (V_{1_{As-2}})^2}{2g} \right] + (Z_{2_{As-3}} - Z_{1_{As-2}}) + (H_{F_{As-2}} + H_{F_{10}} + H_{F_{As-3}}) \right\} \qquad \text{Equação 133}$$

Sabe-se que:

$$\begin{array}{lll} P_{2_{As-3}} = 6178189,5 & \rho = 926,7 & H_{f_{As-2}} = 1,1 \\ V_{2_{As-3}} = 7,7 & V_{1_{As-2}} = 3,3 & H_{f_{As-3}} = 7,5 \\ z_{2_{As-3}} = 20,8 & z_{1_{As-2}} = 15,2 & H_{f_{10}} = 0 \end{array}$$

Substituindo valores na Equação 133:

$$P_{1_{As-2}} = 6337784,00\text{Pa} = 64,6\text{kgf/cm}^2$$

Pressão no início da Linha 4"-121-BFW-2022-Fb (L17)

para o cálculo dessa pressão é necessário ter calculado previamente os nós 2 e 6.

$$E_{1_{17}} = E_{1_{41}} + H_F \qquad \text{Equação 134}$$

$$P_{1_{17}} = \rho g \left\{ \frac{P_{1_{41}}}{\rho g} + \left[ \frac{(V_{1_{41}})^2 - (V_{1_{17}})^2}{2g} \right] + (Z_{1_{41}} - Z_{1_{17}}) + (H_{F_{47}} + H_{F_{17}}) \right\} \qquad \text{Equação 135}$$

Sabe-se que:

$$\begin{array}{lll}
 P_{1_{41}} = 9120184,5 & \rho = 930,8 & H_{f_{17}} = 1,3 \\
 v_{1_{41}} = 1,4 & v_{1_{17}} = 1,9 & H_{f_{47}} = 12,1 \\
 z_{1_{41}} = 9,1 & z_{1_{17}} = 15,2 & 
 \end{array}$$

Substituindo valores na Equação 135:

$$P_{1_{17}} = 9166312,69\text{Pa} = 93,5\text{kgf/cm}^2$$

Pressão no início da Linha 4"-121-BW-46-E (L15)

$$E_{1_{15}} = E_{1_{18}} + H_F \quad \text{Equação 136}$$

$$P_{1_{15}} = \rho g \left\{ \frac{P_{1_{18}}}{\rho g} + \left[ \frac{(v_{1_{15}})^2 - (v_{1_{18}})^2}{2g} \right] + (z_{1_{15}} - z_{1_{18}}) + (H_{F_{16}} + H_{F_{15}}) \right\} \quad \text{Equação 137}$$

Sabe-se que:

$$\begin{array}{lll}
 P_{1_{18}} = \begin{array}{l} \text{Calculado pela} \\ \text{Equação 123} \end{array} & \rho = 929,5 & H_{f_{15}} = 0,6 \\
 v_{1_{18}} = 2,9 & v_{1_{15}} = 2,1 & H_{f_{16}} = 0,8 \\
 z_{1_{18}} = 9,0 & z_{1_{15}} = 15,2 & 
 \end{array}$$

Substituindo valores na Equação 137:

$$P_{1_{15}} = 8841826,26\text{Pa} = 90,2\text{kgf/cm}^2$$

## Anexo E – Cálculo da Curva do Sistema

### *Cenário 1*

Z2	P2	P1	Fator	As1 (m3/h)	Hf - Darcy- Weisbach											DV2	Hman (m)		
					Sucção	As-1	5	15	16	18	21	22	23	25	26				
15,70	679,34	37,74	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	628
15,70	679,34	37,74	0,25	70	0,45	0,04	0,08	0,04	0,05	8,04	0,96	0,32	0,08	0,42	0,22			4,55	644
15,70	679,34	37,74	0,50	141	1,82	0,15	0,34	0,16	0,21	32,14	3,86	1,29	0,33	1,70	0,89			18,19	689
15,70	679,34	37,74	1,00	282	7,26	0,60	1,34	0,65	0,82	128,56	15,43	5,15	1,30	6,79	3,56			72,75	873
15,70	679,34	37,74	1,25	352	11,34	0,94	2,09	1,02	1,28	200,88	24,11	8,05	2,03	10,61	5,56			113,67	1010
15,70	679,34	37,74	1,50	422	16,34	1,35	3,02	1,46	1,85	289,26	34,72	11,59	2,93	15,28	8,01			163,68	1178

### *Cenário 2*

Z2	P2	P1	Fator	As1 (m3/h)	Hf - Darcy- Weisbach						DV2	Hman (m)		
					Sucção	As-1	5	17	47	41				
15,70	679,34	37,74	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	628	
15,70	679,34	37,74	0,25	116	1,23	0,22	0,53	0,21	0,75	0,01			17,46	649
15,70	679,34	37,74	0,50	232	4,91	0,87	2,12	0,83	3,02	0,04			69,85	710
15,70	679,34	37,74	1,00	464	19,63	3,47	8,48	3,33	12,06	0,17			279,42	955
15,70	679,34	37,74	1,25	580	30,67	5,42	13,25	5,20	18,84	0,27			436,59	1139
15,70	679,34	37,74	1,50	696	44,17	7,81	19,08	7,49	27,14	0,38			628,69	1363