



# Revamping de uma instalação de despoeiramento por via húmida de uma Refinaria de açúcar

**JOSÉ MIGUEL FERREIRA TAVARES NUNES**

novembro de 2018



CONFIDENCIAL

# *Revamping* de uma instalação de despoeiramento por via húmida de uma Refinaria de açúcar

outubro 2018

**AUTOR**

José Nunes nº 1120516

**ORIENTAÇÃO**

Mestre Luís Braga – RAR Açúcar

Vítor Camões – RAR Açúcar

Doutor Christopher Alves de Sá – ISEP

Mestrado em Engenharia Química – Ramo de Energia e Biorrefinarias

Tese

## Agradecimentos

A redação deste relatório conta com a colaboração de várias personalidades, todas elas com uma participação significativa e merecedora de referência.

Desejo agradecer aos meus orientadores da RAR Açúcar, ao Engenheiro Luís Miguel Braga e ao Vítor Camões, por todo o apoio, atenção, paciência e preocupação que tiveram comigo e pelo reconhecimento dos meus esforços. Agradeço ainda à RAR Açúcar pelo financiamento obtido, aplicado no recálculo do sistema, no caderno de encargos desenvolvido com a Vento Domável, no *revamping* por parte da Despoiravent, bem como na aquisição de instrumentação à Instrumentos Testo S.A.

Um muito obrigado ao meu orientador do ISEP, o Doutor Christopher Alves de Sá, pela sua dedicação e por todo o auxílio prestado tanto no desenvolvimento do meu tema como na redação da tese. Agradeço ainda às Doutoradas Teresa Sena Esteves, Leonilde de Pinho Moraes e Isabel Brás Pereira pelo esclarecimento de conceitos relacionados com a Mecânica de Fluidos.

Agradeço ainda a receção e colaboração com os elementos da Direção Industrial, Departamento de Manutenção e Energia, Departamento de Logística, às Oficinas Mecânica e Elétrica, bem como a todos os chefes de turno e operadores da área da Produção e Embalamento, um sincero obrigado pelas inúmeras explicações e disponibilidade para me ensinar como abordar e cumprir os meus objetivos.

Aos Engenheiros Pedro Ferreira e Pedro Seródio da Despoiravent, agradeço todos os esclarecimentos e apoio prestados, bem como pelas soluções propostas e execução do *revamping* da instalação.

Destaco ainda o Engenheiro Martins Pereira da Vento Domável, pelo apoio e orientação no desenvolvimento do recálculo do dimensionamento do sistema de despoejamento existente, projeção de soluções e desenvolvimento de um caderno de encargos com as recomendações necessárias para a execução do projeto.

Gratifico a colaboração com o Doutor Jorge Taveira da SITAPE, o Engenheiro Cláudio Barbosa da Planiclíma e ainda o Engenheiro Ferreira Marques da Retaflex, pela definição de soluções e elaboração de propostas para o *revamping* da instalação.

Desejo agradecer a colaboração com o Valter Andrade da Instrumentos Testo S.A., pela recomendação de instrumentação adequada para avaliar a velocidade do ar e quantificar a capacidade de aspiração do sistema.

Agradeço ao Carlos Henriques da Sandometal, pela orçamentação dos materiais estimados para a substituição integral da rede de transporte.

Agradeço ainda aos meus colegas de estágio do ISEP, Amaro Cruz, Ariana Mendes, Bárbara Cardoso, Filipa Brandão e João Montes Barbosa, pelo apoio, colaboração e entajuda.



## Resumo

O objetivo do estágio curricular foi o *revamping* da instalação de despoejamento existente na Refinaria de açúcar da RAR, nomeadamente a representação da instalação, o cálculo da queda de pressão do caminho crítico, a sua ampliação e a minimização da deposição das poeiras ao longo da rede de transporte.

Este trabalho foi realizado entre o dia 22 de fevereiro e o dia 17 de outubro de 2017 e incluiu o levantamento das dimensões e traçado da rede de transporte de poeira de açúcar e a contabilização de vários acessórios para posterior elaboração de um diagrama isométrico e plantas recorrendo ao software *AutoCAD*. Foram identificados ainda os cinco equipamentos processuais que podem ser acrescentados ao sistema existente.

Inicialmente verificou-se que a origem da acumulação de açúcar tinha origem na alteração do caminho crítico devido a ampliações sucessivas da rede de transporte original, resultando numa distribuição irregular das velocidades de transporte. Em relação ao estado da rede de transporte, os diâmetros existentes não eram adequados para manter a velocidade de transporte desejada, as derivações deviam ser ligadas a 30° na conduta principal e acompanhadas de uma expansão do diâmetro da conduta, a maioria das curvas possuíam raios abruptos (equivalentes ao diâmetro da conduta), algumas válvulas encontravam-se danificadas, metade das ligações equipotenciais deveriam ser substituídas/instaladas e existiam captações sem pontos de medição ou bocais adequados. Todos estes fatores afetavam negativamente as velocidades de captação e transporte ao longo da rede.

Foram então realizadas duas limpezas ao sistema (a primeira à conduta principal e a segunda às ramificações) de modo a poder verificar-se, recorrendo a um anemómetro, quais as velocidades de transporte nos ramais das captações e estimar o caudal global. O valor obtido não foi concordante com o caudal de operação indicado na curva característica do ventilador (40.000 m<sup>3</sup>/h), após se quantificar a queda de pressão e a frequência de rotação do motor do ventilador. No entanto, nos dois conjuntos de medições de velocidade, o caudal global rondou os 10.000 m<sup>3</sup>/h. Admitiu-se que esta discrepância poderia ser associada a fugas de ar, condutas colmatadas e ao anemómetro (alguns pontos de medição continham poeiras que ficaram presas à turbina).

Foram ainda realizados ensaios às correntes de água doce na etapa de recuperação de modo a avaliar o caudal de poeiras aspiradas. No entanto, não foi possível fechar o balanço de massa, o que poderá indicar uma de duas hipóteses: ou a corrente *overflow* está a sobressaturar a solução contida no tanque de lavagem ou o caudal de ar considerado (40.000 m<sup>3</sup>/h) é muito superior ao real.

Partindo da base de cálculo, em que a velocidade de transporte de cada ramal e na linha principal deve ser 22 m/s, foram calculadas todas as velocidades ao longo da rede de transporte. Comparadas as perdas de carga de todos os percursos captação-atmosfera, determinou-se que o ponto crítico se situa na captação LS10A1, no topo do silo de 40 toneladas. A queda de pressão do caminho crítico situa-se entre os 4.300 e os 5.000 Pa.

Numa etapa seguinte, colaborou-se com uma empresa de despoeiramento (Vento Domável) para efetuar o recálculo dos diâmetros das condutas e elaboraram-se novos cenários considerando a ampliação do sistema em cinco novas captações e respetivos ramais. Depois de selecionado o cenário a desenvolver, foram idealizadas 19 alterações de traçado que beneficiarão a *performance* do sistema, dimensionaram-se as captações e as condutas da rede de transporte pelo método de igual queda de pressão e determinou-se a capacidade necessária para o ventilador (48.000 m<sup>3</sup>/h e 4.500 Pa) e para a câmara de lavagem.

A empresa contratada formulou um caderno de encargos em que considerou a substituição integral da rede de transporte e dos equipamentos, assim como a implementação das novas linhas. A **velocidade de transporte** do projeto foi alterada de 22 para **25 m/s** para garantir uma aspiração eficaz dentro da gama de velocidades recomendada.

Com base nas especificações definidas no caderno de encargos foi possível estimar os custos dos materiais para a substituição da rede de transporte em 45.675 € (considerando apenas os troços retos das condutas, reduções concêntricas para as captações, curvas, derivações e pares flangeados). Estes custos foram fragmentados e recalculados para os cenários de substituição parcial e para a implementação das **novas captações**. Por fim, foi possível estimar uma **poupança de 19.961 €**, mantendo e aproveitando as condutas cujos diâmetros são adequados.

Depois de obtido o caderno de encargos realizou-se um pedido de orçamentação a várias empresas para a substituição integral do sistema. As empresas a concurso foram a Vento Domável, Planiclíma e a Despoiravent e estas propuseram um investimento de, respetivamente, 297.749, 165.070 e 252.400 €. A proposta da Planiclíma foi a mais baixa pois não considerou o fornecimento de equipamentos para a etapa de recuperação.

Como os montantes propostos ultrapassaram a verba disponível decidiu-se implementar apenas as novas captações. Repetiu-se, então, o pedido de orçamento e reuniram-se as propostas formalizadas. As empresas a concurso foram a SITAPE, a Vento Domável, a Planiclíma, a Despoiravent e a Retaflex e propuseram, respetivamente, um investimento de 10.927, 10.558, 13.049, **10.300** e 4.500 €. A proposta da Retaflex foi a mais barata visto que o material considerado para a rede de transporte é, sensivelmente, três vezes mais barato que o material especificado no caderno de encargos. Elegeram-se então a **Despoiravent** para ser a empresa responsável pela intervenção, visto que praticaram o preço mais baixo e respeitaram na íntegra as especificações do caderno de encargos.

- **Sugestões para trabalhos futuros**

A intervenção realizada foi a **ampliação do sistema** com um custo de **10.300 €**, apesar de aumentar a carga aos equipamentos e perturbar o já desequilibrado circuito de aspiração. Recomenda-se então a substituição integral dos equipamentos de recuperação e a substituição parcial das condutas que compõem a linha principal e as suas ramificações, bem como as alterações de traçado descritas.

O fornecimento da nova rede de condutas seria de 112.050 € (como indicado pela Despoiravent) caso o âmbito fosse a substituição integral. Retirando os **10.300 €** entretanto gastos, este valor pode ser reduzido para **101.750 €**. Considerando os custos da substituição integral face à parcial (capítulo 5.1.3), podemos ainda inferir que, mantendo as condutas cujos diâmetros são adequados para a velocidade de transporte desejada, reduzir-se-ia o valor do investimento na rede de transporte para metade, poupando-se cerca de **50.000 €**.

- **Palavras-chave**

Despoeiramento; rede de transporte; filtro húmido; ventilador; caudal de aspiração; queda de pressão; caminho crítico; deposição de poeiras; dimensionamento de condutas de ar, método de igual perda de carga.



## **Abstract**

The internship took place at RAR Açúcar, between february 22nd and october 17th 2017.

The curricular internship's goal is the revamping of the Refinery's dedusting unit, namely, the construction of the system's schematic representation, the calculation of the critical path's pressure drop, the minimization of powder settling along the piping network and the extension of the system's capacity.

After an exhaustive data collection of the piping network's dimensions and layout, as well as the listing of the various pipe fittings, an isometric diagram and plan view were obtained by using the AutoCAD software. Five process equipments that could be added to the dedusting system were identified.

The origin of the powder's build-up is based on the fact that several extensions to the original piping network have changed the critical path, yielding an irregular air velocity distribution along the transport network.

The network's current pipe diameters aren't appropriate for keeping the desired transport velocity along the network; all of the branch lines should be connected at an angle of 30° (with respect to the direction of the flow in the main pipe) and followed by an adequate expansion of the main pipe's diameter; most elbows have sudden radii of curvature (matching the pipe's diameter); some valves are damaged; half of the equipotential connections should be replaced and there are powder capture points without a suitable opening or an air velocity measuring point. All these factors harm the capture/transport velocity distributions along the pipeline.

In order to predict the system's total airflow, it was necessary to measure the velocities at each branch line with an anemometer. The system's pipelines were cleansed twice (once for the main piping and at another occasion for the branch lines). After quantifying the ventilator's pressure drop and its engine rotation rate, it is possible to read on the equipment's characteristic curve the expected airflow, which is roughly four times larger than the combined airflow of all the branch lines.

However, the source of this discrepancy is, at a smaller scale, due to air leakage and also due to piping blockage by the built-up powder. The discrepancy could be minimized if the entire system cleansing took place in only one intervention. An anemometer isn't the most suitable measuring device since some of the measuring points are located in areas with permanent powder dispersion and prolonged exposure to these kinds of environments may clog the propeller's blades.

The sweet water streams of the powder recovery stage were assessed in order to determine the mass flow of the exhausted powders, by a mass balance applied to the recovery stage. Although the balance was not validated two conclusions were drawn. Either the considered system airflow (40.000 m<sup>3</sup>/h) is too high or the overflow stream is supersaturating the sweet water solution contained in the system's washing tank.

Assuming a transport air **velocity of 22 m/s at each** branch line as a calculation basis it was possible to determine all the velocities and airflows along the piping network. This was achieved after dividing the streams in the same manner as in the convergence

diagram. Afterwards, the pressure drop was calculated in each one of the system's air streams.

By comparing the pressure drop of each capture point to atmosphere route, it was determined that the critical point stands on top of the 40 ton silo (capture point LS10A1). Based on the methods used the predicted pressure drop of the critical path stands between 4.300 and 5.000 Pa.

Various friction factors were calculated based on empirical equations, the Moody Chart and a friction chart. Within the pipe fittings, two methods were compared for the determination of the local pressure loss factor  $k$  for both inlet streams of the branch connections.

Then followed the collaboration with a company specialized in Ventilation Engineering to redesign the piping network's diameters and adjust to new scenarios considering the system's extension of five new capture points and branch lines. During the development of the selected scenario, 19 piping layout changings that are beneficial to the system were conceived, the capture points and the piping network's ducts were sized using the equal pressure drop method and the ventilation needs were determined (48.000 m<sup>3</sup>/h e 4500 Pa). The company formalized the descriptive memory and specifications manual for the assignment, considering the full replacement of the dedusting unit's equipment and the transport network's ducts, all the while adding the new capture points and branch lines. The transport velocity was raised from 22 to **25 m/s** by the company to guarantee an effective aspiration within the recommended velocity gage of 20 to 25 m/s.

Based on the specifications found on the descriptive memory it was possible to assess the cost of the materials for the full replacement of the ducts at 45.675 € (considering straight ducts, concentric reductions for the capture points, elbows, branch connections and flanged pairs). These costs were distinguished based on the type of material and the data was adjusted considering two scenarios: a partial replacement of the pipelines and the setup of the **new capture points**. The results show that it would be possible to save **19.961 €** (out of 45.675 €), by keeping the branch lines which diameters are suitable.

After obtaining the descriptive memory of the project a budget request was made to several companies, considering the full substitution of the system. The companies were Vento Domável, Planiclíma and Despoiravent and the investment they proposed rose to 297.749 €, 165.070 € and 252.400 €. Planiclíma's proposal is significantly lower since they did not consider the supply of adequate equipments for the powder recovery stage.

Since the available funds required for the intervention are insufficient it was decided to install only the new capture points. The budget requests were repeated. The contestants were SITAPE, Vento Domável, Planiclíma, Despoiravent and Retaflex and the amounts they asked for the intervention were, respectively, 10.927 €, 10.558 €, 13.049 €, **10.300 €** and 4.500 €. Retaflex's offer is significantly lower than the other ones since the material considered for the pipelines is around three times cheaper than the material specified on the descriptive memory.

**Despoiravent** was selected to develop the intervention since they practiced the lowest price while fully respecting the descriptive memory's specifications.

- **Future work**

As stated in chapter 5, the intervention consisted solely on the extension of the new capture points and respective branch lines to the existing system for **10.300 €**, despite raising the strain on both the ventilator and wet filter and offsetting the already unbalanced network. However, it is recommended that a full replacement of the equipments is taken place, as well as a partial replacement of the pipelines that compose the main line and the branch lines, according to the layout changes described.

As stated by Despoiravent, the supply of a new transport network would be equivalent to 112.050 €. By subtracting the 10.300 € of the implemented branch lines, the former value can be reduced to **101.750 €**.

Based on the assessed costs distribution, both the full and partial replacement of the transport network in subchapter 5.1.3 can be implied that by keeping the ducts, which diameters are adequate for the desired transport air velocity, the investment could be cut down in half, saving as much as **50.000 €**, if the full replacement of the transport network is avoided.

- **Keywords**

Dedusting; transport network; wet filter; ventilator; aspiration flow; pressure drop; critical path; powder build-up.



# Índice geral

<b>Capítulo 1: Introdução</b> .....	1
<b>1.1 Enquadramento</b> .....	1
<b>1.2 Tema e objetivos do estágio</b> .....	1
<b>1.3 Apresentação breve da Empresa</b> .....	3
<b>1.3.1 Grupo RAR</b> .....	3
<b>1.3.2 RAR Açúcar</b> .....	3
<b>1.4 Organização do relatório</b> .....	4
<b>Capítulo 2: Fundamentos teóricos</b> .....	7
<b>2.1 Propriedades físicas e químicas do açúcar</b> .....	7
<b>2.2 Mecânica de fluidos</b> .....	11
<b>2.2.1 Perdas de carga friccionais</b> .....	14
<b>2.2.2 Perdas de carga localizadas</b> .....	17
<b>Capítulo 3: Levantamento e caracterização da instalação</b> .....	27
<b>3.1 Enquadramento</b> .....	27
<b>3.2 Representações gráficas</b> .....	29
<b>3.2.1 Isométrico</b> .....	29
<b>3.2.3 Esboços auxiliares</b> .....	35
<b>3.3 Caracterização do sistema</b> .....	40
<b>3.3.1 Equipamentos processuais</b> .....	40
<b>3.3.2 Rede de transporte</b> .....	41
<b>3.3.3 Equipamentos da etapa de recuperação</b> .....	50
<b>3.4 Balanço de massa global</b> .....	56
<b>3.5 Balanço de energia mecânica</b> .....	62
<b>Capítulo 4: Recálculo do sistema</b> .....	71
<b>4.1 Recálculo desenvolvido em parceria com a SITAPE</b> .....	71
<b>4.2 Recálculo desenvolvido em parceria com a Vento Domável</b> .....	72
<b>4.2.1 Recálculo do sistema existente</b> .....	73
<b>4.2.2 Projeção de novos cenários</b> .....	76
<b>4.2.3 Dimensionamento do cenário selecionado</b> .....	78
<b>4.2.4 Análise do caderno de encargos</b> .....	91
<b>Capítulo 5: Estudo de Mercado</b> .....	93

5.1 Estimativas de custos da rede de transporte .....	93
5.1.1 Substituição integral da rede de condutas do cenário 2.2.....	94
5.1.2 Substituição parcial da rede de condutas do cenário 2.2.....	98
5.1.3 Implementação das ramificações do cenário 2.1 .....	99
5.2 Comparação de propostas e tomada de decisão .....	100
5.2.1 SITAPE .....	100
5.2.2 Vento Domável.....	100
5.2.3 Planiclíma.....	101
5.2.4 Despoiravent.....	102
5.2.5 Retaflex .....	103
5.2.6 Tomada de decisão.....	103
Capítulo 6: Conclusões .....	105
Referências Bibliográficas .....	109
Anexos.....	115
A. Levantamento fotográfico.....	115
A.1 Equipamentos.....	115
A.2 Condutas.....	123
A.3 Manutenção .....	128
A.4 Intervenções.....	131
B. Dados auxiliares.....	135
B.1 Fase de levantamento.....	135
B.2 Balanço de massa global.....	191
B.3 Balanço de energia mecânica.....	212
C. Recálculo do sistema.....	329
C.1 Cenário 1: <i>Pré-revamping</i> .....	329
C.2 Cenário 2: Circuito Ampliado .....	336
C.3 Cenário 3: Circuito Dividido .....	339
D. Caderno de encargos do projeto .....	341
E. Estimativas de custos.....	366
E.1 Caso 1: Substituição integral da rede de transporte.....	366
E.2 Caso 2: Substituição parcial da rede de transporte .....	376
E.3 Caso 3: Implementação das ramificações do cenário 2.1 .....	377
F. Comparação de propostas.....	378
F.1 SITAPE .....	378
F.2 Vento Domável.....	379

<b>F.3 Planiclina</b> .....	380
<b>F.4 Despoiravent</b> .....	383
<b>F.5 Retaflex</b> .....	384



## Índice de figuras

<i>Figura 1. 1 - Distribuição geográfica do Grupo RAR</i> <sup>[2]</sup> .....	3
<i>Figura 1. 2 - Fluxograma das etapas de refinação</i> <sup>[7]</sup> .....	4
Figura 2. 1 - Molécula de sacarose <sup>[8]</sup> .....	7
Figura 2. 2 - Representação de Haworth da molécula de sacarose <sup>[9]</sup> .....	7
Figura 2. 3 - Morfologia do cristal de sacarose <sup>[9]</sup> .....	7
Figura 2. 4 - Determinação do diâmetro médio da partícula de açúcar <sup>[18]</sup> .....	10
Figura 2. 5 - Distribuição granulométrica do açúcar branco por cada gama entre peneiros <sup>[18]</sup> .....	10
Figura 2. 6 – Cálculo do diâmetro hidráulico para condutas de secção circular, quadrada ou retangular <sup>[Adaptado de 22]</sup> .....	11
Figura 2. 7 - Variação da área de escoamento e respetiva velocidade <sup>[Adaptado de 25]</sup> .....	11
Figura 2. 12 - Ábaco para cálculo do coeficiente $k_j$ <sup>[Adaptado de 37,41]</sup> .....	18
Figura 2. 13 - Ábaco para cálculo do coeficiente $k_j$ <sup>[Adaptado de 26]</sup> .....	18
Figura 2. 14 - Nomenclatura para o cálculo do $k$ em: a) expansões; b) contrações <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	19
Figura 2. 15 -- Determinação do coeficiente $k$ em expansões graduais <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	20
Figura 2. 16 - Determinação do coeficiente $k$ em contrações graduais, para ângulos entre 15-150° <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	20
Figura 2. 17 Determinação do coeficiente $k$ em contrações graduais, para ângulos entre 3-40° <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	21
Figura 2. 18 - Determinação do coeficiente $k_{TSR}$ <sup>[Adaptado de 44]</sup> .....	21
Figura 2. 19 - Nomenclatura para determinação do $k_{1,3}$ e do $k_{2,3}$ para junções convergentes <sup>[Adaptado de 45]</sup> .....	22
Figura 2. 20 - Cálculo do coeficiente $k$ para bifurcações <sup>[Adaptado de 29]</sup> .....	23
Figura 2. 21 - Nomenclatura para o cálculo do coeficiente $k_v$ em válvulas de face a) Vista em corte transversal b) Vista em corte longitudinal <sup>[Adaptado de 37]</sup> .....	24
Figura 2. 22 – Cálculo do coeficiente $k$ para contrações súbitas do tipo tanque-tubo <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	25
Figura 2. 23 - Representação de uma expansão súbita do tipo tubo-tanque <sup>[Adaptado de 42]</sup> .....	25
<i>Figura 3. 1 - Legenda de um sistema de despoeiramento genérico</i> <sup>[Adaptado de 47]</sup> .....	28
Figura 3. 2 -Diagrama isométrico simplificado da instalação de Despoeiramento Geral da Refinaria .....	30
Figura 3. 3 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoeiramento geral na cota 0 da Refinaria .....	32
Figura 3. 4 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoeiramento geral na cota 4 da Refinaria .....	32
Figura 3. 5 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoeiramento geral na cota 7 da Refinaria .....	33
Figura 3. 6 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoeiramento geral na cota 11 da Refinaria .....	33
Figura 3. 7- Representação das plantas das tubulações da unidade de despoeiramento geral na cota 14 da Refinaria .....	34

Figura 3. 8- Esboços do sistema global, da conduta principal de aspiração (LP), câmara de lavagem (CL), ventilador (V) e chaminé (C) .....	36
Figura 3. 9 - Esboços das linhas secundárias 1, 2 e 3 .....	37
Figura 3. 10 - Esboços das linhas secundárias 4,5,6,7 e 8 .....	38
Figura 3. 11 - Esboço das linhas secundárias 9, 10A e 10B .....	39
Figura 3. 12 - Perfil térmico nas captações .....	45
Figura 3. 13 - Comparação do estado inicial (esquerda) com o estado final da conduta (direita) após a limpeza.....	46
Figura 3. 14 - Representação da ligação entre o equipamento processual e o ramal de aspiração .....	47
Figura 3. 15 - Representação esquemática do sistema de recuperação .....	51
Figura 3. 16 - Representação esquemática do tanque de lavagem da estação de tratamento .	55
Figura 3. 17 - Diagrama de convergências do Despoeiramento Geral da Refinaria .....	57
Figura 3. 18 - Distribuição das velocidades de aspiração nas ramificações.....	60
Figura 3. 19 – Evolução da velocidade de transporte ao longo da rede de transporte .....	61
Figura 3. 20 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte I) .....	64
Figura 4. 1 - Ábaco para determinação das perdas de carga friccionais.....	72
Figura 4. 2 – Redimensionamento dos nós do sistema existente.....	75
Figura 4. 3 - Traçado e classificação dos diâmetros da rede de transporte para o cenário 2.1..	76
Figura 4. 4 - Traçado e classificação dos diâmetros das redes de transporte para o cenário 3.1 .....	77
Figura 4. 5 -Traçado e classificação dos diâmetros das redes de transporte para o cenário 3.2. ....	78
Figura 4. 6 - Diagrama isométrico da rede de transporte do cenário 2.2 .....	79
Figura 4. 7 - Diagrama de convergências para o cenário 2.2 .....	81
Figura 5. 1 - Distribuição do investimento com base nos preços praticados pela Sandometal para materiais em AISI 316L.....	97
Figura A. 1 - Base do Transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163) .....	116
Figura A. 2 - Elevador de açúcar para silo de 70 ton (ELVE 0013).....	116
Figura A. 3 – Silo de 70 ton (SILO 0031) .....	116
Figura A. 4 - Transportador sem-fim de descarga para silo de 70 ton (TRSF 0048).....	116
Figura A. 5 - Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163) .....	117
Figura A. 6 - Transportador sem-fim para elevador dos classificadores (TRSF 0071).....	117
Figura A. 7 - Elevador de açúcares especiais (ELVE 0015).....	117
Figura A. 8 - Arrefecedor de açúcar (PCCL 0010) .....	117
Figura A. 9 - Elevador para classificadores (ELVE 0012).....	118
Figura A. 10 - Elevador para Silo 75 ton (ELVE 0014) .....	118
Figura A. 11 - Transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	118
Figura A. 12 - Sala dos Classificadores.....	118
Figura A. 13 - Silo de 40 ton para açúcar a granel (SILO 0011) .....	119

Figura A. 14 - Elevador de retorno dos classificadores (ELVE 0016) .....	119
Figura A. 15 - Silo de açúcar de 20 ton (SILO 0037) .....	120
Figura A. 16 - Silo de pó e troças de 10 ton (SILO 0038) .....	120
Figura A. 17 - Transportador sem-fim de descarga no elevador dos classificadores (TRSF 0045) .....	120
Figura A. 18 - Transportador sem-fim de ligação do classificador à torre (TRSF 0051) .....	120
Figura A. 19 - Representação do ponto de transferência entre o TRSF 0051 e o TRSF 0004 (Transportador sem fim para elevador da torre).....	121
Figura A. 20 - Transportador sem-fim nº2 do sistema alternativo (TRSF 0076) .....	121
Figura A. 21 - Representação da câmara de lavagem, ventilador e chaminé do Despoeiramento Geral da Refinaria.....	122
Figura A. 22 – Fotografia do ventilador e transição para a chaminé .....	122
Figura A. 23 - Fotografia da câmara de lavagem.....	122
Figura A. 24 - Descarga de águas doces para o tanque de lavagem da estação de tratamento .....	122
Figura A. 25 - Fotografia do tanque de lavagem da estação de tratamento .....	122
Figura A. 26 - Fotografia da bomba de recirculação de águas doces para a câmara de lavagem (vermelha) e da bomba que envia águas doces para as destruidoras (cinzenta) .....	122
Figura A. 27 - Fotografia do sistema de recuperação do Despoeiramento Geral da Refinaria e da conduta principal.....	123
Figura A. 28 - Progressão da conduta principal até à Sala dos Classificadores.....	123
Figura A. 29 – Captação LS1, na base do transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163) .....	124
Figura A. 30 - Captação LS2A, no elevador de açúcar para silo de 70 ton (ELVE 0013).....	124
Figura A. 31 - Captação LS2B, no topo do silo de 70 ton (SILO 0031) .....	124
Figura A. 32 – Captação LS3A, no transportador sem-fim de descarga para o silo de 70 ton (TRSF 0048).....	124
Figura A. 33 – Captação LS3B, na base do transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga do secador de 20 ton (TRBA 0163) .....	124
Figura A. 34 – Captação LS4, no transportador sem-fim para o elevador dos classificadores (TRSF 0171).....	125
Figura A. 35 - Captação LS5, no transportador de banda de açúcar especial para Máquina Libra (TRBA 0167).....	125
Figura A. 36 – Captação LS6A, no elevador de açúcares especiais (ELVE 0015) .....	125
Figura A. 37 – Captação LS6B, no arrefecedor de açúcar (PCCL 0010) .....	125
Figura A. 38 – Captação LS7 no elevador para classificadores (ELVE 0012) .....	126
Figura A. 39 – Captação LS8 no elevador para silo de 75 ton (ELVE 0014) .....	126
Figura A. 40 - Captação no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	126
Figura A. 41 - Captação LS10A1, no silo de 40 ton de açúcar a granel (SILO 0031) .....	126
Figura A. 42 - Captação LS10A2, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	127
Figura A. 43 - Captação LS10A3, no elevador de retorno dos classificadores (LS10A3) .....	127
Figura A. 44 - Captação LS10B1, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	127
Figura A. 45 - Captação LS10B2, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	127

Figura A. 46 - Captação LS10B3, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029) .....	127
Figura A. 47 - Válvula borboleta no interior do ramal LS10A2.....	128
Figura A. 48 - Interior da conduta a jusante das ramificações LS3 e LS4 .....	128
Figura A. 49 - Interior das condutas dos ramais LS3 e LS4 .....	128
Figura A. 50 - Ligação entre os ramais LS3 e LS4 e a conduta principal, após limpeza .....	128
Figura A. 51 - Limpeza na sala dos classificadores .....	129
Figura A. 52 - Açúcar acumulado na bifurcação da linha principal .....	129
Figura A. 53 - Bifurcação da linha principal após a limpeza, na perspetiva do ramal LS10A....	129
Figura A. 54 - Bifurcação da linha principal após limpeza, na perspetiva do ramal LS10B .....	129
Figura A. 55 - Bifurcação da linha principal após a limpeza, na perspetiva da linha principal de aspiração .....	129
Figura A. 56 - Remoção do filtro colmatado .....	130
Figura A. 57 - Representação do separador de gotas .....	130
Figura A. 58 - Instalação de novo filtro .....	130
Figura A. 59 - Manómetro WIKA instalado a jusante do ventilador .....	131
Figura A. 60 - Vacuómetro WIKA instalado a montante do ventilador.....	131
Figura A. 61 - Instalação experimental para determinação da queda de pressão no ventilador .....	132
Figura A. 62 - Medição do desnível da água devido à diferença de pressões centrada no ventilador .....	132
Figura A. 63 - Caixa de proteção do sistema de transmissão do motoventilador .....	133
Figura A. 64 - Polia em operação a priori do ensaio .....	133
Figura A. 65 - Polia em repouso com duas tiras de papel para indicação visual.....	133
Figura A. 66 - Validação da determinação da frequência de rotação .....	133
Figura A. 67 - Ponto de medição da velocidade do ar na admissão do ventilador .....	134
Figura A. 68 - Depósito usado para a determinação do caudal de águas doces recirculadas para a câmara de lavagem .....	134
Figura B. 1 - Comprimento total das condutas de cada linha de aspiração.....	136
Figura B. 2 - Legenda da configuração do ventilador BN3-900 <sup>[Adaptado de 50]</sup> .....	178
Figura B. 3 - Curva característica do ventilador BN3-900 da Vakutec <sup>[Adaptado de 49]</sup> .....	179
Figura B. 4 - Distribuição do caudal de aspiração por ramal.....	191
Figura B. 5 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte I).....	208
Figura B. 6 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte II).....	209
Figura B. 7 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte III).....	210
Figura B. 8 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte IV).....	211
Figura B. 9 - Carta de Moody, expressa em termos do fator de atrito de Fanning <sup>[Adaptado de 38]</sup> .....	282
Figura B. 10 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 40-650 mm <sup>[29]</sup> .....	313
Figura B. 11 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 160-3000 mm <sup>[29]</sup> .....	314
Figura B. 12 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 160 e os 2000 mm <sup>[29]</sup> .....	315
Figura C. 1 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as condutas existentes no cenário 1 (parte I) .....	336
Figura C. 2 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as tubagens existentes do cenário 1 (parte II) .....	337

Figura C. 3 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as tubagens existentes do cenário 1 (parte III) .....	338
Figura C. 4 - Equipamento recomendado pela Vento Domável.....	339
Figura C. 5 - Princípio de funcionamento do scrubber.....	340
Figura F. 1 - Separador de via húmida HIZV-T nº13 da Handte Iberica.....	379
Figura F. 2 - Curva característica do ventilador CMRG-2271-4T.....	382



## Índice de tabelas

<i>Tabela 1.1 - Cronograma de atividades desenvolvidas</i> .....	1
Tabela 2. 1 - Lista de propriedades físico-químicas da sacarose e do açúcar branco <sup>[9,10,11,12]</sup> .....	8
Tabela 2. 2 - Gama de Reynolds e rugosidade relativa para o cálculo do fator de atrito <sup>[31,34,35]</sup> 15	
Tabela 2. 3 - Rugosidades absolutas do material das condutas <sup>[28,36,37]</sup> .....	15
Tabela 2. 4 - Correspondência entre o $k_v$ previsto e o ângulo do damper de válvulas borboleta [Adaptado de 40] .....	23
Tabela 3. 1 - Instrumentos utilizados durante a fase de levantamento .....	29
Tabela 3. 2 - Correspondência entre a designação técnica dos equipamentos e das ramificações a que pertencem .....	40
Tabela 3. 3 - Correspondência entre a designação técnica dos equipamentos processuais que se pretendem implementar .....	41
Tabela 3. 4 - Lista do número de segmentos, comprimento, diâmetro médio e cotas das linhas de aspiração .....	42
Tabela 3. 5 - Levantamento dos acessórios e do material nas condutas do sistema .....	43
Tabela 3. 6 - Determinação da gama de temperaturas e massas volúmicas do ar na rede de transporte <sup>[Adaptado de 9]</sup> .....	45
Tabela 3. 7 - Medição das velocidades de transporte e determinação do caudal de aspiração no dia 29 de maio.....	47
Tabela 3. 8 - Avaliação dos acessórios das condutas para cada captação.....	49
Tabela 3. 9 - Dados de operação do ventilador BN3-900 .....	52
Tabela 3. 10 - Ensaios realizados à chaminé do sistema de despoejamento geral da Refinaria54	
Tabela 3. 11 - Determinação da gama de capacidades do sistema para a instalação existente e ainda para o cenário 2 (sistema ampliado).....	58
Tabela 3. 12 - Distribuição das velocidades na rede de transporte .....	59
Tabela 3. 13 - Lista dos diâmetros hidráulico e equivalente para as captações .....	62
Tabela 3. 14 -Distribuição das quedas de pressão localizadas calculadas para cada tipo de acessório .....	65
Tabela 3. 15 - Distribuição e cálculo das quedas de pressão, por linha de aspiração .....	67
Tabela 3. 16 - Distribuição das quedas de pressão de todos os trajetos captação-atmosfera... 68	
Tabela 4. 1 - Análise aos nós do sistema existente (para $v = 22$ m/s).....	74
Tabela 4. 2 - Descrição das alterações necessárias para a rede de transporte do cenário 2.2 .. 80	
Tabela 4. 3 - Identificação das linhas e dos nós da rede de transporte e correspondência entre as captações e os equipamentos processuais (parte I).....	82
Tabela 4. 4 - Identificação das linhas e dos nós da rede de transporte e correspondência entre as captações e os equipamentos processuais (parte II).....	83
Tabela 4. 5 - Cálculo do diâmetro efetivo para as correntes entre nós no cenário 2.2 (parte I) 85	
Tabela 4. 6 - Cálculo do diâmetro efetivo para as correntes entre nós no cenário 2.2 (parte II)86	

Tabela 4. 7 - Normalização dos diâmetros efetivos calculados para as condutas do cenário 2.2 (parte I).....	87
Tabela 4. 8 - Normalização dos diâmetros efetivos calculados para as condutas do cenário 2.2 (parte II).....	88
Tabela 4. 9 - Cálculo e normalização dos diâmetros efetivos para os cones de aspiração no cenário 2.2.....	89
Tabela 5. 1 - Preços de condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	94
Tabela 5. 2 - Preços de condutas da Sandometal em AISI 304 e AISI 316, considerando a substituição integral da rede de transporte .....	94
Tabela 5. 3 - Lista de dimensões dos componentes necessários para a substituição integral da rede de transporte (parte I) .....	95
Tabela 5. 4- Lista de dimensões dos componentes necessários para a substituição integral da rede de transporte (parte II) .....	96
Tabela 5. 5 - Resumo dos preços estimados para a substituição integral da rede de transporte .....	96
Tabela 5. 6 - Estimativa dos custos associados à aquisição de materiais em AISI 316L para a substituição parcial da rede de transporte .....	98
Tabela 5. 7 - Estimativa dos custos associados à aquisição de materiais em AISI 316L para a implementação das novas captações na rede de transporte .....	99
Tabela 5. 8 - Estimativa da poupança no investimento se forem aproveitadas as condutas existentes com diâmetros adequados .....	99
Tabela 5. 9 - Comparação das propostas da Vento Domável, Planiclíma e Despoiravent para a substituição integral da rede de transporte .....	103
Tabela 5. 10 - Comparação das propostas reunidas para a ampliação da rede de transporte existente.....	104
Tabela B. 1 - Dimensões dos equipamentos processuais .....	135
Tabela B. 2 - Dimensões dos equipamentos processuais que se pretendem implementar .....	136
Tabela B. 3 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte I).....	137
Tabela B. 4 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte II).....	137
Tabela B. 5 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte III).....	138
Tabela B. 6 - Cálculo do diâmetro médio ponderado da chaminé.....	140
Tabela B. 7 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) da ligação entre a câmara de lavagem e o ventilador .....	140
Tabela B. 8 - Cálculo do diâmetro médio ponderado da linha principal de aspiração .....	140
Tabela B. 9 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) da linha principal de aspiração .....	140
Tabela B. 10 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS1 (TRBA 0163 – Base) .....	140
Tabela B. 11 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS1 (TRBA 0163 – Base).....	140

Tabela B. 12 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS2A (ELVE 0013) .....	140
Tabela B. 13 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS2B (SILO 0031) .....	140
Tabela B. 14 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS2B (SILO 0031) .....	141
Tabela B. 15 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS3A (TRSF 0048) .....	141
Tabela B. 16 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS3A (TRSF 0048).....	141
Tabela B. 17 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS3B (TRBA 0163 - Topo) .....	141
Tabela B. 18 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS4 (TRSF 0071) .....	141
Tabela B. 19 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS4 (TRSF 0071) .....	141
Tabela B. 20 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS5 (TRBA 0167).....	141
Tabela B. 21 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS5 (TRBA 0167) .....	141
Tabela B. 22 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS6A (ELVE 0015) .....	142
Tabela B. 23 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS6A (ELVE 0015) .....	142
Tabela B. 24 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS6B (PCCL 0010) .....	142
Tabela B. 25 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS7 (ELVE 0012) .....	142
Tabela B. 26 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS7 (ELVE 0012) .....	142
Tabela B. 27 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS8 (ELVE 0014) .....	142
Tabela B. 28 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS8 (ELVE 0014) .....	142
Tabela B. 29 - Cálculo do diâmetro médio ponderado para o ramal LS9 (TRSF 0029) .....	142
Tabela B. 30 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS9 (TRSF 0029) .....	142
Tabela B. 31 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A1 (SILO 0011) .....	142
Tabela B. 32 - Cálculo do diâmetro médio ponderado para o ramal LS10A2 (TRSF 0029) .....	143
Tabela B. 33 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A2 (TRSF 0029).....	143
Tabela B. 34 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10A3 (ELVE 0016) .....	143
Tabela B. 35 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A3 (ELVE 0016) .....	143
Tabela B. 36 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B1 (TRSF 0029) .....	143
Tabela B. 37 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B1 (TRSF 0029).....	143
Tabela B. 38 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B2 (TRSF 0029) .....	143
Tabela B. 39 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B2 (TRSF 0029).....	143
Tabela B. 40 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B3 (TRSF 0029) .....	143
Tabela B. 41 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B3 (TRSF 0029).....	143

Tabela B. 42 – Evolução das propriedades físicas ao longo dos segmentos da chaminé .....	146
Tabela B. 43 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas entre a câmara de lavagem e o ventilador .....	147
Tabela B. 44 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte I) .....	148
Tabela B. 45 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte II) .....	149
Tabela B. 46 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte III) .....	150
Tabela B. 47 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte IV) .....	151
Tabela B. 48 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS1.....	152
Tabela B. 49 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS2A .....	153
Tabela B. 50 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS2B.....	154
Tabela B. 51 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS3A .....	155
Tabela B. 52 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS3B.....	156
Tabela B. 53 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS4.....	156
Tabela B. 54 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS5 (parte I) .....	158
Tabela B. 55 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS5 (parte II) .....	158
Tabela B. 56 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS6A .....	159
Tabela B. 57 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS6B.....	160
Tabela B. 58 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS7.....	161
Tabela B. 59 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS8.....	162
Tabela B. 60 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS9.....	163
Tabela B. 61 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos da bifurcação da linha principal .....	164
Tabela B. 62 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A1 (parte I) ..	165
Tabela B. 63 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A1 (parte II) .	166
Tabela B. 64 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A2 .....	167
Tabela B. 65 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A3 (parte I) ..	168
Tabela B. 66 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B1.....	169
Tabela B. 67 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B2.....	170
Tabela B. 68 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B3.....	171
Tabela B. 69 - Levantamento e classificação das LEP (parte I).....	172
Tabela B. 70 - Levantamento e classificação das LEP (parte II).....	173
Tabela B. 71 - Listagem da temperatura e outras propriedades do ar para cada captação <sup>[9]</sup> .	176
Tabela B. 72 - Medição da velocidade do ar nos ramais da instalação no dia 8 de julho .....	177
Tabela B. 73 - Análise da composição das águas doces no dia 30 de maio .....	180
Tabela B. 74 - Análise da composição das águas doces no dia 1 de junho .....	180
Tabela B. 75 - Análise da composição das águas doces no dia 8 de junho .....	180
Tabela B. 76 - Análise da composição das águas doces no dia 16 de junho .....	180
Tabela B. 77 - Análise da composição das águas doces no dia 27 de junho .....	181
Tabela B. 78 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 1 de junho.....	182
Tabela B. 79 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 8 de junho.....	182

Tabela B. 80 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 16 de junho.....	182
Tabela B. 81 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 27 de junho.....	182
Tabela B. 82 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 1º conjunto de ensaios realizados .....	183
Tabela B. 83 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 2º conjunto de ensaios realizados .....	184
Tabela B. 84 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 3º conjunto de ensaios realizados .....	184
Tabela B. 85 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 1 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados .....	185
Tabela B. 86 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 1 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados .....	186
Tabela B. 87 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 8 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados .....	187
Tabela B. 88 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados .....	187
Tabela B. 89 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados .....	188
Tabela B. 90 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 3º conjunto de ensaios realizados .....	188
Tabela B. 91 - Determinação experimental do caudal da água da rede, no dia 9 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados.....	189
Tabela B. 92 – Determinação experimental do caudal da água da rede, no dia 9 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados.....	189
Tabela B. 93 - Determinação da proporção de tempo em que a BBCE 0132 opera em regime contínuo .....	189
Tabela B. 94 - Determinação experimental do caudal horário médio da BBCE 0132.....	190
Tabela B. 95 - Recálculo das velocidades de captação para os ramais da instalação.....	192
Tabela B. 96 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte I) .....	193
Tabela B. 97 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte II) .....	194
Tabela B. 98 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte III) .....	195
Tabela B. 99 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte IV) .....	196
Tabela B. 100 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte V) .....	197
Tabela B. 101 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte VI) .....	198
Tabela B. 102 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte VII) .....	199
Tabela B. 103 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte I).....	201
Tabela B. 104 Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte II).....	202
Tabela B. 105 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte III).....	203

Tabela B. 106 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte IV) .....	204
Tabela B. 107 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte V) .....	205
Tabela B. 108 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte VI) .....	206
Tabela B. 109 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte VII) ....	207
Tabela B. 110 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte I).....	213
Tabela B. 111 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte II).....	214
Tabela B. 112 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte III).....	215
Tabela B. 113 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte I)....	216
Tabela B. 114 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte II)...	217
Tabela B. 115 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte III)..	218
Tabela B. 116 - Identificação das propriedades das derivações do sistema.....	219
Tabela B. 117 - Determinação do coeficiente de perda de carga localizada e cálculo da queda de pressão atribuída ao ramal nas derivações da rede de transporte .....	221
Tabela B. 118 - Determinação do coeficiente de perda de carga localizada e cálculo da queda de pressão atribuída à coluna principal nas derivações da rede de transporte .....	222
Tabela B. 119 - Comparação dos métodos usados para o cálculo das quedas de pressão nas derivações .....	223
Tabela B. 120 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as contrações graduais (entre condutas) do sistema .....	224
Tabela B. 121 - Cálculo da queda de pressão causada pelas contrações graduais (entre condutas) do sistema .....	225
Tabela B. 122 - Cálculo das perdas de carga originadas pelas contrações súbitas (transição equipamento-condutas) do sistema .....	226
Tabela B. 123 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as expansões graduais (entre condutas) do sistema .....	227
Tabela B. 124 - Cálculo da queda de pressão associada às expansões graduais (entre condutas) do sistema .....	228
Tabela B. 125 - Cálculo das quedas de pressão causadas pela expansão súbita das condutas (transição tubagem-equipamento) do sistema.....	229
Tabela B. 126 - Cálculo das quedas de pressão originadas pela transformação da secção reta nas condutas do sistema .....	229
Tabela B. 127 - Cálculo da queda de pressão gerada pela passagem da corrente de ar pela bifurcação da linha principal .....	230
Tabela B. 128 - Cálculo das quedas de pressão originadas pelas válvulas nos ramais do sistema .....	231
Tabela B. 129 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte I).....	232
Tabela B. 130 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte II).....	233
Tabela B. 131 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte III).....	234
Tabela B. 132 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte IV) .....	235

Tabela B. 133 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte V) .....	236
Tabela B. 134 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte VI) .....	237
Tabela B. 135 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte VII) .....	238
Tabela B. 136 - Cálculo das quedas de pressão localizadas associadas ao caminho crítico de aspiração (parte I) .....	239
Tabela B. 137 - Cálculo das quedas de pressão localizadas associadas ao caminho crítico de aspiração (parte II) .....	240
Tabela B. 138 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I).....	242
Tabela B. 139 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II).....	243
Tabela B. 140 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III).....	244
Tabela B. 141 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV) .....	245
Tabela B. 142 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V) .....	246
Tabela B. 143 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI) .....	247
Tabela B. 144 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII) .....	248
Tabela B. 145 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII) .....	249
Tabela B. 146 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	250
Tabela B. 147 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)	251
Tabela B. 148 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II) .....	252
Tabela B. 149 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III) .....	253

Tabela B. 150 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)	254
Tabela B. 151 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)	255
Tabela B. 152 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)	256
Tabela B. 153 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)	257
Tabela B. 154 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)	258
Tabela B. 155 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)	259
Tabela B. 156 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)	260
Tabela B. 157 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)	261
Tabela B. 158 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)	262
Tabela B. 159 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)	263
Tabela B. 160 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)	264
Tabela B. 161 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)	265
Tabela B. 162 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)	266
Tabela B. 163 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)	267
Tabela B. 164 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)	268

Tabela B. 165 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	269
Tabela B. 166 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X).....	270
Tabela B. 167 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I).....	272
Tabela B. 168 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II).....	273
Tabela B. 169 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III).....	274
Tabela B. 170 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV).....	275
Tabela B. 171 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V).....	276
Tabela B. 172 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI).....	277
Tabela B. 173 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII).....	278
Tabela B. 174 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII).....	279
Tabela B. 175 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	280
Tabela B. 176 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X).....	281
Tabela B. 177 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I).....	283
Tabela B. 178 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II).....	284
Tabela B. 179 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III).....	285
Tabela B. 180 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV).....	286

Tabela B. 181 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V) .....	287
Tabela B. 182 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI) .....	288
Tabela B. 183 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII) .....	289
Tabela B. 184 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII) .....	290
Tabela B. 185 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	291
Tabela B. 186 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X).....	292
Tabela B. 187 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I).....	293
Tabela B. 188 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II).....	294
Tabela B. 189 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III).....	295
Tabela B. 190 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV) .....	296
Tabela B. 191 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V) .....	297
Tabela B. 192 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI) .....	298
Tabela B. 193 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII) .....	299
Tabela B. 194 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII) .....	300
Tabela B. 195 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	301

Tabela B. 196 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X).....	302
Tabela B. 197 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I).....	303
Tabela B. 198 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II).....	304
Tabela B. 199 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III).....	305
Tabela B. 200 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV) .....	306
Tabela B. 201 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V) .....	307
Tabela B. 202 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI) .....	308
Tabela B. 203 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII) .....	309
Tabela B. 204 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII) .....	310
Tabela B. 205 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX).....	311
Tabela B. 206 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X).....	312
Tabela B. 207 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte I).....	317
Tabela B. 208 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte II).....	318
Tabela B. 209 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte III).....	319
Tabela B. 210 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte IV).....	320
Tabela B. 211 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte V).....	321
Tabela B. 212 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VI).....	322
Tabela B. 213 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VII).....	323

Tabela B. 214 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VIII).....	324
Tabela B. 215 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte IX).....	325
Tabela B. 216 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte X).....	326
Tabela B. 217 - Resultados dos cálculos das quedas de pressão para as correntes e comparação dos métodos utilizados para quantificar as quedas de pressão localizadas nas derivações ....	327
Tabela B. 218 - Comparação dos métodos aplicados para a determinação das perdas de carga friccionais .....	328
Tabela C. 1 - Identificação das correntes que comunicam com os nós da rede de transporte	329
Tabela C. 2 - Cálculo do diâmetro efetivo das correntes de saídas dos nós da instalação quando a velocidade de transporte nos ramais é de 20 m/s.....	331
Tabela C. 3 - Cálculo do diâmetro efetivo das correntes de saídas dos nós da instalação quando a velocidade de transporte nos ramais é de 25 m/s.....	332
Tabela C. 4 - Descrição dos diâmetros, caudais e velocidades das correntes dos nós da instalação quando a velocidade de transporte é de 22 m/s.....	333
Tabela C. 5 – Cálculo do diâmetro ideal da captação e comparação com a captação instalada .....	335
Tabela E. 1 - Estimativa dos preços das condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte (parte I) .....	366
Tabela E. 2 - Estimativa dos preços das condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte (parte II) .....	367
Tabela E. 3 - Estimativa dos preços de condutas calandradas da Sandometal em aço inox 304 ou 316 (fechados por pontos ou soldadura contínua), considerando a substituição integral da rede de transporte .....	368
Tabela E. 4 - Estimativa dos preços de condutas calandradas da VAL Steel em aço inoxidável 304, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	369
Tabela E. 5 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para condutas e reduções concêntricas em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	370
Tabela E. 6 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para curvas em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte .....	371
Tabela E. 7 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para derivações em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	372
Tabela E. 8 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para pares flangeados em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	373
Tabela E. 9 - - Estimativa dos preços praticados pela Coral para flanges circulares/barra considerando a substituição integral da rede de transporte.....	374
Tabela E. 10 - Cálculo do passo médio dos pares flangeados fabricados pela Sandometal, considerando a substituição integral da rede de transporte.....	375
Tabela E. 11 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para materiais em aço inoxidável 316L, considerando a substituição parcial da rede de transporte .....	376

Tabela E. 12 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para materiais em aço inoxidável 316L, considerando apenas a implementação das novas ramificações na rede de transporte existente..... 377

Tabela F. 1 - Preços indicados pela Planiclíma para a substituição das condutas das captações ..... 380

Tabela F. 2 - Preços indicados pela Planiclíma para a substituição da linha principal e ramificações ..... 381

Tabela F. 3 - Quadro resumo da proposta da Planiclíma dependendo do material utilizado, âmbito da intervenção e horário de trabalho..... 382

Tabela F. 4 - Estimativa do preço dos materiais necessários para implementar as novas captações..... 384



## Nomenclatura

A – Área de secção reta [m<sup>2</sup>]

A<sub>0</sub> – Área de secção reta da conduta, quando a válvula de faca se encontra aberta [m<sup>2</sup>]

A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> – Áreas de escoamento de um ramal à entrada de um nó (corrente 1) e da conduta principal (corrente 3) [m<sup>2</sup>]

A<sub>e</sub> – Área superficial de uma esfera [m<sup>2</sup>]

A<sub>p</sub> – Área superficial da partícula de açúcar [m<sup>2</sup>]

A<sub>s</sub> – Área superficial de uma conduta [m<sup>2</sup>]

A<sub>Q</sub> – Área de secção reta da conduta livre, de acordo com o grau de abertura da válvula de faca [m<sup>2</sup>]

a – Lado de um quadrado [m]

a<sub>1,3</sub> - Razão entre as áreas de escoamento de um ramal à entrada de um nó (corrente 1) e da conduta principal (corrente 3) [adimensional]

°Bx – Graus Brix [ou % mássica de açúcar em solução, adimensional]

Cd – Coeficiente de descarga [adimensional]

Cd<sub>0</sub> – Coeficiente de descarga mínimo [adimensional]

f<sub>D</sub> – Fator de atrito de Darcy [adimensional]

f<sub>F</sub> – Fator de atrito de Fanning [adimensional]

f<sub>M</sub> – Fator de atrito de Moody [adimensional]

G – Fluxo mássico [kg/(m<sup>2</sup>.h)]

g – Aceleração da gravidade [m<sup>2</sup>/s]

H<sub>s</sub> – Teor de humidade de materiais sólidos [massa (kg) de água por massa (kg) de sólidos (base húmida), adimensional]

h – Altura [m]

h<sub>f</sub> – Perda de carga friccional [m<sub>coluna de fluido</sub>]

h<sub>l</sub> – Perda de carga localizada [m<sub>coluna de fluido</sub>]

K<sub>θ</sub> – Fator de correção do ângulo para o coeficiente de perda de carga em curvas [adimensional]

k – Coeficiente de perda de carga (ou queda de pressão) localizada [adimensional]

k<sub>1,3</sub>, k<sub>2,3</sub> – Coeficientes individuais de resistência ao escoamento nas derivações [adimensional]

k<sub>90°</sub> – Coeficiente de resistência ideal ao escoamento de um fluido através de um joelho de 90° [adimensional]

$k_{BLP}$  – Coeficiente de resistência ideal ao escoamento da mistura de duas correntes de fluidos através de uma bifurcação [adimensional]

$k_{C,G}$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma contração gradual [adimensional]

$k_{C,S}$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma contração súbita do tipo tanque-tubo [adimensional]

$k_{E,G}$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma expansão gradual [adimensional]

$k_{E,S}$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma expansão súbita do tipo tubo-tanque [adimensional]

$k_J$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de um joelho [adimensional]

$k_{TSR}$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma transformação da geometria de secção reta [adimensional]

$k_V$  – Coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de uma válvula [adimensional]

$L$  – Comprimento [m]

$L_{TR}$  – Comprimento de troços retos [m]

$MM$  – Massa molecular relativa [g/mol]

$m$  – Massa [kg]

$\dot{m}$  – Caudal mássico [kg/h]

$N$  – Potência [kW]

$N_G$  – Número de gomos em curvas por gomos [adimensional]

$n$  – Frequência de rotação [rpm]

$\dot{n}$  – Caudal molar [mol/h]

$Q$  – Caudal volumétrico [m<sup>3</sup>/h]

$Q_1, Q_2, Q_3$  – Caudais volumétricos das correntes características nos nós, por convenção a corrente 1 é o ramal, a corrente 2 é a conduta principal de transporte e a corrente 3 é a resultante [m<sup>3</sup>/h]

$q_{1,3}, q_{2,3}$  – Razão entre os caudais volumétricos de entrada nos nós com o caudal da corrente resultante [adimensional]

$P$  – Pressão total [Pa, atm ou bar]

$P_d$  – Pressão dinâmica [Pa]

$P_e$  – Pressão de elevação [Pa]

$P_m$  – Perímetro [m]

$P_{m,m}$  – Perímetro molhado ou em contacto com um fluido numa conduta [m]

$P_s$  – Pressão estática [Pa]  
 $R$  – Raio [m]  
 $Re$  – Número de Reynolds [adimensional]  
 $R_c$  – Raio da curvatura [m]  
 $R_e$  – Arco de curvatura externo [m]  
 $R_g$  – Constante dos gases perfeitos [J/mol.K]  
 $R_h$  – Raio hidráulico [m]  
 $R_i$  – Arco de curvatura interno [m]  
 $R_{VF}$  – Raio da lâmina em válvulas de faca [m]  
 $T$  – Temperatura [°C ou K]  
 $T_f$  – Temperatura de fusão [°C ou K]  
 $t$  – Tempo [s ou h]  
 $V$  – Volume [m<sup>3</sup>]  
 $V_p$  – Volume da partícula [m<sup>3</sup>]  
 $V_s$  – Volume de material sólido [m<sup>3</sup>]  
 $V_t$  – Volume total [m<sup>3</sup>]  
 $V_v$  – Volume de espaços vazios ou poros [m<sup>3</sup>]  
 $v$  – Velocidade [m/s]  
 $v_c$  – Velocidade de captação [m/s]  
 $v_m$  – Velocidade de mistura [m/s]  
 $v_t$  – Velocidade de transporte [m/s]  
 $W$  – Trabalho mecânico unitário fornecido ao fluido [J/kg]  
 $w$  – Largura [m]  
 $Y_e$  – Umidade específica [massa (kg) de vapor de água por massa (kg) de ar seco, adimensional]  
 $z$  – Altura em relação ao plano de referência [m]  
 $z_i$  – Cota de captação/origem [m]  
 $z_f$  – Cota de destino [m]

- Símbolos gregos

- $\alpha$  – Metade do ângulo de abertura em expansões ou contrações concêntricas[°]
- $\beta$  – Fator de correção da velocidade segundo o regime de escoamento [adimensional]
- $\gamma$  – Constante angular para o cálculo do fator de perda de carga localizada para os ramais nas derivações [radianos]
- $\Delta P_f$  – Queda de pressão friccional [Pa]
- $\Delta P_f/L_{TR}$  – Gradiente de queda de pressão (ou de fricção) [Pa/m]
- $\Delta P_l$  – Queda de pressão localizada [Pa]
- $\Delta P_t$  – Queda de pressão total [Pa]
- $\Delta x$  – Espessura [m ou mm]
- $\Delta z$  – Diferença de cotas entre dois pontos [m]
- $\varepsilon$  – Rugosidade absoluta da superfície interna do material das condutas [m ou  $\mu\text{m}$ ]
- $\varepsilon/\varnothing_h$  – Rugosidade relativa [adimensional]
- $\eta$  – Eficiência [adimensional, %]
- $\theta$  – Ângulo de abertura total (ou incluso) em expansões ou contrações concêntricas, ângulo de mudança de direção das curvas [°]
- $\lambda$  – Ângulo de entrada do ramal na linha principal nos nós da rede de transporte [° ou radianos]
- $\mu$  – Viscosidade absoluta (ou dinâmica) [Pa.s]
- $\nu$  – Viscosidade cinemática [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
- $\Xi$  – Grau de arredondamento da lâmina em válvulas de faca [adimensional]
- $\xi$  – Raio da curvatura da lâmina em válvulas de faca [m]
- $\rho$  – Massa volúmica [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $\rho_{AD}$  – Massa volúmica de correntes de águas doces [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $\rho_{ap}$  – Massa volúmica aparente [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $\rho_f$  – Massa volúmica do fluido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $\rho_s$  – Massa volúmica do material sólido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $\phi$  – Porosidade do açúcar branco do processo [adimensional, %]
- $\varphi$  – Razão entre a área de secção reta da conduta e a área barrada [adimensional]
- $\psi$  – Esfericidade da partícula de açúcar [adimensional, %]
- $\omega$  - Abertura da lâmina em válvulas de faca [m]
- $\Omega$  – Fator de abertura da lâmina em válvulas de faca [adimensional]

- Outros símbolos

$\emptyset$  – Diâmetro [m ou mm]

$\emptyset_e$  – Diâmetro efetivo [m ou mm]

$\emptyset_{eq}$  – Diâmetro equivalente [m]

$\emptyset_h$  – Diâmetro hidráulico [m]

$\emptyset_n$  – Diâmetro normalizado [m ou mm]

$\overline{\emptyset}_p$  – Diâmetro médio da partícula [ $\mu\text{m}$ ]

$\emptyset_r$  – Diâmetro real [m ou mm]



## Abreviaturas

BBCE – Bomba centrífuga

BLP – Bifurcação da linha principal

C – Chaminé

CL – Câmara de lavagem

CL-V – Ligação entre a câmara de lavagem e o ventilador

DESP - Despoeiramento

DEPO – Depósito

ELVE - Elevador

LEP – Ligação equipotencial

LP – Linha principal

LS – Linha secundária

LT – Linha terciária

LQ – Linha quaternária

MOTE – Motor elétrico

PCCL – Coluna de arrefecimento (*chiller*)

SILO – Silo

TL – Tanque do despoeiramento da estação de classificação

TR – Troços retos de tubagens

TRBA – Transportador de banda

TRSF – Transportador sem-fim

TSR – Transformação de geometria de secção reta da conduta

VB – Válvula borboleta

V-C – Ligação entre a saída do ventilador e a chaminé

VENT – Ventilador centrífugo radial

VF – Válvula de faca (alternativamente pode ser designada de válvula de gaveta, comporta ou de guilhotina)

# Capítulo 1: Introdução

## 1.1 Enquadramento

O estágio decorreu na empresa Grupo RAR (Refinarias de Açúcar Reunidas), nomeadamente na área de Produção entre 22 de fevereiro e 17 de outubro de 2017, e o horário de trabalho foi o seguinte: 09:00h até às 17:00h.

Na Tabela 1.1, encontram-se as principais atividades desenvolvidas ao longo dos 8 meses:

Tabela 1.1 - Cronograma de atividades desenvolvidas

fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro
Levantamento de dados para construção de diagramas, análise dos balanços de massa e de energia mecânica e redimensionamento								
	Diagramas em AutoCAD				AutoCAD			
			1ª Limpeza	2ª Limpeza de condutas				
			1ª Intervenção	2ª, 3ª, 4ª e 5ª Intervenção				
	Recálculo (SITAPE)	Recálculo (Vento Domável)					Caderno de encargos e comparação de propostas	Tomada de decisão
						Estimativa dos custos do <i>revamping</i>		

## 1.2 Tema e objetivos do estágio

O objetivo global proposto foi o *revamping* de uma instalação de despoeiramento por via húmida. A unidade fabril designa-se por Despoeiramento Geral da Refinaria, onde é captada a poeira de açúcar de vários equipamentos nas seguintes etapas do processo: Secagem, Transporte, Classificação e Armazenamento.

Numa etapa inicial foi necessário realizar o levantamento da instalação existente para cumprir os objetivos:

- Construção de um diagrama isométrico representativo e atualização do diagrama em plantas do mesmo;
- Caracterização do estado das condutas e seus acessórios, identificação dos pontos de acumulação de poeiras e determinação das características operatórias dos equipamentos constituintes da etapa de recuperação das poeiras;
- Escolha dos equipamentos processuais que devem ser integrados na rede de transporte;
- Cálculo das perdas de carga por atrito e determinação do caminho crítico da rede de transporte;

- Avaliação da periodicidade recomendada para o procedimento de lavagem das condutas;
- Regulação e equilíbrio das pressões dinâmicas nos ramais para evitar caminhos preferenciais de aspiração.

Pretendeu-se realizar um estudo de mercado com vista a subcontratar uma empresa que, numa primeira etapa, efetuasse o recálculo da instalação de despoeiramento (considerando os novos pontos de aspiração) e, mais tarde, o dimensionamento das respetivas condutas.

Para tal foi necessário realizar a caracterização da instalação, através das plantas pré-existentes, a representação em isométrico do levantamento das especificações das condutas (diâmetros, comprimentos e materiais) e seus acessórios; as medições da velocidade de aspiração em vários pontos da instalação e outras condições de operação.

Numa fase seguinte, colaborou-se com a Vento Domável, uma empresa especializada na área da ventilação industrial, climatização, transporte pneumático e despoeiramento, para desenvolver o recálculo do dimensionamento da instalação existente, o projeto de novos cenários e a elaboração de um caderno de encargos com as recomendações necessárias à execução do projeto.

Por fim, com o caderno de encargos foi possível solicitar um pedido de orçamentação a outras empresas especializadas, para se efetuar a análise e comparação de propostas e subsequente seleção da empresa responsável pela intervenção. A partir do caderno de encargos foi possível estimar os custos associados ao fornecimento e montagem da nova rede de condutas, bem como de outras necessidades materiais.

## 1.3 Apresentação breve da Empresa

### 1.3.1 Grupo RAR

O Grupo RAR integra um conjunto diversificado de negócios, distribuído pelas áreas Alimentar, Embalagem, Imobiliária e Serviços, cuja gestão é coordenada pela RAR - Sociedade de Controle (Holding), S.A. <sup>[1]</sup> Na Figura 1.1, encontra-se representada a distribuição geográfica das empresas constituintes do Grupo RAR. <sup>[2]</sup>



Figura 1. 1 - Distribuição geográfica do Grupo RAR <sup>[2]</sup>

### 1.3.2 RAR Açúcar

A RAR Açúcar dedica-se à refinação e comercialização de açúcar e foi fundada em 1962, no Porto, a partir da concentração de nove pequenas unidades de refinação de açúcar da região norte. A concentração da atividade numa única unidade produtiva e os sucessivos investimentos em tecnologia permitiram à empresa um grande aumento da capacidade produtiva e assinaláveis ganhos de eficiência.

Sempre focada na qualidade e segurança alimentar dos seus produtos e na eficiência do seu desempenho ambiental, a RAR Açúcar tem os seus Sistemas de Gestão da Qualidade, Segurança Alimentar e Ambiental certificados de acordo com os referenciais normativos NP EN ISO 9001, NP EN ISO 22000 e NP EN ISSO 14001, respetivamente. Foi ainda a primeira empresa ibérica do seu setor de atividade a obter a Certificação “International Food Standard” (IFS).<sup>[3]</sup>

Com uma capacidade produtiva instalada de 240.000 toneladas/ano, a RAR Açúcar comercializa diversos tipos de açúcar produzido a partir da rama de cana-de-açúcar, com diferentes utilizações e finalidades e para diversos segmentos de mercado, designadamente, indústria e distribuição.<sup>[4]</sup>

## Processo de refinação de açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta possível de ser cultivada em qualquer clima quente e húmido e que consegue armazenar cerca de 15% do seu peso em açúcar. Após a colheita da cana-de-açúcar, este produto é esmagado até se obter um suco acastanhado, o qual é concentrado e cristalizado até se obter um produto na forma de cristais amarelos, designado de rama, que contém cerca de 97% de açúcar.<sup>[5]</sup>

A matéria-prima da RAR Açúcar é a rama da cana-de-açúcar, a qual passa por várias etapas de refinação até se poder obter açúcar próprio para consumo humano. O processo consiste essencialmente na remoção de substâncias indesejadas contidas na rama.<sup>[6]</sup> Na Figura 1.2 encontra-se uma representação simplificada do processo produtivo.<sup>[7]</sup>

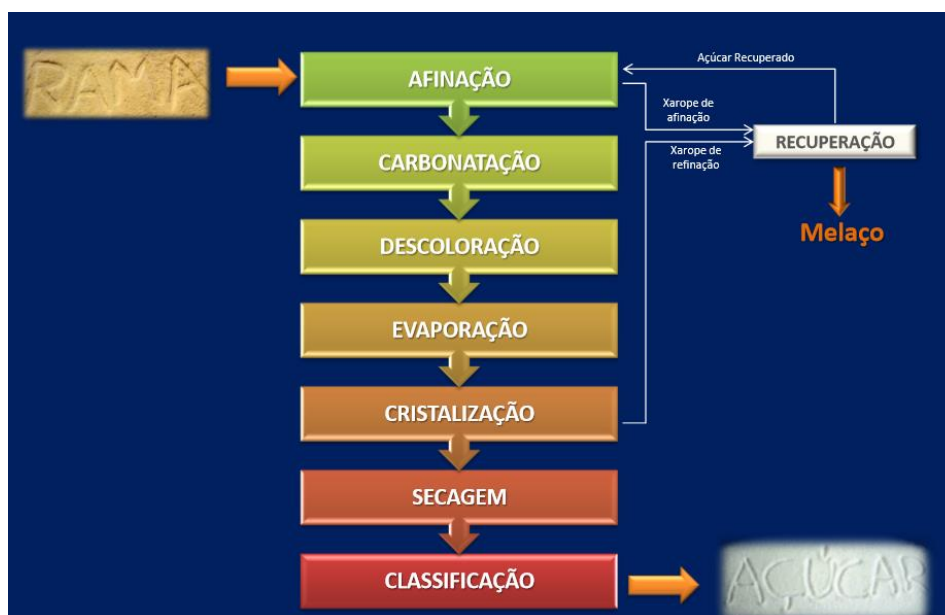


Figura 1. 2 - Fluxograma das etapas de refinação <sup>[7]</sup>

## 1.4 Organização do relatório

O presente relatório e os capítulos seguintes encontram-se dispostos da seguinte forma:

No capítulo 2 são abordados alguns fundamentos teóricos de mecânica de fluidos para a área de ventilação industrial, nomeadamente o cálculo das perdas de carga em sistemas de despoeiramento. Apresentam-se ainda as propriedades físico-químicas do açúcar.

No capítulo 3 descreve-se o âmbito do levantamento realizado, apresentando-se o diagrama isométrico e as plantas da instalação, avalia-se o funcionamento do sistema e o estado dos seus componentes. Indicam-se ainda as intervenções realizadas, bem como os ensaios experimentais. Com os dados do levantamento realizaram-se os

balanços de massa global (para quantificar o caudal de ar ao longo da rede de transporte e calcular a quantidade de açúcar recuperado) e de energia mecânica ao sistema (para determinar a queda de pressão do caminho crítico de aspiração e evidenciar melhorias de traçado das condutas).

No capítulo 4 indicam-se as conclusões retiradas do recálculo do dimensionamento do sistema existente, apresentam-se as alterações ao traçado das condutas, efetua-se o redimensionamento do sistema para diferentes cenários e são identificadas as condutas que necessitam de ser adaptadas e as que podem ser aproveitadas para o sistema a implementar.

No capítulo 5 relata-se o contacto estabelecido com empresas externas ao Grupo RAR no âmbito da avaliação e recálculo do dimensionamento da instalação existente, posterior elaboração e divulgação do caderno de encargos, análise e comparação de propostas para a realização do projeto e ainda a estimativa dos custos associados à intervenção.

As principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros são referidas no capítulo 6.



## Capítulo 2: Fundamentos teóricos

### 2.1 Propriedades físicas e químicas do açúcar

A sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$  ou  $\alpha$ -D-glucopiranosil- $\beta$ -D-frutofuranose) é um sólido cristalino branco, cuja estrutura molecular se encontra representada na Figura 2.1.<sup>[8]</sup>

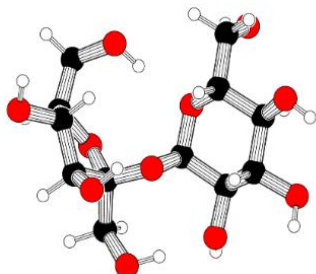


Figura 2. 1 - Molécula de sacarose <sup>[8]</sup>

Em termos bioquímicos classifica-se como um dissacarídeo. constituído por uma molécula de frutose e outra de glucose. Segue-se na Figura 2.2 a representação de *Haworth* da sacarose <sup>[9]</sup>.

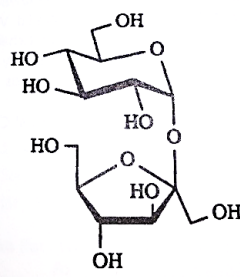


Figura 2. 2 - Representação de Haworth da molécula de sacarose <sup>[9]</sup>

Em soluções aquosas a sacarose cristaliza na forma de cristais monoclinicos, como se pode observar na Figura 2.3 <sup>[9]</sup>.

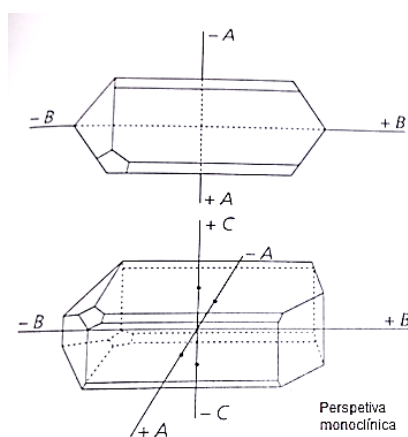


Figura 2. 3 - Morfologia do cristal de sacarose <sup>[9]</sup>

As principais propriedades físico-químicas estudadas da molécula de sacarose e das partículas de açúcar branco são apresentadas na Tabela 2.1.<sup>[9,10,11]</sup>

Nas propriedades físicas encontram-se descritas as dimensões e o fator de forma  $\psi$  (esfericidade) do cristal de sacarose, o diâmetro médio da partícula  $\bar{\varnothing}_p$  para açúcar branco na forma de grão ou poeiras, bem como as massas volúmicas da sacarose,  $\rho_s$  e do açúcar branco  $\rho_{ap}$ , para posterior cálculo da porosidade  $\phi$  do material.

Tabela 2. 1 - Lista de propriedades físico-químicas da sacarose e do açúcar branco <sup>[9,10,11,12]</sup>

	Propriedade	Símbolo	Unidade	Valor numérico
<b>Químicas</b>	Fórmula química	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>		
	Composição <sup>[9]</sup>	C	g/100 g	42,11
		H	g/100 g	6,48
		O	g/100 g	51,41
	Massa molecular relativa <sup>[9]</sup>	MM	g/mol	342,303
<b>Físicas</b>	Dimensões da molécula <sup>[9]</sup>		nm	1,095:0,870:0,764
	Esfericidade <sup>[10]</sup>	$\psi$	%	87
	<b>Diâmetro médio da partícula</b>			
	Açúcar branco (granulado) <sup>[11]</sup>	$\bar{\varnothing}_p$	$\mu\text{m}$	570-635
	Açúcar branco (poeiras) <sup>[11]</sup>	$\bar{\varnothing}_p$	$\mu\text{m}$	60
	<b>Massa volúmica</b>			
	Sacarose (cristalina) a 20 °C <sup>[9]</sup>	$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	1.586,2
	Sacarose (amorfa) a 15 °C <sup>[9]</sup>	$\rho_s$	kg/m <sup>3</sup>	1.507,7
	<b>Massa volúmica aparente</b>			
	Açúcar branco (granulado) <sup>[9]</sup>	$\rho_{ap}$	kg/m <sup>3</sup>	850-900
	Açúcar branco (poeiras) <sup>[9]</sup>	$\rho_{ap}$	kg/m <sup>3</sup>	600-700
	<b>Porosidade</b>			
	Açúcar branco (granulado)	$\phi$	%	43-46
	Açúcar branco (poeiras)	$\phi$	%	56-62

A esfericidade  $\psi$  é um parâmetro adimensional que permite comparar a forma de uma partícula com a de uma esfera ideal. A esfericidade varia entre 0 e 1 e define-se como o quociente entre a área superficial de uma esfera  $A_e$  (de volume equivalente ao da partícula) e a área superficial da partícula  $A_p$  e pode ser calculada através da Equação 2.1, a equação de *Wadell*.<sup>[12]</sup> A partícula de açúcar é mais esférica que um cubo (cuja esfericidade é 0,81), logo é uma partícula pouco abrasiva.<sup>[10,13]</sup>

$$(2.1) \psi (\%) = \left( \frac{A_e}{A_p} \right) * 100 = \left( \frac{\pi^{1/3} (6V_p)^{2/3}}{A_p} \right) * 100$$

A porosidade  $\phi$  é um indicador dos espaços vazios num material e define-se como a fração ou percentagem do volume dos poros  $V_v$ , relativo ao volume total  $V_t$ , como exemplificado na Equação 2.2.<sup>[14]</sup>

$$(2.2) \phi = \frac{V_v}{V_t} \leftrightarrow \phi = \frac{V_t - V_s}{V_t} \leftrightarrow \phi = 1 - \frac{V_s}{V_t}$$

Os materiais sólidos maciços, ou compactos, apresentam uma porosidade próxima de 0, visto que o volume de sólidos  $V_s$  é praticamente igual ao volume total  $V_t$ , considerando desprezável o volume de espaços vazios  $V_v$ .

Então para sólidos granulados ou em pó, de acordo com o volume considerado podem ser definidos dois tipos de massas volúmicas.<sup>[15]</sup> A massa volúmica aparente difere da real, sendo que a primeira contempla o volume dos espaços intersticiais entre partículas<sup>[16]</sup> e o segundo considera o volume do material sólido num estado maciço, ou seja, sem a existência de poros, como exemplificado nas Equações 2.3 e 2.4.<sup>[15]</sup>

$$(2.3) \rho_{ap} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{m (kg)}{V_t (m^3)} = \frac{m}{V_s + V_v} \quad (2.4) \rho_s \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{m (kg)}{V_s (m^3)}$$

Para misturas binárias sólido-gás, a massa volúmica aparente  $\rho_{ap}$  encontra-se compreendida entre a massa volúmica real do sólido  $\rho_s$  e a massa volúmica do fluido intersticial  $\rho_f$ , sendo calculada pela soma do produto das frações volumétricas das substâncias sólidas e fluidas, ou seja, da porosidade e seu oposto, com as massas volúmicas das respetivas substâncias puras, como exemplificado na Equação 2.5.

$$(2.5) \rho_{ap} = \frac{V_s}{V_t} * \rho_s + \frac{V_v}{V_t} * \rho_f \leftrightarrow \rho_{ap} = (1 - \phi) * \rho_s + \phi * \rho_f \leftrightarrow \rho_{ap} = \rho_s - \phi \rho_s + \phi \rho_f$$

$$\leftrightarrow \rho_{ap} = \rho_s + \phi * (\rho_f - \rho_s) \leftrightarrow \phi = \frac{\rho_{ap} - \rho_s}{\rho_f - \rho_s}$$

Foram calculadas as porosidades de açúcar branco, tanto granulado como em pó, a partir da Tabela 2.1. Considerando que o fluido em causa é o ar, foi possível simplificar a Equação 2.5 e obter a Equação 2.6 e calculou-se a porosidade do açúcar branco granulado.<sup>[17]</sup>

$$(2.6) \phi = \frac{\rho_{ap} - \rho_s}{\rho_f - \rho_s}, \text{ quando } \rho_f = \rho_{ar} \cong 0 \therefore$$

$$\phi = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_s} \leftrightarrow \phi (\%) = \left( 1 - \frac{900}{1.586,2} \right) * 100 = 43\%$$

A dimensão média das partículas de açúcar próprio para consumo encontram-se entre os 200 e os 2000  $\mu\text{m}$ .<sup>[11]</sup>

O tamanho da partícula pode ser determinado depois de se peneirar o açúcar numa série de crivos. O diâmetro médio foi determinado pela leitura do valor correspondente a 50% num gráfico que relaciona a massa de açúcar retido com o diâmetro do peneiro.<sup>[11]</sup> A partir da média dos dados obtidos pelo Laboratório da RAR Açúcar durante o mês de Janeiro de 2017 construiu-se a Figura 2.4.<sup>[18]</sup>

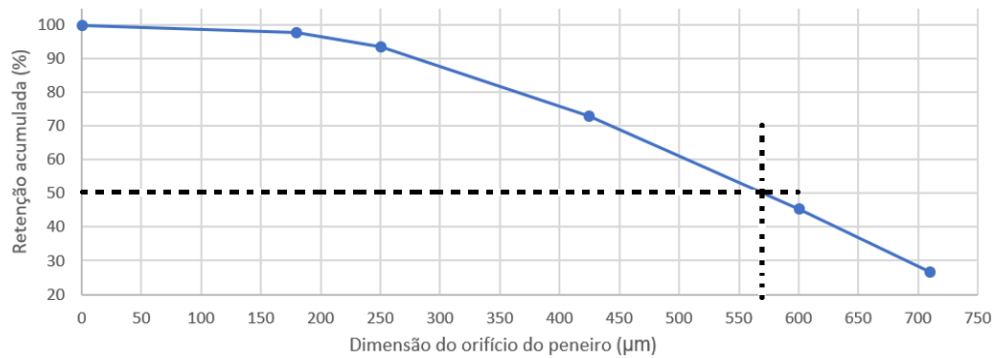


Figura 2. 4 - Determinação do diâmetro médio da partícula de açúcar [18]

Como se pode observar o diâmetro médio das partículas de açúcar no processo correspondem a cerca de 570 µm. A partir dos mesmos dados elaborou-se a Figura 2.5 para concluir a análise da distribuição granulométrica de açúcar branco. [18]

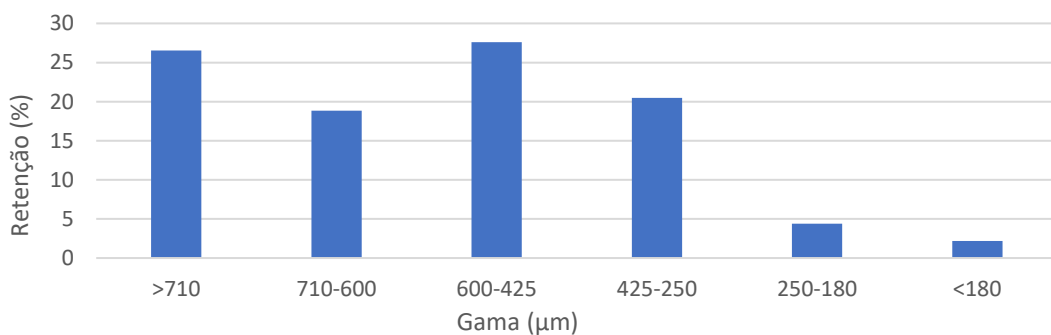


Figura 2. 5 - Distribuição granulométrica do açúcar branco por cada gama entre peneiros [18]

A partir da Figura 2.5 é possível observar que apenas sensivelmente 25% do produto é constituído por partículas com diâmetros inferiores a 425 µm, dos quais 2% do total são poeiras.

O açúcar é uma substância higroscópica e muito solúvel em água.<sup>[19]</sup> Os sólidos dissolvidos totais presentes em correntes de águas doces são caracterizados segundo a escala de Brix. Esta escala indica quantas gramas de soluto estão presentes por cada 100 gramas de solução, sendo que 0° e 100° referem-se, respetivamente, a água pura e a sacarose pura. A determinação experimental da composição pode ser feita pela medição do índice de refração da solução.

A massa volúmica de soluções de sacarose  $\rho_{AD}$ , pode ser estimada pela Equação de Lyle, descrita na Equação 2.7, válida para temperaturas até aos 100 °C.<sup>[11]</sup>

$$(2.7) \rho_{AD} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 1.000 * \left[ 1 + \frac{^{\circ}Bx * (^{\circ}Bx + 200)}{54.000} \right] * \left[ 1 - 0,036 * \left( \frac{T (^{\circ}C) - 20}{160 - T (^{\circ}C)} \right) \right]$$

## 2.2 Mecânica de fluidos

O escoamento interno pressurizado pode ser realizado em condutas onde o fluido preenche completamente a área de escoamento da conduta e a diferença de pressões é a força motriz principal do escoamento (junto com a gravidade).<sup>[20]</sup>

Para o escoamento interno de um fluido Newtoniano e homogêneo, de massa volúmica  $\rho$  e viscosidade  $\mu$ , fluindo a uma velocidade média  $v_{méd}$ , numa conduta de diâmetro  $\emptyset$ , o número de Reynolds é descrito pela Equação 2.8.<sup>[21]</sup>

$$(2.8) Re = \frac{\rho v_{méd} \emptyset}{\mu}$$

O diâmetro hidráulico  $\emptyset_h$  é um conceito utilizado em escoamento em canais abertos como uma aproximação do diâmetro de uma conduta circular e define-se como o quádruplo do raio hidráulico  $R_h$ , o qual é proporcional à razão entre a área de escoamento  $A$  e o perímetro molhado (da superfície em contacto com o fluido)  $P_{m,m}$ , como indicado na Equação 2.9 e na Figura 2.6.<sup>[22,23,24]</sup>

$$(2.9) \emptyset_h (m) = 4 * R_h (m) = 4 \frac{A (m^2)}{P_{m,m} (m)}$$

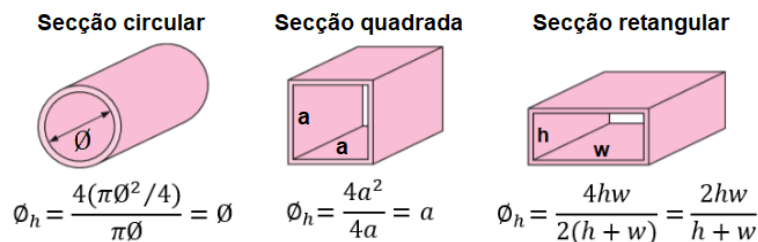


Figura 2. 6 – Cálculo do diâmetro hidráulico para condutas de secção circular, quadrada ou retangular [Adaptado de 22]

Para o escoamento pressurizado de um fluido homogêneo, num sistema com uma entrada e uma saída de matéria, sem reação química (ou seja, sem geração ou consumo de produtos ou reagentes), a aplicação do princípio de conservação da matéria em estado estacionário (quando as propriedades de escoamento num dado local permanecem constantes ao longo do tempo e não existe acumulação de massa em nenhum componente do sistema), entre os pontos 1 e 2 da Figura 2.7 resulta na Equação 2.10, designada por equação da continuidade para fluidos.<sup>[25,26,27]</sup>

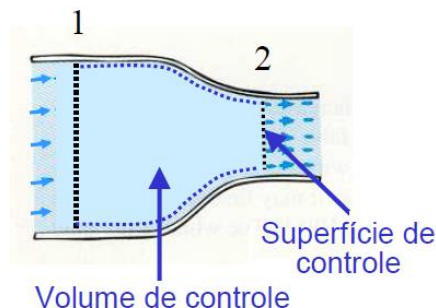


Figura 2. 7 - Variação da área de escoamento e respetiva velocidade [Adaptado de 25]

$$(2.10) \text{ (Entradas - Saídas) + (Geração - Consumo) = Acumulação } \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \text{ Caudal mássico de entrada } \left(\frac{kg}{h}\right) = \text{ Caudal mássico de saída } \left(\frac{kg}{h}\right) \leftrightarrow$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \leftrightarrow (\rho v A)_1 = (\rho v A)_2$$

O caudal mássico  $\dot{m}$  pode ser obtido a partir do produto da massa volúmica  $\rho$  com o caudal volumétrico  $Q$ , que por sua vez se obtém através do produto da área perpendicular ao escoamento  $A$  com a velocidade média do fluido  $v$ . Se a diferença entre as massas volúmicas  $\rho_1$  e  $\rho_2$  for desprezável, obtém-se a Equação 2.11.

$$(2.11) (vA)_1 = (vA)_2 \leftrightarrow Q_1 \left(\frac{m^3}{h}\right) = Q_2 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Verifica-se então que o caudal volumétrico de escoamento  $Q$  entre as secções 1 e 2 é constante e que existe uma proporcionalidade entre a velocidade do fluido  $v$  e a área de escoamento  $A$ .

Na Figura 2.7 observa-se uma redução da área de seção reta transversal ao escoamento. Esta perturbação provoca uma aceleração da velocidade do fluido, de modo a respeitar a equação da continuidade descrita na Equação 2.11.

O fluxo mássico  $G$  define-se como o caudal mássico por área unitária de escoamento e pode ser calculado pela Equação 2.12.

$$(2.12) G \left(\frac{kg}{m^2 \cdot h}\right) \leftrightarrow \rho * v = \frac{\dot{m}}{A} \leftrightarrow G = \frac{\rho}{A} * Q$$

É possível reescrever o número de Reynolds em função do fluxo ou caudal mássico, como indicado nas Equações 2.13 e 2.14.

$$(2.13) Re = \frac{\rho v_{méd} \phi_h}{\mu} = \frac{G_{méd} \phi_h}{\mu}$$

$$(2.14) Re = \frac{\dot{m}_{méd} \phi_h}{A \mu} = \frac{\dot{m}_{méd}}{A \mu} * \frac{4A}{P_{m,m}} = \frac{4 \dot{m}_{méd}}{\mu P_{m,m}}$$

As Equações 2.13 e 2.14 não são válidas para junções divergentes ou convergentes, ou outros casos em que existam múltiplas correntes de entrada ou de saída de matéria. Nestes casos, a equação da continuidade é descrita pela igualdade do caudal total das entradas com as saídas, como descrito na Equação 2.15.<sup>[27,28]</sup>

$$(2.15) \sum \dot{m}_{entradas} = \sum \dot{m}_{saídas}$$

A Equação 2.15 é aplicável em três casos distintos: para a mistura ou divisão de correntes em nós e sempre que se verifique uma alteração nas dimensões da área de escoamento ou da sua geometria, como exemplificado nas Equações 2.16 a 2.18.

$$(2.16) \begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_3 \therefore \\ (v_1 * A_1) + (v_2 * A_2) = v_3 * A_3 \leftrightarrow v_3 = \frac{(v_1 * A_1) + (v_2 * A_2)}{A_3} = \frac{Q_3}{A_3} \end{cases}$$

$$(2.17) Q_1 = Q_2 \leftrightarrow v_1 A_1 = v_2 A_2 \leftrightarrow v_2 = v_1 * \frac{A_1}{A_2} = \frac{Q_1}{A_2}, v_2 = v_1 * \frac{0,25\pi D_1^2}{0,25\pi D_2^2} \leftrightarrow v_2 = v_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

$$(2.18) Q_1 = Q_2 \leftrightarrow v_1 A_1 = v_2 A_2 \leftrightarrow v_2 = v_1 * \frac{A_1}{A_2} = \frac{Q_1}{A_2}$$

A equação de Bernoulli indica que se considerarmos a unidade de caudal mássico de fluido escoando entre dois pontos 1 e 2 de um sistema de transporte, a diferença de energia entre os mesmos pontos pode ser designada de queda de pressão (total).

A pressão total  $P$  é constituída por três parcelas: a pressão estática  $P_s$ , a pressão dinâmica  $P_d$  e a pressão de elevação  $P_e$ , expressas nas Equações 2.19 e 2.20.

$$(2.19) P_d (Pa) = \frac{\rho v^2}{2}$$

$$(2.20) P_e (Pa) = \rho g z$$

Em que:  $z$  é a altura em relação a um plano de referência.

A determinação da queda de pressão total resultante do escoamento de um fluido através de um sistema de transporte é realizada com a aplicação de um balanço de energia mecânica.

A forma geral do balanço de energia mecânica para o escoamento em estado estacionário de um fluido incompressível e homogêneo entre os pontos 1 e 2 de um sistema de transporte e expressa em unidades de pressão, encontra-se descrita na Equação 2.21.

$$(2.21) P_{s1} + \frac{\rho v_1^2}{2\beta} + \rho g z_1 + \rho W = P_{s2} + \frac{\rho v_2^2}{2\beta} + \rho g z_2 + \Delta P_{1 \rightarrow 2} (Pa)$$

Em que:

- $\beta$  – Fator de correção de velocidade ( $\beta = 1$  para regime turbulento);
- $W$  – Trabalho mecânico fornecido ao fluido (J/kg).

O valor de  $W$  corresponde à energia que se deve fornecer ao fluido para superar a queda de pressão  $\Delta P_{1 \rightarrow 2}$ , a fim de que o fluido possa chegar ao ponto 2 do sistema de transporte, situado a uma cota  $z_2$ , com uma pressão estática  $P_{s2}$  e velocidade  $v_2$ .

A queda de pressão total  $\Delta P_t$  é constituída por duas parcelas: a queda de pressão friccional  $\Delta P_f$  e a queda de pressão localizada  $\Delta P_l$ , como se indica na Equação 2.22.<sup>[25,29]</sup>

$$(2.22) \Delta P_t = \sum_1^2 \Delta P_l + \Delta P_f = \sum_1^2 k \frac{\rho v^2}{2} + f_D \frac{L}{\phi_h} \frac{\rho v^2}{2} = \sum_1^2 \left( k + f_D \frac{L}{\phi_h} \right) \frac{\rho v^2}{2}$$

Dividindo a queda de pressão friccional  $\Delta P_f$  pelo comprimento retilíneo do troço 1→2,  $L_{TR}$ , obtém-se o gradiente de fricção  $\Delta P_f/L_{TR}$ , correspondente às condições de transporte.

## 2.2.1 Perdas de carga friccionais

A queda de pressão friccional pode ser calculada pela equação de Darcy-Weisbach, segundo a Equação 2.23.<sup>[30]</sup>

$$(2.23) \Delta P_f (Pa) = f_D * \frac{L}{\phi_h} * P_d = f_D * \frac{L (m)}{\phi_h (m)} * \frac{1}{2} * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * v^2 \left( \frac{m^2}{s^2} \right)$$

Em que:  $f_D$  é o fator de atrito de Darcy e depende de duas grandezas:

- Rugosidade relativa da conduta  $\epsilon/D$ , cujo fator depende do tipo de material e da sua rugosidade absoluta  $\epsilon$  em relação ao diâmetro da conduta  $D$ ;
- Regime de escoamento (apenas será considerado o regime turbulento, para valores de  $Re$  elevados).<sup>[29]</sup>

Para tubos lisos, o cálculo do fator de atrito pode ser determinado através da fórmula de Blasius, descrita na Equação 2.24.<sup>[31]</sup>

$$(2.24) f_F = \frac{0,0791}{Re^{0,25}}$$

Em que  $f_F$  é o fator de atrito de Fanning e é quatro vezes menor que o fator de atrito de Darcy, como indicado na Equação 2.25.<sup>[32]</sup>

$$(2.25) f_D = 4 * f_F$$

Conhecidas as duas grandezas acima mencionadas, é possível determinar analiticamente o fator de atrito, para escoamento em regime turbulento, aplicando a equação de Colebrooke-White ou as correlações empíricas e explícitas da mesma,

como a Equação de Moody, a Equação de Swamee e Jain, a Equação de Chen, a Equação de Haaland ou a Equação de Fang, descritas nas Equações 2.26-2.30.<sup>[33,34,35]</sup>

$$(2.26) f_D = 0,0055 * \left[ 1 + \left( 2 * 10^4 * \frac{\varepsilon}{D} + \frac{1 * 10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$(2.27) f_D = \left[ -2 * \log_{10} \left( \frac{\left( \frac{\varepsilon}{D} \right)}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

$$(2.28) f_D = \left\{ -2 * \log_{10} \left[ \frac{\left( \frac{\varepsilon}{D} \right)}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re} * \log_{10} \left( \frac{\left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,1092}}{2,8257} + \frac{5,8506}{Re^{0,892}} \right) \right] \right\}^{-2}$$

$$(2.29) f_D = \left[ -1,8 * \log_{10} \left( \frac{\left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,11}}{3,7} + \frac{6,9}{Re} \right) \right]^{-2}$$

$$(2.30) f_D = 1,613 * \left[ \ln \left( 0,234 * \left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,1007} - \frac{60,525}{Re^{1,1105}} + \frac{56,291}{Re^{1,0712}} \right) \right]^{-2}$$

As Equações 2.24 e 2.26-2.30 são válidas para determinadas gamas de rugosidade relativa e Reynolds, conforme enunciado na Tabela 2.2.<sup>[31,34,35]</sup>

Tabela 2. 2 - Gama de Reynolds e rugosidade relativa para o cálculo do fator de atrito<sup>[31,34,35]</sup>

Equação	Limites	
	Nº Reynolds	Rugosidade relativa
Blasius <sup>[31]</sup>	3.000-1*10 <sup>5</sup>	-
Moody <sup>[35]</sup>	4.000-5*10 <sup>8</sup>	0-0,01
Swamee e Jain <sup>[35]</sup>	5.000-1*10 <sup>8</sup>	1*10 <sup>-6</sup> -5*10 <sup>-2</sup>
Chen <sup>[34,35]</sup>	4.000-4*10 <sup>8</sup>	5*10 <sup>-7</sup> -5*10 <sup>-2</sup>
Haaland <sup>[35]</sup>	4.000-1*10 <sup>8</sup>	1*10 <sup>-6</sup> -5*10 <sup>-2</sup>
Fang <sup>[35]</sup>	4.000-1*10 <sup>8</sup>	0-5*10 <sup>-2</sup>

Na Tabela 2.3 encontram-se indicadas as rugosidades absolutas dos materiais das condutas analisadas.<sup>[28,36,37]</sup>

Tabela 2. 3 - Rugosidades absolutas do material das condutas<sup>[28,36,37]</sup>

Material	Rugosidade absoluta (mm)
Aço inoxidável <sup>[36]</sup>	0,00080
Polipropileno <sup>[37]</sup>	0,00152
Poliuretano <sup>[28]</sup>	1,0668
Tecido <sup>[28]</sup>	4,5720

Alternativamente pode-se recorrer a representações gráficas como a carta de Moody para determinar o fator de atrito ou um ábaco de fricção para calcular diretamente o gradiente de fricção  $\Delta P_f/L_{TR}$ .<sup>[29,30]</sup>

Através da carta de Moody é possível relacionar a rugosidade relativa e o número de Reynolds para estimar o fator de atrito. Na Figura B.9 do Anexo B.3.2 pode-se consultar a carta de Moody, expressa em termos do fator de atrito de Fanning  $f_F$ .<sup>[Adaptado de 38]</sup>

Recorrendo a um ábaco de fricção, é possível fixar duas de quatro grandezas: o caudal volumétrico  $Q$ , a velocidade  $v$ , o diâmetro da conduta  $D$  e o gradiente de fricção  $\Delta P_f/L_{TR}$ , para determinar as grandezas restantes. Nas Figuras B.10 a B.12 do Anexo B.3.2 encontram-se representados 3 ábacos de fricção, adequados para diferentes ordens de grandeza das variáveis mencionadas.<sup>[29]</sup>

Para o cálculo do gradiente de fricção em condutas de secção não-circular é necessário transformar as dimensões da secção no diâmetro equivalente da conduta circular com o mesmo caudal e perda de carga, através da fórmula de Huebscher, descrita na Equação 2.31.

$$(2.31) \phi_{eq} (m) = 1,30 * \frac{(h * w)^{0,625}}{(h + w)^{0,25}}$$

Em que  $h$  e  $w$  correspondem, respetivamente, à altura e largura da secção, em metros.<sup>[29]</sup>

Para o cálculo da queda de pressão ao longo do caminho crítico do sistema de transporte de poeiras é necessário distinguir as correntes do sistema, a fim de se aplicar um dos métodos descritos para calcular as quedas de pressão friccionais.

A divisão das correntes é realizada sempre que se verifique uma das duas condições: a alteração do material da conduta (afetando a rugosidade da mesma) e ainda, a variação da velocidade de transporte. Esta última sofre alterações sempre que existam variações da área de escoamento (em contrações ou expansões concêntricas) ou da geometria da secção da conduta e ainda, em pontos de mistura ou divisão de correntes (nós).

Os exemplos de cálculo dos fatores de atrito e das quedas de pressão encontram-se descritos no Anexo B.3.2.

## 2.2.2 Perdas de carga localizadas

Quando um fluido escoar através de acessórios, como curvas e válvulas, gera-se uma variação da velocidade ou da direção do escoamento. Esta variação provoca a separação do escoamento e a formação de *eddies*, resultando numa queda de pressão localizada. Estas perdas podem ser calculadas pela Equação 2.32.<sup>[26,39]</sup>

$$(2.32) \Delta P_l (Pa) = k * P_d (Pa) = k * \frac{\rho v^2}{2}$$

Em que k é o fator de queda de pressão localizada, alternativamente designado como o coeficiente de resistência ou o n<sup>o</sup> de cargas cinéticas.<sup>[40]</sup> O k representa o múltiplo de cargas cinéticas  $h_L$  que serão dissipadas devido à passagem do fluido através de um determinado acessório.<sup>[40]</sup> O k varia consoante a velocidade v e caudal de fluido Q, o regime de escoamento e o diâmetro da conduta D, bem como o tipo e as dimensões do acessório percorrido.<sup>[28]</sup>

Estudou-se o cálculo do k para os seguintes acessórios:

- Joelhos (alteração de direção do escoamento);
- Contrações e expansões concêntricas (alteração de diâmetro da conduta)
- Transformações de secção reta (alteração da geometria da seção da conduta);
- Junções convergentes (pontos de mistura de correntes – nós);
- Válvulas (regulação do caudal e da velocidade);
- Entradas e saídas de sistemas.

A Equação 2.32 é válida para o cálculo da queda de pressão para qualquer tipo de acessório descrito, exceto junções.<sup>[28]</sup> Os exemplos de cálculo dos k e das quedas de pressão encontram-se descritos no Anexo B.3.1.

- **Joelhos (curvas)**

O  $k_J$  é o coeficiente de resistência ao escoamento de um fluido através de um joelho, em condutas circulares.

O seu valor depende do ângulo  $\theta$  da mudança de direção, bem como da proporção  $R_c/D$  entre o raio da curvatura no centro e o diâmetro da conduta.<sup>[41]</sup> Conhecidas estas duas grandezas, é possível estimar o valor de  $k_J$ , como indicado na Figura 2.8. <sup>[Adaptado de 37,41]</sup>

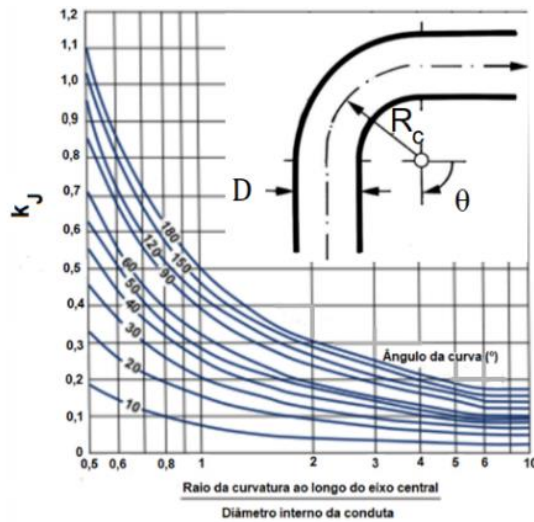


Figura 2. 8 - Ábaco para cálculo do coeficiente  $k_J$  [Adaptado de 37,41]

- **Joelhos (gomos)**

Para calcular o  $k_J$  deste tipo de joelhos é preciso conhecer  $\theta$ ,  $R_c/D$ , e o número de gomos  $N_G$ . A partir destas duas últimas variáveis é possível consultar na Figura 2.9 o coeficiente de resistência para curvas de gomos de  $90^\circ$ ,  $k_{90^\circ}$  e para os casos em que  $\theta$  não é  $90^\circ$ , deve-se consultar ainda o fator de correção angular  $K_\theta$ . [Adaptado de 26]

$k_J$  pode ser, então, calculado através da Equação 2.33. [26]

$$(2.33) \quad k_J = k_{90^\circ} * K_\theta$$

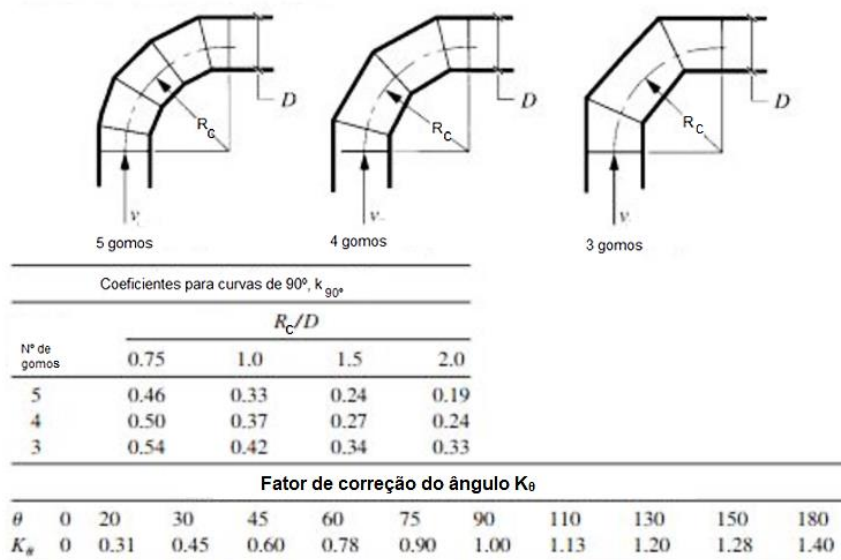


Figura 2. 9 - Ábaco para cálculo do coeficiente  $k_J$  [Adaptado de 26]

- **Contrações e expansões concêntricas (graduais)**

Devido ao efeito da variação do diâmetro, a velocidade do fluido é acelerada quando este percorre uma contração e, pelo efeito inverso, é retardada quando o fluido escoa através duma expansão.<sup>[26]</sup>

Para a determinação do coeficiente  $k$  é necessário conhecer o ângulo incluído  $\theta$  do acessório, bem como a proporção entre os diâmetros ( $D_2/D_1$  para expansões e  $D_1/D_2$  para contrações).<sup>[42]</sup>

Para saber o ângulo incluído  $\theta$ , calculou-se por trigonometria a inclinação  $\alpha$  de um dos lados do cone, conhecidos o comprimento da transição entre as duas secções  $L$ , e a diferença aritmética entre os diâmetros  $\Delta D$ , através das Equações 2.34 e 2.35, conforme esquematicamente representado na Figura 2.10. <sup>[Adaptado de 42]</sup>

$$\begin{cases} (2.34) \alpha (^{\circ}) = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta D / 2}{L} \right) \\ (2.35) \theta (^{\circ}) = 2\alpha \end{cases}$$

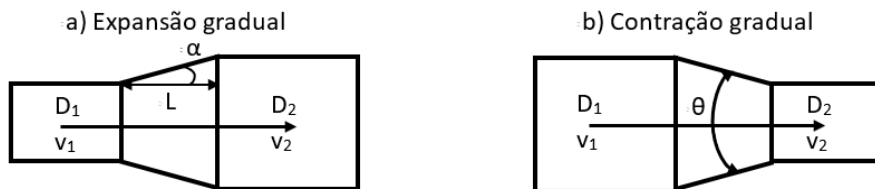


Figura 2. 10 - Nomenclatura para o cálculo do  $k$  em: a) expansões; b) contrações <sup>[Adaptado de 42]</sup>

O coeficiente  $k$  para expansões concêntricas pode ser determinado recorrendo à Figura 2.11. Para as reduções deve-se recorrer à Figura 2.12 ou 2.13. <sup>[Adaptado de 42]</sup>

O cálculo da queda de pressão para expansões ou contrações baseia-se sempre na maior das duas velocidades, como exemplificado nas Equações 2.36 e 2.37.<sup>[43]</sup>

$$(2.36) \Delta P_l (Pa) = k_E * P_{d,1} (Pa) = k_E * \frac{\rho v_1^2}{2}$$

$$(2.37) \Delta P_l (Pa) = k_C * \frac{\rho v_2^2}{2}$$

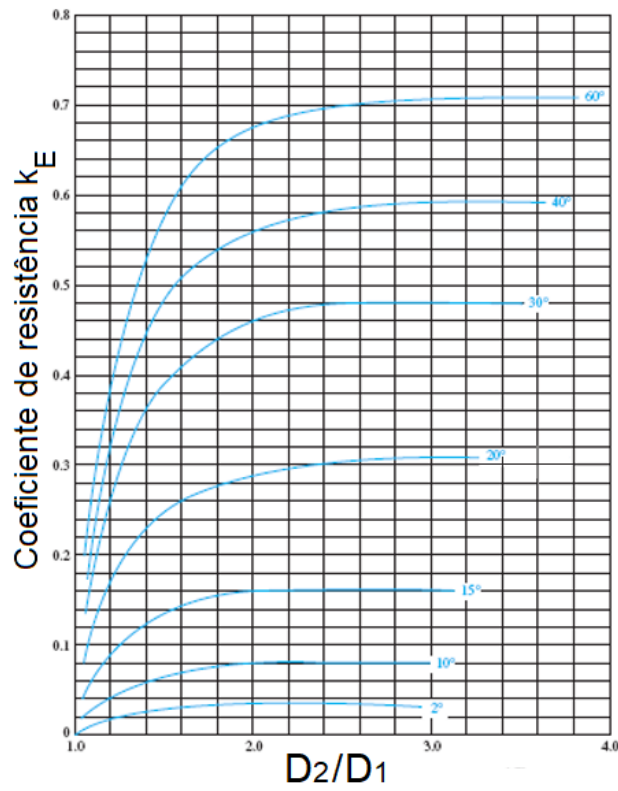


Figura 2. 11 -- Determinação do coeficiente  $k$  em expansões graduais [Adaptado de 42]

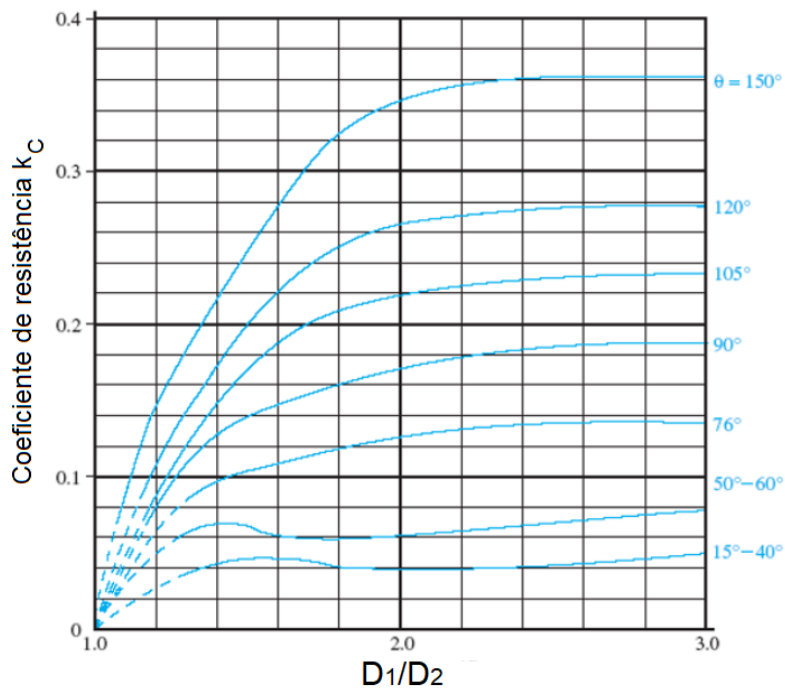


Figura 2. 12 - Determinação do coeficiente  $k$  em contrações graduais, para ângulos entre 15-150° [Adaptado de 42]

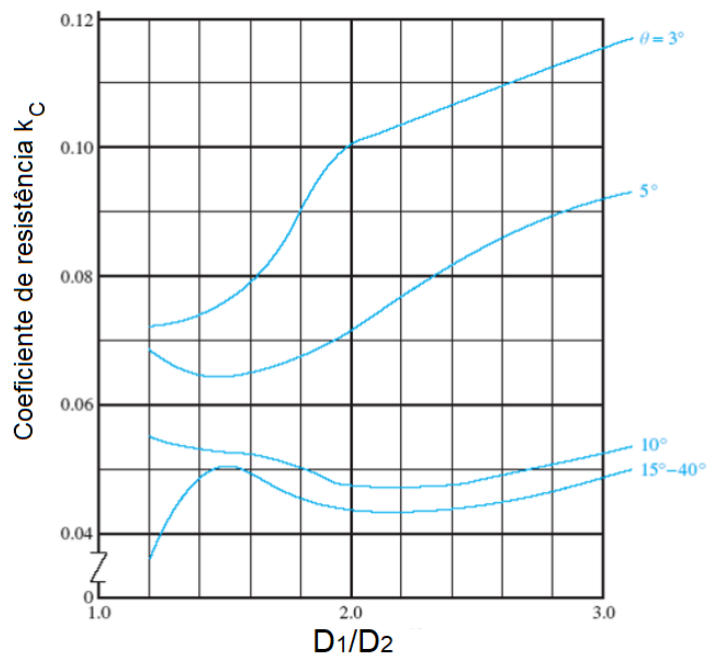


Figura 2. 13 Determinação do coeficiente  $k$  em contrações graduais, para ângulos entre 3-40° [Adaptado de 42]

- **Transformações de seção reta**

Para a determinação do coeficiente  $k$  em transformações de seção reta (TSR) é possível consultar a Figura 2.14, para as condições descritas. [Adaptado de 44]

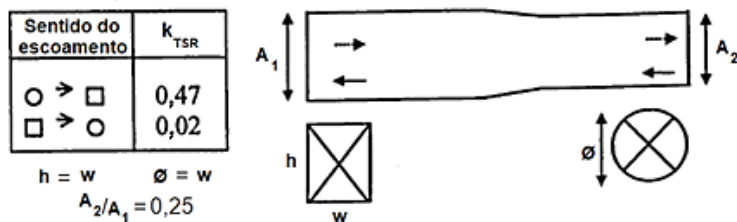


Figura 2. 14 - Determinação do coeficiente  $k_{TSR}$  [Adaptado de 44]

- **Junções**

Considera-se que as correntes 1, 2 e 3 representam, respectivamente, um ramo, o tramo principal e a corrente resultante, conforme representado na Figura 2.15. [Adaptado de 45]

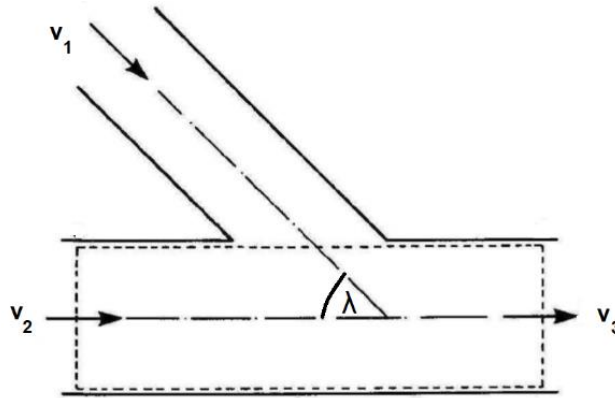


Figura 2. 15 - Nomenclatura para determinação do  $k_{1,3}$  e do  $k_{2,3}$  para junções convergentes [Adaptado de 45]

A cada uma das correntes de entrada é atribuído um coeficiente de resistência  $k_{1,3}$  e  $k_{2,3}$ , responsável pela queda de pressão originada pela mistura das duas correntes. Os coeficientes de resistência para a corrente ramo e para a corrente principal podem ser calculados a partir das Equações 2.38 e 2.39.<sup>[45]</sup>

$$(2.38) k_{1,3} = 0,95 * (1 - q_{1,3})^2 + 0,4q_{1,3} * \left[ \frac{1 + a}{a} * \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right] +$$

$$+ q_{1,3}^2 * \left[ \left( 1,3 * \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) - 0,3 + \frac{0,4 - 0,1a}{a^2} \right) * \left( 1 - 0,9 * \left(\frac{\phi_1}{a}\right)^{\frac{1}{2}} \right) \right]$$

$$(2.39) k_{2,3} = \left[ 0,03 * (1 - q_{2,3})^2 + 0,35q_{2,3}^2 - 0,2q_{2,3} * (1 - q_{2,3}) \right]$$

Em que:

- $q_{1,3}$  e  $q_{2,3}$  indicam a razão entre o caudal volumétrico da corrente de entrada em relação à corrente resultante ;
- $a$  indica a razão entre a área de secção reta da conduta do ramal em relação à da corrente resultante;
- $\phi_1$  é o diâmetro interno da corrente 1 (em metros);
- $\lambda$  é o ângulo da derivação em relação à corrente principal (em radianos);
- $\gamma$  é uma constante angular para o cálculo do fator de perda de carga localizada, calculado pela Equação 2.40.<sup>[45]</sup>

$$(2.40) \gamma (rad) = \pi - \lambda$$

### • Bifurcações

Para se estimar o coeficiente  $k$  na bifurcação da linha principal (BLP) é necessário conhecer o ângulo da derivação  $\alpha$  e a proporção  $R/D$  entre o raio da curvatura da bifurcação e o diâmetro da conduta, tal como representado na Figura 2.16.<sup>[Adaptado de 29]</sup>

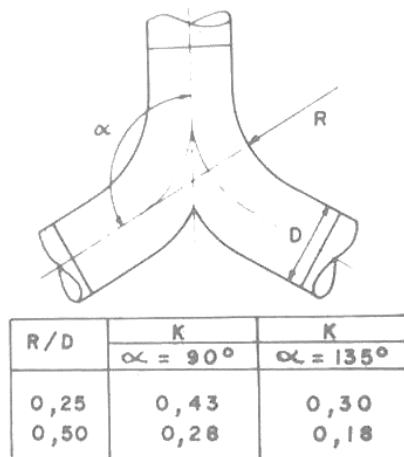


Figura 2. 16 - Cálculo do coeficiente k para bifurcações [Adaptado de 29]

- **Válvula (Borboleta)**

O coeficiente de resistência  $k_v$  em válvulas do tipo borboleta é função do ângulo do *damper* com o sentido do escoamento, o qual pode ser consultado na Tabela 2.4. [Adaptado de 40]

Tabela 2. 4 - Correspondência entre o  $k_v$  previsto e o ângulo do *damper* de válvulas borboleta [Adaptado de 40]

Ângulo (°)	$k_v$	Ângulo (°)	$k_v$
5	0,24	30	6,17
10	0,52	40	10,8
20	1,54	60	118

- **Válvula (Faca)**

O coeficiente de resistência  $k_v$  para válvulas de faca com lâmina de geometria semi-circular, depende do raio da curvatura da lâmina  $\xi$  e da razão  $\phi$  entre a área de secção reta da conduta barrada pela lâmina ( $A_\omega$ ) e a área total da secção da conduta ( $A_0$ ).<sup>[37]</sup>

Considerando uma válvula de faca, com uma lâmina de raio  $R_{VF}$  e espessura  $\Delta x$ , uma abertura absoluta  $\omega$ , como indicado na Figura 2.17. [Adaptado de 37]

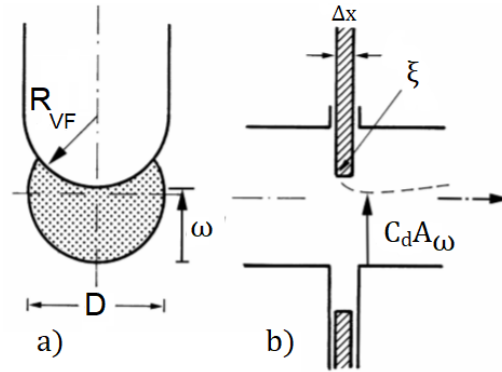


Figura 2. 17 - Nomenclatura para o cálculo do coeficiente  $k_v$  em válvulas de faca  
a) Vista em corte transversal b) Vista em corte longitudinal [Adaptado de 37]

A relação entre a razão das áreas  $\varphi$  e o fator de abertura da lâmina  $\Omega$  é descrita pela Equação 2.41.

$$(2.41) \varphi = \frac{A_{\Omega}}{A_0} = 1,20 * \Omega * \left[ 1 - \frac{1}{6} * \Omega^3 \right]$$

Em que o fator de abertura da lâmina  $\Omega$  depende da abertura absoluta da mesma, em relação ao diâmetro da conduta D, como indicado na Equação 2.42.

$$(2.42) \Omega = \frac{\omega}{D}$$

O coeficiente de descarga mínimo  $Cd_0$  (quando a válvula se encontra totalmente aberta) pode ser calculado pela Equação 2.43.

$$(2.43) Cd_0 = 0,61 + \frac{2}{3} * \sqrt{\Xi}$$

Em que  $\Xi$  representa o grau de arredondamento da lâmina, calculado pela Equação 2.44.

$$(2.44) \Xi = \frac{\xi}{D}$$

O coeficiente de descarga Cd pode ser calculado através da Equação 2.45.

$$(2.45) Cd = Cd_0 + 0,73 * \left[ \varphi - \frac{2}{3} * \Xi^{1/7} \right]^2$$

O coeficiente da válvula  $k_v$  pode então ser calculado pela Equação 2.46.<sup>[37]</sup>

$$(2.46) k_v = \left[ \frac{1}{Cd * \varphi} - 1 \right]^2$$

- **Entradas e saídas do sistema**

As perdas nas entradas e saídas dos sistemas de transporte de fluidos constituem um caso especial das contrações e expansões concêntricas, respetivamente.

Para o caso das contrações o coeficiente  $k$  depende exclusivamente das características geométricas da entrada, conforme representado na Figura 2.18. [Adaptado de 42]

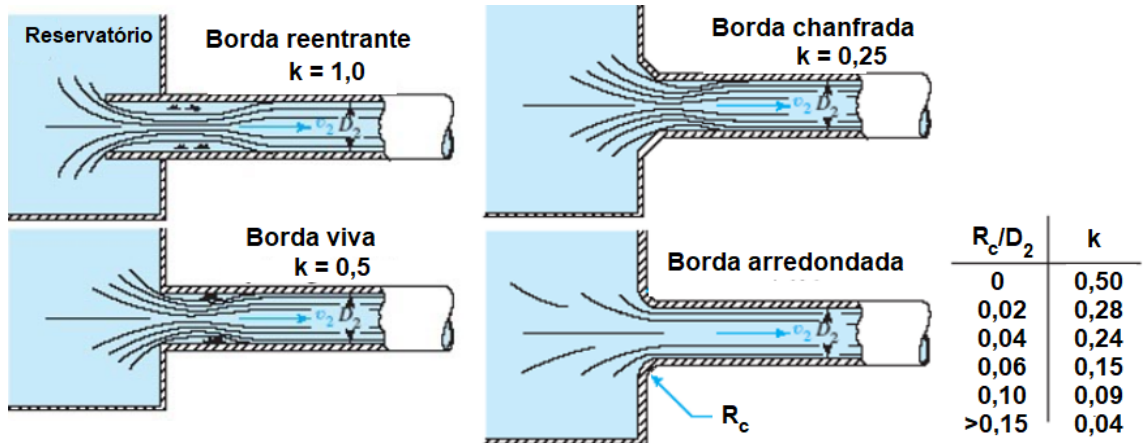


Figura 2. 18 – Cálculo do coeficiente  $k$  para contrações súbitas do tipo tanque-tubo [Adaptado de 42]

No caso das expansões, de acordo com a Equação de Borda-Carnot, o coeficiente  $k$  para quantificar as perdas das saídas de sistemas é sempre 1, conforme exemplificado na Equação 2.47 e representado na Figura 2.19.[46]

$$(2.47) \Delta P_l (Pa) = \frac{\rho(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \frac{\rho v_1^2}{2} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)$$

Para uma expansão infinita:  $\frac{A_1}{A_2} = 0$ , logo

$$\Delta P_l (Pa) = 1 * \frac{\rho v_1^2}{2}$$

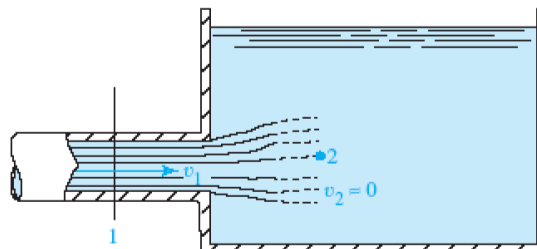


Figura 2. 19 - Representação de uma expansão súbita do tipo tubo-tanque [Adaptado de 42]



## Capítulo 3: Levantamento e caracterização da instalação

Neste capítulo pretende-se demonstrar como é constituída a instalação, recorrendo-se ao *software AutoCAD* para a representar graficamente em diagrama isométrico e por plantas. Desenvolveu-se ainda uma representação esquemática da etapa de recuperação, um diagrama de convergências do sistema (onde se encontram discriminadas todas as diferentes correntes) e uns esboços para auxiliar a compreensão da progressão do traçado das condutas.

Para a realização dos documentos referidos foi necessário levantar os comprimentos e diâmetros dos troços retos das condutas da rede de transporte, bem como as cotas nos pontos de captação e nas derivações; contabilizaram-se todos os pares flangeados, válvulas e portas de limpeza, as curvas (bem como a magnitude da mudança de direção associada), expansões ou reduções concêntricas e ainda transformações de geometria da secção reta das condutas. Por fim, foram levantadas as dimensões dos equipamentos da etapa de recuperação das poeiras.

Depois de realizada a representação gráfica da instalação foi necessário estudar o funcionamento ideal do sistema e compará-lo com os dados observados. Nesta fase do levantamento foram estudadas propriedades dimensionais dos acessórios (para o cálculo do fator de queda de pressão localizada), físico-químicas (temperatura do ar, teor de açúcar nas correntes de água doce, velocidade de escoamento do ar e queda de pressão no ventilador) e mecânicas (frequência de rotação das pás do ventilador e periodicidade do funcionamento de uma bomba centrífuga para a circulação de águas doces). Efetuaram-se ainda algumas intervenções físicas na instalação, necessárias para completar o levantamento.

Numa fase seguinte, aplicaram-se os dados obtidos no levantamento a um balanço de matéria (ar, açúcar e água) do sistema. Posteriormente realizou-se o balanço de energia mecânica (de acordo com as velocidades de transporte de ar recomendadas) que evidenciaram o caminho crítico da linha de aspiração.

### 3.1 Enquadramento

Os sistemas de despoeiramento são aplicados para a remoção mecânica e controlo das concentrações de poluentes, neste caso poeira de açúcar, num determinado espaço físico. Na Figura 3.1 encontra-se representado um exemplo de um sistema de despoeiramento. [Adaptado de 47]

O açúcar branco granulado é obtido na etapa de cristalização e durante o transporte mecânico deste para as etapas finais do processo, o atrito entre partículas resulta na sua desintegração fina. A poeira é muito leve e pode-se dispersar e depositar tanto nas superfícies internas dos equipamentos onde este produto circula, como nas superfícies externas envolventes.

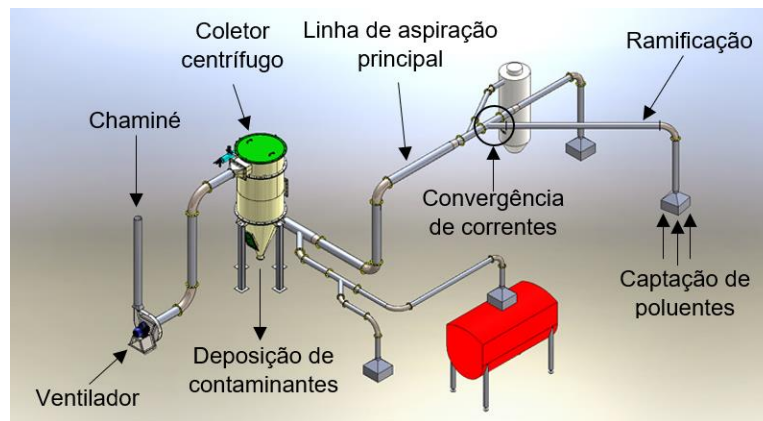


Figura 3. 1 - Legenda de um sistema de despoeiramento genérico [Adaptado de 47]

O processo estudado apresenta duas etapas. Na primeira, a poeira de açúcar presente em equipamentos processuais das etapas de classificação, secagem, transporte e armazenamento (elevadores, silos, torre de arrefecimento, transportadores de banda e transportadores sem-fim) é captada por uma corrente de ar. Essa mistura escoar pela rede de transporte, percorrendo o ramal de aspiração e converge na conduta principal até ser encaminhada para a admissão de uma câmara de lavagem (o primeiro equipamento da etapa de recuperação).

Aqui, o efluente é separado pela injeção de água em contracorrente. O ar sai pelo topo da câmara (após atravessar um separador de gotas e um filtro), é encaminhado para um ventilador, que cede energia sob a forma de pressão, e segue para uma chaminé até ser canalizado para o exterior da Refinaria.

O açúcar dissolvido na câmara de lavagem é descarregado por gravidade para um tanque de água de lavagem. Uma parte da corrente de “água doce” obtida é recirculada para o lavador de gases, enquanto que a restante é realimentada no processo.

Tal como descrito no subcapítulo 1.2 foi necessário obter dados de representação e caracterização da instalação para serem encaminhados para a empresa responsável pelo projeto. Na fase de levantamento, foram ainda estudadas as seguintes propriedades:

- Dimensões e localização dos equipamentos despoeirados, assim como a identificação dos equipamentos que se pretendem acrescentar à rede de transporte;
- Dimensões, localização, fichas técnicas e dados de operação dos equipamentos constituintes da etapa de recuperação;
- Diâmetro, comprimento de troços retos de tubagens, bem como o seu traçado, material e contabilização de acessórios;
- Avaliação do funcionamento e estado das válvulas, ligações equipotenciais e mangas flexíveis;
- Identificação dos ramais onde se verifica uma aspiração inadequada;
- Identificação dos pontos de acumulação de açúcar na rede de transporte;

- Temperatura e velocidade do ar nos pontos de captação;
- Caudais de água e a sua concentração em açúcar na etapa de recuperação;
- Queda de pressão, frequência de rotação e velocidade de admissão do ar no ventilador.

Na Tabela 3.1 encontram-se listados os instrumentos usados no âmbito do levantamento.

Tabela 3.1 - Instrumentos utilizados durante a fase de levantamento

Instrumento	Marca/modelo	Menor divisão da escala	Propriedade avaliada	Leitura
Fita métrica (auto-retrátil)	Stanley Tylon 5 m	0,5 cm	Comprimento, largura e altura	Dimensões de equipamentos
			Comprimento	Comprimento dos troços retos das condutas
			Pressão	Desnível do ventilador
Fita métrica (rolo)	(Sem marca) 20 m	0,5 cm	Perímetro	Perímetros das condutas
			Raio da curvatura	Curvatura dos joelhos
Compasso de volta	(Sem marca)	-	Diâmetro	Diâmetro de condutas
Manómetro	WIKA 316L EN 837-1	0,025 barg	Pressão relativa	Pressão a jusante do ventilador
Vacuómetro	WIKA 316L EN 837-1	0,01 barg	Pressão relativa	Pressão a montante do ventilador
Pistola estroboscópica	Fluke 820-2	1 rpm	Frequência de rotação	Frequência de rotação do ventilador
Anemómetro	Testo 0635-9335	0,01 m/s	Velocidade	Nas captações e na admissão ao ventilador
Refratómetro	ATAGO RX-1000	0,01 °Bx	Teor mássico em açúcares	Correntes de água doce
Sonda térmica de contacto	Delta Ohm HD9214	0,1 °C	Temperatura	Ar ambiente e nas captações
				Correntes de água doce
Cronómetro	Huawei P9 Lite	0,01 s	Velocidade	Telas transportadoras e parafusos sem-fim
			Caudal	Correntes de água doce
			Frequência	Arranque de um motor

## 3.2 Representações gráficas

### 3.2.1 Isométrico

Após o levantamento fotográfico da instalação, contabilização de acessórios, observação do traçado e medição dos comprimentos das condutas foi possível elaborar um diagrama em vista isométrica da instalação, recorrendo ao software *AutoCAD*, o qual se encontra representado na Figura 3.2.

No Anexo A.1 podem ser consultadas fotografias dos equipamentos processuais (tanto existentes como implementados) e no Anexo A.2 encontram-se fotografias da rede de transporte e dos pontos de captação.



Figura 3. 2 -Diagrama isométrico simplificado da instalação de Despeiramento Geral da Refinaria

O isométrico da Figura 3.2 não está feito à escala e existem linhas que foram propositadamente prolongadas para evitar sobreposições das condutas. Também não foi representado o percurso da água doce pelo tanque de lavagem na etapa de recuperação.

A nomenclatura das linhas secundárias para as captações segue a forma genérica LS e estas foram numeradas por ordem crescente, de acordo com a distância a que a captação se encontra da câmara de lavagem. Na Tabela 3.2 do subcapítulo 3.3.1 é feita a correspondência entre a terminologia adotada e o equipamento processual de onde se aspira a poeira de açúcar.

As linhas representativas das tubagens da Figura 3.2 estão diferenciadas por cores, as quais ilustram as gamas das cotas a que as tubagens, equipamentos e captações se encontram.

Encontram-se ainda representados os acessórios das condutas, tal como pares de flanges, portas de limpeza, pressóstatos, válvulas e variações de diâmetro (contrações e expansões concêntricas).

### **3.2.2 Plantas de tubulações**

Recorrendo novamente ao *AutoCAD* foi necessário atualizar as plantas das tubulações da instalação de Despoeiramento Geral da Refinaria, que se encontram representadas nas Figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.

As linhas roxas representam as condutas visíveis segundo a perspetiva adotada, enquanto que as linhas a tracejado azul claro evidenciam as geratrizes das condutas que partilham um determinado espaço (mas que se encontram a elevações diferentes). As linhas verdes representam o eixo central das mesmas. Por fim, as linhas a laranja marcam a localização dos equipamentos cuja captação de poeiras se pretende implementar no sistema existente.

Encontram-se indicados os diâmetros das condutas (em milímetros), bem como a geometria das captações nos equipamentos processuais. As plantas não estão totalmente concordantes com o diagrama isométrico visto que não foram ilustrados os acessórios de condutas.

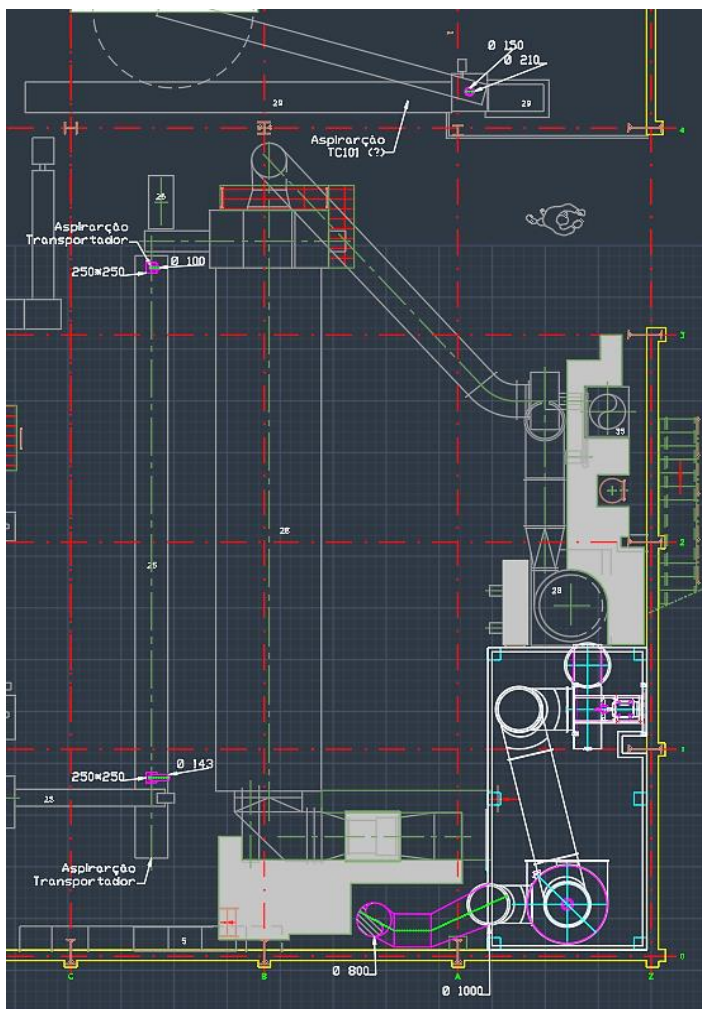


Figura 3. 3 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoiramento geral na cota 0 da Refinaria

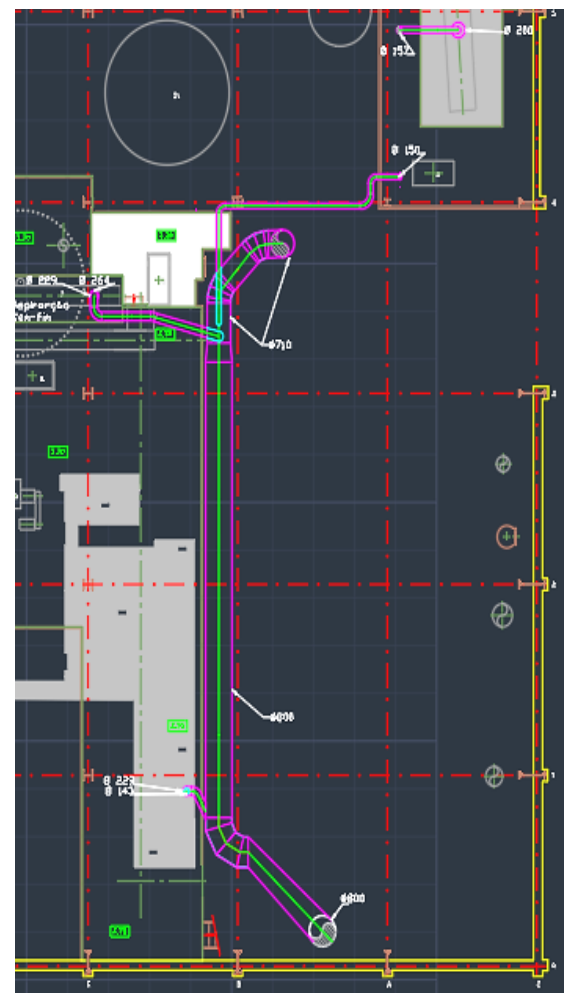


Figura 3. 4 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoiramento geral na cota 4 da Refinaria

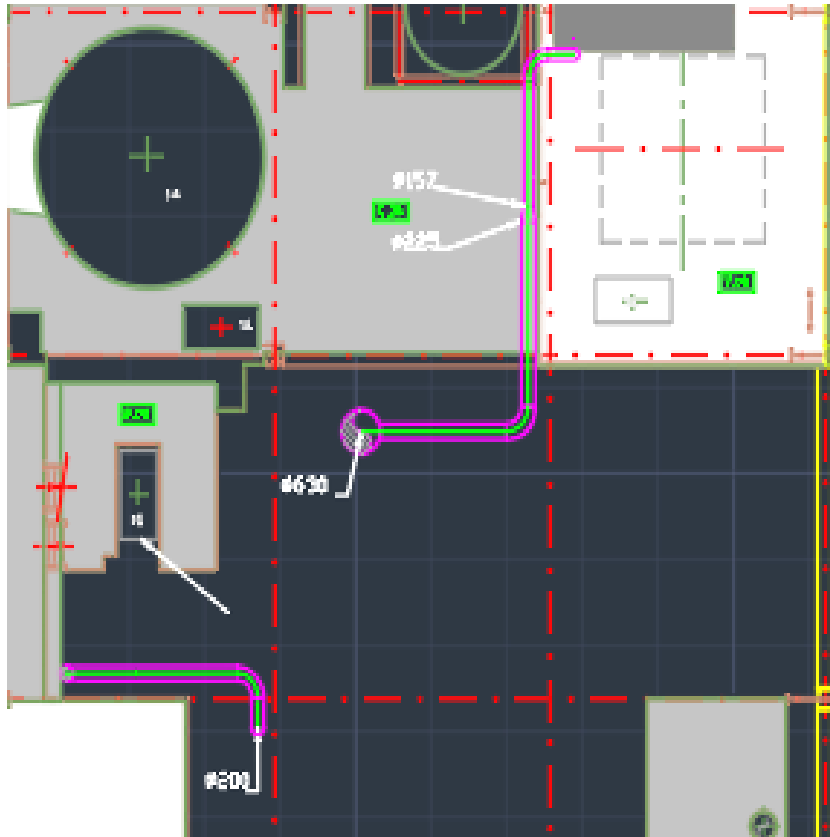


Figura 3. 5 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoiramento geral na cota 7 da Refinaria

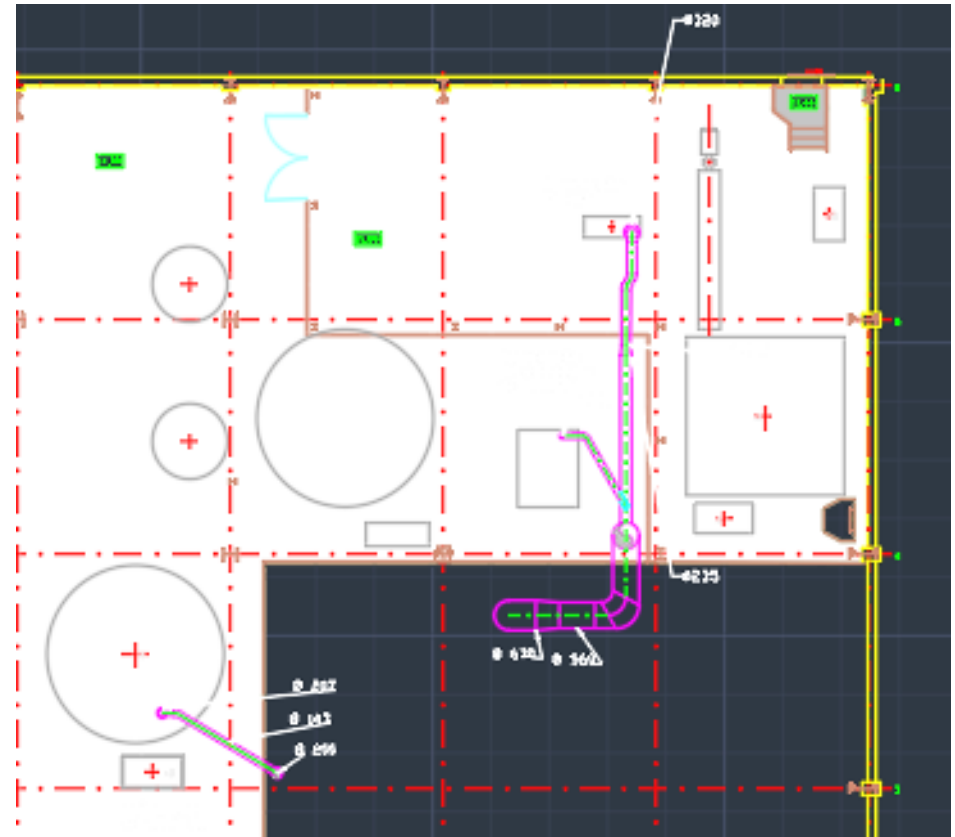


Figura 3. 6 - Representação das plantas das tubulações da unidade de despoiramento geral na cota 11 da Refinaria

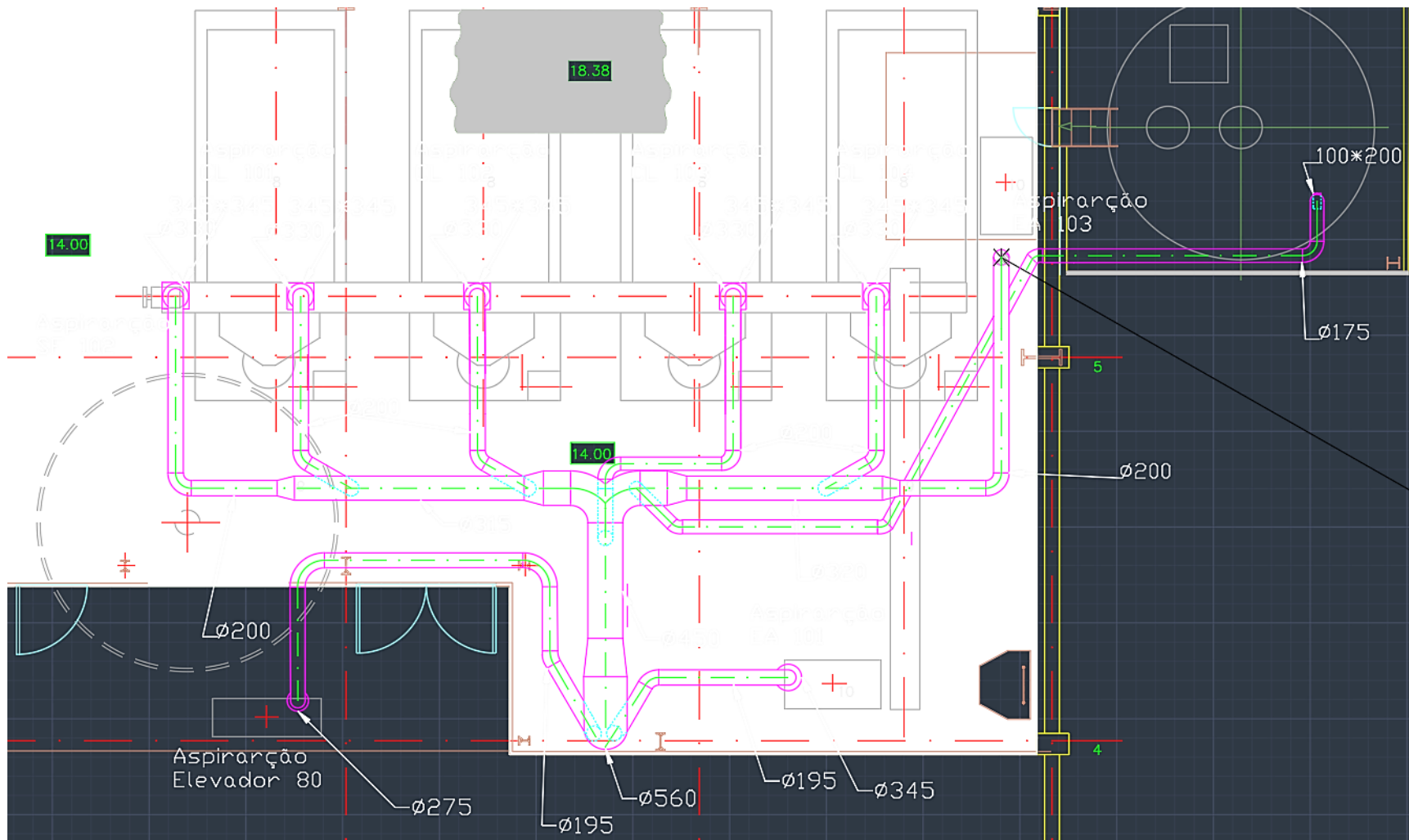


Figura 3. 7- Representação das plantas das tubulações da unidade de despeiramento geral na cota 14 da Refinaria

### 3.2.3 Esboços auxiliares

Para facilitar a organização dos dados recolhidos, foram construídos à mão um conjunto de esboços de todas as condutas na rede de aspiração e na etapa de recuperação (exceto das condutas ligadas ao tanque de lavagem), ilustrados nas Figuras 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11.

Nesta versão inicial dos esboços, é possível observar os seguintes dados:

- Quantificação e medição das condutas em vários segmentos numerados, daí existirem vários valores de comprimentos de troços retos das tubagens ( $L_{TR}$ );
- Localização e numeração dos pares de flanges de cada linha de condução de ar;
- Numeração dos joelhos e identificação do respetivo ângulo de mudança de direção;
- Numeração das contrações e expansões concêntricas, bem como indicação dos vários diâmetros das condutas existentes;
- Localização das convergências, que demarcam um dos limites dos ramais (sendo o outro limite no ponto de captação);
- Material das condutas, bem como o tipo de válvula, existência de mangas flexíveis e a geometria da boca de captação;
- Cotas relativas das linhas, na sua origem (captações) e destino (convergência do ramal com a corrente da linha principal ou admissão nos equipamentos da etapa de recuperação);
- Dimensões dos equipamentos de recuperação de poeiras.

Os esboços apresentam um conjunto de dados físicos tanto qualitativos (por exemplo, o tipo de válvula e material das condutas) como quantitativos (diâmetros e comprimentos das tubagens).

Porém, estes esboços não representam rigorosamente o traçado das condutas, para tal deve-se consultar o canto inferior esquerdo da Figura 3.8 em que se esboçaram as ligações entre os equipamentos da etapa de recuperação e parte da rede de transporte. Dentro da rede de transporte, representou-se a configuração tanto da linha de aspiração principal como do ramal cuja captação se encontra mais afastada do ventilador.

Na Figura 3.11 foi esboçada uma peça de junção de duas correntes, a qual foi identificada pela sigla BLP, bifurcação da linha principal. A sigla BLP deve-se ao facto de que esta peça recebe duas correntes de ar provenientes das linhas de aspiração 10A e 10B e a corrente resultante inicia o seu trajeto pela linha principal de aspiração (LP). Realça-se ainda que as linhas 10A e 10B são compostas, cada uma delas, por três ramais.

Concluída a fase de levantamento para os diagramas isométrico e de plantas, este conjunto de documentos foi importante para determinar a progressão de caudais e velocidades ao longo da rede de transporte no capítulo 3.4, bem como para a quantificação das quedas de pressão da instalação e determinação do caminho crítico no capítulo 3.5.

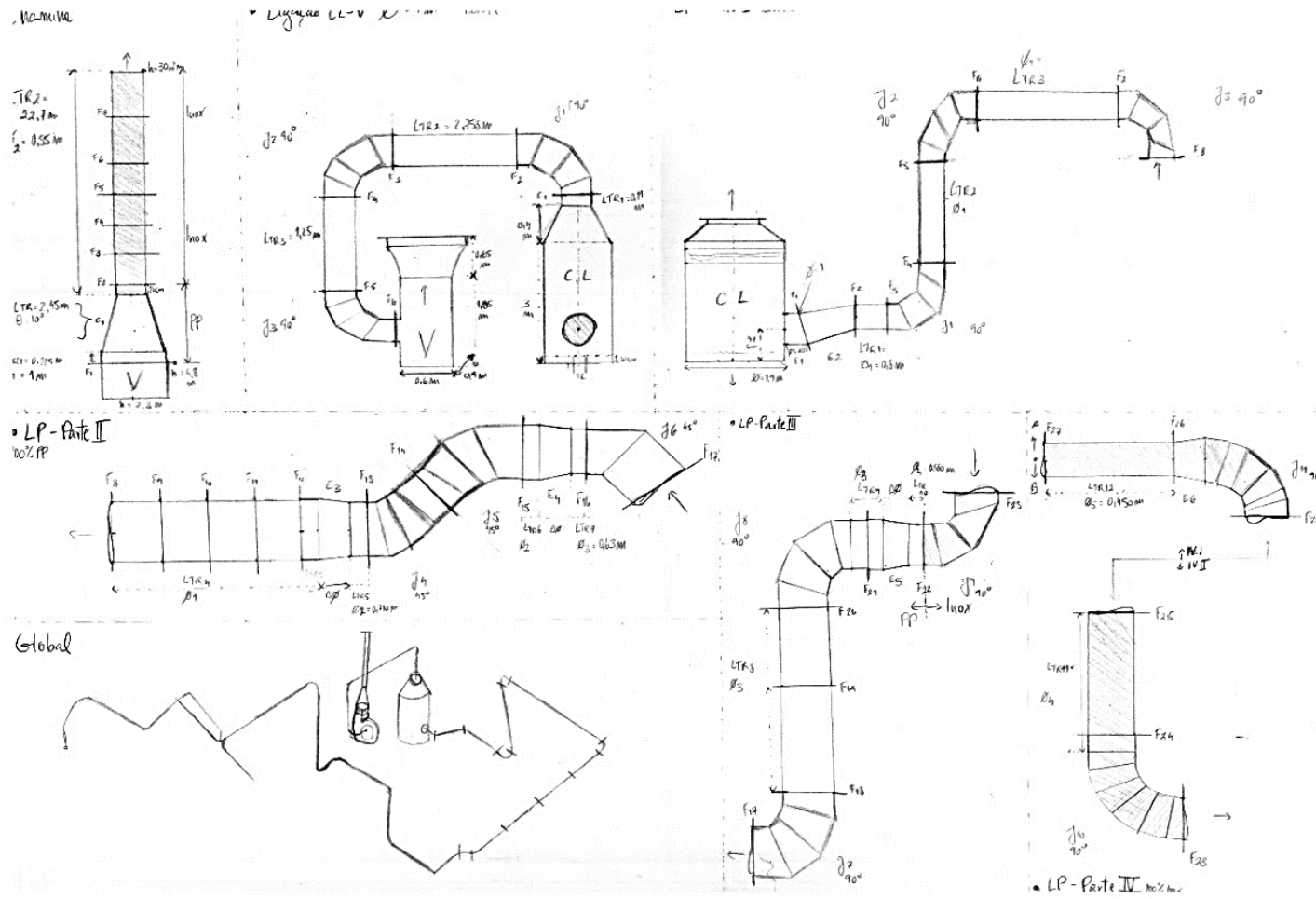


Figura 3- 8- Esboços do sistema global, da conduta principal de aspiração (LP), câmara de lavagem (CL), ventilador (V) e chaminé (C)

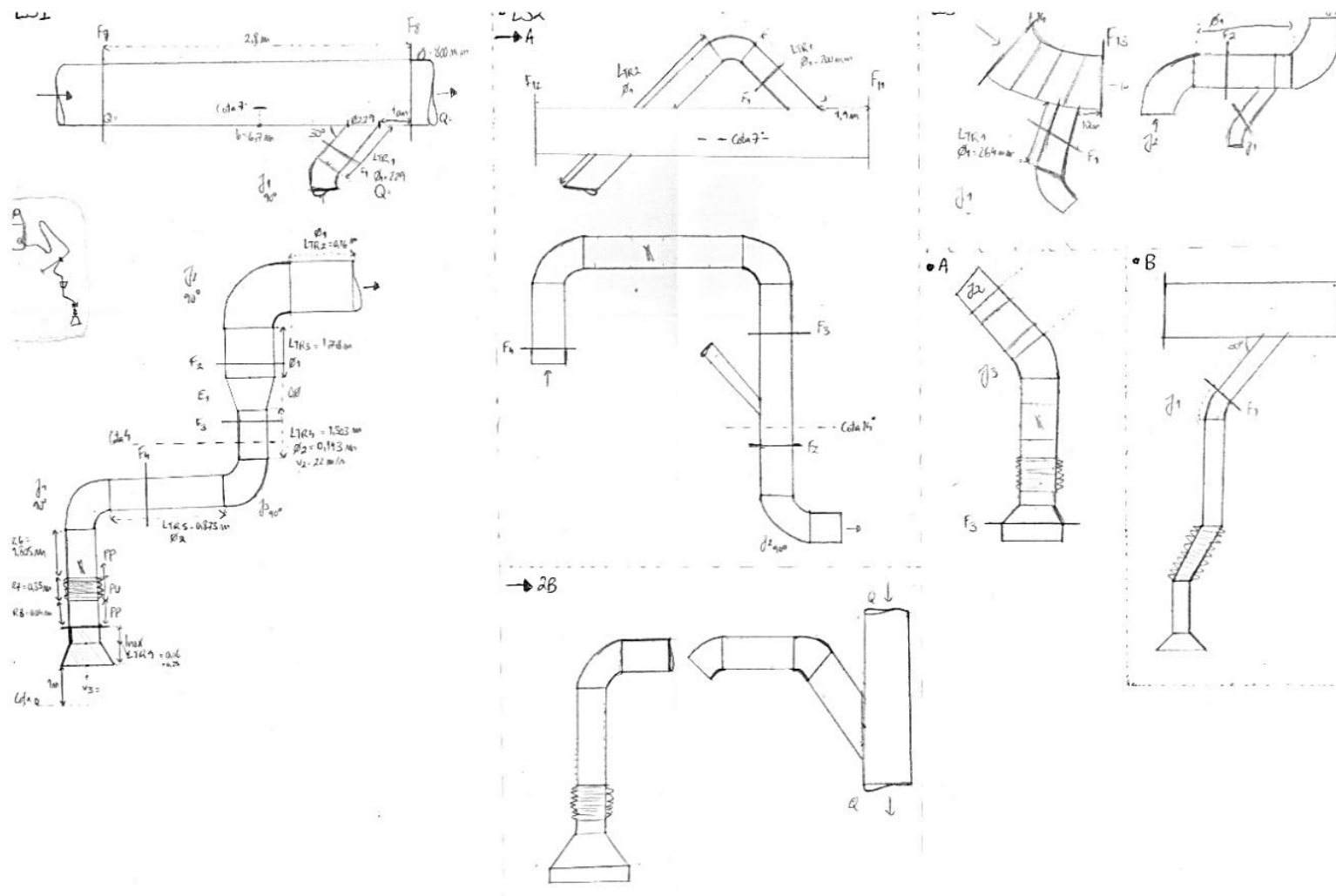


Figura 3. 9 - Esboços das linhas secundárias 1, 2 e 3

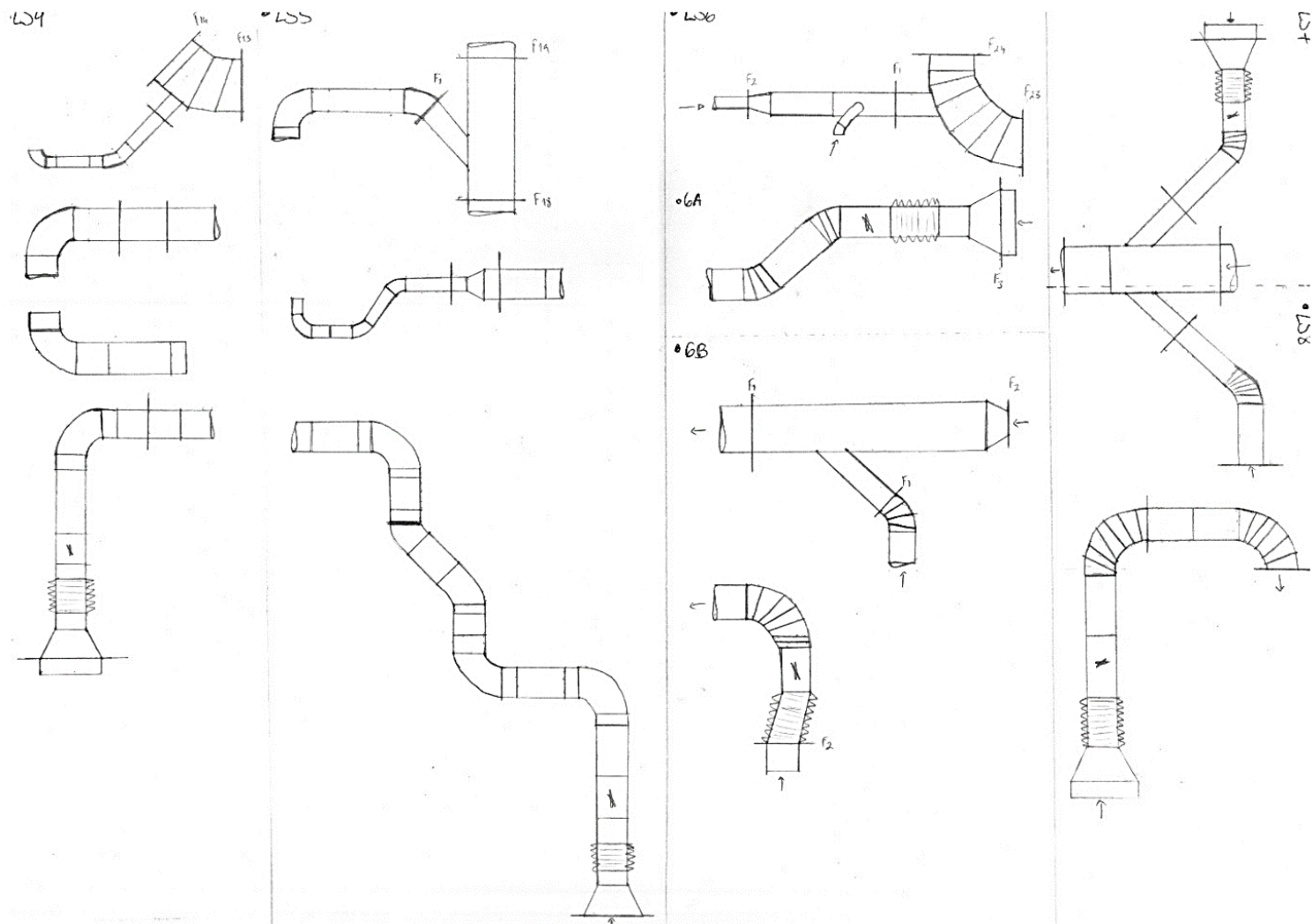


Figura 3. 10 - Esboços das linhas secundárias 4,5,6,7 e 8

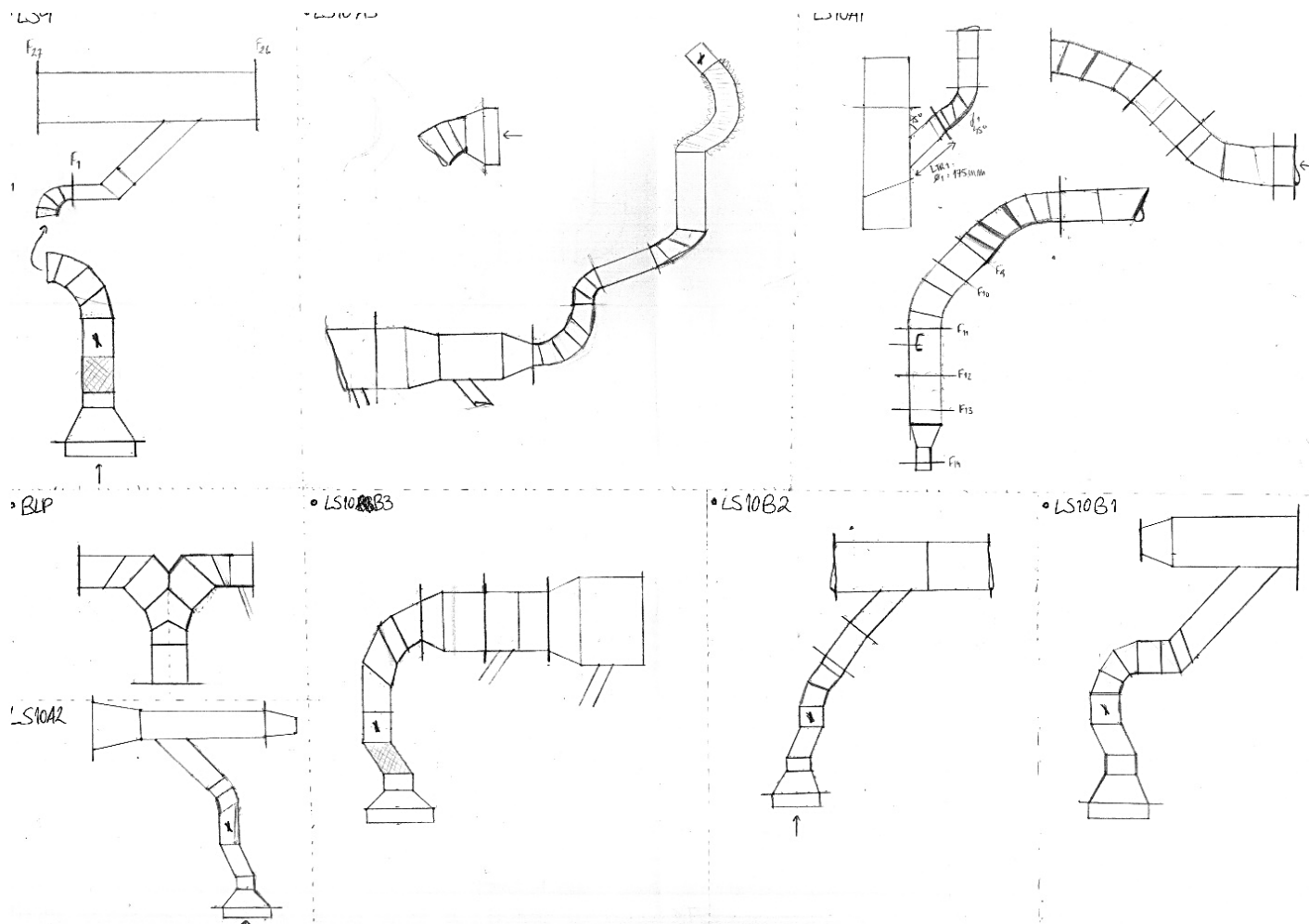


Figura 3. 11 - Esboço das linhas secundárias 9, 10A e 10B

### 3.3 Caraterização do sistema

#### 3.3.1 Equipamentos processuais

São 13 os equipamentos de onde se capta diretamente a poeira de açúcar. Dos 13 contam-se 5 elevadores (de baldes), 2 silos, 1 arrefecedor, 2 transportadores de bandas e 3 transportadores sem-fim (parafuso). Estes equipamentos encontram-se devidamente identificados no Anexo A.1.1.

Foi necessário localizar as chapas de identificação dos equipamentos no terreno para obter uma referência, que mais tarde foi introduzida no *software* de gestão empresarial SAP, para recolher a designação interna dos equipamentos processuais. Na Tabela 3.2 apresenta-se a correspondência entre o código do equipamento e a sua designação técnica, para cada captação da rede de transporte.

*Tabela 3. 2 - Correspondência entre a designação técnica dos equipamentos e das ramificações a que pertencem*

Captação	Designação técnica	Tipo de equipamento
LS1	TRBA 0163	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton
LS2A	ELVE 0013	Elevador de açúcar para Silo 70 ton
LS2B	SILO 0031	Silo 70 ton
LS3A	TRSF 0048	Transportador sem-fim descarga para Silo 70 ton
LS3B	TRBA 0163	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton
LS4	TRSF 0071	Transportador sem-fim para elevador dos classificadores
LS5	TRBA 0167	Transportador de banda de açúcar especial para Máquina Libra
LS6A	ELVE 0015	Elevador de açúcares especiais
LS6B	PCCL 0010	Arrefecedor
LS7	ELVE 0012	Elevador para classificadores
LS8	ELVE 0014	Elevador para Silo 75 ton
LS9	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores
LS10A1	SILO 0011	Silo de 40 ton para açúcar a granel
LS10A2	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores
LS10A3	ELVE 0016	Elevador de retorno dos classificadores
LS10B1	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores
LS10B2	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores
LS10B3	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores

O tipo de equipamento, bem como a sua capacidade e características de operação são variáveis que influenciam a implementação e o dimensionamento de um novo ponto de captação, conforme descrito no recálculo do subcapítulo 4.2.1.

Foi necessário medir as dimensões dos equipamentos acima listados (altura e área de secção reta), bem como a velocidade de operação dos transportadores. Na Tabela B.1 do Anexo B.1.1 podem ser consultados os resultados do levantamento realizado aos 13 equipamentos da instalação de despoeiramento, bem como são descritos os procedimentos realizados.

Depois de localizar os equipamentos processuais onde o despoeiramento está implementado observou-se o flowsheet das etapas de secagem, transporte, classificação e armazenamento e reuniu-se uma lista de máquinas que lidam com açúcar e não faziam parte de nenhum dos sistemas de despoeiramento. No terreno foram identificados os equipamentos listados na Tabela 3.3. As representações destes equipamentos podem ser consultadas no anexo A.1.2.

*Tabela 3.3 - Correspondência entre a designação técnica dos equipamentos processuais que se pretendem implementar*

Captação a implementar	Designação técnica	Tipo de equipamento
<b>1</b>	TRSF 0076 (ou SF 76)	Transportador SF nº2 do sistema alternativo
<b>2</b>	SILO 0037	Silo de açúcar de 20 ton
<b>3</b>	SILO 0038	Silo de pó e troças de 10 ton
<b>4*</b>	TRSF 0051 (ou SF 104)	Transportador SF de ligação do classificador à torre
<b>5</b>	TRSF 0045 (ou SF 101)	Transportador SF de descarga no elevador dos classificadores
<b>6*</b>	TRSF 0004	Transportador SF para elevador da torre

No decorrer de uma visita à Refinaria no âmbito do recálculo efetuado no subcapítulo 4.2.2 concluiu-se que é possível combinar os pontos 4 e 6 num só, visto que os TRSF 0051 e TRSF 0004 estão interligados. Por isso, é adequado implementar a captação na queda do TRSF 0051 para o TRSF 0004.

Procedeu-se então ao levantamento das dimensões dos equipamentos e características de funcionamento que se encontram listadas na Tabela B.2 do Anexo B.1.1.

### **3.3.2 Rede de transporte**

Após a contabilização dos diversos segmentos das condutas da instalação, procedeu-se à determinação das cotas, medição dos diâmetros e comprimentos das 22 linhas de tubagens que constituem a rede de transporte e os resultados apresentam-se na Tabela 3.4.

Tabela 3. 4 - Lista do número de segmentos, comprimento, diâmetro médio e cotas das linhas de aspiração

Linha	Segmentos tubagens	Comprimento total (m)	Comprimento de troços retos (m)	Nº de curvas	Diâmetro médio (m)	Cota da captação/ origem (m)	Cota de destino (m)	$\Delta z$ (m)
Chaminé	16	25,575	<b>25,575</b>	0	<b>0,554</b>	4,80	29,88	25,08
CL-V	22	9,463	<b>4,168</b>	3	<b>1,000</b>	5,72	3,82	1,90
LP	104	45,364	<b>32,151</b>	11	<b>0,697</b>	18,00	2,62	15,38
LS1	32	8,017	<b>7,052</b>	4	<b>0,171</b>	1,00	6,70	5,70
LS2A	27	18,371	<b>17,171</b>	4	<b>0,200</b>	18,40	7,60	10,80
LS2B	20	4,096	<b>3,466</b>	3	<b>0,147</b>	15,00	15,50	0,50
LS3A	23	8,041	<b>4,904</b>	3	<b>0,230</b>	3,95	6,95	3,00
LS3B	12	2,846	<b>2,761</b>	1	<b>0,102</b>	6,70	5,70	1,00
LS4	36	13,263	<b>12,308</b>	5	<b>0,151</b>	3,23	7,05	3,82
LS5	48	15,308	<b>13,361</b>	10	<b>0,186</b>	5,55	10,08	4,53
LS6A	20	6,054	<b>5,739</b>	2	<b>0,220</b>	13,00	13,20	0,20
LS6B	18	2,244	<b>1,913</b>	2	<b>0,115</b>	11,90	13,20	1,30
LS7	12	2,038	<b>1,833</b>	1	<b>0,213</b>	17,87	16,90	0,97
LS8	32	8,243	<b>7,289</b>	3	<b>0,198</b>	18,05	16,90	1,15
LS9	18	2,572	<b>1,582</b>	3	<b>0,195</b>	16,15	<b>18,00</b>	1,85
BLP	10	1,665	<b>0,205</b>	0	<b>0,455</b>	18,00	<b>18,00</b>	0,00
LS10A1	51	11,935	<b>9,573</b>	5	<b>0,175</b>	13,30	<b>18,00</b>	4,70
LS10A2	9	2,153	<b>1,808</b>	1	<b>0,188</b>	16,15	<b>18,00</b>	1,85
LS10A3	29	7,258	<b>6,188</b>	4	<b>0,236</b>	21,55	<b>18,00</b>	3,55
LS10B1	13	2,512	<b>1,93</b>	2	<b>0,196</b>	16,15	<b>18,00</b>	1,85
LS10B2	13	2,196	<b>1,846</b>	1	<b>0,196</b>	16,15	<b>18,00</b>	1,85
LS10B3	18	7,123	<b>6,619</b>	1	<b>0,288</b>	16,15	<b>18,00</b>	1,85
<b>Total</b>	<b>583</b>	<b>206,336</b>	<b>169,442</b>	<b>69</b>				

As medições dos comprimentos das condutas foram repartidas por 583 segmentos. O comprimento total indica a soma dos comprimentos dos troços retos com a distância percorrida em secções curvas.

Dos 206 metros medidos, 169 m correspondem a troços retos. Os ramais mais extensos (onde as perdas de carga friccionais serão mais acentuadas) são os seguintes: LS2A, LS4, LS5 e LS10A1. No entanto, os ramais que se encontram mais distantes da etapa de recuperação são os ramais 10A e 10B, na sala dos classificadores, destacando-se os ramais 10A1 (ponto mais longínquo) e 10A3. A comparação gráfica dos comprimentos totais das linhas de aspiração pode ser consultada na Figura B.1 do Anexo B.1.

Os comprimentos e alturas foram determinados recorrendo a uma fita métrica. Para os diâmetros foi necessário usar um compasso de volta e a fita métrica ou, dependendo do caso, uma fita métrica de rolo. Nas Tabelas B.4 a B.6 do Anexo B.1 é possível consultar uma lista dos diâmetros existentes (calculou-se ainda a área de secção reta das condutas circulares ou quadradas) em cada linha de aspiração, onde se identifica ainda o tipo de geometria das condutas nas captações de cada ramal.

Como várias linhas não apresentam apenas um único diâmetro das condutas, calculou-se a média ponderada do diâmetro para cada uma, apresentando-se nas Tabelas B.6 a B.41 do Anexo B.1. Calculou-se ainda a fração dos comprimentos em troços retos das condutas, face ao comprimento total das mesmas, apresentados nas mesmas Tabelas do Anexo B.1.

No âmbito do levantamento foram identificados os seguintes acessórios de condutas: pares flangeados, curvas, contrações ou expansões concêntricas, válvulas, portas de limpeza, mangas flexíveis e pressóstatos (nas tubagens para condução do ar existe apenas um, a montante da admissão à câmara de lavagem). Foram contabilizados o número de acessórios das tubagens, bem como o material que as constitui e elaborou-se a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Levantamento dos acessórios e do material nas condutas do sistema

Linha	Pares flangeados	Curvas	Contrações	Expansões	Válvulas	Portas de limpeza	Manga flexível	Material predominante
Chaminé	7	0	1	0	0	3	0	Aço Inox
CL-V	6	3	0	1	0	0	0	Polipropileno
LP	27	11	0	7	0	6	0	Polipropileno
LS1	5	4	1	1	1	0	1	Polipropileno
LS2A	4	4	1	0	1	0	0	Polipropileno
LS2B	2	3	2	0	1	0	1	Polipropileno
LS3A	3	3	2	0	1	0	1	Polipropileno
LS3B	2	1	1	0	1	0	1	Polipropileno
LS4	5	5	2	0	1	0	1	Polipropileno
LS5	4	10	2	1	1	0	1	Polipropileno
LS6A	3	2	2	1	1	0	1	Aço Inox
LS6B	2	2	1	0	1	0	1	Aço Inox
LS7	2	1	2	0	1	0	1	Aço Inox
LS8	4	3	2	0	1	0	1	Aço Inox
LS9	2	3	2	0	1	0	1	Aço Inox
BLP	0	0	0	0	0	0	0	Aço Inox
LS10A1	14	5	1	0	1	2	0	Aço Inox
LS10A2	1	1	2	0	1	0	1	Aço Inox
LS10A3	3	4	2	2	1	0	1	Aço Inox
LS10B1	1	2	2	0	1	0	1	Aço Inox
LS10B2	3	1	2	0	1	0	1	Aço Inox
LS10B3	4	1	2	2	1	0	1	Aço Inox
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>69</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	-

Foram identificados 104 pares flangeados na rede de transporte, 69 curvas (de 30, 45, 60 ou 90°), 32 contrações e 15 expansões (que podem ser graduais ou súbitas, entre tubagens ou ligadas entre equipamentos e condutas ou vice-versa), 18 válvulas (17 são do tipo borboleta e uma é do tipo faca), 11 portas de limpeza e 16 troços de mangas flexíveis para ligar cada ramal à respetiva captação no equipamento processual.

Os materiais das condutas influenciam as quedas de pressão distribuídas (ou friccionais) e as tubagens são constituídas predominantemente por aço inoxidável ou polipropileno, enquanto que as mangas flexíveis são compostas por mangueiras de poliuretano reforçado helicoidalmente com fio de cobre ou então tecido (como se verifica nas ramificações LS9,10A2, 10B1, 10B2 e 10B3). Todos os acessórios descritos, exceto as portas de limpeza foram incluídos nos cálculos das quedas de pressão localizadas.

A partir dos dados acima apresentados neste subcapítulo foi possível elaborar uma série de tabelas para cada linha de aspiração (usadas para a construção do diagrama isométrico e atualização das plantas), onde se encontram identificados por segmentoma medição do comprimento das condutas, o seu diâmetro e os outros segmentos acoplados. Também é possível identificar o material de que cada segmento, bem como os segmentos onde existem pares flangeados, curvas, válvulas ou portas de limpeza.

As Tabelas B.42 a B.68 do Anexo B.1 formaram a base para a construção das folhas de cálculo onde foram aplicados os balanços de massa à rede de transporte para determinar a progressão de velocidades e caudais volumétricos ao longo do circuito de aspiração (Tabelas B.74 a B.80 do Anexo B.2) e os balanços de energia mecânica (para o cálculo das quedas de pressão) (Tabelas do Anexo B.3).

Portanto nas Tabelas B.42 a B.68 do Anexo B.1 para além das propriedades descritas, é possível verificar a progressão de velocidades e caudais para cada corrente e subcorrente do sistema considerado nos balanços. Estas características foram acrescentadas nas tabelas de modo a facilitar a correspondência entre propriedades.

O atrito gerado pelo transporte das poeiras através das condutas implica que pode acumular-se eletricidade estática, e esta pode constituir uma fonte de ignição e causar a deflagração de uma explosão. As ligações equipotenciais (LEP) permitem conduzir essa energia à terra, mantendo todos os materiais metálicos à mesma voltagem, reduzindo então o risco de uma explosão. Estas devem ser instaladas em todas as ligações flangeadas e foi no âmbito do levantamento que se contabilizou e classificou o número e o estado das LEP existentes. Nas Tabelas B.69 a B.70 do Anexo B.1 encontram-se classificadas as LEP como OK (em conformidade), NL (necessidade de limpeza), D (danificada) e I (inexistente). Foi calculada ainda a proporção de cada classificação acima mencionada.

Idealmente, deveriam de existir 115 ligações equipotenciais (104 nos pares flangeados e 11 nas portas de limpeza) na rede de transporte. De acordo com os resultados, 27 ligações estão em conformidade, 29 precisam de uma limpeza, 12 das ligações estão danificadas e 47 não estão instaladas. Conclui-se então que sensivelmente metade das ligações devem ser instaladas/substituídas.

Para efeitos de cálculo foi necessário determinar a temperatura do ar nas linhas da rede de transporte, de modo a poder-se obter a massa volúmica e a viscosidade absoluta do ar aspirado.<sup>[9]</sup>

No dia 27 de junho foram feitas as medições (recorrendo a uma sonda térmica de contacto) nas captações dos equipamentos processuais, as quais se apresentam na Tabela B.70 do Anexo B.1.2. Determinando a cota do ponto de medição para cada captação foi possível construir um perfil de temperaturas, apresentado na Figura 3.12.

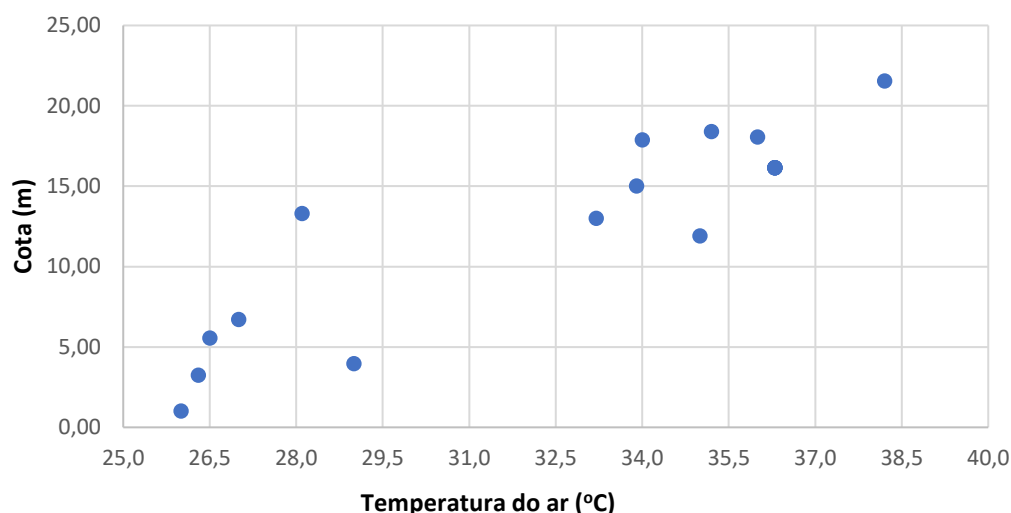


Figura 3. 12 - Perfil térmico nas captações

A partir dos dados obtidos determinou-se a gama de temperaturas a que o ar se encontra na rede de transporte. Consultando uma tabela de propriedades obtiveram-se os valores correspondentes à massa volúmica, tornando-se assim possível calcular a variação de volume de ar aspirado na Tabela 3.6.<sup>[Adaptado de 9]</sup>

Tabela 3. 6 - Determinação da gama de temperaturas e massas volúmicas do ar na rede de transporte <sup>[Adaptado de 9]</sup>

Temperaturas do ar (°C)	Massa volúmica a 1 bar (kg/m <sup>3</sup> )	Variação térmica (%)	Variação volumétrica (%)	
<b>Máxima</b>	38,2	1,11866	31,94	7,70
<b>Mínima</b>	26,0	1,20480	46,92	7,15
<b>Amplitude</b>	12,2	0,08614	14,99	0,55

Verifica-se que a variação volumétrica (tanto em relação às temperaturas máximas e mínimas registadas) é inferior a 10%, o que nos indica ser possível aplicar as equações de Bernoulli considerando o ar como um fluido incompressível.<sup>[28]</sup>

O objetivo seguinte foi determinar as velocidades de transporte do ar na rede de condutas para detetar os ramais onde se verifica aspiração inadequada (ou outras inconformidades), bem como estimar o caudal de ar impulsionado pelo ventilador.

As medições foram efetuadas na manga flexível perto das captações (quando aplicável) com um anemómetro de turbina, o que implica que tiveram de ser realizadas aos Sábados, fora do horário de produção da Refinaria, para evitar a contaminação do açúcar contido nos equipamentos processuais.

Visto que no início do estágio a rede de transporte apresentava vários pontos onde a acumulação de açúcar na secção reta das condutas era significativa ou completa, confirmou-se que a velocidade e o caudal de transporte estão comprometidos. Foi então necessário efetuar uma operação de limpeza à instalação para medir a velocidade na captação, a fim de

se poder avaliar a distribuição de velocidades na rede de transporte, calcular o caudal associado a cada captação, bem como estimar o caudal global.

As operações de limpeza foram realizadas em 2 Sábados: uma no dia 20 de maio e a outra a 17 de junho e foram medidas as velocidades nas captações nos dias 29 de maio e 8 de julho. Na primeira intervenção limpou-se o interior da linha principal de aspiração e na intervenção seguinte limpou-se as ramificações.

O açúcar sedimentado nas condutas foi removido com uma corrente de água quente, para facilitar a dissolução do produto. Geralmente recorre-se às portas de limpeza para estes fins, mas como se pretendeu evitar que o açúcar fosse encaminhado para a câmara de lavagem foi ainda necessário seccionar determinados troços das condutas para que o açúcar fosse efetivamente removido. Na Figura 3.13 é possível verificar a quantidade de açúcar depositado na conduta. No anexo A.3.1 é possível verificar mais situações semelhantes.



*Figura 3.13 - Comparação do estado inicial (esquerda) com o estado final da conduta (direita) após a limpeza*

Na zona de captação das condutas deve haver uma boca de aspiração (onde se efetua a ligação entre o equipamento e o ramal de transporte), uma manga flexível que deve ser desenroscada para possibilitar a medição da velocidade e ainda existe um registo (geralmente uma válvula borboleta) onde se pode regular o caudal de ar aspirado, como representado na Figura 3.14.

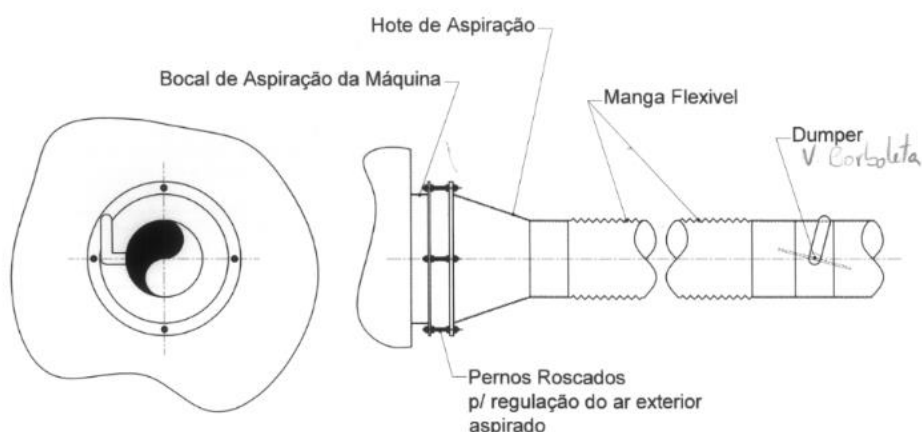


Figura 3. 14 - Representação da ligação entre o equipamento processual e o ramal de aspiração

Na Tabela 3.7 encontra-se descrito o ponto onde se efetuou a medição e a velocidade registada. Com base no respetivo diâmetro das condutas foi possível calcular o caudal volumétrico de cada ramificação, bem como o caudal aspirado global.

Tabela 3. 7 - Medição das velocidades de transporte e determinação do caudal de aspiração no dia 29 de maio.

Captação	Equipamento	Ponto de medição	Velocidade registada (m/s)	Diâmetro no ponto de medição (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)
LS1	TRBA 0163	Manga flexível	14,61	0,143	844,7
LS2A	ELVE 0013	Porta de homem do elevador	8,18	0,200	925,1
LS2B	SILO 0031	Ligação ao topo do silo	<b>1,30</b>	0,207	157,5
LS3A	TRSF 0048	Manga flexível	6,64	0,229	984,5
LS3B	TRBA 0163	Manga flexível	10,64	0,102	313,0
LS4	TRSF 0071	Manga flexível	<b>1,30</b>	0,150	82,7
LS5	TRBA 0167	Manga flexível	<b>1,00</b>	0,157	69,7
LS6A	ELVE 0015	Manga flexível	<b>0,00</b>	0,320	0,0
LS6B	PCCL 0010	Manga flexível	<b>1,20</b>	0,115	44,9
LS7	ELVE 0012	Manga flexível	9,50	0,195	1.021,4
LS8	ELVE 0014	Manga flexível	11,58	0,195	1.245,0
LS9	TRSF 0029	Pano	6,44	0,195	692,4
LS10A1	SILO 0011	Porta de limpeza	<b>2,22</b>	0,175	192,2
LS10A2	TRSF 0029	Pano	5,80	0,185	561,3
LS10A3	ELVE 0016	Manga flexível	6,66	0,195	716,0
LS10B1	TRSF 0029	Pano	6,76	0,195	726,8
LS10B2	TRSF 0029	Pano	7,76	0,195	834,3
LS10B3	TRSF 0029	Pano	8,46	0,200	956,8
<b>Média</b>			<b>6,11</b>	<b>Total</b>	<b>10.368,3</b>

Verifica-se que a velocidade média obtida é de 6 m/s, sendo então que a aspiração global é insuficiente para as necessidades existentes. Constatou-se ainda que o caudal determinado experimentalmente é um terço da capacidade nominal do ventilador instalado (o qual é garantido quando a média das velocidades ronda os 22 m/s).

O facto de existirem pontos de medição com velocidades bem inferiores à média (caso das captações LS2B, LS4, LS5, LS6 e LS10A1) sugere que há ramificações onde a deposição de açúcar afeta a capacidade de aspiração e que nas ramificações colmatadas se impede efetivamente a aspiração, formando-se caminhos preferenciais e perpetuando a acumulação de açúcar.

Na Tabela B.72 do Anexo B.1.2 encontram-se as velocidades registadas no dia 8 de julho (2 semanas após a limpeza das ramificações e 6 semanas depois da limpeza do coletor central). A média das velocidades obtidas é inferior a 6 m/s, o que se traduz num caudal global ligeiramente inferior ao que foi calculado com base nos dados recolhidos no dia 29 de maio. É possível, no entanto observar que existem determinadas captações onde se observaram velocidades superiores no dia 8 de julho (em comparação com o dia 29 de maio) como resultado da limpeza às ramificações. O caudal global poderá ser inferior porque em 6 semanas, a quantidade de açúcar sedimentado nas condutas já tinha atingido um nível considerável.

As medições podem não ser completamente fiáveis devido ao facto do aparelho utilizado (anemómetro de turbina, próprio para medições numa gama de velocidades entre os 0,25 e os 20 m/s) não ser o instrumento mais adequado quando as partículas suspensas de açúcar ficam retidas nas superfícies das hélices.

O método de medição recomendado consiste na leitura da pressão dinâmica recorrendo a um tubo de Pitot acoplado à consola 435-4 da Testo utilizada. Adquiriu-se o instrumento da Testo por 138 € e a consola existente foi recalibrada. Encontra-se ainda previsto implementar pontos de medição adequados.

Na Tabela 3.8 realiza-se a caracterização das condutas para cada captação, em termos do número de portas de limpeza existentes, tipo de válvula, manga flexível e boca de captação instaladas, bem como se indica a velocidade máxima registada.

Tabela 3. 8 - Avaliação dos acessórios das condutas para cada captação

Captação	Designação técnica do equipamento	Portas de limpeza	Válvula		Manga flexível		Boca de captação		Velocidade máxima registada (m/s)	Captação
			Tipo	Estado	Poliuretano	Tecido	Existência	Geometria		
LS1	TRBA 0163	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Quadrada	15,3	LS1
LS2A	ELVE 0013	0	Borboleta	Funcional	<b>Não</b>		<b>Não</b>	-	8,2	LS2A
LS2B	SILO 0031	0	Borboleta	<b>Danificada</b>	Sim	-	Sim	Circular	1,3	LS2B
LS3A	TRSF 0048	0	Borboleta	<b>Danificada</b>	Sim	-	Sim	Circular	6,6	LS3A
LS3B	TRBA 0163	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Quadrada	10,6	LS3B
LS4	TRSF 0071	0	Borboleta	<b>Danificada</b>	Sim	-	Sim	Circular	2,2	LS4
LS5	TRBA 0167	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Circular	7,3	LS5
LS6A	ELVE 0015	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Circular	3,5	LS6A
LS6B	PCCL 0010	0	Borboleta	<b>Danificada</b>	Sim	-	<b>Não</b>	-	4,0	LS6B
LS7	ELVE 0012	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Circular	11,5	LS7
LS8	ELVE 0014	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Circular	11,6	LS8
LS9	TRSF 0029	0	Borboleta	Funcional	-	Sim	Sim	Quadrada	6,4	LS9
LS10A1	SILO 0011	<b>2</b>	Faca	Funcional	<b>Não</b>		Sim	Retangular	2,9	LS10A1
LS10A2	TRSF 0029	0	Borboleta	Funcional	-	Sim	Sim	Quadrada	5,8	LS10A2
LS10A3	ELVE 0016	0	Borboleta	Funcional	Sim	-	Sim	Circular	6,7	LS10A3
LS10B1	TRSF 0029	0	Borboleta	Funcional	-	Sim	Sim	Quadrada	14,5	LS10B1
LS10B2	TRSF 0029	0	Borboleta	Funcional	-	Sim	Sim	Quadrada	7,9	LS10B2
LS10B3	TRSF 0029	0	Borboleta	Funcional	-	Sim	Sim	Quadrada	9,5	LS10B3

Todas as ramificações deveriam de possuir portas de limpeza a jusante de acidentes como curvas, as válvulas borboleta deveriam ser substituídas por válvulas de faca (para que a regulação de caudal seja mais eficaz). Tal como as portas de limpeza, todas as captações deveriam ter uma manga flexível e estanque instalada, visto não haver mais pontos de medição de velocidade adequados.

As bocas de captação devem existir em todas as ligações aos equipamentos visto que o seu objetivo é garantir uma velocidade de captação inferior à velocidade de transporte nas condutas, para não se correr o risco de aspirar açúcar granulado quando o objetivo é captar as poeiras.

### **3.3.3 Equipamentos da etapa de recuperação**

No final da rede de transporte as poeiras arrastadas são encaminhadas para o primeiro estágio da etapa de recuperação: a câmara de lavagem. Neste equipamento um jato contínuo de água em contra corrente com a corrente de ar ascendente permite dissolver o açúcar, o qual escoar por gravidade para um tanque de lavagem.

Nesta estação de tratamento dilui-se o conteúdo da corrente de água doce originada na câmara de lavagem com uma corrente de água da rede e outra corrente de águas doces (que circulou pelos tanques de lavagem dos sistemas de despoeiramento do secador de 10 e de 20 ton, respetivamente). Parte das águas doces tratadas na estação de tratamento são reintroduzidas na câmara de lavagem, enquanto que a água restante é reintroduzida no processo.

A corrente de ar atravessa a câmara de lavagem, onde um separador de gotas e um coalescedor auxiliam a separação das poeiras, sendo então conduzido para o ventilador e descarregado para o ambiente. O processo descrito encontra-se representado na Figura 3.15.

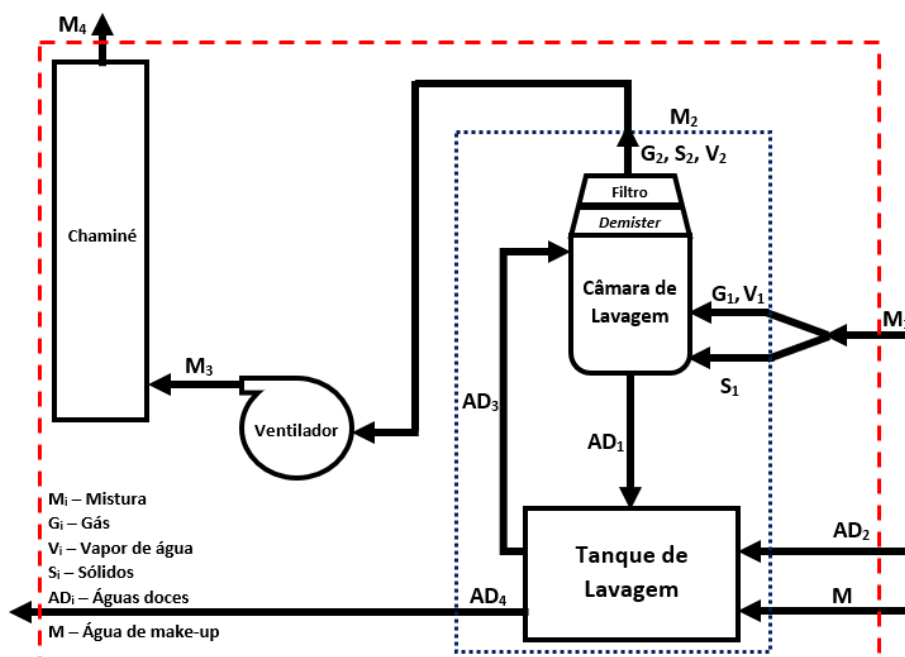


Figura 3. 15 - Representação esquemática do sistema de recuperação

Segundo indica a legenda da figura, a corrente  $M_1$  é composta pelo ar ventilado  $G_1$ , as poeiras transportadas  $S_1$  e incluiu-se ainda a humidade presente tanto no ar como no produto  $V_1$ . A dissolução do açúcar na câmara de lavagem gera uma corrente designada de água doce  $AD_1$ . A corrente  $M$  representa a introdução de água para diluição da concentração de açúcar na estação de tratamento.

As correntes  $M_2$ ,  $M_3$  e  $M_4$  possuem a mesma composição química, constituídas principalmente pelo ar aspirado. No entanto teve-se em conta que a eficiência da separação do açúcar não é perfeita e que se verifica o arraste de partículas de vapor de água após o seu contacto com o ar na câmara de lavagem.

Os tracejados indicam as fronteiras consideradas para o balanço de massa, a vermelho está representado o sistema de recuperação global e a azul o conjunto de processos em que a fase transportadora é a água.

- **Ventilador**

Com base na chapa de identificação do equipamento (VENT 0121) foi possível identificar o modelo do ventilador, bem como a sua capacidade nominal, variação de pressão, frequência de rotação (nominal e máxima) bem como a sua eficiência. No anexo A.1.3 pode ser consultada uma fotografia do equipamento na Figura A.22.

A partir da identificação do ventilador formulou-se a Tabela 3.9 onde encontram-se indicadas as seguintes propriedades:

Tabela 3. 9 - Dados de operação do ventilador BN3-900

Propriedade	Valor
Capacidade nominal (m <sup>3</sup> /h)	36.000
Variação total de pressão (Pa)	1.400
Frequência de rotação (rpm)	1.218
Frequência de rotação máxima (rpm)	1.318
Eficiência (%)	85

A gama de ventiladores radiais de baixa pressão (BN3) fabricados pela Vakutec (*Scheidt Ventilatoren-GmbH*) apresentam diâmetros nominais dos 250 aos 1250 mm. A caixa do equipamento é feita de polipropileno e reforçada com um perfil de aço. A depressão é causada pela rotação de 6 hélices de pás viradas para trás, estática e dinamicamente balanceadas.<sup>[48,49]</sup>

A transmissão da máquina é feita por polias e correias ligadas ao eixo do motor elétrico de 22,5 kW (MOTE 0939), como se pode verificar na Figura B.2 do Anexo B.1.3.<sup>[Adaptado de 50]</sup> A curva característica do ventilador instalado pode ainda ser consultada na Figura B.3 do Anexo B.1.3.<sup>[Adaptado de 49]</sup>

Foram realizadas quatro intervenções no equipamento para se determinar o seu ponto de funcionamento, visto que foi necessário verificar os dados de operação descritos na Tabela 3.9. As propriedades analisadas foram a variação de pressão, a frequência de rotação e a velocidade (ou caudal volumétrico).

A primeira intervenção foi realizada no dia 6 de maio quando se instalaram dois manómetros em dois pontos nas condutas que comunicam com o ventilador. A montante do ventilador foi instalado um vacuómetro visto que a admissão de ar para o ventilador é uma zona de baixa pressão. Nas Figuras A.59 e A.60 do Anexo A.4.1 podem ser consultadas duas fotografias dos manómetros instalados.

Após a instalação dos aparelhos procedeu-se à leitura da pressão manométrica. A montante registou-se uma pressão de -0,04 barg e a jusante 0,05 barg. A diferença de pressão entre os dois pontos (9000 Pa) deveria corresponder então à variação no ventilador indicada na Tabela 3.18 (1400 Pa).

Concluiu-se que a sensibilidade dos aparelhos não é adequada para determinar com exatidão a variação de pressão no ventilador e que esta deve ser determinada por outro método.

A segunda intervenção deu-se no dia 9 de junho, aproveitaram-se os pontos onde os manómetros foram instalados para ligar duas mangueiras cristal, conectadas entre si e com uma terceira mangueira por um tê. A terceira mangueira foi ligada a um bidão cheio de água, inicialmente fechado. Depois da montagem da instalação descrita, foi aberta uma torneira do bidão, permitindo que a água se repartisse pelas mangueiras e verificou-se o princípio dos vasos comunicantes.

Tornou-se então possível medir o desnível da água e converter esta grandeza numa variação de pressão equivalente a **1242 Pa**. Obteve-se então a primeira característica

que será fixada na curva do ventilador. Nas Figuras A.61 e A.62 do Anexo A.4.2 encontram-se fotografias da instalação experimental.<sup>[11]</sup>

A terceira intervenção no ventilador foi concretizada no dia 13 de junho com o objetivo de verificar a frequência de rotação das pás do ventilador com uma pistola estroboscópica. Como a polia do motor é da mesma dimensão que a polia do ventilador, é indiferente onde realizar a determinação pois ambas as polias rodam à mesma velocidade.

Primeiro foi necessário cortar o fornecimento de energia ao moto-ventilador, abriu-se então a caixa de proteção do sistema de transmissão e colou-se uma tira de papel na polia. Na fase seguinte, o ventilador partiu do repouso e aguardou-se que o equipamento estabilizasse. Finalmente, ajustou-se a frequência da pistola estroboscópica até se observar a tira de papel na mesma posição na polia às **1250 rpm**. Nas Figuras A.63 a A.66 do Anexo A.4.3 encontram-se fotografias do ensaio.

A quarta intervenção foi concluída no dia 23 de junho, foi feito um corte com uma broca craniana na conduta de admissão de ar ao ventilador (o disco cortado de propileno foi reaproveitado para vedar o corte) para se poder medir a velocidade do ar com um anemómetro. O valor médio obtido foi de 18,4 m/s, o que numa secção de tubagem com um diâmetro de 1 metro, se traduz num caudal volumétrico superior a 50000 m<sup>3</sup>/h. No entanto, analisando a curva do ventilador na Figura B.3 do Anexo B.1.3, para uma frequência de rotação de 1250 rpm e uma variação de pressão de 1242 Pa, é possível marcar o ponto de operação do ventilador e verificar que o caudal volumétrico indicado é de **40000 m<sup>3</sup>/h**.

A discrepância nos valores pode ter sido causada pelo anemómetro, visto que o aparelho leu velocidades próximas dos 40 m/s, quando está calibrado para uma gama entre os 0,25 e os 20 m/s. Analisando de novo a curva característica retira-se que para o ventilador debitar 50000 m<sup>3</sup>/h (o caudal correspondente à velocidade de 40 m/s), à frequência de rotação atual, estaria a funcionar com uma eficiência inferior a 60% e uma taxa de compressão do ar (475 Pa) inferior a metade do valor medido (1242 Pa) e equivalente a um terço do valor indicado pelo fabricante (1400 Pa).

- **Câmara de lavagem**

O lavador de gases vertical WV220-1000 (DESP 0008), com uma capacidade compreendida entre 35.500 a 43.999 m<sup>3</sup>/h, pertence à série WV2 da Vakutec para equipamentos adequados para a lavagem de ar contaminado por substâncias hidrofílicas. A coluna possui um separador de gotas no topo, junto com uma descarga de ar vertical.

O princípio de funcionamento da coluna baseia-se na transferência de massa num processo em contracorrente. Sob a corrente de ar ascendente atua um chuveiro de água a 6 bar, proporcionado pelo jato dos bicos aspersores posicionados no topo da coluna.

As impurezas transportadas pelo ar são transferidas devido à sua elevada afinidade com a água. Os aerossóis são dispersos quando entram em contacto com o separador de gotas, cujo perfil curvado permite que a humidade escoe por gravidade. O separador

vem equipado com um coalescedor posicionado a montante do mesmo para que as gotas coalesçam e sejam separadas.

Com uma corrente de ar uniforme percorrendo a torre e sem o coalescedor, o equipamento permite uma separação de 99,9% de gotas com pelo menos 15  $\mu\text{m}$  e gerando uma queda de pressão de 400 Pa. Com o coalescedor, a eficiência aumenta para gotas de 10  $\mu\text{m}$ , verificando-se uma queda de pressão de 500 Pa. <sup>[51,52]</sup>

- **Chaminé**

A partir de ensaios realizados aos efluentes gasosos por um laboratório certificado, em 2015, obteve-se a Tabela 3.10. As propriedades analisadas foram a pressão e a temperatura que se encontra o ar, bem como foi determinado o seu caudal, tanto em base total como em base seca.

*Tabela 3. 10 - Ensaios realizados à chaminé do sistema de despoeiramento geral da Refinaria*

Chaminé		
Parâmetros	Capacidade nominal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	35.000
	Altura (m)	25,1
	Massa molar dos gases, em base húmida (g/mol)	28,7
Condições de ensaio	Capacidade de ensaio ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	5.150
	Pressão absoluta no interior da conduta (Pa)	101.780
	Temperatura do efluente ( $^{\circ}\text{C}$ )	31
	Velocidade de escoamento (m/s)	6,5
	Caudal volumétrico efetivo ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	5.147
	Caudal volumétrico, em base seca ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )	4.557

A capacidade de ensaio indica que, no momento da recolha de dados, o caudal de ar que efetivamente era admitido no ventilador seria de um sexto da capacidade nominal do equipamento.

Pode-se então inferir que, aquando do ensaio, as condutas se encontravam colmatadas ou que a potência debitada pelo motor que alimenta o ventilador teria sido regulada para níveis mais baixos.

- **Tanque de lavagem**

Aprofundando os conteúdos relatados na introdução ao capítulo 3.3.3, apresenta-se a Figura 3.16.

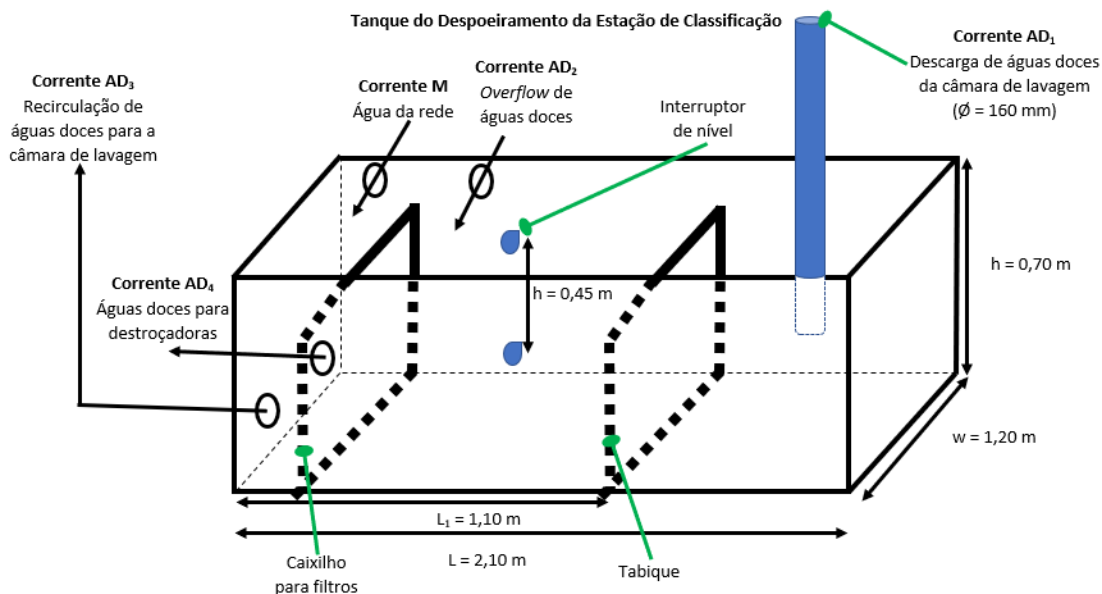


Figura 3. 16 - Representação esquemática do tanque de lavagem da estação de tratamento

No tanque do despoeiramento da estação de classificação (DEPO 0063), com capacidade para 550 L, circulam 8 correntes (das quais 4 são contínuas), existindo 4 entradas e 4 saídas.

Das correntes de entrada, 3 estão representadas ( $AD_1$ ,  $AD_2$  e  $M$ ) e a última corrente é uma entrada de água quente usada durante operações de manutenção do equipamento. Durante estas operações existem 2 saídas para realizar o vazamento do tanque e não se encontram representadas na Figura 3.16.

A corrente  $AD_2$  designa-se de *overflow* visto que esta escoar em cascata atravessando primeiro pela cuba da instalação de despoeiramento do secador de 10 toneladas e a mistura resultante segue para a cuba do secador de 20 toneladas e é então descarregada. O seu caudal é função do nível da água nos tanques de lavagem situados a montante.

A corrente  $AD_3$  funciona em contínuo e reintroduz águas doces nos chuveiros da câmara de lavagem. O transporte das águas é viabilizado pelo funcionamento do motor MOTE 0993 e da bomba centrífuga BBCE 0269.

A corrente  $AD_4$  possui um caráter descontínuo, sendo controlada pelo nível de fluido no tanque. Quando o nível da água atinge o interruptor de nível superior, é acionado o motor MOTE 0629 da bomba BBCE 0132 que permitirá escoar as águas doces para alimentar os depósitos das destroçadoras, até o momento em que o nível da água atinge o interruptor de nível inferior, quando se interrompe o funcionamento da bomba.

O tanque possui duas secções: uma delas é delimitada por um tabique, que separa parte da água proveniente da câmara de lavagem. Na segunda secção quando o nível da água ultrapassa a altura do tabique verifica-se a diluição da concentração de açúcar em solução. Nesta secção existem grelhas, periodicamente lavadas, para impedir o desenvolvimento de leucanose.

Tendo como objetivo determinar o caudal de açúcar que é efetivamente aspirado e recolhido, foi necessário aplicar um balanço de massa ao sistema composto pela câmara e pelo tanque de lavagem, partindo do princípio que o caudal de operação do ventilador se mantém nos 40.000 m<sup>3</sup>/h.

Procedeu-se então à medição do teor de açúcares, expresso em °Bx, das correntes de água doce, a temperatura das mesmas, bem como o caudal volumétrico das correntes AD<sub>2</sub>, AD<sub>4</sub> e M. Os dados obtidos nestes ensaios podem ser consultados nas Tabelas B.73 a B.94 do Anexo B.1.3.

De modo a determinar o caudal volumétrico da corrente AD<sub>4</sub> realizou-se ainda uma quinta intervenção no sistema, no dia 16 de junho e pode-se consultar uma fotografia da instalação na Figura A.68 do Anexo A.4.5.

### **3.4 Balanço de massa global**

Depois de realizado o levantamento, foi necessário quantificar os caudais de ar nos vários pontos da rede de transporte para determinar o caudal que atravessa a câmara de lavagem.

Determinando os caudais de água e, através da diferença da concentração de açúcar nas correntes 39 e 42, é possível calcular o caudal de poeiras aspiradas. Podemos então subdividir o balanço de massa global em duas parcelas: primeiro o balanço à rede de transporte e a segunda parcela diz respeito à linha de água (etapa de recuperação). Na Figura 3.17 apresenta-se o diagrama de convergências do sistema global.

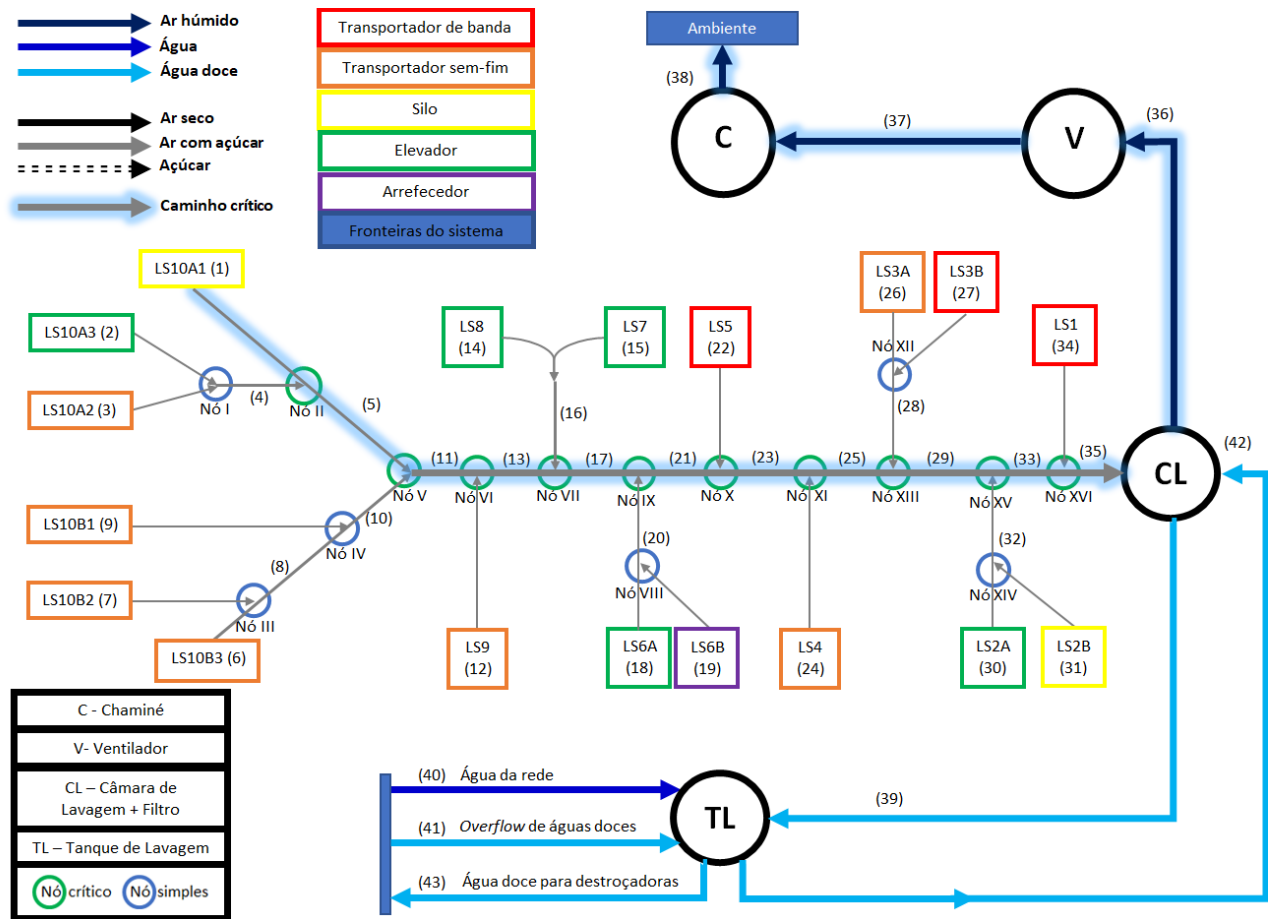


Figura 3. 17 - Diagrama de convergências do Despoeiramento Geral da Refinaria

Como representado na Figura 3.15, as fronteiras do sistema global são os equipamentos processuais, a atmosfera onde o ar é descarregado e ainda a origem/saída das correntes líquidas que comunicam com o tanque de lavagem.

Na rede de transporte a origem da numeração das correntes é definida pela captação que se encontra mais longe do ventilador (LS10A1), constituindo o ponto de aspiração mais desfavorável. Na rede de transporte as correntes podem designar o percurso entre uma captação e um nó num ramal ou o trajeto entre dois nós. De acordo com os resultados obtidos no capítulo 3.5, encontra-se realçado com um sombreado azul o percurso do caminho crítico.

Visto que as medições de velocidade não geraram resultados fiáveis, estimou-se o caudal de ar nas condutas de transporte. Partiu-se do princípio que idealmente nas condutas imediatamente após as captções as velocidades de transporte devem-se situar entre os 20 e os 25 m/s.<sup>[39]</sup> Cruzando os diâmetros das condutas com esta gama de velocidades é possível calcular a gama de caudais em cada ramal, cujos dados se encontram na Tabela 3.11

Tabela 3. 11 - Determinação da gama de capacidades do sistema para a instalação existente e ainda para o cenário 2 (sistema ampliado)

Captação	Designação técnica do equipamento	v <sub>1</sub> - Velocidade de transporte (m/s)			D <sub>1</sub> - Diâmetro da tubagem (m)	v <sub>1</sub> = 20 m/s	v <sub>1</sub> = 22 m/s	v <sub>1</sub> = 25 m/s	Proporção dos caudais (%)	
						Q <sub>0</sub> = Q <sub>1</sub> - Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)			Cenário 1 - Situação Inicial	Cenário 2 - Circuito Ampliado
LS1	TRBA 0163	20	22	25	0,143	1.156	1.272	1.445	3,6	3,0
LS2A	ELVE 0013	20	22	25	0,200	2.262	2.488	2.827	7,0	5,8
LS2B	SILO 0031	20	22	25	0,143	1.156	1.272	1.445	3,6	3,0
LS3A	TRSF 0048	20	22	25	0,229	2.965	3.262	3.707	9,1	7,6
LS3B	TRBA 0163	20	22	25	0,102	588	647	735	1,8	1,5
LS4	TRSF 0071	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590	3,9	3,3
LS5	TRBA 0167	20	22	25	0,157	1.394	1.533	1.742	4,3	3,6
LS6A	ELVE 0015	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS6B	PCCL 0010	20	22	25	0,115	748	823	935	2,3	1,9
LS7	ELVE 0012	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS8	ELVE 0014	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS9	TRSF 0029	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS10A1	SILO 0011	20	22	25	0,175	1.732	1.905	2.165	5,3	4,5
LS10A2	TRSF 0029	20	22	25	0,185	1.935	2.129	2.419	6,0	5,0
LS10A3	ELVE 0016	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS10B1	TRSF 0029	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS10B2	TRSF 0029	20	22	25	0,195	2.150	2.365	2.688	6,6	5,5
LS10B3	TRSF 0029	20	22	25	0,200	2.262	2.488	2.827	7,0	5,8
<b>Total</b>						<b>32.524</b>	<b>35.776</b>	<b>40.654</b>	<b>100,0</b>	<b>Total-</b>
<b>Amplitude</b>										<b>0,0</b>
<b>Novas captações</b>	SILO 0037	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590	<b>Novas captações</b>	3,3
	SILO 0038	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590		3,3
	TRSF 0045	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590		3,3
	TRSF 0051	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590		3,3
	TRSF 0076	20	22	25	0,150	1.272	1.400	1.590		3,3
<b>Total</b>						<b>38.885</b>	<b>42.774</b>	<b>48.607</b>	<b>Total</b>	<b>100,0</b>
<b>Amplitude</b>										<b>Amplitude</b>

Como se verifica a convergência de pelo menos duas correntes de ar em todos os nós, o caudal global de aspiração é obtido através da soma algébrica dos caudais individuais de cada captação.

De acordo com a gama de caudais obtidos para o sistema existente é possível inferir que a velocidade de transporte do projeto original é de 22 m/s, visto que o caudal global calculado coincide com a capacidade nominal do ventilador, bem como da câmara de lavagem.

É possível verificar a gama de caudais de aspiração previstas para o sistema ampliado com as cinco novas captações mencionadas no capítulo 3.3.1.

Depois de quantificar os caudais de ar nas correntes 1 a 35 tornou-se interessante quantificar a distribuição das velocidades dos ramais em três pontos distintos: a velocidade na captação, a velocidade de transporte nas condutas e a velocidade com que entram num ponto de mistura (nó), na Tabela 3.12.

Tabela 3. 12 - Distribuição das velocidades na rede de transporte

Ramificação	Corrente	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidades (m/s)		
			Na captação	Transporte	Mistura
			V <sub>c</sub>	V <sub>t</sub>	V <sub>m</sub>
LS1	34	1.272	5,7	22,0	8,6
LS2A+B	32	3.760	-	33,3	33,3
LS2A	30	2.488	22,0	22,0	22,0
LS2B	31	1.272	10,5	22,0	22,0
LS3A+B	28	3.909	-	26,4	26,4
LS3A	26	3.622	16,6	22,0	22,0
LS3B	27	647	2,9	22,0	22,0
LS4	24	1.400	11,2	22,0	22,0
LS5	22	1.533	13,6	22,0	10,7
LS6A	18	2.365	8,2	22,0	15,4
LS6B	19	823	22,0	22,0	22,0
LS6A+B	20	3.188	-	20,4	20,4
LS7	15	2.365	7,0	22,0	22,0
LS8	14	2.365	11,1	22,0	22,0
LS9	12	2.365	5,5	22,0	22,0
LS10A3	2	2.365	6,8	22,0	8,2
LS10A3+A2	4	4.494	-	15,5	7,7
LS10A	5	6.399	-	10,9	10,9
LS10A2	3	2.129	4,8	22,0	22,0
LS10A1	1	1.905	26,5	22,0	22,0
LS10B3	6	2.488	5,8	22,0	8,6
LS10B3+B2	8	4.853	-	16,8	8,3
LS10B	10	7.218	-	12,3	12,3
LS10B2	7	2.365	5,5	22,0	22,0
LS10B1	9	2.365	5,5	22,0	22,0
<b>Média</b>		<b>1.988</b>	<b>10,6</b>	<b>21,3</b>	<b>18,3</b>

As velocidades na captação devem ser inferiores a 5 m/s, o que se verifica teoricamente apenas em duas captações (LS3B e LS10A2). Os valores indicados a vermelho identificam as captações que não possuem um bocal de captação.

Nas ramificações a velocidade de transporte de 22 m/s deve ser mantida até à convergência, o que não se verifica nas ramificações LS1 e LS5 visto que na rede de transporte existente há uma expansão antes da convergência destes ramais com a linha principal, o que provoca uma redução da velocidade no ponto onde existe a expansão, resultando num ponto de acumulação de poeiras.

As expansões devem existir nos pontos de convergência das correntes, para compensar o acréscimo no caudal transportado e tendo em vista manter a velocidade de transporte desejada. Nas colunas da velocidade de transporte e velocidade de mistura o seu valor numérico deve ser idêntico e os valores marcados a vermelho indicam a inconformidade acima descrita.

A distribuição das velocidades de aspiração nas ramificações do sistema encontra-se representada na Figura 3.18.

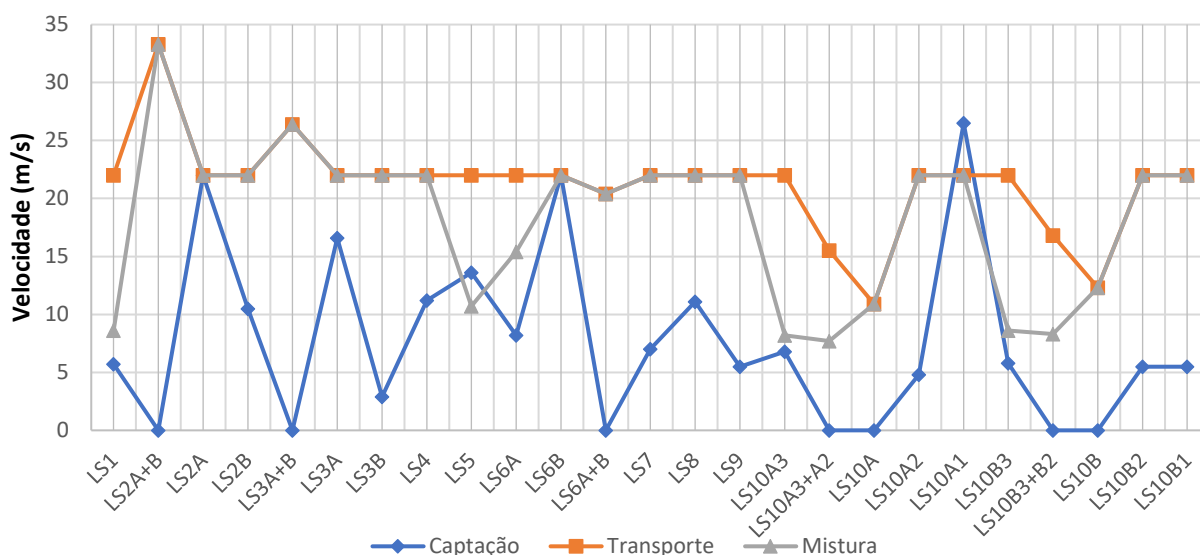


Figura 3. 18 - Distribuição das velocidades de aspiração nas ramificações

Podemos observar outra inconformidade no funcionamento do sistema na Figura 3.19 onde se representam as velocidades de transporte ao longo do coletor central.



Figura 3. 19 – Evolução da velocidade de transporte ao longo da rede de transporte

A gama ideal das velocidades situa-se entre os 20 e os 25 m/s, valores acima de 25 m/s significam que existe um excesso de energia no sistema e os troços em que as velocidades de transporte são inferiores a 20 m/s evidenciam as zonas onde a acumulação de poeiras é mais significativa. Qualquer queda de velocidade, independentemente do ponto de partida respeitar a gama de velocidades mencionada ou não, indicando assim um ponto de acumulação de açúcar devido à redução brusca na velocidade do ar.

Para efeitos de cálculo das velocidades de captação e, mais tarde, das quedas de pressão do sistema foi necessário conhecer o diâmetro hidráulico e o diâmetro equivalente das captações, cuja listagem se encontra indicada na Tabela 3.13.

Tabela 3. 13 - Lista dos diâmetros hidráulico e equivalente para as captações

Captação	Designação técnica do equipamento	Tipo de equipamento	Geometria	Área da seção reta (m <sup>2</sup> )	Diâmetro hidráulico (m)	Diâmetro equivalente (m)
LS1	TRBA 0163	Transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	Quadrada	0,063	0,250	0,273
LS2A	ELVE 0013	Elevador de açúcar para Silo 70 ton	Circular	0,031	0,200	
LS2B	SILO 0031	Silo 70 ton	Circular	0,034	0,207	
LS3A	TRSF 0048	Transportador sem-fim descarga pra Silo 70 ton	Circular	0,055	0,264	0,273
LS3B	TRBA 0163	Transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	Quadrada	0,063	0,250	
LS4	TRSF 0071	Transportador sem-fim para elevador dos classificadores	Circular	0,035	0,210	
LS5	TRBA 0167	Transportador de bandas de açúcar especial para Máquina Libra	Circular	0,031	0,200	
LS6A	ELVE 0015	Elevador de açúcares especiais	Circular	0,080	0,320	
LS6B	PCCL 0010	Arrefecedor de açúcar	Circular	0,010	0,115	
LS7	ELVE 0012	Elevador para classificadores	Circular	0,093	0,345	
LS8	ELVE 0014	Elevador para Silo 75 ton	Circular	0,059	0,275	
LS9	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Quadrada	0,119	0,345	0,377
LS10A1	SILO 0011	Silo de 40 ton para açúcar a granel	Retangular	0,020	0,133	0,152
LS10A2	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Quadrada	0,123	0,350	0,383
LS10A3	ELVE 0016	Elevador de retorno dos classificadores	Circular	0,096	0,345	
LS10B1	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Quadrada	0,119	0,345	0,377
LS10B2	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Quadrada	0,119	0,345	0,377
LS10B3	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Quadrada	0,119	0,345	0,377
Captação	Designação técnica do equipamento	Tipo de equipamento	Geometria	Área da seção reta (m <sup>2</sup> )	Diâmetro hidráulico (m)	Diâmetro equivalente (m)

Não foi possível fechar o balanço de massa à etapa de recuperação e assim determinar o caudal de açúcar arrastado, o que poderá indicar uma de duas hipóteses: ou a corrente *overflow* está a sobressaturar a solução contida no tanque de lavagem ou o caudal de ar considerado (40.000 m<sup>3</sup>/h) é muito superior ao real.

### 3.5 Balanço de energia mecânica

O objetivo deste subcapítulo é quantificar as perdas de carga globais do sistema, bem como a determinação do caminho crítico de aspiração.

Para uniformizar o método de cálculo tornou-se fundamental subdividir as correntes indicadas no diagrama de convergências da Figura 3.17. O critério para a divisão das subcorrentes foi a mudança de direção (devido às curvas) e os pontos em que se verifica uma variação no material das condutas, no seu diâmetro (e velocidade de transporte) ou na geometria da seção reta.

Assim foi possível obter a partir de 38 correntes 163 parcelas onde será aplicado o balanço de energia mecânica. Apresenta-se um exemplo da representação das

propriedades do escoamento (caudal, velocidade, diâmetro comprimento e material da conduta) para cada subcorrente na Figura 3.20. Podem-se consultar nas Figuras B.5 a B.8 do Anexo B.2 as representações do sistema de transporte.

A lista dos caudais volumétricos, velocidades, diâmetros e comprimentos das subcorrentes pode ser consultado nas Tabelas B.96 a B.102 do Anexo B.2 (e ainda nas Tabelas B.42 a B.68 do Anexo B.1.2)

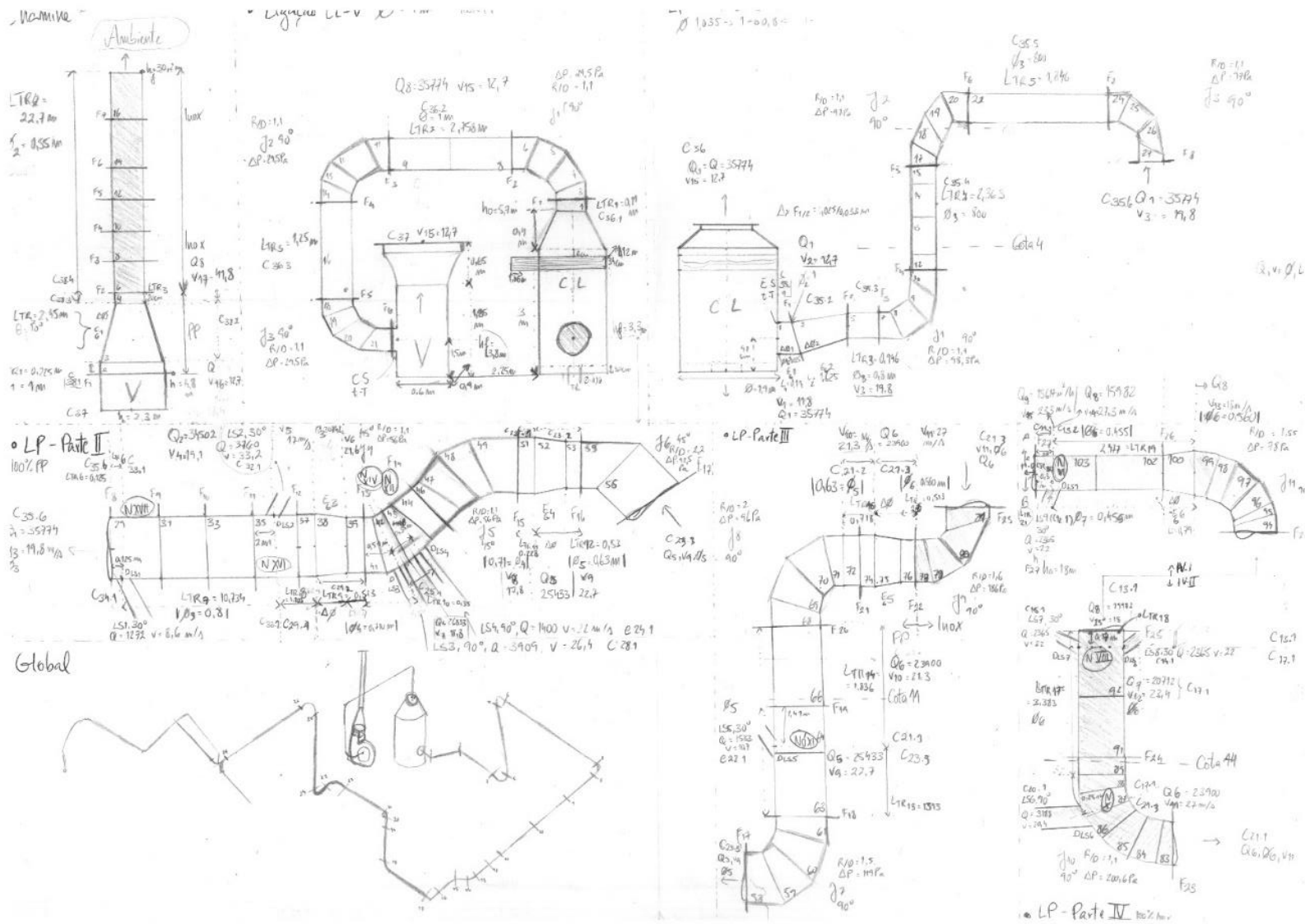


Figura 3. 20 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte I)

A queda de pressão total de um fluido num determinado percurso é resultado da soma algébrica das perdas de carga friccionais (ou distribuídas) e das perdas de carga localizadas.

As perdas de carga localizadas são função do tipo de acessório de tubagem e das suas dimensões ou configuração. Foram contabilizados 11 tipos de acidentes num total de 176 pontos. Um quadro-resumo dos resultados dos cálculos das quedas de pressão localizadas encontra-se na Tabela 3.14. O coeficiente de resistência  $k$  foi calculado para cada tipo de acessório, recorrendo a valores de literatura.<sup>[26,29,37,40,41,42,45]</sup>

O cálculo dos coeficientes  $k$  e das perdas de carga localizadas individuais podem ser consultadas nas Tabelas B.110 a B.128 do Anexo B.3.1. Seguem-se em anexo ainda o cálculo das perdas localizadas globais, nas Tabelas B.129 a B.135 e o cálculo das perdas localizadas do caminho crítico do sistema, nas Tabelas B.136 e B.137.

Tabela 3. 14 -Distribuição das quedas de pressão localizadas calculadas para cada tipo de acessório

Tipo de acessório	Número de acidentes	$\Delta P$ (Pa)	Proporção (%)
<b>Curvas</b>	<b>69</b>	<b>6.358</b>	<b>30,3</b>
<b>Transformações de seção reta</b>	<b>8</b>	<b>45</b>	<b>0,2</b>
<b>Derivações<sub>1,3</sub> (ramal)</b>	<b>16</b>	<b>10.523</b>	<b>50,2</b>
<b>Derivações<sub>2,3</sub> (linha principal)</b>	<b>16</b>	<b>639</b>	<b>3,1</b>
<b>Válvulas</b>	<b>18</b>	<b>1.135</b>	<b>5,4</b>
<b>Bifurcação da linha principal</b>	<b>1</b>	<b>85</b>	<b>0,4</b>
<b>Contração gradual</b>	<b>14</b>	<b>231</b>	<b>1,1</b>
<b>Contração súbita</b>	<b>18</b>	<b>825</b>	<b>3,9</b>
<b>Expansão gradual</b>	<b>13</b>	<b>438</b>	<b>2,1</b>
<b>Expansão súbita</b>	<b>2</b>	<b>180</b>	<b>0,9</b>
<b>Câmara de Lavagem</b>	<b>1</b>	<b>500</b>	<b>2,4</b>
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>20.960</b>	<b>100,0</b>

Reunidas todas as 176 parcelas de quedas de pressão localizadas obteve-se um valor global de 0,21 bar. A fase seguinte consiste em situar todas as parcelas nas características de escoamento de cada subcorrente, com o objetivo de poder-se somar as quedas de pressão por atrito com as condutas ao longo do sistema.

As perdas de carga friccionais são calculadas com base nas seguintes propriedades:

- Velocidade do fluido,  $v$ ;
- Temperatura a que se encontra o fluido,  $T$ ;
- Comprimento e diâmetro da conduta considerada na equação de Darcy-Weisbach,  $L/D$ ;
- Fator de atrito de Darcy,  $f_D$  o qual varia de acordo com o número de Reynolds ( $Re$ ) e com a rugosidade relativa ( $\epsilon/D$ , função da rugosidade absoluta do material da conduta e do seu diâmetro).

Para o cálculo do fator de atrito foram usadas várias correlações empíricas, derivadas da equação de Colebrooke-White, como a equação de Moody, Swamee e Jain, Haaland, Chen e Fang. Estas equações são adequadas para condutas rugosas e em regime turbulento, ao contrário da equação de Blasius que é aplicada para condutas lisas.

Estas equações são válidas para uma determinada gama do número de Reynolds e rugosidades relativas, as quais se encontram identificadas na Tabela 2.2 do capítulo 2.2.1. Todas as equações, exceto a equação de Moody e a de Blasius, são válidas para os números de Reynolds e rugosidades relativas calculadas.

Recorreu-se ainda a dois métodos gráficos para determinar as perdas de carga distribuídas: a carta de Moody e o ábaco de fricção.

No Anexo B.3.2, nas Tabelas B.138 a B.216 é possível consultar os dados para o cálculo do fator de atrito de Darcy, as perdas de carga friccionais e o gradiente de fricção, recorrendo, respetivamente, à Equação de Haaland, Fang, Swamee e Jain, Chen, Moody (e comparação com a carta de Moody) e a um ábaco de fricção. Na Tabela B.218 é possível comparar os resultados dos métodos indicados.

Conjugadas todas estas propriedades para cada troço reto, de cada corrente de todos os ramais, da linha principal de aspiração até à descarga atmosférica, foi possível calcular as perdas de carga friccionais globais. De seguida, obtiveram-se as perdas de carga totais para cada subcorrente, sendo possível calcular a queda de pressão global do sistema, as quedas de pressão individuais de cada ramal, da linha principal e do percurso no sistema de recuperação, encontrando-se estes resultados na Tabela 3.15.

Tabela 3. 15 - Distribuição e cálculo das quedas de pressão, por linha de aspiração

Quadro-resumo									
Linha	Nº Acidentes	$\Delta P$ localizada (Pa)	$\Delta P$ localizada (Pa)	$L_{TR}$ (m)	$\Delta P$ friccional (Pa)	$\Delta P_f/L_{TR}$ (Pa/m)	$\Delta P$ total (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)	Linha
C	1	53	53	25,6	565	22,1	618	618	C
CL-V	4	185	181	4,2	6	1,5	1911	187	CL-V
LP	27	1.874	2.178	32,4	202	6,2	2.076	2.380	LP
LS1	9	533	509	7,1	232	32,9	765	741	LS1
LS2A	8	2.703	1.681	17,2	852	49,6	3.555	2.533	LS2A
LS2B	7	948	601	3,5	160	46,1	1.108	761	LS2B
LS3A	8	1.046	1.073	4,9	136	27,6	1.182	1.209	LS3A
LS3B	5	860	485	2,8	171	62,0	1.031	656	LS3B
LS4	9	1.066	1.070	12,3	528	42,9	1.595	1.598	LS4
LS5	15	1.172	1.130	13,4	312	23,3	1.484	1.442	LS5
LS6A	8	462	480	5,7	122	21,3	585	602	LS6A
LS6B	5	1.131	640	1,9	113	58,8	1.244	753	LS6B
LS7	5	793	446	1,8	53	28,7	846	499	LS7
LS8	7	996	651	7,3	212	29,1	1.208	863	LS8
LS9	8	903	593	1,6	43	27,5	947	636	LS9
BLP	2	90	99	0,0	0	0,0	90	99	BLP
LS10A 1	9	1.225	722	9,6	316	33,1	1.541	1.038	LS10A 1
LS10A 2	6	1.199	472	1,8	50	27,7	1.249	522	LS10A 2
LS10A 3	10	562	575	6,2	119	19,3	681	694	LS10A 3
LS10B 1	7	1.261	524	1,9	54	27,8	1.315	578	LS10B 1
LS10B 2	6	1.160	471	1,8	51	27,7	1.211	522	LS10B 2
LS10B 3	9	238	263	6,6	86	13,1	324	349	LS10B 3
Total	176	20.960	15.397	169,44	4.384	*	25.344	19.781	Total

Os valores assinalados a vermelho indicam que o k para as derivações foi calculado por outro método, que considera  $k_{1,3} = 1$  e  $k_{2,3} = 0,4$  para qualquer tipo de derivação.<sup>[40]</sup> Na Tabela B.217 do Anexo B.3.2 é possível comparar esta diferença para todas as correntes do sistema.

Podemos então comparar as quedas de pressão dos percursos captações-atmosfera para cada equipamento processual.

Tabela 3. 16 - Distribuição das quedas de pressão de todos os trajetos captação-atmosfera

Trajeto	Nº acidentes	$\Delta P$ localizada (Pa)	$\Delta P$ localizada (Pa)	$L_{TR}$ (m)	$\Delta P$ friccional (Pa)	$\Delta P_f/L_{TR}$ (Pa/m)	$\Delta P$ total (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LS1-C	20	1.656	1.128	44	826	18,8	2.482	1.954
LS2A-C	20	3.895	2.388	65	1.485	22,9	5.380	3.873
LS2B-C	22	4.384	2.451	61	1.437	23,5	5.820	3.888
LS3A-C	23	2.364	1.928	54	775	14,3	3.139	2.703
LS3B-C	22	2.776	1.912	54	877	16,2	3.653	2.789
LS4-C	25	2.436	2.009	62	1.170	18,9	3.605	3.179
LS5-C	36	2.888	2.434	65	969	14,8	3.857	3.403
LS6A-C	34	2.770	2.403	61	803	13,2	3.573	3.206
LS6B-C	32	3.690	2.800	58	813	14,0	4.503	3.613
LS7-C	34	3.239	2.640	60	767	12,7	4.006	3.407
LS8-C	36	3.442	2.845	66	926	14,1	4.368	3.771
LS9-C	39	3.445	2.883	63	811	12,8	4.256	3.694
LS10A1-C	42	3.921	3.218	72	1.091	15,2	5.012	4.309
LS10A2-C	41	3.938	3.021	65	828	12,8	4.766	3.849
LS10A3-C	44	3.263	3.086	68	893	13,1	4.156	3.979
LS10B1-C	40	3.958	3.021	64	829	12,8	4.786	3.850
LS10B2-C	41	3.893	3.015	67	851	12,7	4.744	3.866
LS10B3-C	42	2.935	2.760	69	860	12,5	3.794	3.620
Média	33	3.272	2.552	62	945	15,3	4.217	3.497

Na Tabela 3.16 encontram-se discriminados os dados obtidos relativos às perdas de carga de cada percurso de aspiração. Segundo o 1º método adotado para o cálculo das perdas de carga nas derivações, tanto as captações LS2A e LS2B possuem quedas de pressão mais acentuadas, sugerindo que o percurso LS2B (Silo 70 ton) é o caminho crítico. No entanto, a ramificação LS2A+B possui a velocidade de transporte mais elevada (33,3 m/s) devido ao facto da derivação nó XIV receber as duas correntes de ar a 22 m/s e sem uma expansão adequada na conduta a velocidade atinge valores excessivos, visto que as perdas de carga (tanto friccionalis como localizadas) são proporcionais ao quadrado da velocidade.

Segundo o 2º método para o cálculo das perdas de carga nas derivações, torna-se evidente que o ponto mais desfavorável do sistema é na captação LS10A1 (Silo 40 ton), seguida da captação LS10A3 (Elevador de retorno dos classificadores) e das captações LS2A e LS2B.

Considerou-se então a hipótese de que, visto que a captação LS10A1 tinha sido implementada recentemente, esta tenha sido projetada de modo a tornar-se no novo caminho crítico.

Depois de obtido o caudal volumétrico teórico da instalação no capítulo 3.4, verifica-se a capacidade nominal do ventilador (36.000 m<sup>3</sup>/h). Pela determinação experimental do ponto de operação do ventilador no capítulo 3.3.3 é possível verificar que o caudal debitado é cerca de 5000 m<sup>3</sup>/h superior à capacidade nominal. Por outro lado, a queda de pressão associada ao caminho crítico é pelo menos 3 vezes superior à variação de pressão do equipamento.

Com o caudal volumétrico e a variação de pressão exigida é possível definir e dimensionar um ventilador capaz de suprir as necessidades de aspiração do sistema, visto que garantindo a aspiração correta no ponto mais desfavorável (ponto crítico) a aspiração nos demais ramais encontra-se garantida.



## Capítulo 4: Recálculo do sistema

Neste capítulo pretende-se descrever o recálculo do dimensionamento do sistema, em termos de condutas da rede de transporte e dos equipamentos da etapa de recuperação, para a situação atual da instalação e para diferentes cenários de implementação das novas condutas. Depois de selecionado o cenário mais adequado às necessidades da Refinaria, colaborou-se com a Vento Domável para se obter um caderno de encargos, com recomendações para a execução do *revamping*.

Foram ainda identificadas todas as alterações de traçado e diâmetro das condutas que beneficiarão a aspiração no sistema, bem como se evidenciaram quais os segmentos das condutas que terão obrigatoriamente de ser substituídos.

### 4.1 Recálculo desenvolvido em parceria com a SITAPE

Após o fornecimento dos dados obtidos na fase de levantamento (diagramas isométrico, de convergências e plantas, curva característica do ventilador e manual do lavador de gases) a SITAPE efetuou o cálculo das perdas de carga dos ramais para a determinação do caminho crítico de aspiração.

Considerou-se uma velocidade de transporte média de 20 m/s e foram calculadas as perdas de carga localizadas das curvas dos percursos captação-ventilador. O cálculo das perdas de carga friccionais foram determinadas recorrendo à Figura 4.1.

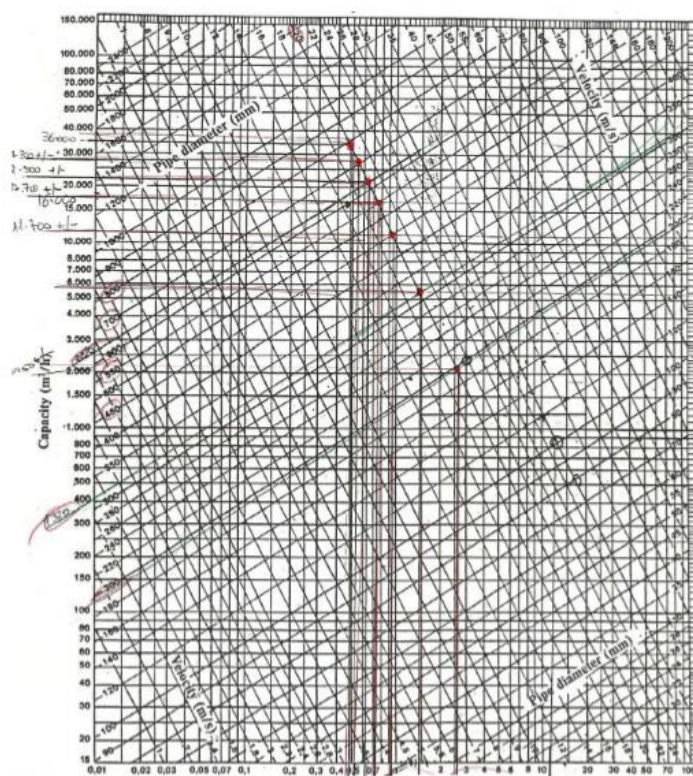


Figura 4. 1 - Ábaco para determinação das perdas de carga friccionais

Cruzando a velocidade de transporte para cada diâmetro das condutas é possível ler no eixo horizontal inferior da Figura 4.1 o valor da perda de carga unitária (ou gradiente de queda de pressão). De seguida multiplicou-se esta constante com o comprimento em troços retos das condutas para cada diâmetro. Somando as perdas de carga das curvas com as perdas de carga distribuídas foi possível obter a queda de pressão do caminho crítico.

A queda de pressão obtida para o caminho crítico foi de 1.340 Pa (ligeiramente inferior à variação de pressão nominal do ventilador), para uma velocidade média de transporte de 20 m/s, considerando apenas as curvas como acessórios e sem incluir a queda de pressão associada à passagem do ar pela câmara de lavagem.

## 4.2 Recálculo desenvolvido em parceria com a Vento Domável

A partir dos mesmos dados fornecidos à SITAPE, com a Vento Domável desenvolveram-se as seguintes etapas:

- Recálculo do sistema existente;
- Projeção de novos cenários;
- Dimensionamento do cenário selecionado;
- Formalização do caderno de encargos do projeto.

#### 4.2.1 Recálculo do sistema existente

O dimensionamento das condutas é feito com base na necessidade de renovação do ar (e aspiração de poeiras) dentro dos equipamentos processuais. A taxa de renovação necessária depende das dimensões e do tipo de equipamento, bem como da quantidade (ou nível) de açúcar presente no equipamento.

É necessário então dimensionar uma boca de captação que garanta uma velocidade de aspiração inferior a 5 m/s, visto que o objetivo é o transporte das poeiras e não do material granulado. A jusante da boca da captação as velocidades de transporte recomendadas situam-se entre os 20 e os 25 m/s.

A partir dos dados recolhidos relativos às dimensões dos equipamentos considerou-se que os diâmetros das ramificações existentes foram dimensionados de modo a respeitar as velocidades mencionadas, o que implica que os caudais volumétricos dos ramais calculados no capítulo 3.4 são fiáveis. Considerou-se ainda que as necessidades de aspiração de todos os equipamentos processuais onde se pretende implementar a captação das poeiras podem ser garantidas com condutas de diâmetro de 150 mm (para a velocidade de transporte de 22 m/s resulta que cada ramal implementado acrescenta 1.400 m<sup>3</sup>/h à capacidade do sistema).

A partir do cálculo dos caudais que circulam no ramal de cada captação, efetuaram-se os balanços de massa aos pontos de convergência (nós) da rede de transporte, para se poder avaliar se o diâmetro da conduta resultante é adequado para manter a velocidade de transporte.

Para tal reuniram-se os diâmetros das condutas a montante e a jusante de todos os nós e com os caudais volumétricos de entrada, foi possível calcular qual o diâmetro efetivo da conduta que permite obter a velocidade desejada na corrente de saída de cada nó. Foi então possível classificar quais os nós cujo diâmetro de saída é adequado ou não. Este método de cálculo foi aplicado para três pontos (20, 22 e 25 m/s) da gama de velocidades desejada e os seus resultados podem ser consultados na Tabela 4.1.

Na Tabela C.1 do Anexo C.1. encontra-se uma Tabela com a identificação das correntes de ar que comunicam com cada nó. Nas Tabelas C.2 e C.3 do Anexo C.1 é possível verificar os resultados da análise efetuadas aos nós para as velocidades de transporte nos ramais de 20 e 25 m/s. Na Tabela C.4 do Anexo C.1 pode ser consultada a lista de diâmetros, caudais e velocidades das correntes (tanto de entrada como de saída) de todos os nós quando a velocidade de transporte desejada é de 22 m/s.

Tabela 4. 1 - Análise aos nós do sistema existente (para  $v = 22$  m/s)

Velocidade (m/s)				22								
Nó	Entrada 1			Entrada 2			Resultante					
	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Diâmetro real (m)	Diâmetro efetivo (m)	Diferença (m)	Velocidade esperada (m/s)
1	2	0,195	2.365	3	0,195	2.129	4	4.494	0,320	0,269	0,051	15,5
2	1	0,175	1.905	4	0,455	4.494	5	6.399	0,455	0,321	0,134	10,9
3	6	0,320	2.488	7	0,195	2.365	8	4.853	0,320	0,279	0,041	16,8
4	8	0,455	4.853	9	0,195	2.365	10	7.219	0,455	0,341	0,114	12,3
5	5	0,455	6.399	10	0,455	7.219	11	13.618	0,455	0,468	-0,013	23,3
6	11	0,455	13.618	12	0,195	2.365	13	15.983	0,455	0,507	-0,052	27,3
7	14	0,195	2.365	15	0,195	2.365	16	4.731	0,195	0,276	-0,081	44,0
8	13	0,560	15.983	16	0,195	4.731	17	20.714	0,560	0,577	-0,017	23,4
9	18	0,235	2.365	19	0,115	823	20	3.188	0,235	0,226	0,009	20,4
10	17	0,560	20.714	20	0,235	3.188	21	23.902	0,560	0,620	-0,060	27,0
11	21	0,630	23.902	22	0,225	1.533	23	25.435	0,630	0,639	-0,009	22,7
12	23	0,710	25.435	24	0,150	1.400	25	26.835	0,710	0,657	0,053	18,8
13	26	0,229	3.262	27	0,100	647	28	3.909	0,229	0,251	-0,022	26,4
14	25	0,710	26.835	28	0,229	3.909	29	30.744	0,710	0,703	0,007	21,6
15	30	0,200	2.488	31	0,143	1.272	32	3.760	0,200	0,246	-0,046	33,2
16	29	0,800	30.744	32	0,200	3.760	33	34.504	0,800	0,745	0,055	19,1
17	33	0,800	34.504	34	0,229	1.272	35	35.776	0,800	0,758	0,042	19,8

Na coluna “Resultante” é possível verificar a diferença entre os diâmetros reais das condutas e os efetivos (que permitem obter a velocidade de transporte desejada de 22 m/s) a vermelho na coluna “Diferença (m)” quando o diâmetro real é superior ao calculado, resultando numa velocidade inferior a 22 m/s. A azul estão representados os nós cuja configuração permite obter uma velocidade superior à esperada. Na mesma coluna os valores realçados a verde indicam que a diferença entre o diâmetro existente e o diâmetro adequado é desprezável, (havendo uma tolerância de 5% para os desvios), o que implica que o nó existente está adequado para as necessidades do cenário considerado.

A partir da Tabela 4.1 elaborou-se a Figura 4.2 onde se encontram descritas todas as captações, correntes e nós do sistema, bem como o caudal e comprimento em troços retos de cada corrente. Foram identificados a vermelho os troços cujos diâmetros reais das condutas são superiores aos calculados e resultam em velocidades de transporte inferiores a 22 m/s. A azul estão representados os casos em que se verifica o oposto.

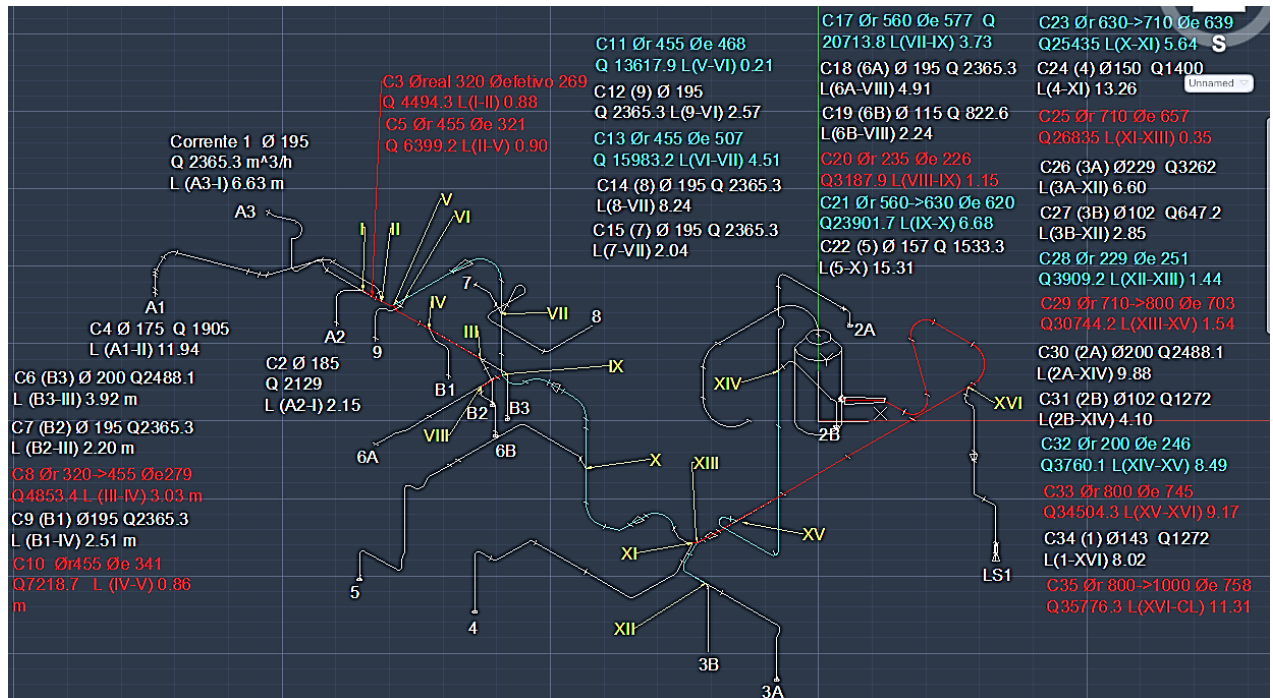


Figura 4. 2 – Redimensionamento dos nós do sistema existente

É possível verificar que a evolução dos diâmetros ao longo do caminho crítico não é a mais adequada, evidenciando vários pontos de acumulação de açúcar (nas zonas a vermelho ou nos nós em que as correntes de entrada sejam de cores diferentes).

Segundo os cálculos da Vento Domável para o cenário 1, considerando as condutas dimensionadas com os diâmetros adequados para garantir uma velocidade de aspiração de 22 m/s em todo o circuito e uma capacidade de 35.775 m<sup>3</sup>/h, a perda de carga calculada para o caminho crítico seria de 1.450 Pa.

A Vento Domável indicou que a ampliação do circuito inicial (devido ao acréscimo de necessidades de aspiração em locais novos) originou o desequilíbrio do mesmo e consequentemente uma diminuição das velocidades de transporte, principalmente no coletor central, o que resulta numa elevada deposição de açúcar ao longo do mesmo.

Em relação aos caudais existentes e aos que seria desejável (circuito ampliado) o ventilador existente não possui capacidade para garantir a aspiração pretendida. No entanto, de acordo com a informação do fabricante do filtro húmido este possui uma capacidade máxima para 44.000 m<sup>3</sup>/h, suprimindo as necessidades pretendidas, porém opera no limite da sua capacidade.

É ainda referido que no *revamping* do sistema está implícita a alteração do traçado das condutas, quer em diâmetros quer na localização de alguns dos pontos de captação.

## 4.2.2 Projeção de novos cenários

O objetivo do estudo realizado é aumentar a capacidade de aspiração do sistema e dimensionar a instalação de modo a manter as velocidades de transporte uniformes (dentro da gama desejada). Visto que as localizações dos equipamentos processuais (tanto existentes como os que se pretendem implementar) são fixas revelou-se interessante estudar várias alternativas para o traçado do novo sistema.

Ao sistema existente atribuiu-se a designação de cenário 1: *pré-revamping* e foram desenvolvidos dois outros cenários para a intervenção, o cenário 2: circuito ampliado e o cenário 3: circuito dividido.

A partir da localização das captações a implementar e tendo em conta os avançamentos estruturais existentes no terreno, considerou-se o trajeto mais curto entre a nova captação e o ramal mais próximo, desenvolvendo-se o cenário 2.1 (circuito ampliado provisório), cujo traçado se encontra representado na Figura 4.3.

Foi necessário então alterar o diagrama de convergências, numerar as correntes e os nós do sistema, atribuir o comprimento dos troços retos para cada corrente e calcular os caudais de cada corrente para se poder aplicar o balanço de massa aos nós (como exemplificado na Tabela 4.1) e comparar os diâmetros efetivos com os existentes.

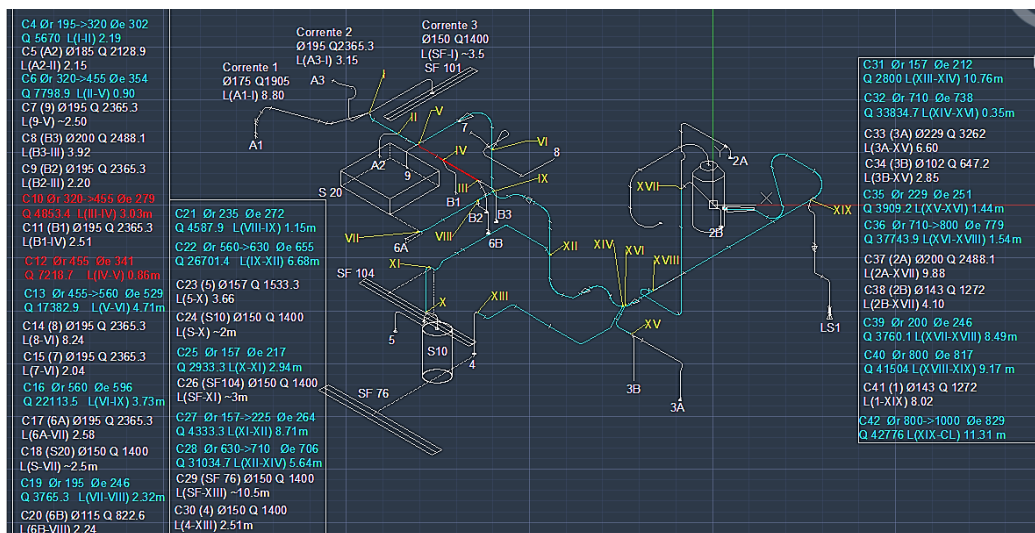


Figura 4.3 - Traçado e classificação dos diâmetros da rede de transporte para o cenário 2.1

A diferença entre os cenários 2 e 3 assenta no princípio (justificado no capítulo 4.2.3.) de que aumentando a necessidade de aspiração do sistema, o ventilador e a câmara de lavagem deixam de ser adequados para a capacidade de operação do novo sistema. No entanto seria possível manter a instalação a funcionar com os equipamentos existentes se houvesse uma cisão na rede de transporte e houvessem dois sistemas de despoejamento.

Assim, o ventilador e a câmara de lavagem existentes podem ser aproveitados e a rede de transporte modificada de modo a manter a capacidade de aspiração atual (respeitando as capacidades dos equipamentos).

No entanto, seria necessário dimensionar uma nova rede de transporte (e adaptar a rede existente) e equipamentos de recuperação. No fundo, o cenário 3 prevê dois sistemas de despoeiramento independentes.

No cenário 3.1 considerou-se dividir a rede de transporte de modo a reduzir ligeiramente a carga nos equipamentos existentes, permitindo assim uma margem caso no futuro se pretendam implementar mais captações. Aplicou-se o mesmo método utilizado para o cenário 2 e obteve-se a Figura 4.4.

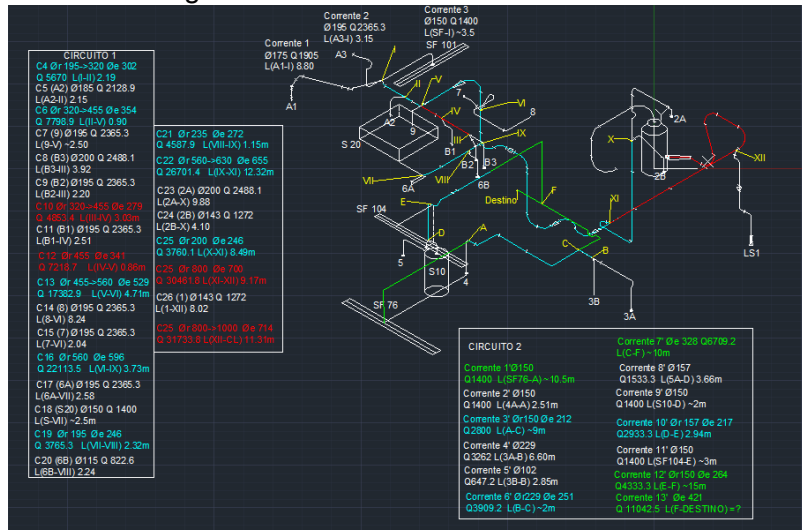


Figura 4. 4 - Traçado e classificação dos diâmetros das redes de transporte para o cenário 3.1

Para o circuito a implementar, propõe-se que a localização da etapa de recuperação seja na plataforma onde se encontram os equipamentos da instalação de Despoeiramento Geral da Refinaria. O que implica que na Figura 4.4 no ponto “Destino” a rede de transporte prolonga-se no mesmo sentido até se aproximar da parede da fábrica, nesse ponto basta aplicar uma mudança de direção para a direita e prolongar a conduta até ao novo sistema.

Com base nos equipamentos recomendados pela Vento Domável, indicados nas Figuras C.4 e C.5 do Anexo C.3, foi interessante projetar um cenário em que a capacidade do novo circuito fosse inferior a 8.000 m³/h. O cenário 3.2 encontra-se definido na Figura 4.5.

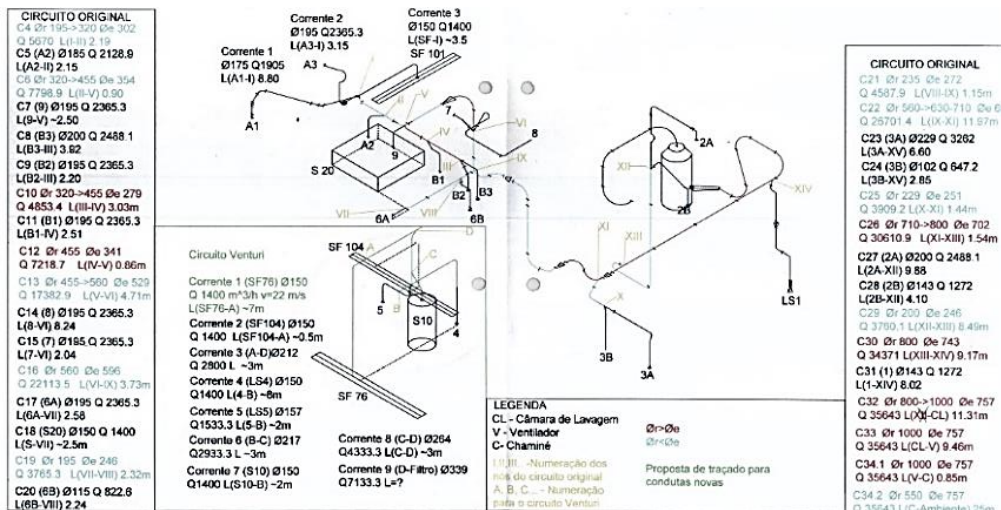


Figura 4. 5 -Traçado e classificação dos diâmetros das redes de transporte para o cenário 3.2.

#### 4.2.3 Dimensionamento do cenário selecionado

Como a modificação da rede de transporte original no cenário 3 e a implementação de um novo sistema de despoejamento são medidas dispendiosas e com muitas restrições na operação da Refinaria, foi selecionado o cenário 2.

O recálculo definitivo do dimensionamento do sistema realizado em parceria com a Vento Domável passou pelas seguintes fases:

1. Estudo do traçado ótimo para as novas captações;
2. Identificação de alterações de traçado para benefício do sistema e reaproveitamento parcial das condutas da rede de transporte
3. Levantamento/estimativa dos comprimentos das condutas e contabilização de acessórios;
4. *Design* em *AutoCAD* da rede de transporte da instalação;
5. Numeração dos nós, correntes e captações;
6. Atualização do diagrama de convergências;
7. Cálculo dos caudais individuais para cada captação;
8. Aplicação do balanço de massa para determinar a progressão dos caudais;
9. Cálculo dos diâmetros efetivos para manter a velocidade de transporte a 22 m/s tanto nos ramais como na conduta principal;
10. Normalização dos diâmetros das condutas e recálculo da velocidade;
11. Cálculo dos diâmetros efetivos dos cones (ou bocas) de aspiração para garantir uma velocidade de captação de 5 m/s
12. Normalização dos diâmetros nas captações e recálculo da velocidade.
13. Cálculo das perdas de carga do caminho crítico;
14. Dimensionamento/avaliação dos equipamentos da etapa de recuperação;
15. Formalização do caderno de encargos do projeto.

O cenário 2.1 contempla simplesmente a implantação das novas tubagens para 5 pontos de captação de poeiras, considerando o trajeto mais curto entre elas. Face aos avanços físicos existentes na Refinaria, desenvolveu-se o cenário 2.2 (circuito ampliado corrigido) apresentado na Figura 4.6.

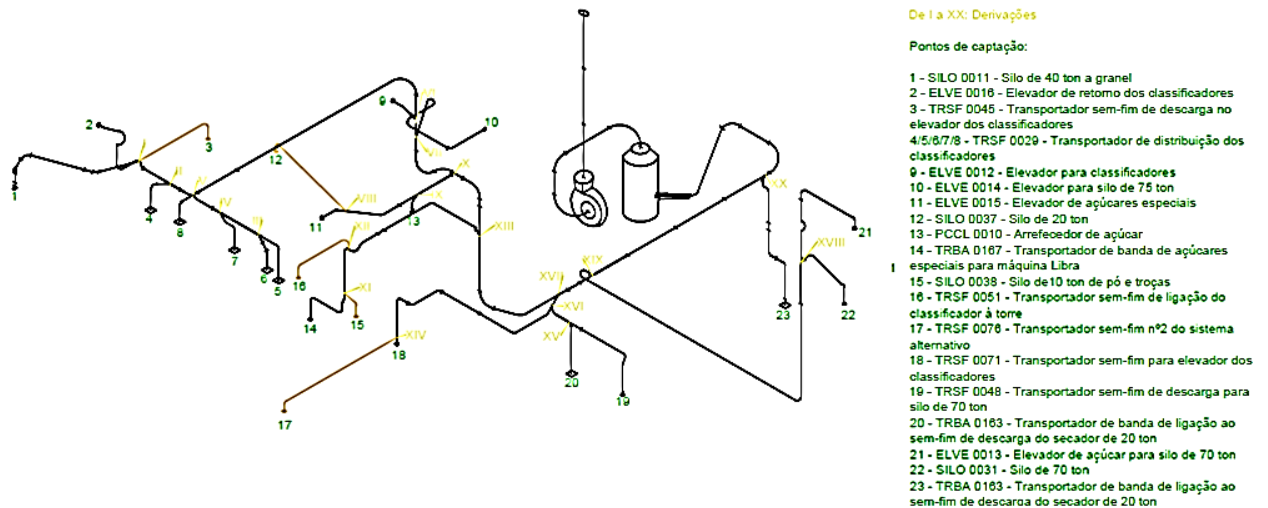


Figura 4. 6 - Diagrama isométrico da rede de transporte do cenário 2.2

No âmbito da implementação das novas linhas de aspiração surge a hipótese de poder corrigir certos pontos de acumulação de açúcar, daí o traçado das condutas ter sido reavaliado. Depois de calculados os diâmetros normalizados para as condutas foi possível comparar este valor com os diâmetros existentes e classificar quais os segmentos de tubagens cuja diferença de diâmetros é ou não significativa.

A partir deste método é então possível estimar os comprimentos das condutas que devem ser substituídas. Todos os segmentos que respeitem uma velocidade de transporte mínima de 22 m/s podem e devem ser mantidos, a fim de minimizar os custos totais da intervenção.

Nas Figuras C.1 a C.3 do Anexo C.2 é possível verificar o traçado obtido, as condutas realçadas a laranja podem ser aproveitadas, a amarelo devem ser substituídas e a cor de rosa apresenta-se o trajeto para a implementação das novas condutas e subsequente ligação à rede de distribuição de ar. A vermelho estão sinalizados os pontos de alteração de traçado ou diâmetro das condutas, justificados na Tabela 4.2. Encontram-se ainda indicados os diâmetros efetivos das correntes.

Tabela 4. 2 - Descrição das alterações necessárias para a rede de transporte do cenário 2.2

Alteração	Tipo	Comentário
<b>a</b>	Traçado	É necessário alterar a inclinação da curva do ramal LT1A1 modo a ligar-se ao nó triplo a implementar
<b>b</b>	Diâmetro	Entre os nós I e II
<b>c</b>	Ambos	Entre o nó II e V devem ser substituídas as condutas e devem ligar-se ao nó triplo a implementar
<b>d</b>	Traçado	Deve-se realizar a picagem do ramal no nó triplo a implementar
<b>e</b>	Ambos	Entre o nó III e V devem ser substituídas as condutas e devem ligar-se ao nó triplo a implementar
<b>f</b>	Diâmetro	Entre os nós V e VI
<b>g</b>	Ambos	Deve-se alterar a inclinação da curva do ramal LS3 de modo a que este não se misture com a corrente da linha principal no mesmo ponto que o ramal LS2
<b>h</b>	Diâmetro	Entre os nós VII e X
<b>i</b>	Ambos	Seria benéfico para o sistema se a picagem das correntes LT4A, B e C não fosse feita na primeira curva no topo do 2º esboço, mas sim num troço reto. A localização da nova picagem apresenta uma melhoria do traçado do ramal LT4C, visto que permite eliminar uma curva no seu percurso. A inclinação do ramal LT4A tem de ser alterada e deve ser implementada a picagem do ramal LT4B. Os diâmetros das condutas entre os nós VIII, IX e X devem ser alterados.
<b>j</b>	Diâmetro	Entre os nós XI e XII
<b>k</b>	Ambos	Seria benéfico para o sistema substituir a curva seguida de um Joelho de 2 gomos de 45º (ponto de estrangulamento) por apenas uma curva
<b>l</b>	Ambos	Os ramais LT6A (nós XIV-XVI) devem-se ligar aos ramais LT6B (nós XV-XVI) previamente a ligarem-se à linha principal (nó XVII). Desta maneira evita-se picar dois ramais em dois pontos próximos na mesma curva (elimina-se ainda uma contracurva a montante)
<b>m</b>	Ambos	O ramal LT6B deve convergir com o ramal LT6A e não diretamente numa curva
<b>n</b>	Traçado	Deve-se implementar o nó XVII depois da curva representada
<b>o</b>	Diâmetro	Entre os nós XVII e XIX
<b>p</b>	Diâmetro	Entre os nós XVIII e XIX
<b>q</b>	Diâmetro	Desde o ponto a jusante da expansão (representada no ramal LS8) e o nó XX
<b>r</b>	Traçado	É possível eliminar uma contracurva se a inclinação da conduta for alterada de modo a poder-se ligar à admissão da câmara de lavagem
<b>s</b>	Diâmetro	Condutas entre a câmara de lavagem e a admissão do ventilador

Adotou-se uma nova numeração e nomenclatura de correntes. A numeração das correntes inicia-se no ponto crítico e a numeração dos nós inicia-se no primeiro nó crítico. No entanto devido ao grau de ramificações tornou-se interessante classificar as correntes quanto ao tipo de linha a que pertencem. Foram adotados os termos linha principal (LP), linha secundária (LS), linha terciária (LT) e linha quaternária (LQ), como exemplificado no diagrama de convergências na Figura 4.7.

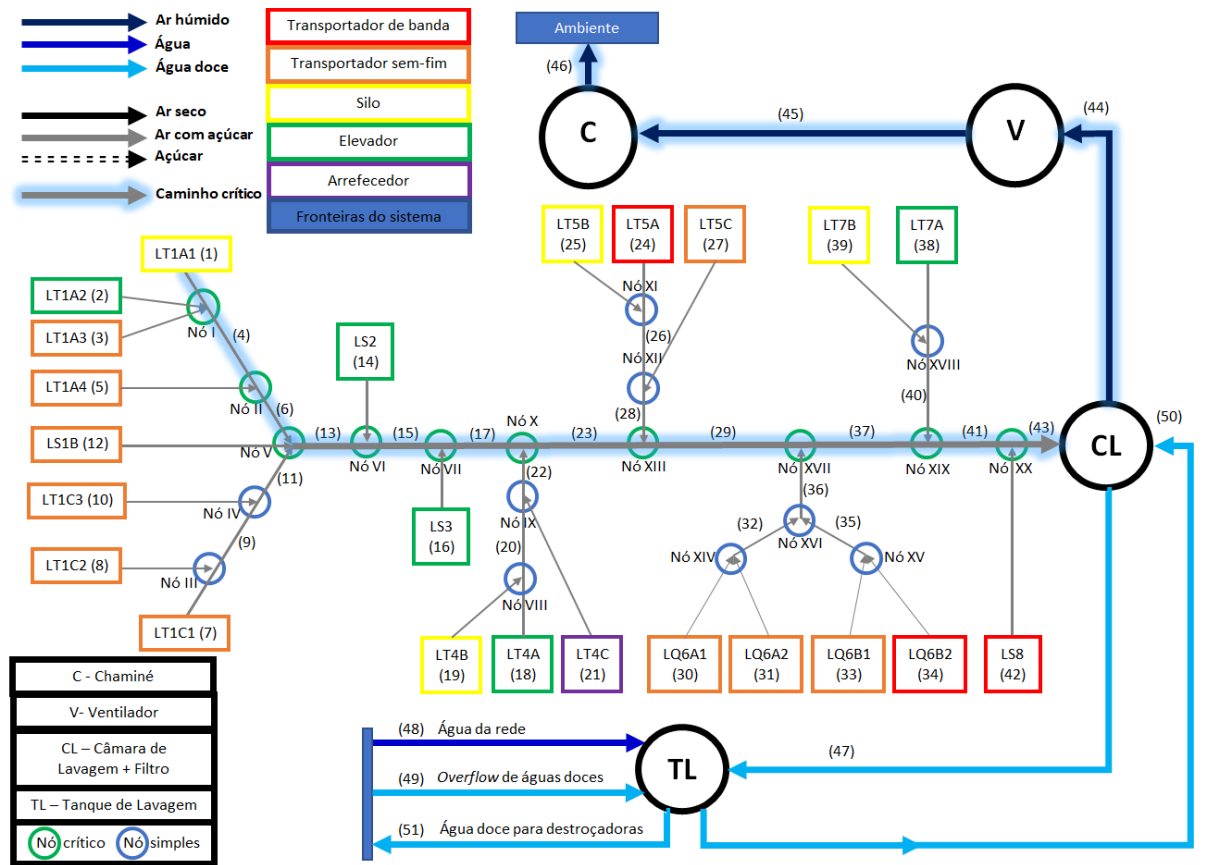


Figura 4.7 - Diagrama de convergências para o cenário 2.2

A partir do diagrama de convergências na Figura 4.7, foi possível listar nas Tabelas 4.3 e 4.4 a progressão das correntes na rede de distribuição de ar e identificar quais das correntes pertencem ao caminho crítico, quais são ramos de captação (bem como qual o equipamento processual da captação) e quais são pontos entre nós.

Tabela 4. 3 - Identificação das linhas e dos nós da rede de transporte e correspondência entre as captações e os equipamentos processuais (parte I)

Corrente	Equipamento	Nome técnico	Captação	Nós	Linha
1*	SILO 0011	Silo de 40 ton para açúcar a granel	1		LT1A1
2	ELVE 0016	Elevador de retorno dos classificadores	2		LT1A2
3	TRSF 0045	Transportador sem-fim de descarga no elevador dos classificadores	3		LT1A3
4*				I-II	LS1A1
5	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	4		LT1A4
6*				II-V	LS1A2
7	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	5		LT1C1
8	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	6		LT1C2
9				III-IV	LS1C1
10	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	7		LT1C3
11				IV-V	LS1C2
12	TRSF 0029	Transportador sem-fim distribuição classificadores	8		LS1B
13*				V-VI	LP
14	ELVE 0012	Elevador para classificadores	9		LS2
15*				VI-VII	LP
16	ELVE 0014	Elevador para Silo 75 ton	10		LS3
17*				VII-X	LP
18	ELVE 0015	Elevador de açúcares especiais	11		LT4A
19	SILO 0037	Silo de açúcar (20 ton)	12		LT4B
20				VIII-IX	LS4A
21	PCCL 0010	Arrefecedor de açúcar	13		LT4C
22				IX-X	LS4B
23*				X-XIII	LP
24	TRBA 0167	Transportador de banda de açúcar especial para Máquina Libra	14		LT5A

Tabela 4. 4 - Identificação das linhas e dos nós da rede de transporte e correspondência entre as captações e os equipamentos processuais (parte II)

Corrente	Designação técnica do equipamento	Nome técnico	Captação	Nós	Linha
24	TRBA 0167	Transportador de banda de açúcar especial para Máquina Libra	14		LT5A
25	SILO 0038	Silo de pó e troças (10 ton)	15		LT5B
26				XI-XII	LS5A
27	TRSF 0051	Transportador sem-fim de ligação do classificador à torre (SF-104)	16		LT5C
28				XII-XIII	LS5B
29*				XIII-XVII	LP
30	TRSF 0076	Transportador sem-fim nº2 do sistema alternativo (SF-76)	17		LQ6A1
31	TRSF 0071	Transportador sem-fim para elevador dos classificadores	18		LQ6A2
32				XIV-XVI	LT6A
33	TRSF 0048	Transportador sem-fim descarga para Silo 70 ton	19		LQ6B1
34	TRBA 0163	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	20		LQ6B2
35				XV-XVI	LT6B
36				XVI-XVII	LS6
37*				XVII-XIX	LP
38	ELVE 0013	Elevador de açúcar para Silo 70 ton	21		LT7A
39	SILO 0031	Silo 70 ton	22		LT7B
40				XVIII-XIX	LS7
41*				XIX-XX	LP
42	TRBA 0163	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	23		LS8
43*				XX-CL	LP
44*				CL-V	CL-V

As correntes marcadas com um asterisco pertencem ao caminho crítico e nas colunas “Corrente” e “Linha” a cor azul indica a passagem da corrente de ar pela linha principal, a verde simboliza a passagem por uma linha secundária, a laranja representa a passagem por uma linha terciária e a vermelho estão assinaladas as ramificações das linhas terciárias.

Para o cenário 2.2 foi necessário calcular os diâmetros efetivos para todas as bocas das captações e ainda das correntes da rede de transporte. Após definidos os diâmetros teoricamente adequados, foi necessário normalizá-los segundo os diâmetros que as empresas fornecedoras/distribuidoras de condutas em aço inoxidável possuem em stock permanente e recalculer as velocidades para os diâmetros praticáveis:

Para a rede de transporte os diâmetros efetivos foram normalizados por defeito, a fim de manter a velocidade de transporte acima dos 22 m/s e para os cones de aspiração os diâmetros foram normalizados por excesso para manter a velocidade na captação abaixo dos 5 m/s.

O cálculo dos caudais individuais das captações (para a gama de velocidades de transporte considerada) e do diâmetro efetivo a jusante de cada nó da rede de transporte encontram-se nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Calculados os diâmetros efetivos para cada corrente foi possível compará-los com os diâmetros existentes da rede de transporte, assinalando-se a vermelho os troços de tubagens cujo diâmetro existente é inferior ao calculado (resultando numa velocidade acima da desejada) e a azul verifica-se o oposto: o diâmetro existente não é adequado e resulta numa queda de velocidade.

Encontra-se ainda quantificado para cada corrente o número de curvas e o comprimento em troços retos de cada corrente (a azul indicam-se os comprimentos estimados e a branco os comprimentos medidos).

Calculados os diâmetros efetivos que homogeneízam a velocidade de transporte ao longo da rede de condutas avançou-se para a normalização dos mesmos (segundo dados de dois fabricantes de condutas em aço inoxidável) e subsequente recálculo das velocidades, sendo selecionado o diâmetro cuja velocidade esteja o mais próxima possível de 22 m/s (representando-se a vermelho as velocidades abaixo de 22 m/s e a azul as velocidades superiores a 22 m/s).

O diâmetro normalizado mais adequado encontra-se representado a cinzento. Nas Tabelas 4.7 e 4.8 encontra-se ainda calculada a diferença entre os diâmetros existentes e os normalizados (cuja diferença não deverá ser superior a 5%) para avaliação de quais os segmentos de condutas que podem ser mantidos (assinalados a verde) e quais necessitam de ser substituídos.

Por fim aplicou-se o mesmo raciocínio para o dimensionamento dos cones de aspiração, na Tabela 4.9 estão listados os diâmetros efetivos que os cones devem possuir para se verificar uma velocidade de 5 m/s na captação, como se pode consultar na Tabela C.5 do Anexo C.1. Estes diâmetros foram normalizados de modo a garantir a velocidade pretendida.

Tabela 4. 5 - Cálculo do diâmetro efetivo para as correntes entre nós no cenário 2.2 (parte I)

Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Linha	Comprimento de treços retos (m)	Diâmetro da tubagem existente (m)	v = 20 m/s	v = 22 m/s	v =25 m/s	Diâmetros efetivos para v = 22 m/s (m)	Nº curvas
					Caudal volumétrico (m³/h)				
<b>1*</b>	<b>1</b>	LT1A1	7	0,175	1.732	<b>1.905</b>	2.165		<b>3</b>
<b>2</b>	<b>2</b>	LT1A2	3,5	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>2</b>
<b>3</b>	<b>3</b>	LT1A3	3,5	0,150*	1.272	<b>1.400</b>	1.590		<b>1</b>
<b>4*</b>	<b>I-II</b>	LS1A1	2	0,320	5.154	<b>5.670</b>	6.443	<b>0,302</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>4</b>	LT1A4	1,81	0,185	1.935	<b>2.129</b>	2.419		<b>1</b>
<b>6*</b>	<b>II-V</b>	LS1A2	1,17	0,320-0,455	7.090	<b>7.799</b>	8.862	<b>0,354</b>	<b>0</b>
<b>7</b>	<b>5</b>	LT1C1	3,42	0,200	2.262	<b>2.488</b>	2.827		<b>1</b>
<b>8</b>	<b>6</b>	LT1C2	1,85	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>1</b>
<b>9</b>	<b>III-IV</b>	LS1C1	3,12	0,320-0,455	4.412	<b>4.853</b>	5.515	<b>0,279</b>	<b>0</b>
<b>10</b>	<b>7</b>	LT1C3	1,93	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>2</b>
<b>11</b>	<b>IV-V</b>	LS1C2	0,47	0,455	6.563	<b>7.219</b>	8.203	<b>0,341</b>	<b>0</b>
<b>12</b>	<b>8</b>	LS1B	1,5	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>1</b>
<b>13*</b>	<b>V-VI</b>	LP	3,66	0,455	15.803	<b>17.383</b>	19.753	<b>0,529</b>	<b>1</b>
<b>14</b>	<b>9</b>	LS2	1,83	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>1</b>
<b>15*</b>	<b>VI-VII</b>	LP	1	0,560	17.953	<b>19.748</b>	22.441	<b>0,563</b>	<b>0</b>
<b>16</b>	<b>10</b>	LS3	8	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>3</b>
<b>17*</b>	<b>VII-X</b>	LP	4	0,560	20.103	<b>22.113</b>	25.129	<b>0,596</b>	<b>2</b>
<b>18</b>	<b>11</b>	LT4A	3	0,195	2.150	<b>2.365</b>	2.688		<b>1</b>
<b>19</b>	<b>12</b>	LT4B	2,5	0,150*	1.272	<b>1.400</b>	1.590		<b>1</b>
<b>20</b>	<b>VIII-IX</b>	LS4A	1	0,195-0,235	3.423	<b>3.765</b>	4.278	<b>0,246</b>	<b>1</b>
<b>21</b>	<b>13</b>	LT4C	1,5	0,115	748	<b>827</b>	935		<b>1</b>
<b>22</b>	<b>IX-X</b>	LS4B	2	0,235	4.171	<b>4.586</b>	5.213	<b>0,272</b>	<b>0</b>
<b>23*</b>	<b>X-XIII</b>	LP	3	0,560-0,630	24.274	<b>26.701</b>	30.342	<b>0,655</b>	<b>1</b>
Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Linha	Comprimento de treços retos (m)	Diâmetro da tubagem existente (m)	v = 20 m/s	v = 22 m/s	v =25 m/s	Diâmetros efetivos (m)	Nº curvas
					Caudal volumétrico (m³/h)				

Tabela 4. 6 - Cálculo do diâmetro efetivo para as correntes entre nós no cenário 2.2 (parte II)

Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Linha	Comprimento de troços retos (m)	Diâmetro da tubagem existente (m)	v = 20 m/s	v = 22 m/s	v = 25 m/s	Diâmetros efetivos para v = 22 m/s (m)	Nº curvas
					Caudal volumétrico (m³/h)				
24	14	LT5A	3	0,157	1.394	1.533	1.742		4
25	15	LT5B	2	0,150*	1.272	1.400	1.590		1
26	XI-XII	LS5A	2,5	0,157	2.666	2.933	3.333	0,217	1
27	16	LT5C	3	0,150*	1.272	1.400	1.590		2
28	XII-XIII	LS5B	7	0,157-0,225	3.939	4.332	4.923	0,264	5
29*	XIII-XVII	LP	3,5	0,630-0,710	28.212	31.033	35.265	0,706	2
30	17	LQ6A1	10,50	0,150*	1.272	1.400	1.590		1
31	18	LQ6A2	2,50	0,150	1.272	1.400	1.590		0
32	XIV-XVI	LT6A	8,5	0,150	2.545	2.799	3.181	0,212	5
33	19	LQ6B1	4,00	0,229	2.965	3.262	3.707		2
34	20	LQ6B2	2,76	0,102	588	647	735		1
35	XV-XVI	LT6B	2	0,229	3.554	3.909	4.442	0,251	1
36	XVI-XVII	LS6	1	0,150	6.098	6.708	7.623	0,328	0
37*	XVII-XIX	LP	2	0,710-0,800	34.311	37.742	42.888	0,779	0
38	21	LT7A	6,49	0,200	2.262	2.488	2.827		2
39	22	LT7B	3,47	0,143	1.156	1.272	1.445		3
40	XVIII-XIX	LS7	7,89	0,200	3.418	3.760	4.273	0,246	2
41*	XIX-XX	LP	9,17	0,800	37.729	41.502	47.161	0,817	0
42	23	LS8	6,93	0,143-0,229	1.156	1.272	1.445		4
43*	XX-CL	LP	7,12	0,800-1,000	38.885	42.774	48.607	0,829	3
44*	CL-V	CL-V	4,41	1,000	38.885	42.774	48.607	0,829	-
Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Linha	Comprimento de troços retos (m)	Diâmetro da tubagem existente (m)	v = 20 m/s	v = 22 m/s	v = 25 m/s	Diâmetros efetivos para v = 22 m/s (m)	Nº curvas
					Caudal volumétrico (m³/h)				

Tabela 4. 7 - Normalização dos diâmetros efetivos calculados para as condutas do cenário 2.2 (parte I)

Corrente	Nº da captação (1) / Trajeto entre nós (I)	Linha	v = 22 m/s		Diâmetro da tubagem existente (m)	Diâmetros efetivos para v = 22 m/s (m)	Diâmetros normalizados (m)			Velocidade corrigida (m/s)			Desvio entre diâmetros existentes e os normalizados (%)
			Caudal volumétrico (m³/h)				Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 1	Opção 2	Opção 3	
1*	1	LT1A1	1.905	0,175			0,170	0,180		23,3	20,8		-2,9
2	2	LT1A2	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
3	3	LT1A3	1.400	0,150*			0,150			22,0			*
4*	I-II	LS1A1	5.670	0,320	0,302		0,300			22,3			-6,3
5	4	LT1A4	2.129	0,185			0,180	0,200		23,2	18,8		-2,7
6*	II-V	LS1A2	7.799	0,320-0,455	0,354		0,355	0,350		21,9	22,5		-23,1
7	5	LT1C1	2.488	0,200			0,200			22,0			0,0
8	6	LT1C2	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
9	III-IV	LS1C1	4.853	0,320-0,455	0,279		0,280			21,9			-12,5
10	7	LT1C3	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
11	IV-V	LS1C2	7.219	0,455	0,341		0,315	0,350	0,355	25,7	20,8	20,3	-30,8
12	8	LS1B	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
13*	V-VI	LP	17.383	0,455	0,529		0,500	0,520		24,6	22,7		14,3
14	9	LS2	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
15*	VI-VII	LP	19.748	0,560	0,563		0,560	0,550	0,580	22,3	23,1	20,8	0,0
16	10	LS3	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
17*	VII-X	LP	22.113	0,560	0,596		0,600	0,580		21,7	23,2		3,6
18	11	LT4A	2.365	0,195			0,180	0,200		25,8	20,9		-7,7
19	12	LT4B	1.400	0,150*			0,150			22,0			*
20	VIII-IX	LS4A	3.765	0,195-0,235	0,246		0,250			21,3			6,4
21	13	LT4C	823	0,115			0,100	0,120		29,1	20,2		-13,0
22	IX-X	LS4B	4.588	0,235	0,272		0,280	0,250		20,7	26,0		6,4
23*	X-XIII	LP	26.701	0,560-0,630	0,655		0,630	0,680		23,8	20,4		0,0

Tabela 4. 8 - Normalização dos diâmetros efetivos calculados para as condutas do cenário 2.2 (parte II)

Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Linha	v = 22 m/s	Diâmetro da tubagem existente (m)	Diâmetros efetivos para v = 22 m/s (m)	Diâmetros normalizados (m)			Velocidade corrigida (m/s)			Desvio entre diâmetros existentes e os normalizados (%)
			Caudal volumétrico (m³/h)			Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 1	Opção 2	Opção 3	
24	14	LT5A	1.533	0,157		0,150	0,160		24,1	21,2		-4,5
25	15	LT5B	1.400	0,150*		0,150			22,0			*
26	XI-XII	LS5A	2.933	0,157	0,217	0,220	0,224	0,200	21,4	20,7	25,9	27,4
27	16	LT5C	1.400	0,150*		0,150			22,0			*
28	XII-XIII	LS5B	4.332	0,157-0,225	0,264	0,250	0,280		24,5	19,5		11,1
29*	XIII-XVII	LP	31.033	0,630-0,710	0,706	0,710			21,8			0,0
30	17	LQ6A1	1.400	0,150*		0,150			22,0			*
31	18	LQ6A2	1.400	0,150		0,150			22,0			0,0
32	XIV-XVI	LT6A	2.799	0,150	0,212	0,200	0,220	0,224	24,8	20,5	19,7	33,3
33	19	LQ6B1	3.262	0,229		0,224	0,250		23,0	18,5		-2,2
34	20	LQ6B2	647	0,102		0,100	0,120		22,9	15,9		-2,0
35	XV-XVI	LT6B	3.909	0,229	0,251	0,250			22,1			9,2
36	XVI-XVII	LS6	6.708	0,150	0,328	0,315	0,350	0,355	23,9	19,4	18,8	110,0
37*	XVII-XIX	LP	37.742	0,710-0,800	0,779	0,710	0,750	0,800	26,5	23,7	20,9	-6,3
38	21	LT7A	2.488	0,200		0,200			22,0			0,0
39	22	LT7B	1.272	0,143		0,140	0,150		23,0	20,0		-2,1
40	XVIII-XIX	LS7	3.760	0,200	0,246	0,224	0,220	0,250	26,5	27,5	21,3	12,0
41*	XIX-XX	LP	41.502	0,800	0,817	0,800			22,9			0,0
42	23	LS8	1.272	0,143-0,229		0,140	0,150		23,0	20,0		-2,1
43*	XX-CL	LP	42.774	0,800-1,000	0,829	0,800	0,850		23,6	20,9		-20,0
44*	CL-V	CL-V	42.774	1,000	0,829	0,800	0,850		23,6	20,9		-20,0

Tabela 4. 9 - Cálculo e normalização dos diâmetros efetivos para os cones de aspiração no cenário 2.2

Corrente	Captação	Linha	Designação técnica do equipamento	Diâmetro na captação que garante $v = 5$ m/s (m)	Diâmetro normalizado na captação (m)	Velocidade corrigida (m/s)
1*	1	LT1A1	SILO 0011	0,367	0,400	4,21
2	2	LT1A2	ELVE 0016	0,409	0,450	4,13
3	3	LT1A3	TRSF 0045	0,315	0,315	4,99
5	4	LT1A4	TRSF 0029	0,388	0,400	4,71
7	5	LT1C1	TRSF 0029	0,420	0,450	4,35
8	6	LT1C2	TRSF 0029	0,409	0,450	4,13
10	7	LT1C3	TRSF 0029	0,409	0,450	4,13
12	8	LS1B	TRSF 0029	0,409	0,450	4,13
14	9	LS2	ELVE 0012	0,409	0,450	4,13
16	10	LS3	ELVE 0014	0,409	0,450	4,13
18	11	LT4A	ELVE 0015	0,409	0,450	4,13
19	12	LT4B	SILO 0037	0,315	0,315	4,99
21	13	LT4C	PCCL 0010	0,241	0,250	4,66
24	14	LT5A	TRBA 0167	0,329	0,355	4,30
25	15	LT5B	SILO 0038	0,315	0,355	3,93
27	16	LT5C	TRSF 0051	0,315	0,355	3,93
30	17	LQ6A1	TRSF 0076	0,315	0,355	3,93
31	18	LQ6A2	TRSF 0071	0,315	0,355	3,93
33	19	LQ6B1	TRSF 0048	0,480	0,500	4,61
34	20	LQ6B2	TRBA 0163	0,214	0,224	4,56
38	21	LT7A	ELVE 0013	0,420	0,450	4,35
39	22	LT7B	SILO 0031	0,300	0,300	5,00
42	23	LS8	TRBA 0163	0,300	0,300	5,00

Para garantir que as velocidades de transporte não desçam dos 22 m/s, considerou-se aumentar a velocidade de projeto para 25 m/s. O novo caudal volumétrico de projeto ronda os 49.000 m<sup>3</sup>/h (o que se traduz num aumento de capacidade de 35%) e a perda de carga prevista para o caminho crítico é de 4800 Pa.

A partir destas duas propriedades deve-se verificar o funcionamento do ventilador existente.

Consultando a curva característica do ventilador existente na Figura B.3 do Anexo B.1.3 é possível verificar que o equipamento não garante as condições necessárias, mesmo que a potência motriz fosse aumentada (por intermédio do aumento da frequência de rotação o valor máximo de 1400 rpm), a depressão máxima gerada é inferior a 3000 Pa (enquanto que o caudal debitado ronda os 20.000 m<sup>3</sup>/h e resultando numa eficiência de 70%). Por outro lado, para a mesma curva de potência verifica-se que o ventilador consegue sustentar um caudal volumétrico de 50.000 m<sup>3</sup>/h, mas a variação de pressão é insuficiente para garantir uma aspiração adequada.

Para o novo ponto de operação verifica-se ainda que o filtro existente não é adequado para as necessidades previstas.

Posto isto, depois da definição da configuração da rede de condutas (alterações do traçado existente e a ligação aos novos equipamentos, foi possível dimensionar a rede de transporte para manter a velocidade de aspiração pretendida bem como definir as propriedades exigidas do ventilador e do filtro. Com estes dados a Vento Domável formalizou um documento com memória descritiva e o caderno de encargos para o projeto de despoeiramento.

#### 4.2.4 Análise do caderno de encargos

No caderno de encargos do projeto (consultar Anexo D) propõe-se a substituição dos equipamentos existentes bem como a substituição parcial da rede de condutas existente.

As etapas a desenvolver para o projeto consistem:

1. Levantamento definitivo do traçado da rede de transporte;
2. Fabrico de condutas e equipamentos;
3. Desmontagem da rede existente;
4. Transporte e instalação dos equipamentos e condutas;
5. Fase de teste e validação para o arranque do sistema.

- **Equipamentos recomendados**

O **ventilador** recomendado deve ser centrífugo, de alto rendimento com turbina de pás de reação equilibrada estática e dinamicamente e equipado com motor elétrico, com capacidade para 50.000 m<sup>3</sup>/h e uma queda de pressão de 4.500 Pa.

Devem-se atender às condições acústicas (níveis de ruído) dos equipamentos a instalar, de modo a evitar a transmissão de vibrações quer à estrutura da Refinaria quer à rede de transporte. Recomenda-se a instalação de um atenuador acústico na saída do ventilador.

A **torre de lavagem** (ou filtro por via húmida) deve garantir um elevado rendimento de separação para a capacidade de 50.000 m<sup>3</sup>/h e operar por hidrocentrifugação devido ao efeito da depressão criada pelo ventilador. O equipamento deve permitir a reintrodução das poeiras coletadas no processo. Poderá eventualmente ser necessária a substituição do quadro elétrico do sistema de controlo.

- **Especificações da rede de transporte**

O método usado para o dimensionamento das condutas de insuflação e exaustão de ar foi o método de perda de carga constante. Elege-se a velocidade inicial na conduta principal à entrada do ventilador e calculam-se as dimensões das condutas de modo a terem a mesma perda de carga por unidade de comprimento ao longo da rede. Partindo da velocidade inicial e do caudal posto em jogo, determinou-se a perda de carga do tramo que oferece maior resistência e que o ventilador deve garantir.

Recomendam-se **condutas** de secção circular, de fabrico em série, usando como matéria-prima aço inoxidável 316L, com execução calandrada com fecho longitudinal por soldadura com união por flanges e espessuras mínimas de 1 mm.

As **ramificações** devem ser dotadas de entradas de 30° num vaso de expansão adequado para manter a velocidade de transporte entre tramos distintos.

Os **joelhos** deverão ter um raio de curvatura mínimo de 1,5 vezes o diâmetro da conduta.

Os **cones de aspiração** foram dimensionados considerando uma secção reta circular, no entanto, desde que sejam respeitadas as áreas das secções, estas podem ser convertidas em reduções troncopiramidais com um ângulo de abertura máximo admissível de 60°.

As ligações aos equipamentos devem ser realizadas recorrendo a **mangas flexíveis** de neoprene ou material semelhante. Devem ser herméticas, inflamáveis e impustrescíveis e a sua fixação deve ser executada com aros metálicos, com aplicação de cordão de silicone para garantir a estanquicidade das mangas.

Devem ser instaladas **portas de visita** para auxiliar a inspeção, limpeza e manutenção das condutas. Implementadas a montante ou a jusante das curvas, derivações, mudanças bruscas de direção e distâncias em troços retos superiores a 7,5 metros (tanto verticais como horizontais). O material para a janela de inspeção deve ser acrílico ou policarbonato.

As **tomadas de medição** previstas devem ser adequadas para a leitura da pressão diferencial recorrendo-se a um tubo de Pitot. Recomenda-se que sejam instaladas a jusante das captações e dos nós a uma distância equivalente a 2,5 vezes o diâmetro da conduta.

Devem ser implementados **registos** nos ramais para facilitar a manutenção dos equipamentos/condutas e recomendam-se válvulas de guilhotina com acionamento eletropneumático de atuação *on-off* ou modulante.

Entre materiais metálicos devem ser instaladas **ligações equipotenciais** com a rede de terras de proteção, através da ligação de condutores entre todas as partes metálicas e o barramento principal de terra.

Tendo em vista garantir o funcionamento otimizado do sistema instalado, foi elaborado um plano de manutenção preventiva para as seguintes operações:

- Verificação de corrosão e aplicação de isolamento;
- Inspeção interior e limpeza;
- Verificação dos caudais e comparação com os valores de projeto.

A periodicidade recomendada para estas operações é de 12 meses, sendo que para a manutenção do ventilador e filtro este intervalo de tempo deve obedecer aos critérios dos fabricantes dos mesmos

## Capítulo 5: Estudo de Mercado

Com o caderno de encargos definitivo desenvolvido em parceria com a Vento Domável (na perspectiva do projetista), foi possível solicitar a cotação a 5 empresas: a SITAPE, a Vento Domável (na perspectiva do fornecedor), a Planiclíma, a Despoiravent e a Retaflex.

Com base nas alterações de traçado propostas para o cenário 2.2 nas Figuras C.1 a C.3 do Anexo C.2 foi possível estimar os custos para a substituição da rede de transporte, tanto substituição integral como parcial das condutas. Comparando estes dois cenários é possível estimar quanto é que se poupa mantendo os troços de tubagens cujo diâmetro é próximo do recomendado.

Depois de reunidas essas propostas foi necessário alterar o âmbito do projeto. Verificou-se que o investimento associado à substituição de equipamentos e de parte da rede de transporte ultrapassa a verba disponível, de modo que a intervenção não será concluída em apenas uma instância.

Optou-se então por implementar os 5 novos pontos de captação, de acordo com o cenário 2.1 (foram estimados os custos das condutas a implementar), elaborou-se uma tabela comparativa das propostas reunidas e foi então eleita a **Despoiravent** como a empresa responsável pela realização do projeto.

### 5.1 Estimativas de custos da rede de transporte

Considerando inicialmente a substituição integral da rede de distribuição de ar do cenário 2.2, foi reunida uma lista com as dimensões características (diâmetros e comprimentos) de cinco componentes: condutas, curvas, derivações, cones de aspiração e pares flangeados.

Contactaram-se várias empresas fornecedoras/distribuidoras de condutas em aço inoxidável e realizou-se um pedido de cotação para os materiais necessários. Os resultados apresentados baseiam-se nos preços praticados pela Sandometal e pela VAL Steel (só forneceram dados para condutas). Foram comparados ainda os preços das flanges entre a Sandometal e a Coral. No entanto, as estimativas não têm em conta os custos do corte das tubagens nem dos seus suportes estruturais ou meios de fixação, nem parafusos e vedantes para os pares flangeados, mangas flexíveis herméticas, válvulas, pressóstatos, portas de limpeza, pontos de amostragem nem ligações equipotenciais.

Visto que inicialmente no caderno de encargos não estava especificado o material das condutas e como tinha sido usada uma tabela de preços da Sandometal para condutas calandradas (em chapa galvanizada ou preta) para a normalização dos diâmetros efetivos no capítulo 4.2 foram estimados os preços para condutas fabricadas em:

1. Chapa galvanizada;
2. Chapa preta;
3. Aço inoxidável AISI 304;
4. Aço inoxidável AISI 316;

## 5. Aço inoxidável AISI 316L.

A VAL Steel forneceu um orçamento para condutas em aço inoxidável AISI 304 (consultar Tabela E.3 do Anexo E.1).

### 5.1.1 Substituição integral da rede de condutas do cenário 2.2

Numa etapa inicial foram estimados os custos das condutas da rede de transporte, com base nos diâmetros normalizados das Tabelas 4.7 e 4.8 do capítulo 4.2.3. Os comprimentos indicados são resultado dos comprimentos medidos no terreno (quando aplicável) junto com os comprimentos estimados para as alterações de traçado ilustradas nas Figuras C.1 a C.3 do Anexo C.2.

Os comprimentos propostos estão presentes no caderno de encargos e resultam do arredondamento dos comprimentos indicados para cada troço da rede de transporte. Como medida de prevenção contra eventuais imprevistos aquando da instalação das condutas, encomenda-se mais do que necessário.

Na Tabela 5.1 encontram-se resumidos os preços de aquisição de condutas em chapa galvanizada ou chapa preta, elaborada a partir da Tabela E.1 do Anexo E.1.

*Tabela 5. 1 - Preços de condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte*

Comprimentos (m)		Preços (€)	
		Chapa galvanizada	Chapa preta
Propostos	199	4.030	3.344
Indicados	175	3.191	2.612
Diferença entre valores propostos e indicados		1.045	922

A Sandometal forneceu ainda os preços para condutas calandradas em AISI 304 e 316 (com diferentes aplicações de solda para o fecho da tubagem) e aplicou-se o mesmo método para obter a Tabela 5.2, obtida a partir da Tabela E.2 do anexo E.1.

*Tabela 5. 2 - Preços de condutas da Sandometal em AISI 304 e AISI 316, considerando a substituição integral da rede de transporte*

Comprimentos propostos(m)	Preços (€)			
	AISI 304		AISI 316	
	Fecho por pontos	Soldadura contínua	Fecho por pontos	Soldadura contínua
199	10.379,45	11.424,20	16.320,80	17.314,85

Com base nos preços praticados pela VAL Steel para condutas em AISI 304, na Tabela E.3 do Anexo E.1, é possível constatar que os preços da Sandometal são bastante mais competitivos.

Depois de especificado no caderno de encargos o material das condutas e a recomendação que todos os componentes devem ser construídos com o mesmo material, foi possível solicitar à Sandometal um orçamento para condutas, curvas, derivações, reduções concêntricas (cones de aspiração) e flanges. A lista de materiais pode ser consultada nas Tabelas 5.3 e 5.4.

Tabela 5.3 - Lista de dimensões dos componentes necessários para a substituição integral da rede de transporte (parte I)

Troços retos		Derivações a 30°				
Diâmetro (m)	Comprimento (m)	Nó	Diâmetros de entrada (m)		Diâmetro de saída (m)	
0,100	6	I	0,150	0,170	0,180	0,300
0,140	5	II	0,180	0,300	0,180	0,350
0,150	25	III	0,180	0,200		0,280
0,170	8	IV	0,180	0,280		0,315
0,180	23	V	0,180	0,315	0,350	0,520
0,200	17	VI	0,180	0,520		0,560
0,220	3	VII	0,180	0,560		0,580
0,224	10	VIII	0,150	0,180		0,250
0,250	23	IX	0,100	0,250		0,250
0,280	6	X	0,250	0,580		0,630
0,300	6	XI	0,150	0,150		0,200
0,315	5	XII	0,150	0,200		0,250
0,350	3	XIII	0,250	0,630		0,710
0,520	6	XIV	0,150	0,150		0,200
0,560	3	XV	0,100	0,220		0,250
0,580	6	XVI	0,200	0,250		0,315
0,630	6	XVII	0,315	0,710		0,750
0,710	5	XVIII	0,140	0,200		0,224
0,750	3	XIX	0,224	0,750		0,800
0,800	30	XX	0,140	0,800		0,800
<b>Total</b>	<b>199</b>		<b>20</b>			

A lista de diâmetros para os troços retos foi compilada a partir dos dados presentes no caderno de encargos, para cada trecho da rede de transporte.

As derivações são essencialmente expansões concêntricas com a entrada de um ramal a meio da peça e a um ângulo de 30° em relação ao sentido do movimento do ar. Seriam necessárias 20, uma para cada nó da rede de transporte (pode ser consultado o diagrama de convergências da Figura 4.7 do capítulo 4.2.3). O 1º e o 5º caso são distintos dos demais, visto que são trifurcações (convergência de 3 ramais).

Tabela 5. 4- Lista de dimensões dos componentes necessários para a substituição integral da rede de transporte (parte II)

Curvas					Reduções concêntricas		
Diâmetro da tubagem (m)	Ângulos (°)/ Quantidades				Quantidade	Diâmetro de entrada (m)	Diâmetro de saída (m)
	30	45	60	90			
0,100			2		1	0,224	0,100
0,140	1		1	5	1	0,250	0,100
0,150	2		1	7	2	0,300	0,140
0,170	1	1		1	2	0,315	0,150
0,180	2		3	7	5	0,355	0,150
0,200			1	8	1	0,400	0,170
0,224			2	3	1	0,400	0,180
0,250	3		2	2	7	0,450	0,180
0,300				1	2	0,450	0,200
0,520				1	1	0,500	0,220
0,580				2	<b>Total</b>	<b>23</b>	
0,630			1				
0,710			1				
0,800			3				
<b>Total (por ângulo)</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>42</b>			
<b>Total global</b>	<b>65</b>						

Foram especificadas curvas cujo arco seja 1,5 vezes o diâmetro da conduta, independentemente do ângulo perfeito pelo arco.

As reduções concêntricas listadas apresentam os diâmetros necessários para acelerar a velocidade de captação de 5 m/s para a velocidade de transporte de 22 m/s, respetivamente os diâmetros de entrada e de saída através do qual o açúcar é aspirado.

Depois de obtidos os preços unitários de todos os componentes, inclusive flanges, foram calculados os custos globais dos componentes para a substituição integral da rede de transporte. O resultado dos cálculos para cada grupo de componentes pode ser consultado nas Tabelas E.5 a E.8 do Anexo E.1. Os resultados foram reunidos na Tabela 5.5 e na Figura 5.1 é possível observar a distribuição do investimento para cada grupo de componentes.

Tabela 5. 5 - Resumo dos preços estimados para a substituição integral da rede de transporte

Peça	Quantidade	Valor Líquido (€)
<b>Tubagens</b>	199	<b>16.451</b>
<b>Curvas</b>	65	<b>8.029</b>
<b>Reduções</b>	23	<b>1.714</b>
<b>Pares flangeados</b>	266	<b>16.691</b>
<b>Derivações</b>	20	<b>2.790</b>
<b>Total</b>		<b>45.675</b>

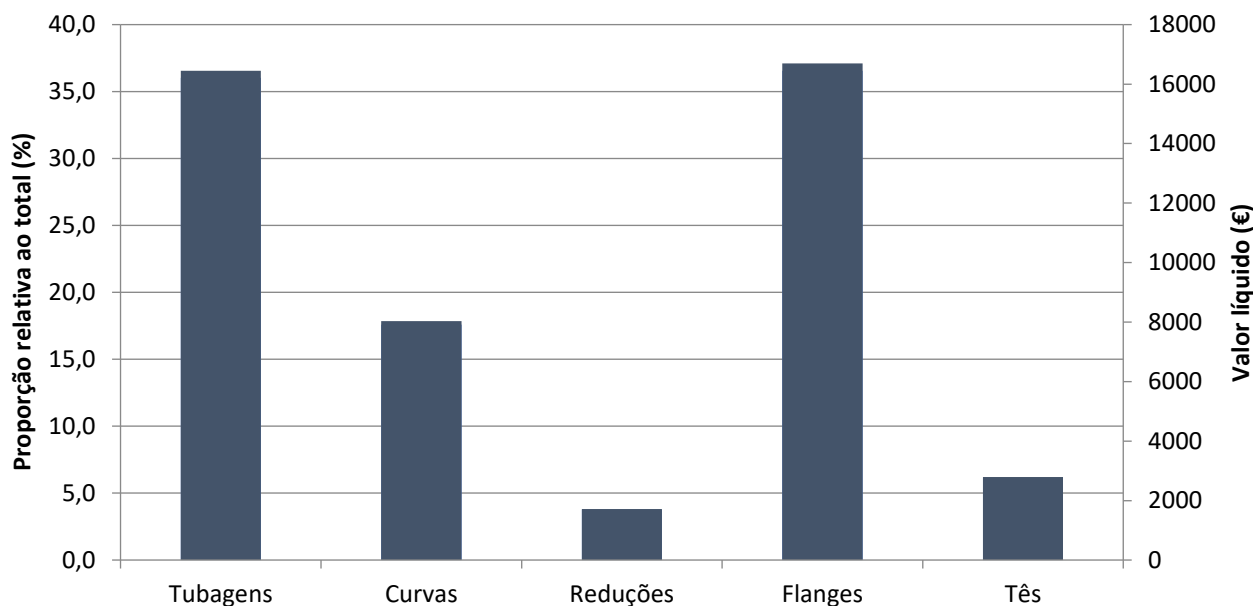


Figura 5. 1 - Distribuição do investimento com base nos preços praticados pela Sandometal para materiais em AISI 316L

Considerou-se um desconto de 10% em todas as peças dimensionadas e todos os custos estão isentos de IVA.

Os preços das flanges da Sandometal foram comparadas com os preços praticados pela Coral e com base na comparação das Tabelas E.2 e E.9 do Anexo E.1, é possível constatar que a Coral é a opção mais económica.

A partir de uma tabela de preços da Coral para flanges estampadas e flanges em barra foi possível ainda obter o número de orifícios das flanges e do tipo de parafuso usado para fixar os pares flangeados. Com estes dados foi possível estimar quantos parafusos seriam necessários, porém o contributo dos mesmos não foi incluído no investimento.

Para a estimativa da quantidade de pares flangeados a aplicar nas novas condutas o raciocínio adotado foi o seguinte: a partir da quantidade de flanges recomendadas para os diâmetros (e comprimentos de condutas associados a cada diâmetro) considerados no orçamento da Sandometal foi possível calcular o passo, ou seja a distância máxima a que devem estar separados dois pares flangeados no mesmo troço reto. O cálculo encontra-se descrito na Tabela E.10 do Anexo E.1.

Com este parâmetro foi possível estimar quantas flanges novas seriam necessárias para todos os ramais, tanto os que devem ser substituídos como os que se pretendem implementar. A partir destes dados é possível discriminar os custos para a substituição parcial da rede de transporte existente, bem como para a instalação das novas ramificações, na mesma base de cálculo aplicada para a substituição integral do sistema.

### 5.1.2 Substituição parcial da rede de condutas do cenário 2.2

Considerando as alterações de traçado descritas no capítulo 4.2.3, nomeadamente as Figuras 4.7 a 4.9 onde estão evidenciados os trechos da rede de transporte existente cujos diâmetros não são adequados para manter uma velocidade de transporte uniforme ao longo da rede. Na Tabela 4.2 descrevem-se as alterações de traçado idealizadas e depois de listadas as necessidades materiais para cada alteração, foi possível calcular os custos das mesmas, indicados na Tabela 5.6.

*Tabela 5. 6 - Estimativa dos custos associados à aquisição de materiais em AISI 316L para a substituição parcial da rede de transporte*

Alteração	Preços (€)				
	Troços retos	Derivações	Curvas	Flanges	Total
<b>a</b>	152,93	0,00	103,68	157,25	<b>413,86</b>
<b>b</b>	218,59	134,78	0,00	211,25	<b>564,62</b>
<b>c</b>	124,42	220,32	0,00	509,04	<b>853,78</b>
<b>d</b>	76,46	0,00	51,84	78,62	<b>206,93</b>
<b>e</b>	321,19	236,52	0,00	378,14	<b>935,86</b>
<b>f</b>	492,16	0,00	259,20	439,20	<b>1.190,56</b>
<b>g</b>	76,46	182,59	51,84	78,62	<b>389,52</b>
<b>h</b>	541,40	208,94	760,32	518,40	<b>2.029,07</b>
<b>i</b>	287,06	83,95	113,53	313,06	<b>797,60</b>
<b>j</b>	642,38	242,50	414,48	707,76	<b>2.007,12</b>
<b>k</b>	664,52	220,46	1.016,64	631,44	<b>2.533,07</b>
<b>l</b>	491,83	137,95	242,91	585,94	<b>1.458,63</b>
<b>m</b>	191,38	89,42	0,00	234,43	<b>515,23</b>
<b>n</b>	113,40	0,00	0,00	172,51	<b>285,91</b>
<b>o</b>	443,02	267,12	0,00	378,86	<b>1.089,00</b>
<b>p</b>	531,36	356,83	155,87	610,27	<b>1.654,33</b>
<b>q</b>	136,73	278,06	136,86	213,41	<b>765,06</b>
<b>r</b>	984,53	0,00	336,00	563,33	<b>1.883,86</b>
<b>s</b>	738,40	0,00	1.814,40	422,50	<b>2.975,29</b>
<b>Total</b>	<b>7.228,22</b>	<b>2.659,46</b>	<b>5.457,56</b>	<b>7.204,03</b>	<b>22.549,28</b>

Só os custos para os novos troços retos, curvas, pares flangeados e derivações representam metade do investimento estimado para a substituição integral da rede de transporte. Os cálculos para cada grupo de componentes podem ser consultados nas Tabelas E.10 do Anexo E.2.

Considerando que é possível manter os ramais cujos diâmetros se podem considerar adequados, é possível estimar a poupança associada ao aproveitamento destas condutas, em relação à substituição integral da rede de transporte. Para estimar quanto se poupa é preciso quantificar ainda os custos dos materiais necessários para a instalação das novas captações.

### 5.1.3 Implementação das ramificações do cenário 2.1

Como referido no início do capítulo 5, a substituição integral da rede de transporte implica um investimento considerável, ultrapassando o montante da verba disponível e o objetivo da intervenção passou a considerar apenas a implementação das novas condutas. Aplicando o mesmo método usado para a estimativa dos custos dos materiais para a substituição integral ou parcial da rede de transporte, foi calculado o equivalente para as novas condutas. Os resultados para cada grupo de componentes são apresentados na Tabela 5.7 e a descrição e quantificação dos custos para cada grupo de componentes pode ser consultado na Tabela E.11 do Anexo E.3.

*Tabela 5. 7 - Estimativa dos custos associados à aquisição de materiais em AISI 316L para a implementação das novas captações na rede de transporte*

Linha	Preços (€)					Total
	Reduções	Troços retos	Curvas	Derivações	Flanges	
<b>3-I</b>	72,58	182,30	136,85	143,28	177,84	<b>712,85</b>
<b>12-VIII</b>	72,58	91,15	117,17	89,42	88,92	<b>459,24</b>
<b>15-XI</b>	73,15	45,58	48,74	81,50	44,46	<b>293,44</b>
<b>16-XII</b>	73,15	410,18	117,17	89,71	377,91	<b>1.068,13</b>
<b>17-XIV</b>	73,15	182,30	117,17	81,50	177,84	<b>631,97</b>
<b>Total</b>	<b>364,61</b>	<b>911,52</b>	<b>537,11</b>	<b>485,42</b>	<b>866,97</b>	<b>3.165,63</b>

Retirando aos custos associados à substituição integral os custos para substituição parcial da rede de transporte ainda a implementação das novas condutas, encontramos então em condições para estimar o quanto é possível poupar mantendo os troços das tubagens existentes cujos diâmetros são adequados, na Tabela 5.8.

*Tabela 5. 8 - Estimativa da poupança no investimento se forem aproveitadas as condutas existentes com diâmetros adequados*

Cenário	Preço (€)	L (m)	Nº curvas	Nº pares flangeados
<b>Substituição integral</b>	45.675	199	65	266
<b>Substituição parcial</b>	22.549	83	27	103
<b>Novas captações</b>	3.165	20	9	39
<b>Poupança</b>	<b>19.961</b>	<b>96</b>	<b>29</b>	<b>124</b>

Com base nos resultados obtidos verifica-se que o aproveitamento das condutas permite reduzir o investimento necessário para a substituição integral para metade. Os preços indicados estão isentos de IVA e consideram um desconto de 10% nos materiais. Porém, é expectável que nas propostas obtidas pelas empresas a concurso os custos dos materiais da rede de transporte sejam superiores aos estimados, visto que, como referido anteriormente não foram consideradas portas de limpeza, válvulas, pressóstatos, entre outros acessórios.

## 5.2 Comparação de propostas e tomada de decisão

Os critérios adotados para a comparação das propostas são os seguintes:

- Custos de desmontagem do sistema existente;
- Custos de fornecimento de materiais e mão de obra tanto para a substituição da rede de transporte, bem como a implementação das novas captações;
- Custos e instalação dos novos equipamentos do sistema de recuperação;
- Acréscimo nos custos de instalação se a intervenção for realizada aos fins de semana;
- Tempo previsto para concluir a intervenção.

### 5.2.1 SITAPE

A SITAPE foi a empresa que melhor identificou na proposta os componentes necessários e a sequência de operações para implementar as novas captações, esta última pode ser consultada no Anexo F.1. Não contemplaram a substituição da rede de transporte existente nem a aplicação de pontos de amostragem, portas de limpeza, ligações equipotenciais nem os cones de aspiração; a velocidade de transporte definida de 15 m/s não é concordante com a gama recomendada no caderno de encargos. Respeitam, no entanto, o material especificado, o tipo de válvulas a instalar e a curvatura dos joelhos.

Segundo indicado na proposta, tencionam cobrar **6.766,70€** pelo fornecimento dos componentes e **4.160,00€** para montagem das condutas ao fim de semana, totalizando um investimento de **10.926,70 €**. (os valores indicados não incluem IVA).

As limitações de fornecimento indicadas contemplam trabalhos de construção civil, utilização de empilhadores ou outros meios de elevação, bem como a limpeza das condutas e equipamentos processuais existentes.

### 5.2.2 Vento Domável

A Vento Domável apresentou propostas tanto para a substituição e ampliação da rede de transporte, como apenas para a implementação das novas ramificações.

De acordo com o descrito, propõem **160.563,00 €** para o fornecimento das condutas, **6.260,00 €** para o transporte e montagem de condutas e equipamentos e **3.056,00 €** para a desmontagem integral da rede de transporte.

Para a substituição dos equipamentos do sistema de recuperação sugerem os seguintes sistemas, avaliados em **127.870,00 €**:

- Sistema de pré-lavagem;

- Separador via húmida;
- Ventilador centrífugo;
- Depósito de recolha de resíduos;
- Controlador do nível de água;
- Quadro elétrico.

As especificações dos equipamentos descritos podem ser consultadas no Anexo F.2.

A substituição integral (e ampliação) da rede de condutas e do sistema de recuperação das poeiras totaliza então um investimento de **297.749,00 €** (IVA incluído).

A proposta foi reformulada para o fornecimento e montagem das novas ramificações e foi indicado um montante de **10.558,00 €**, considerando que seriam necessários 2 a 3 dias para a conclusão da intervenção. Alertam para o facto de que todas as captações implementadas irão comprometer as velocidades de aspiração devido à incursão de ar suplementar nas novas captações.

Esta solução implica a necessidade de paragem obrigatória dos equipamentos processuais. Indicam que o tempo previsto para a conclusão da obra seja de 3 semanas, considerando um horário normal de trabalho (40 horas semanais de 2ª a 6ª feira). O acréscimo para trabalhos executados aos Sábados (até às 17h00) é de 50% e 100% para horário noturno (20h00 até às 06h00)

O preço indicado para desmontagem do sistema, transporte e montagem de condutas e equipamentos é de **9316,00 €**. A Vento Domável indicou que poderia disponibilizar uma equipa de instaladores com 2 a 6 elementos. Considerando que a substituição poderia ser realizada durante o horário normal de trabalho, ao longo de 3 semanas estimou-se (para uma equipa composta por 4 elementos) que os gastos médios por dia e por elemento rondam os 155 €.

As exclusões da proposta abrangem:

- Obras elétricas e equipamentos de arranque e de proteção;
- Obras de construção civil e vedações a efetuar, equipamentos de elevação/movimentação para a descarga do material e apoio durante as montagens;
- Fornecimento e montagem da conduta de extração de ar (chaminé) munida com chapéu terminal de saída rápida, de acordo com o Decreto-Lei nº 78/2004, relativo à descarga de poluentes atmosféricos.

### 5.2.3 Planiclíma

A Planiclíma elaborou um projeto considerando a substituição integral da rede de condutas. Foram identificados, por cada tramo, os preços para a desmontagem do sistema existente, montagem e fornecimento das novas condutas, considerando que a intervenção seja feita em horário normal de trabalho. Apresentaram ainda uma mais valia para fins-de-semana que representa um acréscimo médio de 30%.

Indicaram que seriam necessários **52.544,71 €** para a substituição de todos os tramos das captações e **103.999,31 €** para a linha principal e ramificações, junto propõem um ventilador de **8.526,58 €**, totalizando um investimento de **165.070,60 €**. Considerando apenas a implementação dos tramos para as 5 novas captações o investimento é de **13.049,07€**.

Os preços indicados estão isentos de IVA e consideram operação aos fins de semana, podem ser consultados nas Tabelas F.1 a F.3 do Anexo F, tanto para materiais em AISI 304 (considerado inicialmente) como AISI 316L.

Os preços não contemplam o fornecimento de portas de inspeção, válvulas nem pontos de amostragem para a rede de transporte nem de um filtro húmido ou equipamento equivalente para a separação e recolha das poeiras. Segundo a curva característica do ventilador proposto, este não é adequado para garantir as necessidades de aspiração do sistema. A curva do ventilador pode ser consultada na Figura F.1 do Anexo F.

Foi indicado que seriam necessários 2 a 3 dias para a implementação de cada um dos 5 novos ramais de aspiração.

Encontra-se excluído da proposta o fornecimento de meios de movimentação aérea.

#### **5.2.4 Despoiravent**

A Despoiravent apresentou propostas tanto para a substituição e ampliação da rede de transporte, como apenas para a implementação das novas ramificações. Respeitam na íntegra o caderno de encargos e as características de materiais e equipamentos apresentados podem ser consultadas no anexo F.4

No âmbito da substituição integral da rede apresentam um valor de **112.050 €** para o fornecimento da rede de transporte, **123.850 €** para o fornecimento dos novos equipamentos, **3.150 €** para a desmontagem da linha e dos equipamentos existentes e **13.350 €** para a montagem do sistema novo, testes e acionamento. O investimento considerado representa um montante de **252.400 €**. Para o caso da montagem dos 5 novos ramais, propõem um valor de **10.300 €** (IVA incluído).

Foi indicado que seriam necessários 2 Sábados para a implementação dos 5 novos ramais de aspiração. O preço da mão de obra não sofre modificações com trabalhos ao Sábado. No entanto, os trabalhos ao Domingo teriam um custo adicional de 175€ por Domingo e por cada equipa de instaladores de 2 elementos

Encontram-se excluídos da proposta a pintura das condutas, as ligações de água ou alimentação elétrica do quadro de comando, obras de construção civil, guias ou meios de elevação.

### 5.2.5 Retaflex

No âmbito da implementação de cinco ramais de aspiração na rede de transporte existente a Retaflex indicou um valor de **1.850,00 €** para o fornecimento das condutas e **2.650,00 €** para a montagem do material ao fim-de-semana, totalizando um investimento de **4.500,00 €** (isento de IVA).

Seguem todas as especificações descritas no caderno de encargos do projeto, exceto no material. Consideraram condutas fabricadas em chapa galvanizada, o que justifica porque é que praticam os preços mais competitivos. Porém, foi estimada a diferença de preço no fornecimento das condutas com base nos preços praticados pela Sandometal para condutas em aço inoxidável AISI 316L e aço galvanizado. Com base nos resultados apresentados na Tabela F.4 do Anexo F.5 considerou-se que os materiais em aço galvanizado são 3 vezes mais baratos, o que implica que a proposta poderia rondar os **8.200 €**.

Indicaram que seriam necessários 4 dias para concluir a intervenção, cobrando um acréscimo de 100% na montagem aos Sábados e 150% aos Domingos.

As exclusões de fornecimento mencionadas contemplam:

- Trabalhos de construção civil nos locais onde as condutas atravessem paredes, coberturas ou pavimentos;
- Aparelhagem de elevação e movimentação dos equipamentos.

### 5.2.6 Tomada de decisão

Para a substituição integral da rede de transporte e equipamentos da etapa de recuperação as empresas consideradas foram a Vento Domável, a Planiclíma e a Despoiravent, cujas propostas foram resumidas na Tabela 5.9.

*Tabela 5.9 - Comparação das propostas da Vento Domável, Planiclíma e Despoiravent para a substituição integral da rede de transporte*

Proposta	Vento Domável	Planiclíma	Despoiravent
<b>Desmontagem do sistema existente</b>	3 056,00 €	156 544,02 €	3 150,00 €
<b>Fornecimento da rede de condutas em AISI 316L</b>	160 563,00 €		112 050,00 €
<b>Fornecimento de equipamentos</b>	127 870,00 €	8 526,58 €	123 850,00 €
<b>Montagem do sistema</b>	6 260,00 €	*	13 350,00 €
<b>Total</b>	<b>297 749,00 €</b>	<b>165 070,60 €</b>	<b>252 400,00 €</b>

É necessário considerar que os preços indicados para a Vento Domável e Despoiravent incluem IVA e ambas as empresas respeitam as especificações do caderno de encargos na íntegra.

Podemos avaliar o custo do fornecimento de equipamentos como sendo a parcela significativa e considerar que a Planiclíma seria a empresa que praticava os preços

mais altos. As propostas da Vento Domável e Despoiraivent são comparáveis em todos os aspetos considerados exceto no fornecimento da rede de transporte.

Depois de reformulados tanto o âmbito da intervenção como as propostas apresentadas foi possível compará-las na Tabela 5.10.

*Tabela 5. 10 - Comparação das propostas reunidas para a ampliação da rede de transporte existente*

Proposta	SITAPE	Vento Domável	Planiclíma	Despoiraivent	Retaflex
<b>Fornecimento e montagem das novas condutas</b>	<b>10.927 €</b>	<b>10.558 €</b>	<b>13.049 €</b>	<b>10.300 €</b>	<b>4.500 €* </b>
<b>Tempo médio de montagem (dias/linha)</b>	-	0,5	2,6	0,4	0,8
<b>Acréscimo montagem ao Sábado (%)</b>	-	50	30	0	100
<b>Acréscimo montagem ao Domingo (%)</b>	-	100		*175€/equipa de 2	150

A Retaflex apresentou o preço mais baixo visto que o material considerado é significativamente mais barato. Tanto o investimento proposto pela SITAPE como pela Planiclíma estão isentos de IVA. Todos os preços apresentados consideram montagem ao fim de semana, exceto a SITAPE, a Vento Domável e a Retaflex.

A Despoiraivent foi selecionada por praticar os preços mais baixos e por necessitar de menos tempo.

## Capítulo 6: Conclusões

Com base no trabalho praticado, foi possível concluir que a origem da acumulação de açúcar se baseia na alteração do caminho crítico, através de ampliações sucessivas da rede de transporte original, resultando numa distribuição irregular das velocidades de transporte ao longo da rede. Em cada ponto que exista uma queda de velocidade significativa, acontece a deposição de poeiras, a constrição gradual da área de escoamento e eventualmente o bloqueio da conduta, originando caminhos preferenciais de aspiração.

Neste trabalho foi realizado um levantamento das dimensões e traçado da rede de transporte, bem como a contabilização de vários acessórios para, posteriormente, se elaborar um diagrama isométrico e em plantas. Foram identificados ainda os cinco equipamentos processuais que poderiam ser acrescentados ao sistema existente.

Em termos do estado da rede de transporte, os diâmetros instalados não são adequados tendo em conta a progressão do caudal (e a velocidade de transporte desejada). Todas as derivações deviam ser ligadas a 30° na conduta principal e acompanhadas de uma expansão da conduta. A maioria das curvas possuem raios abruptos (equivalentes ao diâmetro da conduta), algumas válvulas encontram-se danificadas, metade das ligações equipotenciais devem ser substituídas/instaladas, há captações sem pontos de medição ou bocais adequados. Estes fatores afetam negativamente as velocidades de captação e o transporte ao longo da rede.

Foram realizadas duas limpezas ao sistema (a primeira à conduta principal e a segunda às ramificações), de modo a poder verificar-se, quais as velocidades de transporte nos ramais das captações e, então, estimar o caudal global, o qual não é concordante com o caudal de operação indicado na curva característica do ventilador (40.000 m<sup>3</sup>/h), depois de se quantificar experimentalmente a queda de pressão e a frequência de rotação do motor do ventilador. No entanto, nos dois conjuntos de medições de velocidade após as limpezas, o caudal global calculado ronda os 10.000 m<sup>3</sup>/h. Esta discrepância pode ser associada a fugas de ar ou ter sido causada pelas condutas colmatadas (tanto no coletor central como nas ramificações), o que poderia ter sido evitado caso se tivesse realizado uma limpeza integral. Verificou-se ainda que o anemómetro utilizado não foi o instrumento mais adequado visto que alguns pontos de medição se situam em zonas carregadas de poeiras dispersas, as quais podem ficar presas à sua turbina.

Foram realizados ensaios às correntes de água doce na etapa de recuperação de modo a avaliar o caudal de poeiras aspiradas. No entanto, com base nos dados recolhidos não foi possível fechar o balanço, o que poderá indicar uma de duas hipóteses: ou a corrente *overflow* está a sobressaturar a solução contida no tanque de lavagem ou o caudal de ar considerado (40.000 m<sup>3</sup>/h) é muito superior ao real.

Partindo da base de cálculo em que a velocidade de transporte de cada ramal deve ser 22 m/s, foram calculadas todas as velocidades ao longo da rede de transporte. Depois de se efetuar a divisão das correntes segundo o diagrama de convergência e contabilizados os acessórios e o material das condutas foi possível calcular as perdas de carga para cada troço das condutas. Comparadas as perdas de carga de todos os percursos captação-atmosfera, determinou-se que o ponto crítico se situa na captação

LS10A1, no topo do silo de 40 toneladas. Com base nos cálculos realizados a queda de pressão do caminho crítico situa-se entre os 4.300 e os 5.000 Pa.

Numa etapa seguinte, colaborou-se com a Vento Domável para efetuar o recálculo dos diâmetros das condutas e elaboraram-se novos cenários considerando a ampliação do sistema. Depois de selecionado o cenário a desenvolver, foram idealizadas as alterações de traçado que beneficiarão a *performance* do sistema, dimensionaram-se as captações e as condutas da rede de transporte e determinou-se a capacidade necessária para o ventilador (48.000 m<sup>3</sup>/h e 4.500 Pa) e a câmara de lavagem. A Vento Domável formulou então um caderno de encargos que considerava a substituição integral da rede de transporte e dos equipamentos, junto com a implementação das novas linhas.

Com base nas especificações definidas no caderno de encargos foi possível estimar os custos dos materiais para a substituição da rede transporte em 45.675 € (considerando apenas os troços retos das condutas, reduções concêntricas para as captações, curvas, derivações e pares flangeados).

Estes custos foram fragmentados e recalculados para os cenários de substituição parcial e para a implementação das novas captações. Foi então possível estimar que seria possível poupar **19.961 €**, mantendo e aproveitando as condutas cujos diâmetros são adequados.

Depois de obtido o caderno de encargos realizou-se um pedido de orçamentação a várias empresas para a substituição integral do sistema. As empresas a concurso foram a Vento Domável, Planiclíma e a Despoiravent e propuseram um investimento de, respetivamente, 297.749 €, 165.070 € e 252.400 €. A proposta da Planiclíma é mais baixa pois não consideraram o fornecimento de equipamentos adequados para a etapa de recuperação.

Como os montantes propostos ultrapassam a verba disponível decidiu-se implementar apenas as novas captações. Repetiu-se o pedido de orçamentação e reuniram-se as propostas formalizadas. As empresas a concurso foram a SITAPE, a Vento Domável, a Planiclíma, a **Despoiravent** e a Retaflex e propuseram respetivamente um investimento de 10.927 €, 10.558 €, 13.049 €, **10.300 €** e 4.500 €.

Elegeu-se então a Despoiravent para ser a empresa responsável pela intervenção, visto que praticaram o preço mais baixo enquanto respeitam na íntegra as especificações do caderno de encargos.

- **Sugestões para trabalhos futuros**

Como constatado no capítulo 5, a intervenção realizada foi a ampliação do sistema por 10.300 €, apesar de aumentar a carga aos equipamentos e perturbar o já desequilibrado circuito de aspiração. No entanto numa fase seguinte recomenda-se a substituição integral dos equipamentos de recuperação e parcial das condutas que compõem a linha principal e as suas ramificações, bem como as alterações de traçado descritas.

Como indicado pela Despoiravent, o fornecimento da nova rede de condutas seria de **112.050 €** caso o âmbito da intervenção fosse a substituição integral das mesmas.

Retirando os **10.300 €** das condutas implementadas, este valor poderia reduzir para **101.750 €**.

Com base na distribuição dos custos estimados para a substituição integral face à parcial no capítulo 5.1.3, podemos inferir que mantendo as condutas cujos diâmetros são adequados para a velocidade de transporte desejada reduzir-se-ia o valor do investimento na rede de transporte para metade, poupando-se cerca de **50.000 €**.



## Referências Bibliográficas

- [1] Grupo RAR. “*Mensagem do Presidente*”. [http://www.rar.com/pt/mensagem\\_do\\_presidente](http://www.rar.com/pt/mensagem_do_presidente). (acedido em 3 de março de 2017).
- [2] Grupo RAR. “*Onde estamos*”. [http://www.rar.com/pt/onde\\_estamos/](http://www.rar.com/pt/onde_estamos/) (acedido em 3 de março de 2017).
- [3] RAR Açúcar. “*A empresa*”. [http://www.rar.com/pt/a\\_empresa\\_acucar/acucar/](http://www.rar.com/pt/a_empresa_acucar/acucar/) (acedido em 3 de março de 2017).
- [4] RAR Açúcar. “*História da RAR Açúcar*”. <http://www.docerar.pt/index.php?id=120>. (acedido em 3 de março de 2017).
- [5] RAR Açúcar. “*A cana-de-açúcar*”. <http://www.docerar.pt/index.php?id=125>. (acedido em 5 de março de 2017).
- [6] RAR Açúcar. “*Processo de refinação*”. <http://www.docerar.pt/index.php?id=127>. (acedido em 10 de março de 2017).
- [7] RAR Açúcar. Sem data. “*Processo de refinação: Fluxograma e processo descritivo*”. <http://www.docerar.pt/index.php?id=127>. (versão PDF do documento descarregada em 13 de março de 2017).
- [8] Wikipedia. “*Sucrose*”. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sucrose#/media/File:Sucrose-rodmodel.png>. (acedido em 19 de março 2017).
- [9] Bubník, Z., Kadlec, P., Urban, D., Bruhns, M. 1995. *Sugar Technologists Manual: Chemical and Physical Data for Sugar Manufacturers and Users*, 8ª edição. Verlag Dr. Albert Bartens KG. ISBN 3-87040-056-0. 415 pp.
- [10] Chen, J.C.P., Chou C.C. 1993. “*Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists – Grain Size*”, 12ª edição. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-53037-9. 1093 pp.  
<https://books.google.pt/books?id=bDIwg2UZ8sYC&pg=PA349&lpg=PA349&dq=sphericity+of+sugar+crystals&source=bl&ots=yqBQU0fhw4&sig=kSdlGyXwQpe03bx7ei9m2ydSSwc&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwjMnp3i-JvXAhWHJMAKHcUTAckQ6AEIPjAG#v=onepage&q=sphericity%20of%20sugar%20crystals&f=false>. (acedido em 15 de abril de 2017).
- [11] Rein, P. 2017. *Cane Sugar Refining*, 2ª edição. Verlag Dr. Albert Bartens KG. ISBN 978-3-87040-167-2. 945 pp.
- [12] Caprace, J.D., Rigo, P. 2010. *A Complexity Metric for Practical Ship Design*. Universidade de Liège, Bélgica. 11<sup>th</sup> International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures.  
[https://www.researchgate.net/profile/Jean\\_Caprace/publication/258835031\\_A\\_Complexity\\_Metric\\_for\\_Practical\\_Ship\\_Design/links/592c1742a6fdcc44435e6a60/A-Complexity-Metric-for-Practical-Ship-Design.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jean_Caprace/publication/258835031_A_Complexity_Metric_for_Practical_Ship_Design/links/592c1742a6fdcc44435e6a60/A-Complexity-Metric-for-Practical-Ship-Design.pdf). (versão PDF do documento descarregada em 10 de abril de 2017).

- [13] National Filter Media. Sem data. “*Dust Collection Technical Handbook*”.  
[www.nfm-filter.com/nationalfilter/userfiles/file/Dust%20Collection%20Technical%20Handbook.pdf](http://www.nfm-filter.com/nationalfilter/userfiles/file/Dust%20Collection%20Technical%20Handbook.pdf)  
(versão PDF do documento descarregada em 13 de março de 2017).
- [14] Micromeritics Pharmaceutical Services. “*Density and Porosity*”.  
<http://micrx.com/Analytical-Services/Density-and-Porosity.aspx>. (acedido em 10 de abril de 2017).
- [15] Van Keulen, J. Maio de 1973. “*Density of porous solids*”. Institut TNO for Building Materials and Building Structures, Delft, Holanda. Matériaux et Construction, Volume 6, 3ª edição. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02479031> (acedido em 2 de abril de 2017).
- [16] Powtec: Maschinen und Engineering GmbH. “*Determination of apparent density complying with international standards*”.  
[http://www.powtec.de/download/smg\\_engl.pdf](http://www.powtec.de/download/smg_engl.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 29 de março de 2017).
- [17] WikiHow. “*How to Calculate Porosity*”. <https://www.wikihow.com/Calculate-Porosity> (acedido em 10 de abril de 2017).
- [18] RAR Açúcar. Relatório Diário Açúcar Branco. Janeiro de 2017.
- [19] RAR Açúcar. Ficha de Dados de Segurança do Produto (Açúcar). 2014.
- [20] Aerodynamics for Students. “*Fluid Mechanics – Viscous Flow in Pipes*”.  
[www.aerodynamics4students.com/fluid-mechanics/fluidmechanics\\_w.php?page=9&](http://www.aerodynamics4students.com/fluid-mechanics/fluidmechanics_w.php?page=9&)  
(acedido em 24 de abril de 2017).
- [21] Subramanian, R.S. 2014. “*Reynolds Number*”. Departamento de Engenharia Química e Biomolecular, Universidade de Clarkson, Estados Unidos da América. 3 pp.  
[www.web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Reynolds%20Number.pdf](http://www.web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Reynolds%20Number.pdf)  
(versão PDF do documento descarregada em 17 de maio de 2017).
- [22] Çengel, Y.A., Cimbala, J.M. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*, 1ª edição. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 0-07-247236-7. 959 pp.
- [23] White, F.M. 2011. *Fluid Mechanics*, 7ª Edição. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 978-0-07-352934-9. 885 pp.
- [24] Nuclear Power for Everybody. “*Fluid Dynamics: Reynolds Number*”. [www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number](http://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/reynolds-number) (acedido em 17 de abril de 2017).
- [25] Esteves, T.S. 2013. Apontamentos de Sistemas de Transporte de Fluidos (Parte I – Capítulo 1: Introdução). Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal. 85 pp.
- [26] Wang, S.K. 2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, 2ª edição. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 0-07-068167-8. 1401 pp.

- [27] Nuclear Power for Everybody. “*Fluid Dynamics: Continuity Equation*”. [www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/continuity-equation/](http://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/continuity-equation/) (acedido em 12 de maio de 2017).
- [28] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). 2013. “*ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)*”. ISBN 978-1936504472. 1000 pp.
- [29] Macintyre, A.J. 1990. “*Ventilação Industrial e Controle da Poluição*”, 2ª edição. Editora Guanabara Koogan S.A. ISBN 85-277-0171-5. 402 pp.
- [30] Kiijärvi, J. 2011. “*Darcy Friction Factor Formulae in Turbulent Pipe Flow*”. Lunowa. [www.kolumbus.fi/jukka.kiijarvi/clunowa/fluid\\_mechanics/pdf\\_articles/darcy\\_friction\\_factor.pdf](http://www.kolumbus.fi/jukka.kiijarvi/clunowa/fluid_mechanics/pdf_articles/darcy_friction_factor.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 1 de julho de 2017)
- [31] Srichai, S. 2011. “*Friction factors for single phase flow in smooth and rough tubes*”. [www.thermopedia.com/pt/content/789](http://www.thermopedia.com/pt/content/789) (acedido em 14 de junho de 2017).
- [32] Pipe Flow. “*Darcy-Weisbach Formula*”. [www.pipeflow.com/public/documents/Darcy\\_Weisbach\\_Formula.pdf](http://www.pipeflow.com/public/documents/Darcy_Weisbach_Formula.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 28 de junho de 2017).
- [33] Genić, S. et al. 2011. “*A Review of Explicit Approximations of Colebrook’s Equation*”. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Belgrado, Sérvia. FME Transactions. Volume 39. [www.mas.bg.ac.rs/\\_media/istrzivanje/fme/vol39/2/04\\_mjaric](http://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrzivanje/fme/vol39/2/04_mjaric) (versão PDF do documento descarregada em 22 de junho de 2017).
- [34] Ghanbari A., Farshad, F.F., Rieke, H.H. 2011. “*Newly developed friction factor correlation for pipe flow and flow assurance*”. Journal of Chemical Engineering and Materials Science Vol.2 (6), ISSN-2141-6605. pp 83-86. [www.academicjournals.org/article/article1379433261\\_Ghanbari%20et%20al.pdf](http://www.academicjournals.org/article/article1379433261_Ghanbari%20et%20al.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 26 de junho de 2017).
- [35] IPFS. “*Darcy friction factor formulae*” [https://ipfs.io/ipfs/QmXoypizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxiQkDDP1mXWo6uco/wiki/Darcy\\_friction\\_factor\\_formulae.html](https://ipfs.io/ipfs/QmXoypizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxiQkDDP1mXWo6uco/wiki/Darcy_friction_factor_formulae.html) (acedido em 20 de junho de 2017).
- [36] Eurobinox. Sem data. “*Austenitic Stainless Steels*”. 12 pp. [www.eurobinox.com/english/info.pdf](http://www.eurobinox.com/english/info.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 25 de março de 2017).
- [37] Hager, W.H. 2010. *Wastewater Hydraulics: Theory and Practice, Chapter 2 – “Losses in Flow”*, 2ª edição. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-11382-6. 39 pp. [www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloaddocument/9783642113826c1.pdf?SGWID=0-0-45-10303458-p173951905](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783642113826c1.pdf?SGWID=0-0-45-10303458-p173951905). (versão PDF do documento descarregada em 21 de abril de 2017).
- [38] Sem autor. 2006. Gráficos e Tabelas para as disciplinas: Sistemas de Transporte de Fluidos (STFLU) e Transferência de Calor. Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal. 56 pp.

- [39] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1998. *“Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice”*, 23ª edição. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc. ISBN 1-882417-22-4. 514 pp.
- [40] Neutrium. *“Pressure Loss from Fittings – Excess Head (K) Method”*. [https://neutrium.net/fluid\\_flow/pressure-loss-from-fittings-excess-head-k-method](https://neutrium.net/fluid_flow/pressure-loss-from-fittings-excess-head-k-method) (acedido em 21 de junho de 2017).
- [41] Sreenivas, J. 2011. *“Bends, Flow and Pressure Drop”*. [www.thermopedia.com/pt/content/577](http://www.thermopedia.com/pt/content/577) (acedido em 22 de maio de 2017).
- [42] Mott, R.L. 2005. *Applied Fluid Mechanics – “Chapter 10: Minor Losses”*. 6ª edição. Pearson Education South Asia Pte Ltd. 103 pp. [https://scetcivil.weebly.com/uploads/5/3/9/5/5395830/fluids\\_chap10.pdf](https://scetcivil.weebly.com/uploads/5/3/9/5/5395830/fluids_chap10.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 1 de junho de 2017).
- [43] Loureiro, E. Sem data. *“Perdas Localizadas”*. Mestrado Profissional em Tecnologia da Energia, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica de Pernambuco, Brasil. 12 pp. [www.eduloureiro.dominiotemporario.com/doc/mfaula10.pdf](http://www.eduloureiro.dominiotemporario.com/doc/mfaula10.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 18 de junho de 2017).
- [44] Smith, S.J. 1998. *Determination of k-factors of HVAC system componentes using measurement and CFD modelling*. Tese de Doutorado, Universidade de Nottingham, Reino Unido. 286 pp. <http://eprints.nottingham.ac.uk/11059/1/267156.pdf> (versão PDF do documento descarregada em 22 de junho de 2017).
- [45] Vasava, P.R. 2007. *Fluid Flow in T-Junction of Pipes*. Tese de Mestrado, Laboratório de Matemática Aplicada, Departamento de Tecnologias de Informação, Universidade de Tecnologias de Lappeenranta, Finlândia. 75 pp. [https://www.researchgate.net/profile/Paritosh\\_Vasava/publication/228928955\\_Fluid\\_flow\\_in\\_T-junction\\_of\\_pipes/links/552369950cf29dcabb0efc9e/Fluid-flow-in-T-junction-of-pipes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paritosh_Vasava/publication/228928955_Fluid_flow_in_T-junction_of_pipes/links/552369950cf29dcabb0efc9e/Fluid-flow-in-T-junction-of-pipes.pdf) (versão PDF do documento descarregada em 12 de junho de 2017).
- [46] Green, D.W., Perry, R.H. 2008. *Perry’s Chemical Engineers’ Handbook*, 8ª edição. McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 978-0071422949. 2735 pp.
- [47] Forteusi – Sistemas Industriais. *“Controle Ambiental”*. <http://www.forteusi.com.br/site/controle-ambiental.php#ancora> (acedido em 8 de abril de 2017).
- [48] Scheidt Ventilatoren – GmbH (VAKUTEC). *“Products”*. <http://www.vakutec.de/> (acedido em 6 de março de 2017).
- [49] Scheidt Ventilatoren – GmbH (VAKUTEC). 2004. *“High Performance Radial Fan Industrial Low Pressure Type BN3”* <http://www.vakutec.de/> (versão PDF do documento descarregada em 6 de março de 2017).
- [50] Resideta. Sem data. *“Manual de instruções da instalação de despoeiramento”*. RAR Açúcar.
- [51] Scheidt Ventilatoren – GmbH (VAKUTEC). *“Mist separators, Air washers, Scrubbers with and without Packing Unit”*.

<http://www.vakutec.de/phpwcms/index.php?id=160,133> (acedido em 29 de maio de 2017)

[52] Scheidt Ventilatoren – GmbH (VAKUTEC). 2006. “*Vertical Mist Separators, Airwashers and Washers with Packing Unit with and without Coagulator*” <http://www.vakutec.de/> (versão PDF do documento descarregada em 6 de março de 2017).



## **Anexos**

### **A. Levantamento fotográfico**

Nos subcapítulos A.1 e A.2 apresentam-se fotografias dos equipamentos processuais e das captações nos mesmos, dos ramais e da rede de transporte e ainda dos equipamentos constituintes da etapa de recuperação.

No subcapítulo A.3 podem ser consultadas fotografias de duas limpezas realizadas à rede de transporte, nomeadamente à linha principal de aspiração e às ramificações. Encontram-se ainda fotografias de uma operação de substituição do filtro e lavagem do separador de gotas da câmara de lavagem.

No subcapítulo A.4 são expostas fotografias das intervenções realizadas no âmbito da determinação das condições de operação dos equipamentos da etapa de recuperação de poeiras.

#### **A.1 Equipamentos**

No subcapítulo A.1.1 apresentam-se as fotografias dos 13 equipamentos processuais ligados à rede de transporte, indicando-se na legenda das Figuras A.1 a A.11 e A.13 a A.14 a designação técnica dos mesmos. Na Figura A.12 encontra-se representada uma parte da Sala dos Classificadores, uma divisão na Refinaria onde se encontram concentrados metade dos pontos de captação da rede de transporte.

Nas Figuras A.15 a A.20 do subcapítulo A.1.2 podem ser consultadas fotografias dos equipamentos processuais que se pretendem implementar no circuito de aspiração, evidenciando-se a vermelho a localização preconizada para a captação.

Nas Figuras A.21 a A.26 do subcapítulo A.1.3 encontram-se representados os equipamentos da etapa de recuperação de poeiras, nomeadamente, o ventilador, a câmara de lavagem, a chaminé e o tanque de lavagem.

### A.1.1 Equipamentos processuais



Figura A. 1 - Base do Transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163)



Figura A. 3 – Silo de 70 ton (SILO 0031)



Figura A. 2 - Elevador de açúcar para silo de 70 ton (ELVE 0013)



Figura A. 4 - Transportador sem-fim de descarga para silo de 70 ton (TRSF 0048)



Figura A. 5 - Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163)



Figura A. 6 - Transportador sem-fim para elevador dos classificadores (TRSF 0071)



Figura A. 7 - Elevador de açúcares especiais (ELVE 0015)



Figura A. 8 - Arrefecedor de açúcar (PCCL 0010)



Figura A. 9 - Elevador para classificadores (ELVE 0012)



Figura A. 11 - Transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)



Figura A. 10 - Elevador para Silo 75 ton (ELVE 0014)



Figura A. 12 - Sala dos Classificadores



*Figura A. 13 - Silo de 40 ton para açúcar a granel (SILO 0011)*



*Figura A. 14 - Elevador de retorno dos classificadores (ELVE 0016)*

## A.1.2 Equipamentos implementados



Figura A. 15 - Silo de açúcar de 20 ton (SILO 0037)



Figura A. 16 - Silo de pó e troças de 10 ton (SILO 0038)



Figura A. 17 - Transportador sem-fim de descarga no elevador dos classificadores (TRSF 0045)



Figura A. 18 - Transportador sem-fim de ligação do classificador à torre (TRSF 0051)



*Figura A. 19 - Representação do ponto de transferência entre o TRSF 0051 e o TRSF 0004 (Transportador sem fim para elevador da torre)*



*Figura A. 20 - Transportador sem-fim nº2 do sistema alternativo (TRSF 0076)*

### A.1.3 Equipamentos da etapa de recuperação



Figura A. 21 - Representação da câmara de lavagem, ventilador e chaminé do Despeiramento Geral da Refinaria



Figura A. 22 - Fotografia do ventilador e transição para a chaminé



Figura A. 23 - Fotografia da câmara de lavagem



Figura A. 24 - Descarga de águas doces para o tanque de lavagem da estação de tratamento



Figura A. 25 - Fotografia do tanque de lavagem da estação de tratamento



Figura A. 26 - Fotografia da bomba de recirculação de águas doces para a câmara de lavagem (vermelha) e da bomba que envia águas doces para as destrojadoras (cinzenta)

## A.2 Conduitas

No subcapítulo A.2 apresentam-se fotografias de parte da rede de transporte nas Figuras A.27 e A.28.

No subcapítulo A.2.1 encontram-se expostas as captações individuais que constituem a rede de transporte existente, evidenciando-se os diâmetros dos ramais e das captações (ou, quando aplicável, as dimensões da seção reta para geometrias não circulares). Nas Figuras A.29 a A.46 indica-se qual o equipamento processual captado, bem como se identifica o ponto de captação (LSX).



*Figura A. 27 - Fotografia do sistema de recuperação do Despoeiramento Geral da Refinaria e da conduta principal*



*Figura A. 28 - Progressão da conduta principal até à Sala dos Classificadores*

## A.2.1 Captações



Figura A. 29 – Captação LS1, na base do transportador de bandas de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton (TRBA 0163)



Figura A. 30 - Captação LS2A, no elevador de açúcar para silo de 70 ton (ELVE 0013)



Figura A. 31 - Captação LS2B, no topo do silo de 70 ton (SILO 0031)



Figura A. 32 – Captação LS3A, no transportador sem-fim de descarga para o silo de 70 ton (TRSF 0048)



Figura A. 33 – Captação LS3B, na base do transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga do secador de 20 ton (TRBA 0163)



Figura A. 34 – Captação LS4, no transportador sem fim para o elevador dos classificadores (TRSF 0171)



Figura A. 36 – Captação LS6A, no elevador de açúcares especiais (ELVE 0015)



Figura A. 35 - Captação LS5, no transportador de banda de açúcar especial para Máquina Libra (TRBA 0167)



Figura A. 37 – Captação LS6B, no arrefecedor de açúcar (PCCL 0010)



Figura A. 38 – Captação LS7 no elevador para classificadores (ELVE 0012)



Figura A. 40 - Captação no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)



Figura A. 39 – Captação LS8 no elevador para silo de 75 ton (ELVE 0014)



Figura A. 41 - Captação LS10A1, no silo de 40 ton de açúcar a granel (SILO 0031)



Figura A. 42 - Captação LS10A2, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)



Figura A. 44 - Captação LS10B1, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)



Figura A. 43 - Captação LS10A3, no elevador de retorno dos classificadores (LS10A3)



Figura A. 45 - Captação LS10B2, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)



Figura A. 46 - Captação LS10B3, no transportador sem-fim de distribuição para os classificadores (TRSF 0029)

### A.3 Manutenção

No Anexo A.3.1 é possível consultar fotografias que evidenciam a acumulação das poeiras de açúcar no interior das condutas da rede de transporte, nas Figuras A. 47 a A.55.

Nas Figuras A.56 a A.58 do Anexo A.3.2 encontram-se fotografias da substituição do filtro e limpeza do separador de gotas no topo da câmara de lavagem.

#### A.3.1 Rede de transporte



Figura A. 47 - Válvula borboleta no interior do ramal LS10A2



Figura A. 48 - Interior da conduta a jusante das ramificações LS3 e LS4



Figura A. 49 - Interior das condutas dos ramais LS3 e LS4



Figura A. 50 - Ligação entre os ramais LS3 e LS4 e a conduta principal, após limpeza



*Figura A. 51 - Limpeza na sala dos classificadores*



*Figura A. 52 - Açúcar acumulado na bifurcação da linha principal*



*Figura A. 53 - Bifurcação da linha principal após a limpeza, na perspectiva do ramal LS10A*



*Figura A. 54 - Bifurcação da linha principal após limpeza, na perspectiva do ramal LS10B*



*Figura A. 55 - Bifurcação da linha principal após a limpeza, na perspectiva da linha principal de aspiração*

### A.3.2 Câmara de lavagem



*Figura A. 56 - Remoção do filtro colmatado*



*Figura A. 57 - Representação do separador de gotas*



*Figura A. 58 - Instalação de novo filtro*

## A.4 Intervenções

Nas Figuras A.59 a A.60 do subcapítulo A.4.1 podem ser observadas as fotografias dos manómetros instalados a jusante e a montante do ventilador para a quantificação da variação de pressão no equipamento.

No entanto, o método aplicado revelou-se ineficaz, daí se ter recorrido ao método caracterizado nas Figuras A.61 a A.62 no Anexo A.4.2.

Nas Figuras A.63 a A.66 do subcapítulo A.4.3 encontram-se expostas fotografias do ensaio realizado no sistema de transmissão do motoventilador, nomeadamente, a determinação da frequência de rotação das correias com uma pistola estroboscópica.

Na Figura A.67 do subcapítulo A.4.4 é possível observar o ponto de medição de velocidade do ar na admissão ao ventilador.

Na Figura A.68 do subcapítulo A.4.5 encontra-se representada a instalação experimental no tanque de lavagem para a determinação dos caudais de água de recirculação para a câmara de lavagem e ainda para a corrente de água reintroduzida no processo.

### A.4.1 Instalação de manómetros no ventilador



*Figura A. 59 - Manómetro WIKA instalado a jusante do ventilador*



*Figura A. 60 - Vacuómetro WIKA instalado a montante do ventilador*

#### A.4.2 Determinação da variação de pressão no ventilador



*Figura A. 61 - Instalação experimental para determinação da queda de pressão no ventilador*



*Figura A. 62 - Medição do desnível da água devido à diferença de pressões centrada no ventilador*

### A.4.3 Determinação da frequência de rotação do ventilador



Figura A. 63 - Caixa de proteção do sistema de transmissão do motoventilador



Figura A. 65 - Polia em repouso com duas tiras de papel para indicação visual

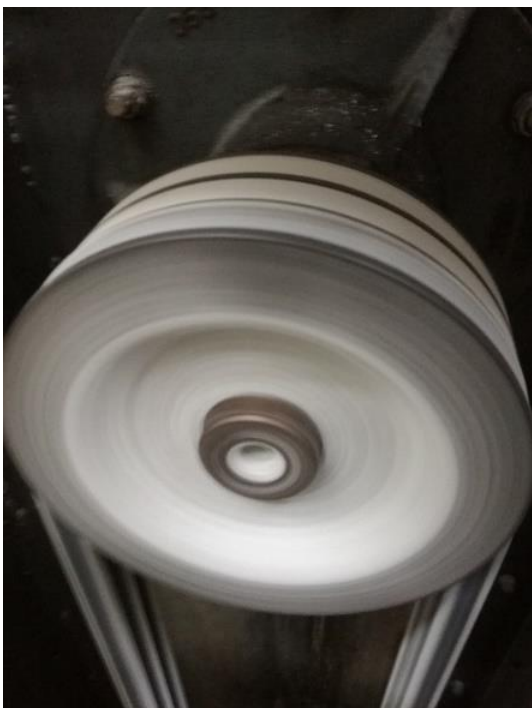


Figura A. 64 - Polia em operação a priori do ensaio



Figura A. 66 - Validação da determinação da frequência de rotação

#### A.4.4 Medição de velocidade no ventilador



*Figura A. 67 - Ponto de medição da velocidade do ar na admissão do ventilador*

#### A.4.5 Seccionamento das corrente de águas doces de saída no tanque de lavagem



*Figura A. 68 - Depósito usado para a determinação do caudal de águas doces recirculadas para a câmara de lavagem*

## B. Dados auxiliares

### B.1 Fase de levantamento

#### B.1.1 Equipamentos processuais

Na Tabela B.1 apresentam-se os resultados do levantamento realizado aos 13 equipamentos da instalação de despoejamento.

Tabela B. 1 - Dimensões dos equipamentos processuais

Equipamento	Designação técnica	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Velocidade (m/s)	
TRBA	0163	14,80	0,55	3,20	3,50	0,55	
	0167	16,85	0,65	2,70		0,46	
TRSF	0029	10,50	0,50	18,35		0,40	
	0048	3,55	0,56			0,33	
	0071	8,07	0,53			0,44	
ELVE	0012	1,25	0,65	17,97		4,00	
	0013	1,77	0,67	12,70			
	0014	1,20	0,40	13,30			
	0015	1,05	0,35	21,75			
SILO	0011	8,30		3,50			4,00
	0031	10,00		4,00			
PCCL	0010	1,65	1,30	5,90			

Para os TRBA e TRSF, por comprimento refere-se à distância que a tela transportadora percorre de uma roldana à outra e por altura refere-se à diferença das cotas entre as roldanas, as quais foram medidas com uma fita métrica.

Para o cálculo da velocidade nos TRBA marcou-se um ponto por baixo da tela transportadora e cronometrou-se o tempo que esse ponto demorou para atravessar uma distância conhecida. Para o cálculo da velocidade nos TRSF cronometrou-se o tempo que uma das chapas helicoidais demorou para percorrer uma distância conhecida.

Para os ELVE e PCCL, mediu-se com fita métrica as dimensões da seção reta e as alturas dos equipamentos foram obtidas indiretamente através da medição de pontos de referência (cotas das plataformas da Refinaria).

Para os SILO, mediu-se o perímetro da sua seção recorrendo a fita métrica de rolo e mediu-se a sua altura pelo mesmo método utilizado com os ELVE e PCCL.

Na Tabela B.2 indicam-se as dimensões dos equipamentos processuais que se pretendem implementar no sistema de despoejamento.

Tabela B. 2 - Dimensões dos equipamentos processuais que se pretendem implementar

Equipamento	Designação técnica	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Velocidade (m/s)
SILO	0037	1,20	1,20	0,90		
	0038			2,80	1,75	
TRSF	0045	5,90	0,515			0,56
	0051	7,50	0,49			0,37
	0076	7,70	0,57			0,44
	0004	6,50	0,50			0,55

### B.1.2 Rede de transporte

Na Figura B.1 comparam-se os comprimentos das diferentes linhas de aspiração.

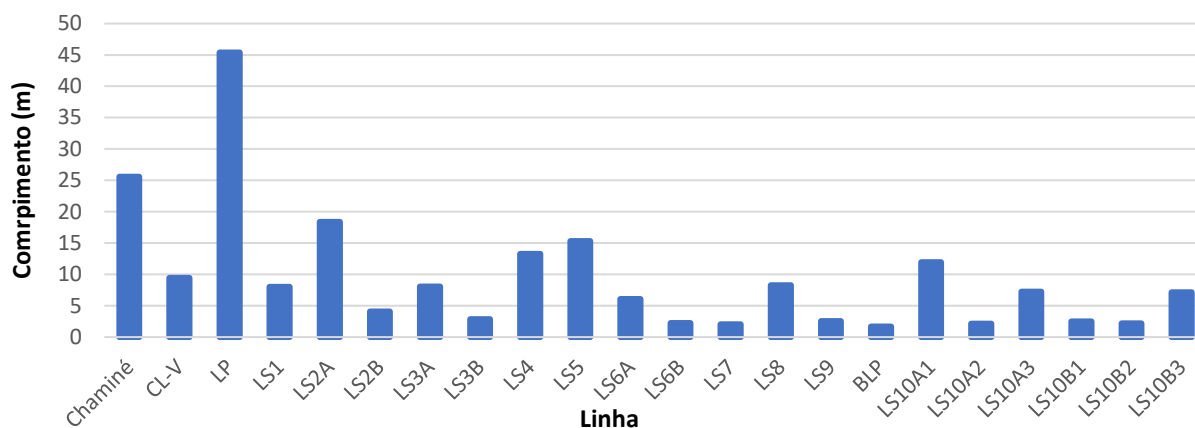


Figura B. 1 - Comprimento total das condutas de cada linha de aspiração

É possível observar que existem ramais mais compridos, cujas perdas por atrito são mais acentuadas, nomeadamente os ramais LS2A, LS4, LS5 e LS10A1. Todas as captações a jusante da bifurcação da linha principal (BLP) percorrem a linha principal de aspiração (LP) integralmente, enquanto que as captações a montante da BLP percorrem um trajeto menor na LP.

Nas Tabelas B.3 a B.5 apresentam-se os resultados do levantamento dos diâmetros das condutas, nomeadamente, quantificaram-se os 58 diâmetros existentes nas várias linhas da rede de transporte e identificaram-se os segmentos onde estes se observam. De acordo com o tipo de geometria das condutas ou das captações foi possível calcular a área da seção reta das mesmas.

Tabela B. 3 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte I)

Linha	Diâmetro	Segmentos		Diâmetro (m)	Área de secção reta (m <sup>2</sup> )	Geometria da secção reta na captação/origem
C	1	1	2	1,000	0,785	Circular
	2	3	16	0,550	0,238	Circular
V-C	1	0	0	0,600*0,900	0,540	Retangular
CL-V	1	0	0	1,000	0,785	Circular
LP	1	0	0	1,035	0,841	Circular
	2	1	2	1,000	0,785	
	3	3	37	0,800	0,503	
	4	38	51	0,710	0,396	
	5	52	74	0,630	0,312	
	6	75	99	0,560	0,246	
	7	100	104	0,455	0,159	
LS1	1	1	12	0,229	0,041	Quadrada
	2	13	31	0,143	0,016	
	3	32	32	0,250	0,063	
LS2A	1	1	27	0,200	0,031	Circular
LS2B	1	1	17	0,143	0,016	Circular
	2	18	20	0,207	0,034	
LS3A	1	1	20	0,229	0,041	Circular
	2	21	23	0,264	0,055	

Tabela B. 4 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte II)

Linha	Diâmetro	Segmentos		Diâmetro (m)	Área de secção reta (m <sup>2</sup> )	Geometria da secção reta na captação/origem
LS3B	1	1	11	0,102	0,008	Quadrada
	2	12	12	0,250	0,063	
LS4	1	1	33	0,150	0,018	Circular
	2	34	36	0,210	0,035	
LS5	1	1	11	0,225	0,040	Circular
	2	12	46	0,157	0,019	
	3	47	49	0,200	0,031	
LS6A	1	1	4	0,235	0,043	Circular
	2	5	17	0,195	0,030	
	3	18	20	0,320	0,080	
LS6B	1	1	18	0,115	0,010	Circular
LS7	1	1	9	0,195	0,030	Circular
	2	10	12	0,345	0,093	
LS8	1	1	29	0,195	0,030	Circular
	2	30	32	0,275	0,059	
LS9	1	1	15	0,195	0,030	Quadrada
	2	16	17	0,330	0,086	
	3	18	18	0,345	0,119	

Tabela B. 5 - Correspondência entre os diâmetros e as áreas das condutas com os segmentos (parte III)

Linha	Diâmetro	Segmentos		Diâmetro (m)	Área de secção reta (m <sup>2</sup> )	Geometria da secção reta na captação/origem
BLP	1	1	7	0,455	0,163	Circular
LS10A1	1	1	47	0,175	0,024	Retangular
	2	48	51	0,1*0,2	0,020	
LS10A2	1	1	6	0,185	0,027	Quadrada
	2	7	8	0,325	0,083	
	3	9	9	0,350	0,123	
LS10A3	1	0	1	0,455	0,163	Circular
	2	2	3	0,320	0,080	
	3	4	26	0,195	0,030	
	4	27	29	0,350	0,096	
LS10B1	1	1	10	0,195	0,030	Quadrada
	2	11	12	0,330	0,086	
	3	13	13	0,345	0,119	
LS10B2	1	1	10	0,195	0,030	Quadrada
	2	11	12	0,330	0,086	
	3	13	13	0,345	0,119	
LS10B3	1	0	1	0,455	0,163	Quadrada
	2	2	7	0,320	0,080	
	3	8	15	0,200	0,031	
	4	16	17	0,330	0,086	
	5	18	18	0,345	0,119	

Para cada linha de aspiração calculou-se o diâmetro médio ponderado das condutas (para casos em que existe mais do que um diâmetro na mesma linha) e ainda se calculou o comprimento em troços retos das mesmas, nas Tabelas B.6 a B. 41.

Para calcular o diâmetro médio das condutas recorreu-se ao método da média ponderada, determinando o comprimento associado a cada diâmetro, para cada linha de aspiração, calculou-se o peso da parcela. Repetindo este procedimento para todos os diâmetros é possível calcular o diâmetro médio somando o produto entre o diâmetro da conduta e o peso respetivo. O cálculo encontra-se exemplificado nas equações B.1 e B.2.

$$(B.1) \text{ Diâmetro médio ponderado (m)} = \sum_i^n \text{Diâmetro (m)} \times \text{Peso}, i = 1, 2 \dots n$$

$$(B.2) \text{Peso}_i = \frac{\text{Comprimento}_i \text{ (m)}}{\text{Comprimento total (m)}}, i = 1, 2, \dots, n$$

Tomando como exemplo a chaminé na Tabela B.6 verificamos que as condutas possuem dois diâmetros diferentes. Distribuindo o comprimento total da chaminé por cada valor de diâmetro é possível calcular os pesos das parcelas:

$$Peso_1 = \frac{0,225}{24,980} = 0,009$$

$$Peso_2 = \frac{24,750}{24,980} = 0,991$$

Recorrendo à equação B.1 é possível calcular então o diâmetro médio na chaminé:

$$\text{Diâmetro médio ponderado} = 1,000 * 0,009 + 0,550 * 0,991 = 0,554 \text{ m}$$

Para o cálculo da fração do comprimento em troços das condutas foi necessário totalizar os comprimentos entre curvas para cada linha e comparar o comprimento em troços retos com o comprimento total, como se indica na equação B.3.

$$(B.3) \%L_{TR} = \frac{\sum_i^n L_{TR,i} (m)}{L (m)} * 100, i = 1, 2, \dots, n$$

Tomando como exemplo a linha principal de aspiração o cálculo efetua-se da seguinte maneira:

$$\%L_{TR} = \frac{31,434}{45,364} * 100 = 69,3 \%$$

Os comprimentos totais das linhas de aspiração podem ser consultados nas Tabelas B.42 a B.68, bem como a distância entre curvas e o comprimento para cada diâmetro.

Tabela B. 6 - Cálculo do diâmetro médio ponderado da chaminé

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	1,000	0,225
2	0,550	24,750
<b>Médio</b>	<b>0,554</b>	<b>24,980</b>

Tabela B. 7 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) da ligação entre a câmara de lavagem e o ventilador

L <sub>TR</sub>	1	2	3	4	Total
<b>Segmentos</b>	1-2	7-10	15-17	22	<b>1-22</b>
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	0,11	2,758	1,25	0,025	<b>4,143</b>
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	1,16	29,15	13,21	0,26	<b>43,8</b>

Tabela B. 8 - Cálculo do diâmetro médio ponderado da linha principal de aspiração

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	1,000	0,215
2	0,800	23,153
3	0,710	2,004
4	0,630	8,847
5	0,560	7,860
6	0,455	3,286
<b>Médio</b>	<b>0,697</b>	<b>45,364</b>

Tabela B. 9 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) da linha principal de aspiração

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-6	2,761	6,1
2	11-16	2,363	5,2
3	21-23	1,846	4,1
4	28-40	12,618	27,8
5	45	0,033	0,1
6	50-54	0,758	1,7
7	57	0,035	0,1
8	62-67	3,429	7,6
9	73-77	0,731	1,6
10	82	0,018	0,0
11	89-93	3,556	7,8
12	100-104	3,286	7,2
<b>Total</b>	<b>1-104</b>	<b>31,434</b>	<b>69,3</b>

Tabela B. 10 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS1 (TRBA 0163 – Base)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,229	3,061
2	0,143	4,956
<b>Médio</b>	<b>0,176</b>	<b>8,017</b>

Tabela B. 11 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS1 (TRBA 0163 – Base)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-3	0,433	5,4
2	5-7	0,160	2,0
3	9-17	3,306	41,2
4	19-23	0,873	10,9
5	25-32	2,155	26,9
<b>Total</b>	<b>1-32</b>	<b>6,927</b>	<b>86,4</b>

Tabela B. 12 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS2A (ELVE 0013)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-4	0,502	2,7
2	6-8	2,325	12,7
3	10-16	10,968	59,7
4	18-22	2,946	16,0
5	24-27	0,43	2,3
<b>Total</b>	<b>1-27</b>	<b>17,171</b>	<b>93,5</b>

Tabela B. 13 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS2B (SILO 0031)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,143	3,871
2	0,207	0,225
<b>Médio</b>	<b>0,147</b>	<b>4,096</b>

Tabela B. 14 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS2B (SILO 0031)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-3	0,45	10,9
2	5-7	1,977	48,3
3	9-10	0,122	3,0
4	12-20	0,917	22,4
<b>Total</b>	<b>1-20</b>	<b>3,466</b>	<b>84,6</b>

Tabela B. 15 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS3A (TRSF 0048)

Diâmetro (m)	L (m)	Peso
1	0,229	7,783
2	0,264	0,258
<b>Médio</b>	<b>0,230</b>	<b>8,041</b>

Tabela B. 16 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS3A (TRSF 0048)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-4	1,010	12,6
2	6-10	4,232	52,6
3	12-14	0,251	3,1
4	16-23	1,600	19,9
<b>Total</b>	<b>1-23</b>	<b>7,093</b>	<b>88,2</b>

Tabela B. 17 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS3B (TRBA 0163 - Topo)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-2	0,240	8,4
2	4-12	2,521	88,6
<b>Total</b>	<b>1-12</b>	<b>2,761</b>	<b>97,0</b>

Tabela B. 18 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS4 (TRSF 0071)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,150	13,042
2	0,210	0,221
<b>Médio</b>	<b>0,151</b>	<b>13,263</b>

Tabela B. 19 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS4 (TRSF 0071)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-4	1,355	10,2
2	6-8	1,915	14,4
3	10-16	4,602	34,7
4	18-20	1,510	11,4
5	22-26	0,628	4,7
6	28-36	2,298	17,3
<b>Total</b>	<b>1-36</b>	<b>12,308</b>	<b>92,8</b>

Tabela B. 20 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS5 (TRBA 0167)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,225	6,507
2	0,157	8,685
3	0,200	0,116
<b>Médio</b>	<b>0,186</b>	<b>15,308</b>

Tabela B. 21 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS5 (TRBA 0167)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-2	0,444	2,9
2	4-6	2,424	15,8
3	8-16	4,374	28,6
4	18	0,3	2,0
5	20-21	0,085	0,6
6	23-25	0,246	1,6
7	27-29	2,513	16,4
8	31	0,205	1,3
9	33-35	0,312	2,0
10	37-39	1,462	9,6
11	41-48	1,008	6,6
<b>Total</b>	<b>1-48</b>	<b>13,373</b>	<b>87,4</b>

Tabela B. 22 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS6A (ELVE 0015)

Diâmetros (m)		L (m)	Peso
1	0,235	3,025	0,50
2	0,195	2,766	0,46
3	0,320	0,263	0,04
<b>Médio</b>	<b>0,220</b>	<b>6,054</b>	<b>1,000</b>

Tabela B. 23 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS6A (ELVE 0015)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-7	4,506	74,4
2	11	0,410	6,8
3	15-20	0,823	13,6
<b>Total</b>	<b>1-20</b>	<b>5,739</b>	<b>94,8</b>

Tabela B. 24 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS6B (PCCL 0010)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-2	0,248	11,1
2	7	0,470	20,9
3	15-18	1,195	53,3
<b>Total</b>	<b>1-18</b>	<b>1,913</b>	<b>85,2</b>

Tabela B. 25 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS7 (ELVE 0012)

Diâmetros (m)		L (m)	Peso
1	0,195	1,790	0,878
2	0,345	0,248	0,122
<b>Médio</b>	<b>0,213</b>	<b>2,038</b>	<b>1,000</b>

Tabela B. 26 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS7 (ELVE 0012)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-3	0,992	48,7
2	8-12	0,841	41,3
<b>Total</b>	<b>1-12</b>	<b>1,833</b>	<b>89,9</b>

Tabela B. 27 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS8 (ELVE 0014)

Diâmetros (m)		L (m)	Peso
1	0,195	7,950	0,964
2	0,275	0,293	0,036
<b>Médio</b>	<b>0,198</b>	<b>8,243</b>	<b>1,000</b>

Tabela B. 28 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS8 (ELVE 0014)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-3	1,264	15,3
2	10-11	1,547	18,8
3	18-20	2,449	29,7
4	27-32	2,033	24,7
<b>Total</b>	<b>1-32</b>	<b>7,293</b>	<b>88,5</b>

Tabela B. 29 - Cálculo do diâmetro médio ponderado para o ramal LS9 (TRSF 0029)

Diâmetros (m)		L (m)	Peso
1	0,195	2,325	0,904
2	0,330	0,247	0,096
<b>Médio</b>	<b>0,208</b>	<b>2,572</b>	<b>1,000</b>

Tabela B. 30 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS9 (TRSF 0029)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1	0,275	10,7
2	4-5	0,270	10,5
3	13-18	1,037	40,3
<b>Total</b>	<b>1-18</b>	<b>1,582</b>	<b>61,5</b>

Tabela B. 31 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A1 (SILO 0011)

L <sub>TR</sub>	Segmentos	L <sub>TR</sub> (m)	L <sub>TR</sub> (%)
1	1-3	0,380	3,2
2	8-11	1,900	15,9
3	16-19	2,290	19,2
4	24-29	3,457	29,0
5	36-38	0,591	5,0
6	42-51	0,952	8,0
<b>Total</b>	<b>1-51</b>	<b>9,570</b>	<b>80,2</b>

Tabela B. 32 - Cálculo do diâmetro médio ponderado para o ramal LS10A2 (TRSF 0029)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,185	1,905
2	0,325	0,248
<b>Médio</b>	0,201	2,153

Tabela B. 33 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A2 (TRSF 0029)

L <sub>TR</sub>	1	2	Total
<b>Segmentos</b>	1	4-9	1-9
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	0,725	1,083	1,808
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	33,7	50,3	84,0

Tabela B. 34 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10A3 (ELVE 0016)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,455	0,105
2	0,320	1,790
3	0,195	5,080
4	0,35	0,283
<b>Médio</b>	0,236	7,258

Tabela B. 35 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10A3 (ELVE 0016)

L <sub>TR</sub>	1	2	3	4	Total
<b>Segmentos</b>	0-5	14-15	19-22	27-29	0-29
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	2,29	0,82	2,425	0,283	5,818
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	31,6	11,3	33,4	3,9	80,2

Tabela B. 36 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B1 (TRSF 0029)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,195	2,265
2	0,330	0,157
<b>Médio</b>	0,196	2,422

Tabela B. 37 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B1 (TRSF 0029)

L <sub>TR</sub>	1	2	3	Total
<b>Segmentos</b>	1	4	8-13	1-13
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	0,518	0,355	1,057	1,930
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	20,6	14,1	42,1	76,8

Tabela B. 38 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B2 (TRSF 0029)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,195	1,945
2	0,330	0,156
<b>Médio</b>	0,196	2,101

Tabela B. 39 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B2 (TRSF 0029)

L <sub>TR</sub>	1	2	Total
<b>Segmentos</b>	1-4	8-13	1-13
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	0,975	0,871	1,846
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	44,4	39,7	84,1

Tabela B. 40 - Cálculo do diâmetro médio ponderado do ramal LS10B3 (TRSF 0029)

Diâmetros (m)	L (m)	Peso
1	0,455	0,580
2	0,320	3,997
3	0,200	2,295
4	0,330	0,156
<b>Médio</b>	0,288	7,028

Tabela B. 41 - Cálculo do comprimento em troços retos (total e percentual) do ramal LS10B3 (TRSF 0029)

L <sub>TR</sub>	1	2	Total
<b>Segmentos</b>	0-8	13-18	0-18
<b>L<sub>TR</sub> (m)</b>	4,977	1,641	6,618
<b>L<sub>TR</sub> (%)</b>	69,9	23,0	92,9

Depois de identificados todos os segmentos de medição do comprimento total das condutas, realizou-se a medição dos diâmetros e comprimentos em troços retos entre segmentos, a identificação do material e a contabilização de acessórios de tubagens (joelhos, expansões, contrações, transformações de secção reta quadrada para circular, portas de limpeza, válvulas e flanges). Estes dados podem ser consultados nas Tabelas B.42 a B.68. A fase de levantamento contempla os dados base tanto para a elaboração dos diagramas, como para os balanços de massa da rede de transporte e ainda o cálculo das quedas de pressão.

Na rede de transporte a numeração dos segmentos inicia-se na derivação do ramal (ou na admissão à câmara de lavagem, no caso da linha principal) e termina na origem do ramal, ou seja, na captação ao equipamento processual. Excetuam-se as Tabelas B.42 e B.43, onde a numeração das correntes foi feita no sentido inverso.

É possível verificar então a numeração das correntes (e subcorrentes), de acordo com a Figura 3.17 do capítulo 3.4, o diagrama de convergências do sistema. O caudal volumétrico e a velocidade em cada corrente ou subcorrente indicados nas Tabelas B.42 a B.68, foram calculados no capítulo 3.4 e o exemplo de cálculo destas duas propriedades é desenvolvido no anexo B.2.1. Nos extremos das colunas de caudal e velocidade, a cinzento, foram identificados os nós, equipamentos processuais ou de recuperação que delimitam cada linha de aspiração.

Na coluna dos comprimentos de cada segmento incluem-se os comprimentos dos troços retos, pares flangeados, contrações ou expansões graduais, bem como o distância percorrida calculada ao longo do eixo nas secções curvas.

Para estas últimas distâncias quantificaram-se dois tipos de curvas: joelhos em gomos soldados e joelhos de emboque. Os primeiros foram observados em condutas de propileno na conduta principal e em todas as condutas de aço inoxidável, já os segundos estão instalados em todos os ramais de propileno.

Para os joelhos em gomos mediu-se o comprimento das geratrizes dos lados interno e externo dos gomos e através da média dos dois valores determinou-se a distância entre o centro das condutas nos extremos do segmento.

Para os joelhos de emboque mediram-se os arcos internos e externos da curvatura e através da média dos dois valores determinou-se a distância do arco ao longo do eixo central da conduta, como se encontra exemplificado na equação B.4 para o segmento 3, o primeiro gomo do primeiro joelho nas condutas de ligação entre a câmara de lavagem e o ventilador na Tabela B.46.

$$(B.4) L (m) = \frac{R_i (m) + R_e (m)}{2} = \frac{0,145 + 0,400}{2} = 0,273 m$$

Na coluna “Diâmetro” estão presentes os diâmetros externos das condutas circulares, ou as dimensões das condutas de secção reta retangular ou quadrada (captações). Na coluna seguinte indica-se o comprimento das tubagens associado a cada diâmetro.

Nos segmentos onde se verifica uma variação de diâmetro foi representado nestas colunas a cinzento e recorrendo a um sinal positivo ou negativo consoante o aumento ou redução no diâmetro. O mesmo raciocínio foi aplicado na coluna “Velocidade m(s)”.

Os diâmetros apresentados foram medidos diretamente recorrendo a um compasso de volta ou então calculados após a medição do perímetro da conduta, como exemplificado na equação B.5 para o diâmetro das condutas de ligação entre a câmara de lavagem e o ventilador na Tabela B.46.

$$(B.5) \text{ Perímetro } (m) = \pi * \varnothing (m) \leftrightarrow \varnothing = \frac{\text{Perímetro}}{\pi} = \frac{3,141}{\pi} = 1,000 \text{ m}$$

Nas colunas “Válvula”, “Porta de limpeza”, “Joelho” e “Flange”, foram realçados a cinzento os segmentos onde se encontram e foram enumerados os acessórios. Indicou-se ainda a distância entre cada par de acessórios. Saliencia-se o facto que as distâncias entre joelhos facilitaram o cálculo do comprimento dos troços retos.

Na linha “Total” é possível consultar o comprimento em troços retos de cada linha de aspiração (ou corrente(s), quando aplicável), o número de diferentes diâmetros das condutas na coluna “ $\Delta\varnothing$ ”, bem como o número de acessórios (válvulas, portas de limpeza, curvas ou pares flangeados”).

Na Tabela B.61 apresentam-se os dados obtidos na linha “BLP”, a qual é constituída pela bifurcação que liga os ramais LS10A e LS10B e origina a LP. Para facilitar a numeração das correntes as fronteiras desta linha são os pares flangeados dos 2 ramais e da linha principal, como se pode observar na Figura 3.11 do subcapítulo 3.2.3.

Nas Tabelas B.69 e B.70 apresentam-se os resultados da classificação do estado das ligações equipotenciais (LEP) nas flanges da rede de transporte e portas de limpeza. As LEP foram classificadas como: em conformidade (OK), danificadas (D), inexistentes (I) ou com necessidade de limpeza (NL).

Tabela B. 42 – Evolução das propriedades físicas ao longo dos segmentos da chaminé

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m³/h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0 (V-C)	37		0,650	Ventilador		600*900	-	-	-	-	0 (V-C)	0,650
1	38	38.1	0,225	35.774	12,7	1.000	0,225	Polipropileno	0	1	1	0,025
2										2	0,200	
3										3	2,450	
4										4	0,200	
5		38.4	22,100		41,8	550	22,300	Aço inox AISI 316 L		2	5	0,025
6										6	2,950	
7										7	0,025	
8										8	2,950	
9										9	0,025	
10										10	2,950	
11										11	0,025	
12										12	5,950	
13										13	0,025	
14										14	5,950	
15										15	0,025	
16										16	1,200	
Total	38		24,975	Ambiente		-	2	-	0	7	Total	24,975

Tabela B. 43 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas entre a câmara de lavagem e o ventilador

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Joelho	Flange	Segmento	L (m)						
0	35			Câmara de lavagem		-	-	-	-	-	0							
1	36	36.1	0,110	35.774	12,7	1.000	0	Polipropileno	0,110	0,085	1	1	0,085					
2										1	2	0,025						
3																3	0,273	
4																4	0,615	
5																5	0,615	
6																6	0,273	
7																7	0,033	
8		36.2	2,758												2,758	2,700	8	1,350
9																3	9	1,350
10																	10	0,025
11																	11	0,273
12																	12	0,615
13																	13	0,615
14																	14	0,273
15																	15	0,025
16		36.3	1,250												1,250	1,200	16	1,200
17																5	17	0,025
18																	18	0,285
19																	19	0,600
20																	20	0,600
21																	21	0,285
22		36.4	0,025												0,025	6	22	0,025
Total	36		4,143	Ventilador		-	-	-	3	6	Total	9,463						

Tabela B. 44 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte I)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)					
0	34+33=35			Câmara de Lavagem		1.035	0	-	-	-	-	0	0					
1	35	35.1	0,190	35.774	11,8	+1	12,291	Polipropileno	8,020	2,761	0,190	1	0,190					
2		35.2	1,625		12,7	1.000					0,025	1	2	0,025				
3					-	+2								1,600	3	1,600		
4														2	4	0,033		
5		35.3	0,946											0,880	5	0,880		
6														3	6	0,033		
7															7	0,225		
8														1	8	0,488		
9															9	0,488		
10															10	0,223		
11														4	11	0,030		
12															12	0,200		
13		35.4	2,363											2,363	2,300	13	1,200	
14																14	0,600	
15																15	0,300	
16						19,8					800				5	16	0,033	
17																17	0,230	
18														2	1,440	18	0,490	
19																19	0,490	
20																20	0,230	
21															6	21	0,033	
22		35.5	1,846											1	1,846	1,780	22	1,780
23															7	23	0,033	
24																24	0,228	
25														1,506	3	1,440	25	0,493
26																26	0,493	
27																27	0,228	
28		35.6	0,033												2,833	8	28	0,033

29	33+34=35	33.1/35.6	2,675/0,125	Nó XVII				2		2,800	29	2,800
----	----------	-----------	-------------	---------	--	--	--	---	--	-------	----	-------

Tabela B. 45 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte II)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m³/h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)										
30	33	33.1	6,059	34.502	19,1	800	9,262	Polipropileno	6,059	9,878	9	30	0,033										
31											2,980	31	2,980										
32											10	32	0,033										
33											2,980	33	2,980										
34											11	34	0,033										
35	33+34=35	29.1/33.1	0,980/2,000	Nó XVI				3		2,980	35	2,980											
36	29	29.1	0,223	30.742	17,0	+3		5,435		4	12	36	0,033										
37					-						37	0,190											
38					0,680						38	0,300											
39					21,6						39	0,190											
40					13						40	0,033											
41											41	0,093											
42 (Nó XIV)	25+28=29	25.1	0,350	26.833/30.742	18,8/21,6					4	0,613	42	0,218										
43 (Nó XII)	23+24=25			25.433/26.833	17,8/18,8							43	0,213										
44	23			25.433	17,8	710	1,704	Polipropileno	5,435	5	0,608	44	0,090										
45												0,033	45	0,033									
46												15	0,608	46	0,088								
47														47	0,218								
48														48	0,218								
49														49	0,085								
50												23.1	0,228	-	+4					6	1,090	50	0,033
51												23.2	0,530									51	0,195
52														0,758	0,690	52	0,315						
53														16	53	0,180							
54	54	0,035																					
55	22,7	630	5,860						7	1,520	55	0,438											
56											56	0,653											
57											0,035	17	57	0,035									
58											58	0,240											
59											59	0,520											
60											60	0,520											

61												61	0,240
62		23.3	1,523								18	62	0,033
63									4	3,003	2,970	63	1,490
64	21+22=23	21.1/23.3	1,410/0,070	Nó XI					1,480			64	1,480

Tabela B. 46 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte III)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)					
65	21	21.1	0,426	23.900	21,3	630	0,393	Polipropileno	6,183	0,426	19	65	0,033					
66											0,360	66	0,360					
67											20	67	0,033					
68		8	2,025				68			0,238								
69							69			0,515								
70							70			0,515								
71							71			0,258								
72		21.2	0,718				-			-	+5	2,276	Aço inox	1,231	0,670	72	0,500	
73																21	73	0,033
74																74	0,185	
75		21.3	0,513		-	-	-	6,200		-	-	-	75	0,300				
76													76	0,185				
77													22	77	0,028			
78													9	78	0,280			
79													79	0,420				
80													80	0,420				
81													81	0,280				
82													0,018	23	82	0,018		
83													10	1,570	83	0,160		
84															84	0,170		
85		17+20=21													85	0,170		
86	86			0,170														
87	Nó X			87					0,170									
88	17	17.1	2,058	20.712	23,4	560	6,200	Aço inox	6,183	3,543	24	88	0,170					
89												89	0,560					
90												90	0,013					
91	13+14+15=17	13.1/17.1	0,160/1,325									5	91	1,485				
92												Nó VIII	92	1,485				

Tabela B. 47 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos das condutas da linha de aspiração principal (parte IV)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)								
93	13	13.1	0,013	15.982	18,0	560	1,376	Aço inox	3,651	11	2,153	93	0,013								
94		13.2	2,275									-	-	+6	455	2,496	6	3,286	2,472	94	0,210
95																				95	0,233
96																				96	0,230
97																				97	0,230
98																				98	0,230
99																				99	0,230
100																				100	0,790
101		101	0,013																		
102		102	1,472																		
103	11+12=13	11.1/13.2	0,298/0,702	Nó VI		455	2,496	6	3,286	2,472	103	1,000									
104	11	11.1	0,011	13.617	23,3						0,011	27	104	0,011							
104	Total		32,198	Nó V (BLP)		-	6	-	6	11	27	Total	45,364								

Tabela B. 48 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS1

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	34+33=35			Nó XVII			-	-	-	-	-	0	
1	34		0,433	1.272	8,6	229	3,061	Polipropileno	7,217	0,433	0,355	1	0,355
2											1	2	0,033
3											2	3	0,045
4											3	4	0,335
5											4	5	0,045
6											5	6	0,070
7											6	7	0,045
8											7	8	0,335
9											8	9	0,045
10											9	10	1,640
11											10	11	0,033
12											11	12	0,080
13											12	13	0,205
14					13	14	0,085						
15					14	15	0,033						
16					15	16	1,140						
17					16	17	0,045						
18					17	18	0,210						
19					18	19	0,045						
20					19	20	0,340						
21					20	21	0,033						
22					21	22	0,410						
23					22	23	0,045						
24					23	24	0,210						
25					24	25	0,045						
26					25	26	1,310						
27					26	27	0,120						
28					27	28	0,330						
29					28	29	0,040						
30					29	30	0,015						
31					30	31	0,045						
32					31	32	0,250						
Total	34		6,927	TRBA 0163 (Base)			-	-	-	4	5	Total	8,017

Tabela B. 49 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS2A

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)		
0	32+29=33			Nó XVI		-	-	-	-	-	-	0	0,400		
1	32	32.1	0,502	3.760	33,3	200	0	Polipropileno	17,385	0,502	0,270	1	0,270		
2											1	0,033			
3												0,150			
4												0,049			
5											1	0,300			
6												0,050			
7											2,325	8,154	2,225		
8												0,050			
9											2	0,300			
10												0,050			
11											32.3	5,063		4,980	
12														2	0,033
13	30+31=32	30.1/32.3	3,367/2,220	Nó XV						10,968	5,587	13	5,587		
14	30	30.1	0,318	2.488	22,0	200	0	Polipropileno	17,385	10,968	3	14	0,033		
15												0,235			
16												0,050			
17												0,300			
18												0,050			
19												2,640			
20											30.2	2,946		1	0,125
21												0,083			
22												0,048			
23												0,300			
24												0,048			
25											30.3	0,368		0,861	0,430
26	30.4	0,062						Aço inox			4	26	0,038		
27											0,024	27	0,024		
Total	30/32		7,061/10,11	ELVE 0013		-	0	-	-	4	4	Total	18,371		

Tabela B. 50 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS2B

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)										
0	31+30=32			Nó XV		-	-	-	-	-	-	0	0,400										
1	31		0,450	1.272	22,0	143	3,871	Polipropileno	3,486	0,450	0,450	1	0,450										
2											1	2	0,450										
3																				3			
4																			1		4	0,210	
5																					5	0,050	
6											31.2	1,977							1,977		6	1,880	
7																					7	0,047	
8																			2		8	0,210	
9											31.3	0,122							0,122		9	0,075	
10																					10	0,047	
11																			3		11	0,210	
12																					12	0,047	
13																					13	0,260	
14											31.4	0,492							1		14	0,130	
15																					15	0,055	
16											31.5	0,150						Poliuretano		0,917		16	0,150
17											31.6	0,190							0,480			17	0,050
18															+	-1		Polipropileno				18	0,140
19																					2	19	0,040
20											31.7	0,085			10,5	207	0,085				0,045	20	0,045
Total	31		3,466	SILO 0031		-	1	-	-	3	2	Total	4,096										

Tabela B. 51 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS3A

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)	
0	28+25=29			Nó XIV		-	-	-	-	-	-	0	0,230	
1	28	28.1	1,010	3.909	26,4	229	7,783	Polipropileno	7,043	1,010	0,550	1	0,550	
2											1	0,033		
3												0,380		
4												0,047		
5											1	0,380		
6											28.2	0,047		0,047
7	26+27=28	26.1/28.2	0,589/0,986	Nó XIII								7	1,575	
8	26	26.1	2,610	3.262	22,0	229	7,783	Polipropileno	7,043	4,232	2	8	0,033	
9												2,530		
10												0,047		
11												0,340		
12											26.2	0,251		0,047
13												0,157		
14												0,047		
15												0,228		
16												0,602		
17											26.3	0,837		0,125
18												0,110		
19											26.4	0,300		0,300
20												0,205		
21											26.5	0,405		0,200
22		0,033												
23	26.6	0,058		0,025										
Total	26/28		5,050/2,043	TRSF 0048		-	1	-	-	3	3	Total	8,041	

Tabela B. 52 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS3B

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)		
0	27+26=28			Nó XIII			-	-	-	-	-	0			
1	27	27.1	0,240	647	22,0	102	2,596	Polipropileno	0,891	0,240	0,205	1	0,205		
2											1	0,035			
3											2,326	0,085			
4		27.2	1,361								1,830	2,521	2	0,270	0,048
5															0,518
6															0,125
7															0,670
8															0,810
9															0,070
10															0,010
11															0,020
12															0,270
Total											2,761	TRBA 0163 (Topo)	-	1	-

Tabela B. 53 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS4

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	24+23=25			Nó XII			-	-	-	-	-	0	
1	24	22.1	1,355	1.400	22,0	150	13,042	Polipropileno	12,577	1,355	0,830	1	0,830

2										1	2	0,033
3											3	0,445
4											4	0,047
5									1		5	0,100
6											6	0,062
7		22.2	1,915						1,915	4,828	7	1,805
8											8	0,048
9									2		9	0,215
10											10	0,046
11											11	2,060
12		22.3	4,602						4,602	2,340	12	0,033
13											13	2,340
14										3	14	0,033
15											15	0,045
16											16	0,045
17									3		17	0,215
18											18	0,045
19		22.4	1,510						1,510	2,170	19	1,420
20											20	0,045
21									4		21	0,215
22											22	0,045
23		22.5	0,628						0,628	4	23	0,095
24											24	0,033
25											25	0,410
26											26	0,045
27									5		27	0,210
28											28	0,047
29		22.6	1,807							2,887	29	1,565
30								1			30	0,125
31											31	0,070
32		22.7	0,235				Poliuretano		2,298		32	0,235
33											33	0,035
34		22.8	0,180		-	-1	Polipropileno	0,561			34	0,145
35					11,2	210					35	0,030
36		22.9	0,076			0,076	Aço inox			5	36	0,046
Total	24		12,308	TRSF 0071	-	1	-	-	5	5	Total	13,263

Tabela B. 54 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS5 (parte I)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)		
0	22+21=23			Nó XI		-	-	-	-	-	-	0			
1	22	22.1	0,444	1.533	10,7	225	6,507	Polipropileno	6,507	0,444	0,410	1	0,410		
2											1	2	0,034		
3												1	5,950	3	0,215
4												2,424		4	0,047
5		22.2	2,424							5	2,330				
6										2	6	0,047			
7												3,089		7	0,335
8		22.3	3,294							8	0,046				
9										9	2,930				
10										2	10	0,033			
11														0,080	11

Tabela B. 55 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS5 (parte II)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
12	22	22.4	1,080	1.533	-	157	8,480	Polipropileno	8,070	1,285	0,290	12	0,205
13					22,0							13	0,085
14					3							14	0,033

15												15	0,915
16												16	0,047
17									3			17	0,105
18		22.5	0,300						0,300			18	0,300
19									4			19	0,140
20		22.6	0,085						0,085			20	0,045
21									5			21	0,040
22												22	0,235
23												23	0,046
24		22.7	0,246						0,246			24	0,155
25												25	0,045
26									6			26	0,230
27												27	0,046
28		22.8	2,513						2,513			28	2,420
29												29	0,047
30									7			30	0,110
31		22.9	0,205						0,205		8,477	31	0,205
32									8			32	0,110
33												33	0,133
34		22.10	0,312						0,312			34	0,133
35												35	0,047
36									9			36	0,225
37												37	0,047
38		22.11	1,462						1,462			38	1,370
39												39	0,045
40									10			40	0,230
41												41	0,047
42		22.12	0,542									42	0,230
43												43	0,125
44								1				44	0,140
45		22.13	0,310					Poliuretano		1,008		45	0,310
46									0,606			46	0,040
47		22.14	0,156					Polipropileno				47	0,115
48				+	-1							48	0,001
48				13,6	200	0,001						48	0,001
48	22		13,370	TRBA 0167	-	2	-	-	-	10	4	Total	15,308

Tabela B. 56 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS6A

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	20+17=21											0	0,220
1	20	20.1	0,225	3.188	20,4	235	3,025	Aço inox	5,231	4,506	0,215	1	0,215

2											1	2	0,010								
3	18+19=20	18.1/20.1	0,637/0,763	Nó IX								3	1,400								
4	18	18.1	1,400	2.365	15,1	195	2,376					4	1,400								
5					-							+2		5	0,390						
6		18.2	1,481										6	0,011							
7													7	1,080							
8													8	0,055							
9													9	0,053							
10													10	0,058							
11		18.3	0,410										11	0,410							
12													12	0,050							
13													13	0,048							
14													14	0,053							
15		18.4	0,250										15	0,250							
16		18.5	0,265										16	0,265							
17		18.6	0,245										17	0,045							
18					+							-1		18	0,200						
19		18.7	0,063									8,2	320	0,063	19	0,013					
20															20	0,050					
Total		18/20			4,751/0,988							ELVE 0015		-	2	-	-	2	3	Total	6,054

Tabela B. 57 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS6B

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)	
0	19+18=20			Nó IX		-	-	-	-	-	-	0	0,240	
1	19	19.1	0,248	823	22,0	115	0	Aço inox	1,049	0,248	0,235	1	0,235	
2											1	1,821	2	0,013
3													3	0,021
4													4	0,030

5											5	0,033	
6											6	0,033	
7		19.2	0,470							0,470	7	0,470	
8											8	0,033	
9											9	0,033	
10											10	0,027	
11										2	11	0,030	
12											12	0,030	
13											13	0,030	
14											14	0,033	
15		19.3	0,600						1		15	0,600	
16		19.4	0,420					Poliuretano		1,195	16	0,420	
17		19.5	0,175					Aço inox	0,595		17	0,049	
18											2	0,126	
Total	19		1,913	PCCL 0010	-	0	-	-	-	2	2	Total	2,244

Tabela B. 58 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS7

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	15+14+13=17			Nó VIII		-	-		-	-	-	0	
1	15	15.1	0,992	2.365	22,0	195	1,790	Aço Inox	1,197	0,992	0,410	1	0,410
2											1	0,012	
3										0,570			
4										0,053			
5										0,053			
6										0,050			

7											7	0,050		
8		15.2	0,263						1		8	0,263		
9		15.3	0,330					Poliuretano			9	0,330		
10		15.4	0,200		+	-1					10	0,200		
11		15.5	0,048		7,0	345	0,048	Aço Inox	0,578	0,841	2	0,015		
12											0,033	12	0,033	
Total	15		1,833	ELVE 0012			-	1	-	-	1	2	Total	2,038

Tabela B. 59 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS8

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m³/h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	14+15+13=17			Nó VIII			-	-	-	-	-	0	
1											0,403	1	0,403
2		14.1	1,264							1,264	1	2	0,011
3												3	0,850
4												4	0,055
5												5	0,053
6												6	0,055
7										1	2,700	7	0,048
8												8	0,053
9				2.365	22,0	195	7,950	Aço inox	7,015			9	0,053
10												10	1,535
11		14.2	1,547							1,547	2	11	0,012
12												12	0,043
13												13	0,055
14												14	0,055
15										2	2,756	15	0,055
16												16	0,055
17												17	0,055

18												18	1,218
19		14.3	2,449							2,449		19	1,220
20											3	20	0,011
21												21	0,047
22												22	0,055
23												23	0,057
24												24	0,051
25												25	0,055
26												26	0,054
27		14.4	1,585									27	0,805
28									1			28	0,780
29		14.5	0,155					Poliuretano				29	0,155
30		14.6	0,200							2,033		30	0,200
31												31	0,013
32		14.7	0,093					Aço inox	0,448		4	32	0,080
Total	14		7,293	ELVE 0014	-	1	-	-	-	3	4	Total	8,243

Tabela B. 60 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS9

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)					
0	12+11=13			Nó VI		-	-	-	-	-	-	0						
1		12.1	0,275	2.365	22,0	195	2,325	Aço inox	1,535	0,275	0,375	1	0,275					
2										1		3	0,050					
3													0,050					
4		12.2	0,270											0,270	1	4	0,010	
5																	5	0,260
6	12																6	0,143
7																2	7	0,138
8																2,080	8	0,143
9															9		0,038	
10															10		0,145	
11															3		11	0,140
12																	12	0,145

13		12.3	0,455						1			13	0,455
14		12.4	0,215									14	0,215
15		12.5	0,260									15	0,120
16				+		-1						16	0,140
17		12.6	0,107		7,7	330	0,107				2	17	0,013
18					5,5	345					0,094	18	0,094
Total	12		1,582	TRSF 0029		-	1	-	-	3	2	Total	2,572

Tabela B. 61 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos da bifurcação da linha principal

Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Divisão	Segmento	L (m)
11	11.2	0,415	13.617	23,3	Origem LP	1	0,205
						2	0,045
						3	0,165
Nó V							
5			6.399	10,9	LS10A	4	0,135
						5	0,200
						6	0,065
4+1=5	4.1/5.1	0,168/0,287	Nó II			7-	0,455
4			4.494	7,7		7+	-
10			7.218	12,3	LS10B	4'	0,135
						5'	0,198
						6	0,063
		1,453	Nó IV		Total		1,665

Tabela B. 62 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A1 (parte I)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)	
0	1+4=5			Nó II		-	-	-	-	-	-	-	0		
1	1	1.1	0,380	1.905	22,0	175	9,310	Aço inox	9,310	0,785	0,380	0,370	1	1	0,310
2												1	2	0,060	
3												1	3	0,010	
4		1	0,395								4	0,055			
5											5	0,145			
6											6	0,143			
7		7	0,053												
8		1.2	1,900							1	2	8	0,010		
9												9	1,480		
10												10	0,400		
11		1	3							2	11	0,010			
12											12	0,058			
13											13	0,140			
14		2	0,470							14	0,143				
15										15	0,130				
16										16	0,010				
17		1.3	2,290							4	17	1,470			
18											18	0,800			
19											19	0,010			
20		3	0,418							20	0,058				
21										21	0,148				

22												22	0,148
23												23	0,065
24											6	24	0,010
25											0,471	25	0,460
26		1.4	3,457								3,457	26	0,011
27										2		27	1,485
28										1,491		28	1,480
29											8	29	0,011

Tabela B. 63 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A1 (parte II)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Porta de limpeza	Joelho	Flange	Segmento	L (m)		
30	1			1.905	22,0	175	2,376	Aço inox	1,687	2,626	4	0,750	30	0,125		
31													31	0,143		
32													32	0,143		
33													33	0,140		
34													34	0,143		
35											35	0,058				
36												9	36	0,011		
37			1.5								0,591		9	37	0,570	
38												10	38	0,010		
39													39	0,128		
40													5	40	0,143	
41														41	0,063	
42														11	42	0,013
43														1	43	0,124
44			1.6								0,702			0,815	44	0,014

45											0,49	45	0,490	
46											13	46	0,011	
47												47	0,050	
48					-	-1					0,190	48	0,100	
49		1.7	0,250		26,5	100*200	0,150				14	49	0,040	
50												50	0,015	
51											0,095	51	0,095	
51	1		9,570	SILO 0011		-	1	-	-	2	5	14	Total	11,935

Tabela B. 64 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A2

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)									
0	3+2=4					-	-	-	-	-	-	0										
1	2	2.1	0,725	2.129	22,0	185	1,905	Aço inox	1,070	1	2,045	1	0,725									
2																			2	0,203		
3																			3	0,143		
4		2.2	0,485												1			4	0,485			
5		2.3	0,230											Tecido				5	0,230			
6		2.4	0,260											Aço inox	0,598	1,083			6	0,120		
7										+		-1								7	0,140	
8										7,1		325								1	8	0,018
9		2.5	0,108							4,8		350	0,108							0,090	9	0,090

Total	2		1,808	TRSF 0029	-	1	-	-	1	1	Total	2,153
-------	---	--	-------	-----------	---	---	---	---	---	---	-------	-------

Tabela B. 65 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10A3 (parte I)

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
7 BLP	5	5.1	0,287	6.399	10,9							6 BLP	
4+1=5				Nó II		-	-	-	-	-	-	7 BLP	0,492
7 BLP	4	4.1	0,168	4.494	7,7	455	0,105	Aço inox	6,215	2,290	4,890	0	0,010
0	4	4.1	0,105									15,5/7,7	+1
1		4.2	0,320		2	0,320							
2	2+3=4	2.1/4.2	1,297/0,172	Nó I		320	1,470					3	1,470
3				2	2.2	0,395	+2					4	0,385
4	5	6	0,063										
6	2			2.365	22,0	195	4,695					7	0,108
7												8	0,100
8												9	0,078
9												10	0,065
10												11	0,080
11												12	0,095
12												13	0,103
13												14	0,625
14												15	0,195
15												16	0,103
16	17	0,105											
17	18	0,103											
18	19	0,825											
19	2	2.3	0,820					2	0,820				
15	16	2.4	1,105					3	2,425				

20												20	0,280
21		2.5	1,000					Poliuretano				21	1,000
22		2.6	0,320						1			22	0,320
23												23	0,145
24											4	24	0,140
25												25	0,140
26												26	0,015
27		2.7	0,205									27	0,205
28												28	0,048
29		2.8	0,078								0,283	29	0,030
29	2/4/5		5,220/0,765/0,287	ELVE 0016							4	Total	7,258

Tabela B. 66 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B1

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)
0	9+8=10			Nó IV		-	-	-	-	-	-	0	
1		9.1	0,518	2.365	22,0	195	2,265	Aço inox	1,455	0,518	2,405	1	0,518
2			2									0,080	
3			3									0,080	
4		9.2	0,355									4	0,355
5			5									0,143	
6			6									0,138	
7			7									0,143	
8		9.3	0,425					1	0,425				
9		9.4	0,255					Tecido	0,255				
10			10					0,130					
11		9.5	0,270						1,057	11	0,140		
12										1	0,017		
13		9.6	0,107								0,090	13	0,090

Total	9		1,930	TRSF 0029	-	1	-	-	2	1	Total	2,512
-------	---	--	-------	-----------	---	---	---	---	---	---	-------	-------

Tabela B. 67 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B2

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)					
0	7+6=8			Nó III			-	-	-	-	-	0						
1	7	7.1	0,975	2.365	22,0	195	1,945	Aço inox	1,325	0,975	0,485	1	0,485					
2												1	0,010					
3												0,470	0,470					
4												2	0,010					
5													1		0,060			
6															1	0,148		
7																1	0,143	
8		7.2	0,280										1		1,110	8	0,280	
9		7.3	0,210									Tecido				9	0,210	
10		7.4	0,270													10	0,130	
11										+	-1			0,591	0,871		11	0,140
12		7.5	0,111							7,7	330	0,111	Aço inox			3	12	0,016
13										5,5	345							
13	7		1,846	TRSF 0029			-	-	-	1	3	Total	2,196					

Tabela B. 68 - Evolução das propriedades físicas nos segmentos do ramal LS10B3

Segmento	Corrente	Subcorrente	L <sub>TR</sub> (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	ΔØ	Material	Válvula	Joelho	Flange	Segmento	L (m)		
6'BLP	7+6=8			Nó V		-	-	-	-	-	-	6'BLP			
0	10	10.1	0,010	7.218	12,3	455	0,580	Aço inox	5,482	4,977	1	0	0,010		
1	8+9=10	8.1/10.1	0,112/0,458	Nó IV									1,025	1	0,570
2	8	8.2	1,966	4.853	16,8-8,3	+1						2	2	0,455	
3					16,8							3	3	0,011	
4													4	4	1,500
5	6+7=8	6.1/8.2	0,848/0,652	Nó III		320	3,542						3,000	5	1,500
6	6	6.1	0,531	2.488	8,6								3	6	0,011
7		6.2	0,400		-	+2							7	0,520	
8													8	0,400	
9														9	0,075
10													1	10	0,145
11														11	0,140
12														12	0,145
13			6.3		0,980					1	13	0,980			
14		6.4	0,280						14	0,280					
15		6.5	0,270						15	0,130					
16					+	-1			16	0,140					
17		6.6	0,111		8,1	330		Aço inox	0,661	1,641		17	0,016		
18				5,8	345	0,111					0,095	18	0,095		

18	6/8/10	3,420/2,730/0,468	TRSF 0029	-	3	-	-	1	4	Total	7,123
----	--------	-------------------	-----------	---	---	---	---	---	---	-------	-------

Tabela B. 69 - Levantamento e classificação das LEP (parte I)

Linha	Nº LEP / Classificação						
Chaminé	1	2	3	4	5	6	7
	NL	NL	I	I	I	I	I
CL-V	1	2	3	4	5	6	
	OK	OK	OK	NL	D	D	
LP	1	2	3	4	5	6	7
	OK	I	OK	NL	NL	NL	NL
	8	9	10	11	12	13	14
	NL	NL	D	D	NL	NL	NL
	15	16	17	18	19	20	21
	NL	NL	NL	OK	NL	NL	OK
	22	23	24	25	26	27	
D	OK	D	NL	I	NL		
LS1	1	2	3	4	5		
	NL	D	OK	I	I		
LS2A	1	2	3	4			
	OK	OK	NL	I			
LS2B	1	2					
	NL	I					
LS3A	1	2	3				
	D	NL	I				
LS3B	1	2					
	NL	I					
LS4	1	2	3	4	5		
	D	NL	NL	D	I		
LS5	1	2	3	4			

	<b>D</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>I</b>	
<b>LS6A</b>	1	2	3		
	<b>OK</b>	<b>D</b>	<b>OK</b>		
<b>Linha</b>	<b>Nº LEP / Classificação</b>				

Tabela B. 70 - Levantamento e classificação das LEP (parte II)

<b>Linha</b>	<b>Nº LEP / Classificação</b>						
<b>LS6B</b>	1	2					
	<b>OK</b>	<b>I</b>					
<b>LS7</b>	1	2					
	<b>OK</b>	<b>I</b>					
<b>LS8</b>	1	2	3	4			
	<b>NL</b>	<b>NL</b>	<b>NL</b>	<b>I</b>			
<b>LS9</b>	1	2					
	<b>I</b>	<b>I</b>					
<b>LS10A1</b>	1	2	3	4	5	6	7
	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
	8	9	10	11	12	13	14
	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>
<b>LS10A2</b>	1						
	<b>I</b>						
<b>LS10A3</b>	1	2	3				
	<b>OK</b>	<b>I</b>	<b>I</b>				
<b>LS10B1</b>	1						
	<b>I</b>						
<b>LS10B2</b>	1	2	3				
	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>				
<b>LS10B3</b>	1	2	3	4			
	<b>OK</b>	<b>I</b>	<b>OK</b>	<b>I</b>			
<b>Portas de Limpeza</b>	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	
	<b>OK</b>	<b>I</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	
	LS10A1.1	LS10A1.2	C1	C2	C3		
	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>I</b>	<b>I</b>	<b>I</b>		

<b>Total</b>	<b>Global</b>	<b>OK</b>	<b>NL</b>	<b>D</b>	<b>I</b>	
	<b>115</b>	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>12</b>	<b>47</b>	
<b>Proporção (%)</b>	100,0	23,5	25,2	10,4	40,9	

Na Tabela B.71 encontram-se indicadas as temperaturas registadas nas captações do sistema e a cota de cada ponto de medição. Recorrendo a uma tabela de propriedades do ar realizou-se uma interpolação linear para determinar a massa volúmica e a viscosidade absoluta do ar à temperatura analisada.<sup>[9]</sup>

Como exemplo de cálculo, considerou-se a interpolação linear da viscosidade do ar na captação LS1. Conhecida a temperatura do ar, são necessários dois conjuntos de valores conhecidos de temperatura e viscosidade. A temperatura registada do ar deve estar contida na gama de temperaturas considerada.

Definindo as temperaturas como  $x$  e  $y$  para as viscosidades e recorrendo ao subscrito  $i$  e  $s$  para, respetivamente, o valor inferior e superior das propriedades, podemos calcular a viscosidade absoluta  $y$  para a temperatura  $x$  através da equação B.6.

$$(B.6) \quad y = \frac{\left[ y_s + y_i * \left( \frac{x_s - x}{x - x_i} \right) \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{x_s - x}{x - x_i} \right) \right]}$$

Para a temperatura do ar na captação LS1 de 26,0 °C, as temperaturas consideradas foram 20,0 e 30,0 °C, cujas viscosidades correspondem a, respetivamente, 18,24 e 18,72.10<sup>-6</sup> Pa.s. Podemos então calcular a viscosidade do ar para a temperatura registada:

$$y = \frac{\left[ 18,72 * 10^{-6} + 18,24 * 10^{-6} * \left( \frac{30,0 - 26,0}{26,0 - 20,0} \right) \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{30,0 - 26,0}{26,0 - 20,0} \right) \right]} = 18,53 * 10^{-6} \text{ Pa. s}$$

Tabela B. 71 - Listagem da temperatura e outras propriedades do ar para cada captação <sup>[9]</sup>

Captação	Designação técnica	Temperatura do ar na captação (°C)	Massa volúmica do ar a T e 1 bar (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta do ar a T e 1 bar (10 <sup>-6</sup> Pa.s)	Cota (m)
LS1	TRBA 0163	26,0	1,205	18,53	1,00
LS2A	ELVE 0013	35,2	1,129	18,97	18,40
LS2B	SILO 0031	33,9	1,135	18,91	15,00
LS3A	TRSF 0048	29,0	1,192	18,67	3,95
LS3B	TRBA 0163	27,0	1,201	18,58	6,70
LS4	TRSF 0071	26,3	1,204	18,54	3,23
LS5	TRBA 0167	26,5	1,203	18,55	5,55
LS6A	ELVE 0015	33,2	1,137	18,87	13,00
LS6B	PCCL 0010	35,0	1,131	18,96	11,90
LS7	ELVE 0012	34,0	1,134	18,91	17,87
LS8	ELVE 0014	36,0	1,127	19,01	18,05
LS9	TRSF 0029	36,3	1,126	19,02	16,15
LS10A1	SILO 0011	28,1	1,196	18,63	13,30
LS10A2	TRSF 0029	36,3	1,126	19,02	16,15
LS10A3	ELVE 0016	38,2	1,119	19,11	21,55
LS10B1	TRSF 0029	36,3	1,126	19,02	16,15
LS10B2	TRSF 0029	36,3	1,126	19,02	16,15
LS10B3	TRSF 0029	36,3	1,126	19,02	16,15
<b>Média</b>		<b>32,8</b>	<b>1,139</b>	<b>18,85</b>	<b>12,79</b>

Na Tabela B.72 estão listadas as velocidades medidas em todas as captações no dia 8 de julho e calculou-se o caudal volumétrico dos ramais pela equação B.7, a partir da velocidade e do diâmetro da conduta no ponto de medição. Tomou-se como exemplo de cálculo o caudal volumétrico da captação LS1.

$$(B.7) Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = v \left( \frac{m}{s} \right) * A (m^2) * 3.600 \left( \frac{s}{h} \right) = 15,3 * 0,25\pi * 0,143^2 * 3.600 = 884,6 \frac{m^3}{h}$$

Tabela B. 72 - Medição da velocidade do ar nos ramais da instalação no dia 8 de julho

Captação	Equipamento	Ponto de medição	Velocidade registada (m/s)	Diâmetro no ponto de medição (m)	Caudal volumétrico (m³/h)
LS1	TRBA 0163	Manga flexível	15,3	0,143	884,6
LS2A	ELVE 0013	Porta de homem do elevador	0,0	0,200	0,0
LS2B	SILO 0031	Ligação ao topo do silo	0,0	0,207	0,0
LS3A	TRSF 0048	Manga flexível	0,0	0,229	0,0
LS3B	TRBA 0163	Manga flexível	0,0	0,102	0,0
LS4	TRSF 0071	Manga flexível	2,2	0,150	140,0
LS5	TRBA 0167	Manga flexível	7,3	0,157	508,8
LS6A	ELVE 0015	Manga flexível	3,5	0,320	1.013,4
LS6B	PCCL 0010	Manga flexível	4,0	0,115	149,6
LS7	ELVE 0012	Manga flexível	11,5	0,195	1.236,4
LS8	ELVE 0014	Manga flexível	0,0	0,195	0,0
LS9	TRSF 0029	Pano	1,5	0,195	161,3
LS10A1	SILO 0011	Porta de limpeza	2,9	0,175	251,1
LS10A2	TRSF 0029	Pano	0,6	0,185	58,1
LS10A3	ELVE 0016	Manga flexível	3,1	0,195	333,3
LS10B1	TRSF 0029	Pano	14,5	0,195	1.558,9
LS10B2	TRSF 0029	Pano	7,9	0,195	849,4
LS10B3	TRSF 0029	Pano	9,5	0,200	1.074,4
<b>Média</b>			<b>4,7</b>	<b>Total</b>	<b>8.219,1</b>

### B.1.3 Etapa de recuperação de poeiras

Na Figura B.2 pode-se consultar um esquema representativo da configuração do ventilador BN3-900. [Adaptado de 50]

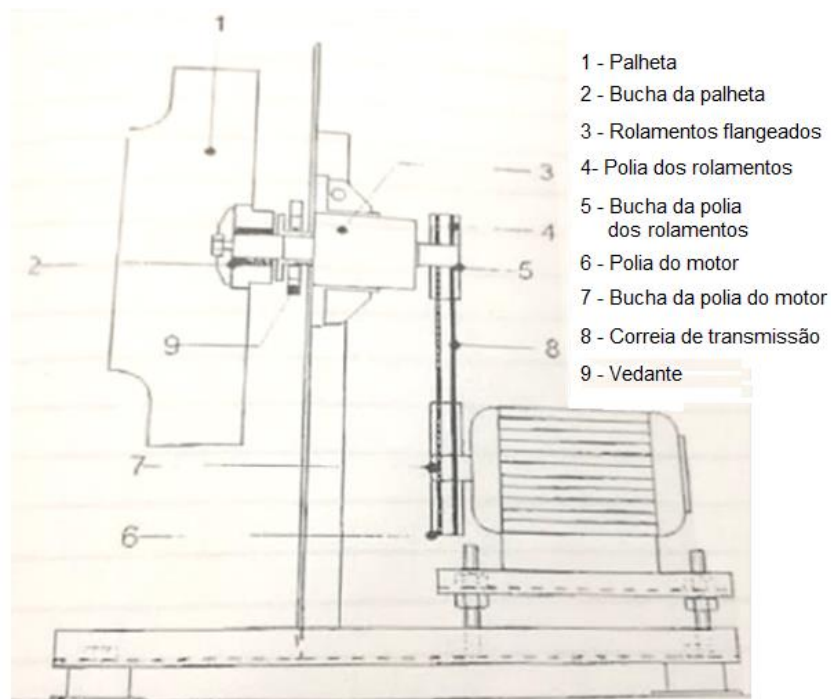


Figura B. 2 - Legenda da configuração do ventilador BN3-900 [Adaptado de 50]

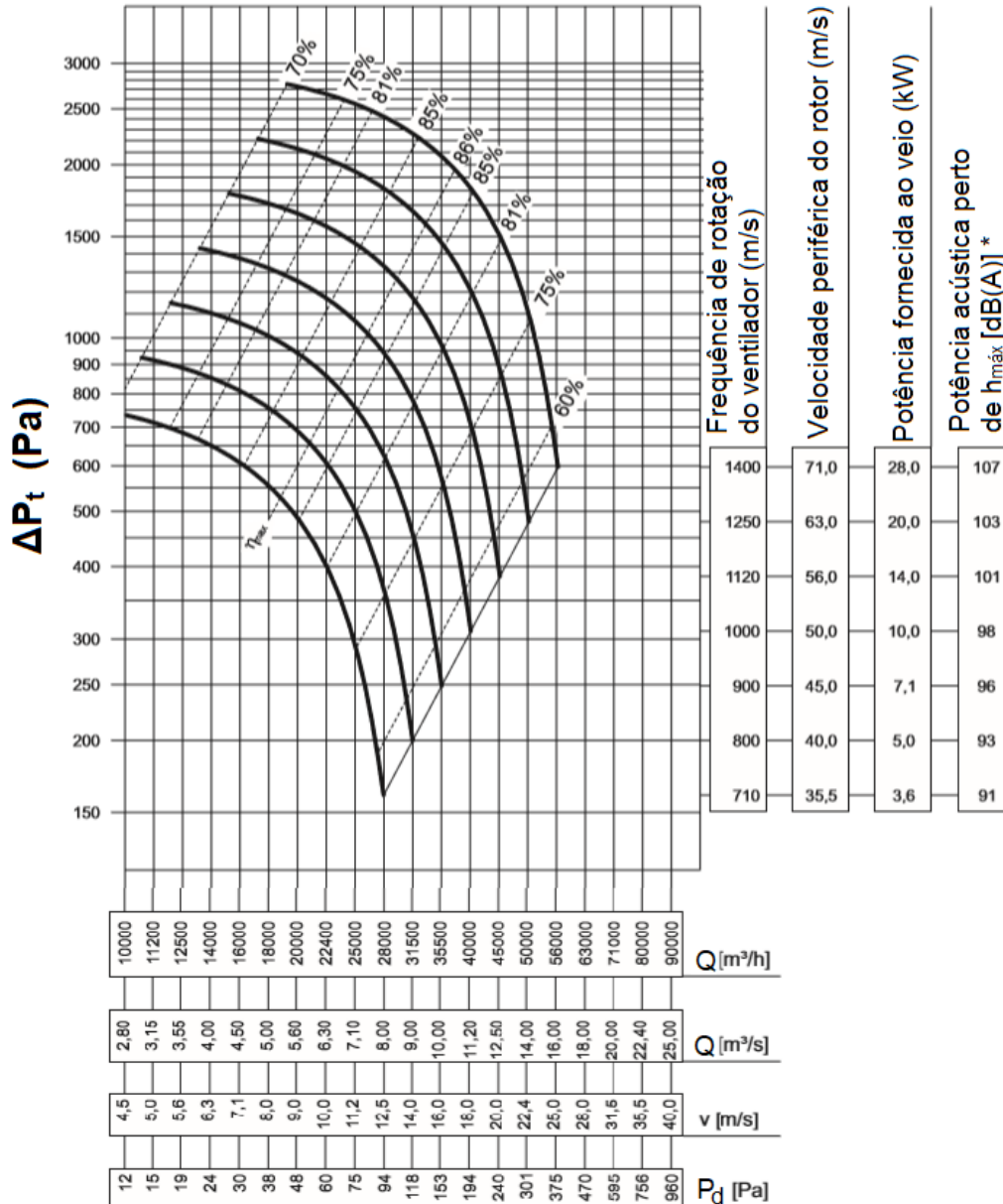
Na Figura B.3 encontra-se representada a curva característica do ventilador BN3-900. [Adaptado de 49]

Nas Tabelas B.73 a B.94 indicam-se os resultados dos ensaios realizados ao tanque de lavagem.

# Ventilador radial de alta performance de qualidade industrial **BN3-900**



Temperatura do ar: **T = 20°C**  
 Massa volúmica do ar:  **$\rho = 1,2\text{kg/m}^3$**   
 Max. Peripheral Blade Speed: **U = 63,0m/s**



Scheidt Ventilatoren GmbH

Figura B. 3 - Curva característica do ventilador BN3-900 da Vakutec [Adaptado de 49]

Tabela B. 73 - Análise da composição das águas doces no dia 30 de maio

Data	30 de maio			
Ponto de amostragem	Ensaio	Hora	°Bx	°Bx médio
Câmara de Lavagem (Descarga)	1	10:53	5,6	6,7
	2	11:30	6,6	
	3	13:50	6,8	
	4	15:02	6,5	
	5	16:00	7,3	
	6	16:46	7,4	
Overflow de águas doces	1	11:30	7,5	7,4
	2	13:50	7,4	
	3	15:02	7,0	
	4	16:00	7,7	
	5	16:46	7,5	
Recirculação	1	15:02	6,6	7,1
	2	16:00	7,3	
	3	16:46	7,5	

Tabela B. 74 - Análise da composição das águas doces no dia 1 de junho

Data	01 de junho			
Ponto de amostragem	Ensaio	Hora	°Bx	°Bx médio
Câmara de Lavagem (Descarga)	1	10:30	6,1	6,0
	2	11:10	5,8	
	3	13:55	5,9	
	4	14:30	6,3	
	5	15:33	5,8	
Overflow de águas doces	1	10:30	5,6	5,9
	2	11:10	5,9	
	3	13:55	6,3	
	4	14:30	6,1	
	5	15:33	5,6	
Recirculação	1	10:30	6,0	5,9
	2	11:10	5,8	
	3	13:55	5,9	
	4	14:30	6,2	
	5	15:33	5,8	

Tabela B. 75 - Análise da composição das águas doces no dia 8 de junho

Data	08 de junho			
Ponto de amostragem	Ensaio	Hora	°Bx	°Bx médio
Câmara de Lavagem (Descarga)	1	14:26	8,5	8,0
	2	14:55	7,9	
	3	15:15	8,1	
	4	15:33	7,4	
Overflow de águas doces	1	14:26	9,1	8,8
	2	14:55	8,8	
	3	15:15	8,6	
	4	15:33	8,6	
Recirculação	1	14:26	8,3	7,9
	2	14:55	8,0	
	3	15:15	7,8	
	4	15:33	7,6	

Tabela B. 76 - Análise da composição das águas doces no dia 16 de junho

Data	16 de junho			
Ponto de amostragem	Ensaio	Hora	°Bx	°Bx médio
Câmara de Lavagem (Descarga)	1	13:28	0,7	0,7
	2	13:50	0,6	
Overflow de águas doces	1	10:46	4,3	4,7
	2	11:15	4,2	
	3	11:34	3,6	
	4	13:28	5,4	
	5	13:50	6,1	
Recirculação	1	10:47	1,7	1,2
	2	11:16	1,6	
	3	11:29	1,6	
	4	13:28	0,7	
	5	13:50	0,5	

Tabela B. 77 - Análise da composição das águas doces no dia 27 de junho

<b>Data</b>	<b>27 de junho</b>			
<b>Ponto de amostragem</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Hora</b>	<b>°Bx</b>	<b>°Bx médio</b>
<b>Câmara de Lavagem (Descarga)</b>	1	10:35	<b>7,0</b>	<b>6,1</b>
	2	11:15	<b>7,0</b>	
	3	13:55	<b>5,7</b>	
	4	14:30	<b>4,6</b>	
<b>Overflow de águas doces</b>	1	10:35	<b>7,4</b>	<b>6,4</b>
	2	11:15	<b>7,8</b>	
	3	13:55	<b>5,4</b>	
	4	14:30	<b>4,8</b>	
<b>Recirculação</b>	1	10:35	<b>7,0</b>	<b>6,1</b>
	2	11:15	<b>7,0</b>	
	3	13:55	<b>5,7</b>	
	4	14:30	<b>4,7</b>	

Tabela B. 78 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 1 de junho

Data	01 de junho	
Hora	Ponto de medição	T (°C)
10:30	Água	33,7
11:30	Ambiente	26,0
11:07	Corrente M	33,4
11:12	Corrente AD <sub>2</sub>	41,2
13:45	Água	34,0
13:45	Ambiente	26,5
13:49	Corrente AD <sub>2</sub>	44,0
14:42	Corrente AD <sub>2</sub>	41,6

Tabela B. 79 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 8 de junho

Data	08 de junho	
Hora	Ponto de medição	T (°C)
15:35	Ambiente	31,3
15:36	Corrente AD <sub>2</sub>	39,1
15:37	Água	34,1
15:38	Corrente M	28,5

Tabela B. 80 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 16 de junho

Data	16 de junho	
Hora	Ponto de medição	T (°C)
10:37	Corrente AD <sub>2</sub>	49,0
10:45	Água	28,0
10:52	Corrente AD <sub>2</sub>	48,5
13:31	Ambiente	31,5
13:31	Água	27,0
13:31	Corrente AD <sub>2</sub>	49,5
13:31	Corrente M	25,8

Tabela B. 81 - Medição da temperatura do ar ambiente e das correntes de água doce da estação de tratamento no dia 27 de junho

Data	27 de junho	
Hora	Ponto de medição	T (°C)
10:40	Ambiente	24,6
	Água	32,2
	Corrente AD <sub>2</sub>	39,5
	Corrente M	25,8
11:15	Ambiente	26,8
	Água	34,6
	Corrente AD <sub>2</sub>	39,0
	Corrente M	26,1
13:55	Ambiente	27,7
	Água	36,3
	Corrente AD <sub>2</sub>	48,4
	Corrente M	24,7

$$(B.8) Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{V (mL) * 10^{-3} \left( \frac{L}{mL} \right) * 1 \left( \frac{dm^3}{L} \right) * 10^{-3} \left( \frac{m^3}{dm^3} \right)}{t (s) * \frac{1}{3600} \left( \frac{h}{s} \right)} \leftrightarrow Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{700 * 10^{-6}}{0,86 * \frac{1}{3600}} = 2,930 \frac{m^3}{h}$$

$$(B.9) \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 1.000 * \left[ 1 + \frac{^{\circ}Bx * (^{\circ}Bx + 200)}{54.000} \right] * \left[ 1 - 0,036 * \left( \frac{T (^{\circ}C) - 20}{160 - T (^{\circ}C)} \right) \right] = 1.000 * \left[ 1 + \frac{7,50 * (7,50 + 200)}{54.000} \right] * \left[ 1 - 0,036 * \left( \frac{40,0 - 20}{160 - 40,0} \right) \right] = 1.022,65 \frac{kg}{m^3}$$

Tabela B. 82 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 1º conjunto de ensaios realizados

Data	30/maio	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
10:30	1º Conjunto	40,0	1	700	0,86	2,930	2.996,6
		°Bx	2	800	1,20	2,400	2.454,4
		7,50	3	1150	0,91	4,549	4.652,5
		ρ (kg/m³)	4	1350	1,21	4,017	4.107,5
		1022,65	5	1450	1,17	4,462	4.562,6
			6	1450	1,00	5,220	5.338,2
Média						3,930	4.018,6
Desvio-padrão						0,843	862,1

Tabela B. 83 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 2º conjunto de ensaios realizados

Data	30/maio	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
11:00	2º Conjunto	40,0	1	2500	2,21	4,072	4.164,6
			2	2250	1,70	4,765	4.872,6
		°Bx	3	2500	1,77	5,085	5.199,9
		7,50	4	3000	2,10	5,143	5.259,3
			5	3000	2,32	4,655	4.760,6
			6	3000	2,10	5,143	5.259,3
		ρ (kg/m³)	7	3250	2,21	5,294	5.414,0
		1022,65	8	3250	2,55	4,588	4.692,1
			9	2500	1,89	4,762	4.869,7
			10	3000	2,88	3,750	3.834,9
<b>Média</b>						<b>4,726</b>	<b>4.832,7</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,367</b>	<b>375,7</b>

Tabela B. 84 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 30 de maio, 3º conjunto de ensaios realizados

Data	30/mai	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)	
15:00	3º Conjunto	40,0	1	2500	3,04	2,961	3.021,7	
		°Bx	2	1500	1,54	3,506	3.579,0	
		7,00	3	2250	2,54	3,189	3.254,9	
ρ (kg/m³)	4		1750	1,88	3,351	3.420,3		
1020,67	<b>Média</b>						<b>3,252</b>	<b>3.319,0</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,177</b>	<b>180,7</b>	

Tabela B. 85 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 1 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados

Data	01/jun	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)
10:55h	1º Conjunto	41,2	1	3250	2,68	4,366	4.432,7
		°Bx	2	3000	2,23	4,843	4.917,4
		5,75	3	3250	2,45	4,776	4.848,8
			4	3250	2,45	4,776	4.848,8
		ρ (kg/m <sup>3</sup> )	5	3500	2,63	4,791	4.864,4
		1015,34	6	3250	2,20	5,318	5.399,8
			7	3250	2,23	5,247	5.327,1
<b>Média</b>						<b>4,874</b>	<b>4.948,4</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,234</b>	<b>237,2</b>

Tabela B. 86 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 1 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados

Data	01/jun	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)
14:13	2º Conjunto	41,6	1	2000	1,38	5,217	5.303,8
14:13			2	2500	1,87	4,813	4.892,5
14:15			3	3000	2,05	5,268	5.355,5
14:17			4	2500	2,28	3,947	4.012,7
14:33			5	2500	2,45	3,673	3.734,3
14:34		°Bx	6	2250	1,47	5,510	5.601,5
14:35		6,10	7	2000	2,07	3,478	3.535,9
14:36			8	2250	2,34	3,462	3.518,9
14:37			9	2500	2,20	4,091	4.158,7
14:38			10	2000	1,23	5,854	5.950,6
14:39		ρ (kg/m <sup>3</sup> )	11	2500	1,62	5,556	5.647,6
14:40		1016,56	12	2500	1,47	6,122	6.223,8
14:41			13	3250	2,09	5,598	5.690,8
14:43			14	3000	2,21	4,887	4.967,8
14:44			15	2500	1,58	5,696	5.790,5
14:45			16	3250	2,07	5,652	5.745,8
<b>Média</b>						<b>5,624</b>	<b>5.716,7</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,767</b>	<b>779,5</b>

Tabela B. 87 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 8 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados

Data	08/jun	T (°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
14:51	1º Conjunto	39,1	1	1750	2,40	2,625	2.697,5
14:58			2	1750	2,09	3,014	3.097,6
15:00			3	2000	2,25	3,200	3.288,4
15:01		°Bx	4	1750	1,51	4,172	4.287,4
15:04		8,67	5	2250	1,37	5,912	6.075,7
15:08			6	2000	2,31	3,117	3.202,9
15:17			7	2250	2,36	3,432	3.527,0
15:19			8	2000	2,02	3,564	3.662,8
15:24		ρ (kg/m³)	9	2250	2,11	3,839	3.944,9
15:26		1027,61	10	2750	2,70	3,667	3.767,9
15:29			11	2250	1,49	5,436	5.586,3
15:41			12	1750	2,01	3,134	3.220,9
<b>Média</b>						<b>3,759</b>	<b>3.863,3</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,720</b>	<b>740,2</b>

Tabela B. 88 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados

Data	16/jun	T (°C)	Amostra	Volume (L)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
11:25	1º Conjunto	49,0	1	200	140	5,142	5.172,1
			2	300	210	5,142	5.172,1
		°Bx	3	400	290	4,500	4.525,6
		4,03	4	450	320	6,000	6.034,1
		ρ (kg/m³)	5	500	360	4,500	4.525,6
		1005,69	6	550	390	6,000	6.034,1
			7	600	435	4,000	4.022,8
<b>Média</b>						<b>5,041</b>	<b>5.069,5</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,606</b>	<b>609,9</b>

Tabela B. 89 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados

Data	16/jun	T (°C)	Amostra	Volume (L)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
13:37	2º Conjunto	49,0	1	200	138	5,217	5.281,6
			2	250	173	5,143	5.206,1
			3	300	210	4,865	4.924,7
			4	350	256	3,913	3.961,2
		°Bx	5	400	290	5,294	5.359,2
		5,75	6	450	326	5,000	5.061,5
			7	500	371	4,000	4.049,2
			8	550	420	3,673	3.718,6
		ρ (kg/m³)	9	600	470	3,600	3.644,3
		1012,30	10	650	525	3,273	3.313,0
			11	750	635	3,273	3.313,0
			12	800	690	3,273	3.313,0
			13	850	750	3,000	3.036,9
<b>Média</b>						<b>3,442</b>	<b>3.461,3</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,759</b>	<b>768,3</b>

Tabela B. 90 - Determinação experimental do caudal da corrente overflow, no dia 16 de junho, 3º conjunto de ensaios realizados

Data	16/jun	T (°C)	Amostra	Volume (L)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
15:00	3º Conjunto	49,0	1	150	110	4,909	4.969,5
		°Bx	2	200	160	3,600	3.644,3
		6,10	3	250	205	4,000	4.049,2
		ρ (kg/m³)	4	300	255	3,600	3.644,3
		1013,66	5	350	346	1,978	2.002,3
<b>Média</b>						<b>3,617</b>	<b>3.666,8</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,670</b>	<b>677,9</b>

Tabela B. 91 - Determinação experimental do caudal da água da rede, no dia 9 de junho, 1º conjunto de ensaios realizados

Data	09/jun	T(°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
16:30	1º conjunto	28	1	550	15,07	0,1314	130,9
		<b>p (kg/m³)</b>	2	500	14,97	0,1202	119,8
		996,21	3	500	15,94	0,1129	112,5
			4	500	15,33	0,1174	117,0
<b>Média</b>						<b>0,1205</b>	<b>120,0</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,0050</b>	<b>5,4</b>

Tabela B. 92 – Determinação experimental do caudal da água da rede, no dia 9 de junho, 2º conjunto de ensaios realizados

Data	09/jun	T(°C)	Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)
17:00	2º conjunto	28	1	650	10,33	0,2265	225,7
		<b>p (kg/m³)</b>	2	650	10,35	0,2261	225,2
		996,21	3	650	10,27	0,2278	227,0
			4	650	10,20	0,2294	228,5
<b>Média</b>						<b>0,2275</b>	<b>226,6</b>
<b>Desvio-padrão</b>						<b>0,0012</b>	<b>1,2</b>

Tabela B. 93 - Determinação da proporção de tempo em que a BBCE 0132 opera em regime contínuo

Nº de accionamentos	Horas	Duração (s)	t ensaio (min)
1	14:22	675	87,00
2	14:40	760	<b>t carga (min)</b>
3	15:00	760	59,67
4	15:19	815	<b>% Operação Contínua</b>
5	15:39	570	<b>68,6</b>

Tabela B. 94 - Determinação experimental do caudal horário médio da BBCE 0132

Dia	16/jun	Amostra	Volume (L)	Tempo (s)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	Caudal médio (kg/h)
10:45	1º Conjunto	1	550	90	22,0	22085,9	16910,9
		2	450	150	10,8	10842,2	8301,7
<b>Média</b>					<b>16,4</b>	<b>16464,0</b>	<b>12606,3</b>
14:04	2º Conjunto	1	200	60	12,0	12004,0	9191,3
		2	250	80	9,0	9003,0	6893,5
		3	300	100	9,0	9003,0	6893,5
		4	350	120	9,0	9003,0	6893,5
<b>Média</b>					<b>9,8</b>	<b>9753,2</b>	<b>7467,9</b>
14:45	3º Conjunto	1	200	60	12,0	12004,0	9191,3
		2	250	80	9,0	9003,0	6893,5
		3	300	100	9,0	9003,0	6893,5
		4	350	115	12,0	12004,0	9191,3
		5	400	135	9,0	9003,0	6893,5
		6	450	152	10,6	10591,7	8109,9
<b>Média</b>					<b>10,3</b>	<b>10268,1</b>	<b>7862,1</b>

## B.2 Balanço de massa global

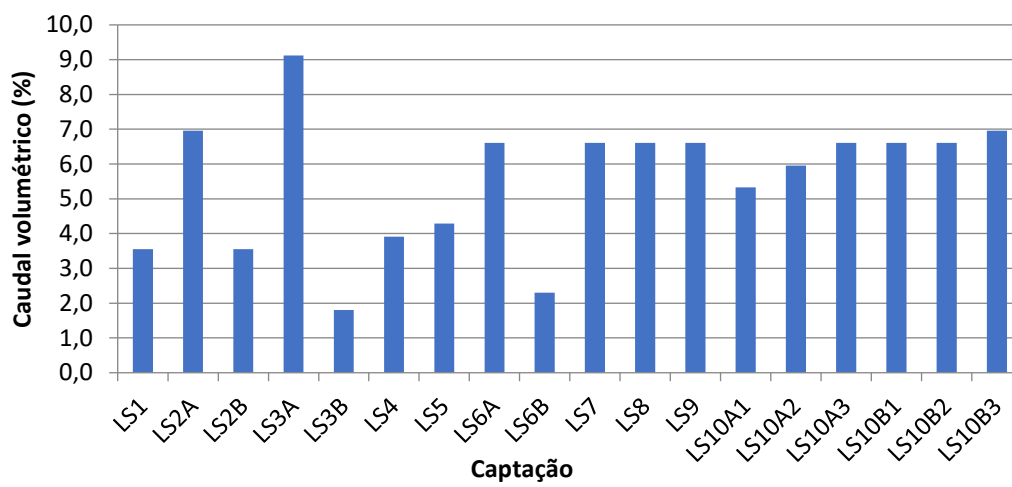


Figura B. 4 - Distribuição do caudal de aspiração por ramal

Na Tabela B.95 efetuou-se o cálculo da velocidade do ar na captação para a gama de velocidades de transporte considerada, recorrendo ao balanço de massa. Visto que não existem entradas nem saídas de ar entre a captação (subscrito 0) e a conduta (subscrito 1), na equação B.6 verificamos que:

$$(B.6) Q_0 = Q_1 \leftrightarrow v_0 * A_0 = v_1 * A_1 \leftrightarrow v_0 = v_1 * \frac{A_1}{A_0}$$

A velocidade na captação é então função do produto da velocidade de transporte com o quociente das áreas. Quando as captções são circulares, podemos aplicar a equação B.7, tomando como exemplo a velocidade na captação LS2B quando a velocidade de transporte é de 22 m/s.

$$(B.7) v_0 = v_1 * \frac{0,25 * \pi * D_1^2}{0,25 * \pi * D_0^2} \leftrightarrow v_0 = v_1 * \left(\frac{D_1}{D_0}\right)^2 \leftrightarrow v_0 \left(\frac{m}{s}\right) = 22 \left(\frac{m}{s}\right) * \left(\frac{0,143}{0,207}\right)^2 \frac{(m^2)}{(m^2)} \leftrightarrow v_0 = 10,5 \text{ m/s}$$

$$(B.8) v_0 \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{Q_0 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{A_0 (m^2) * 3.600 \left(\frac{s}{h}\right)} = \frac{1.272}{0,25\pi * (0,207^2) * 3.600} = 10,5 \text{ m/s}$$

Tabela B. 95 - Recálculo das velocidades de captação para os ramais da instalação

Captação	Designação técnica do equipamento	Q <sub>0</sub> = Q <sub>1</sub> - Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h), para v <sub>1</sub> = 22 m/s	D <sub>1</sub> - Diâmetro da conduta(m)	Geometria da secção reta na captação	D <sub>0</sub> - Diâmetro hidráulico captação (m)	v <sub>0</sub> - Velocidade de captação (m/s)		
						v <sub>1</sub> = 20 m/s	v <sub>1</sub> = 22 m/s	v <sub>1</sub> = 25 m/s
LS1	TRBA 0163	1.272	0,143	Base quadrada	0,250	5,1	5,7	6,4
LS2A	ELVE 0013	2.488	0,200	Base circular	0,200	20,0	22,0	25,0
LS2B	SILO 0031	1.272	0,143	Base circular	0,207	9,5	10,5	11,9
LS3A	TRSF 0048	3.262	0,229	Base circular	0,264	15,0	16,6	18,8
LS3B	TRBA 0163	647	0,102	Base quadrada	0,250	2,6	2,9	3,3
LS4	TRSF 0071	1.400	0,150	Base circular	0,210	10,2	11,2	12,8
LS5	TRBA 0167	1.533	0,157	Base circular	0,200	12,3	13,6	15,4
LS6A	ELVE 0015	2.365	0,195	Base circular	0,320	7,4	8,2	9,3
LS6B	PCCL 0010	823	0,115	Base circular	0,115	20,0	22,0	25,0
LS7	ELVE 0012	2.365	0,195	Base circular	0,345	6,4	7,0	8,0
LS8	ELVE 0014	2.365	0,195	Base circular	0,275	10,1	11,1	12,6
LS9	TRSF 0029	2.365	0,195	Base quadrada	0,345	5,0	5,5	6,3
LS10A1	SILO 0011	1.905	0,175	Base retangular	0,133	24,1	26,5	30,1
LS10A2	TRSF 0029	2.129	0,185	Base quadrada	0,350	4,4	4,8	5,5
LS10A3	ELVE 0016	2.365	0,195	Base circular	0,350	6,2	6,8	7,8
LS10B1	TRSF 0029	2.365	0,195	Base quadrada	0,345	5,0	5,5	6,3
LS10B2	TRSF 0029	2.365	0,195	Base quadrada	0,345	5,0	5,5	6,3
LS10B3	TRSF 0029	2488	0,200	Base quadrada	0,345	5,3	5,8	6,6

Tabela B. 96 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte I)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
1-2	Chaminé	38	38.1	1	35.774	16	12,7	1	1,000	1	0,225
3			38.2			*	12,7-41,8		2	2,450	
4			38.3			17	41,8	2	0,550	3	0,200
5-16			38.4			4	22,700				
*	Ventilador	37	*	1	35.774	16	12,7	1	1,000	*	0,000
Total											25,575
1-2	CL-V	36	36.1	1	35.774	16	12,7	1	1,000	1	0,110
7-10			36.2							2	2,758
13-17			36.3							3	1,250
22			36.4							4	0,050
Total											4,168
1	LP	35	35.1	1	35.774	1	11,8	1	1,035	1	0,190
2-3			35.2			2	12,7	2	1,625		
4-6			35.3			3	19,8	3	0,800	3	0,946
11-16			35.4							4	2,363
21-23			35.5			5	1,846				
28-29			35.6			6	0,125				
Total											7,095
1-3	LS1	34	34.1	1	1.272	1	8,6	1	0,229	1	0,433
5-7			34.2							2	0,160
9-12			34.3							3	1,798
13-17			34.4			2	22,0	2	0,143	4	1,303
19-23			34.5							5	0,873
25-27			34.6							6	1,805
28			34.7			7	0,330				
29			34.8			8	0,040				
30-32			34.9			3	5,7	3	0,250*0,250	9	0,310
Total											7,052

Tabela B. 97 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte II)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m <sup>3</sup> /h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
29-35	LP	33	33.1	2	34.502	4	19,1	3	0,800	7	10,734
Total											10,734
1-4	LS2	32	32.1	1	3.760	1	33,3	1	0,200	1	0,502
6-8			32.2							2	2,325
9-13			32.3							3	7,283
Total											10,110
1-3	LS2B	31	31.1	1	1.272	1	22,0	1	0,143	1	0,450
5-7			31.2							2	1,977
9-10			31.3							3	0,122
12-15			31.4							4	0,492
16			31.5							5	0,150
17-18			31.6							6	0,190
19-20			31.7			2	10,5	2	0,207	7	0,085
Total											3,466
13-16	LS2A	30	30.1	1	2.488	1	22,0	1	0,200	1	3,685
18-22			30.2							2	2,946
24-25			30.3							3	0,368
26-27			30.4							4	0,062
Total											7,061
35-37	LP	29	29.1	3	30.742	5	17,0	3	0,800	8	1,203
38-40			29.2			6	21,6	4	0,710	9	0,523
Total											1,726
1-4	LS3	28	28.1	1	3.909	1	26,4	1	0,229	1	1,010
6-7			28.2							2	1,033
Total											2,043

Tabela B. 98 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte III)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
1-2	LS3B	27	27.1	1	647	1	22,0	1	0,102	1	0,240
4-7			27.2							2	1,361
8			27.3							3	0,810
9-10			27.4							4	0,080
11-12			27.5							5	0,270
Total											2,761
10-7	LS3A	26	26.1	1	3.262	1	22,0	1	0,229	1	1,010
12-14			26.2							2	0,251
16-18			26.3							3	0,837
19			26.4							4	0,300
20-21			26.5							5	0,405
22-23			26.6							6	0,058
Total											2,861
42-43	LP	25	25.1	4	26.833	7	18,8	4	0,710	10	0,350
Total											0,350
1-4	LS4	24	24.1	1	1.400	1	22,0	1	0,150	1	1,355
6-8			24.2							2	1,915
10-16			24.3							3	4,602
18-20			24.4							4	1,510
22-26			24.5							5	0,628
28-31			24.6							6	1,807
32			24.7							7	0,235
33-34			24.8							8	0,180
35-36			24.9							9	0,076
Total											12,308
50-51	LP	23	23.1	5	25.433	8	17,8	4	0,710	11	0,228
52-54			23.2			9	22,7	5	0,630	12	0,530
63-64			23.3			13	1,593				
Total											2,351

Tabela B. 99 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte IV)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
1-2	LS5	22	22.1	1	1.533	1	10,7	1	0,225	1	0,440
4-6			22.2							2	2,420
8-11			22.3							3	3,290
12-16			22.4			2	22,0	2	0,157	4	1,080
18			22.5							5	0,300
20-21			22.6							6	0,085
23-25			22.7							7	0,246
27-29			22.8			3	13,6	3	0,200	8	2,513
31			22.9							9	0,205
33-35			22.10							10	0,312
37-39			22.11			Total				11	1,462
41-44			22.12							12	0,542
45			22.13							13	0,310
46-48			22.14			14	0,156	Total		13,361	
64-67	LP	21	21.1	6	23.900	10	21,3	5	0,630	14	1,836
72-74			21.2							15	0,718
75-77			21.3			11	27,0	6	0,560	16	0,513
1-3	LS6	20	20.1	1	3.188	1	20,4	1	0,235	1	0,988
Total											0,988
1	LS6B	19	19.1	1	823	1	22,0	1	0,115	1	0,248
7			19.2							2	0,470
15			19.3							3	0,600
16			19.4							4	0,420
17-18			19.5							5	0,175

Tabela B. 100 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte V)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
3-4	LS6A	18	18.1	1	2.365	1	15,1	1	0,235	1	2,037
5-7			18.2			2	22,0	2	0,195	2	1,481
11			18.3			3				0,410	
15			18.4			4				0,250	
16			18.5			5				0,265	
17-18			18.6			6				0,245	
19-20			18.7			3	8,2	3	0,320	7	0,063
Total											4,751
89-92	LP	17	17.1	7	20.712	12	23,4	6	0,560	17	3,383
Total											3,383
1-3	LS7	15	15.1	1	2.365	1	22,0	1	0,195	1	0,992
8			15.2							2	0,263
9			15.3							3	0,330
10			15.4							4	0,200
11-12			15.5							2	7,0
Total											1,833
1-3	LS8	14	14.1	1	2.365	1	22,0	1	0,195	1	1,264
10-11			14.2							2	1,547
18-20			14.3							3	2,445
27-28			14.4							4	1,585
29			14.5							5	0,155
30			14.6							6	0,200
31-32			14.7							2	11,1
Total											7,289
92-93	LP	13	13.1	8	15.982	13	18,0	6	0,560	18	0,170
100-103			13.2			14	27,3	7	0,455	19	2,977
Total											3,147
1	LS9	12	12.1	1	2.365	1	22,0	1	0,195	1	0,275
5			12.2							2	0,270
13			12.3							3	0,455
14			12.4							4	0,215
15-16			12.5							5	0,260
17-18			12.6							2/3	7,7/5,5
Total											1,582

Tabela B. 101 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte VI)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
103-104	LP	11	11.1	9	13.617	15	23,3	7	0,455	20	0,298
1	BLP		11.2							21	0,205
Total											0,503
0-1	LS10B	10	10.1	1	7.218	1	12,3	1	0,455	1	0,468
Total											0,468
1	LS10B1	9	9.1	1	2.365	1	22,0	1	0,195	1	0,518
4			9.2							2	0,355
8			9.3							3	0,425
9			9.4							4	0,255
10-11			9.5							5	0,270
12-13			9.6							2/3	7,7/5,5
Total											1,930
1	LS10B	8	8.1	2	4.853	2	8,3	1	0,455	1	0,112
2-5			8.2			3	16,8	2	0,320	2	2,618
Total											2,730
1-5	LS10B2	7	7.1	1	2.365	1	22,0	1	0,195	1	0,975
8			7.2							2	0,280
9			7.3							3	0,210
10-11			7.4							4	0,270
12-13			7.5							2/3	7,7/5,5
Total											1,846
5-7	LS10B3	6	6.1	3	2.488	4	8,6	2	0,320	1	1,380
8			6.2			2	0,400				
13			6.3			5	22,0	3	0,200	3	0,980
14			6.4							4	0,280
15-16			6.5							5	0,270
17-18			6.6			6/7	8,1/5,8	4/5	0,330/0,345*0,345	6	0,111
Total											3,421

Tabela B. 102 - Levantamento das dimensões das tubagens para cálculo dos caudais e velocidades das correntes do sistema (parte VII)

Segmentos	Linha	Corrente	Subcorrente	Q (m³/h)		v (m/s)		D (m)		L <sub>TR</sub> (m)	
				Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor	Número	Valor
7	BLP-10A	5	5.1	1	6.399	1	10,9	1	0,455	1	0,287
<b>Total</b>											0,287
0-1	LS10A	4	4.1	2	4.494	2	7,7	1	0,455	1	0,273
2-3			4.2			3	15,5	2	0,320	2	0,400
<b>Total</b>											0,673
1	LS10A2	3	3.1	1	2.129	1	22,0	1	0,185	1	0,725
4			3.2							2	0,485
5			3.3							3	0,230
6-7			3.4							4	0,260
8-9			3.5			2/3	7,1/4,8	2/3	0,325/0,350*0,350	5	0,108
<b>Total</b>											1,808
3	LS10A3	2	2.1	3	2.365	4	8,2	2	0,320	1	1,300
4-5			2.2							2	0,395
14-15			2.3			5	22,0	3	0,195	3	0,820
19-20			2.4							4	1,110
21			2.5							5	1,000
22			2.6							6	0,320
27			2.7			7	0,205				
28-29			2.8			6	6,8	4	0,350	8	0,078
<b>Total</b>											5,228
1-3	LS10A1	1	1.1	1	1.905	1	22,0	1	0,175	1	0,380
6-11			1.2							2	1,900
16-19			1.3							3	2,290
24-29			1.4							4	3,460
36-38			1.5							5	0,591
42-47			1.6			6	0,702				
48-51			1.7			2	26,5	2	0,100*0,200	7	0,250
<b>Total</b>											9,573
<b>Total global</b>											169,442

Nas Tabelas B.103 a B.109 encontram-se calculados os caudais mássicos e fluxos mássicos de ar para todas as linhas da rede de transporte.

O caudal mássico é calculado a partir do caudal volumétrico e da massa volúmica do ar, à temperatura a que este se encontra. O cálculo encontra-se exemplificado na equação B.9 para a corrente 38, entre a entrada do ar na chaminé até à sua descarga para o ambiente.

$$(B.9) \dot{m} \left( \frac{kg}{h} \right) = Q \left( \frac{m^3}{h} \right) * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) \leftrightarrow \dot{m} = 35.774 * 1,2006 = 42.950 \text{ kg/h}$$

O fluxo mássico pode ser calculado de duas maneiras diferentes, como indicado na equação B.10.

$$(B.10) G \left( \frac{kg}{h.m^2} \right) = \frac{\dot{m} \left( \frac{kg}{h} \right)}{A \left( m^2 \right)} = \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * v \left( \frac{m}{s} \right) * 3600 \left( \frac{s}{h} \right) \leftrightarrow$$
$$\leftrightarrow G \left( \frac{kg}{h.m^2} \right) = \frac{42.950}{0,25 * \pi * 1,000^2} = 1,2006 * 12,7 * 3600 = 54.891 \frac{kg}{h.m^2}$$

Tabela B. 103 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
Chaminé	38.1	27,0	1,201	35.774	42.950	12,7	1,000	Circular	54.891
	38.2					12,7-41,8	0,550		180.666
	38.3					41,8			
	38.4								
Ventilador	37			35.774		12,7	1,000	Retangular	54.891
CL-V	36.1	27,0	1,201	35.774	42.950	12,7	1,000	Circular	54.891
	36.2								
	36.3								
	36.4								
LP	35.1	29,0	1,192	35.774	42.650	11,8	1,035	Circular	50.645
	35.2					12,7	1,000		54.507
	35.3					19,8	0,800		84.980
	35.4								
	35.5								
	35.6								
LS1	34.1	26,0	1,205	1.272	1.533	8,6	0,229	Circular	37.301
	34.2								
	34.3					22,0	0,143		95.420
	34.4								
	34.5								
	34.6								
	34.7								
	34.8								
34.9	5,7	0,250*0,250	Quadrada	24.722					

Tabela B. 104 Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
LP	33.1	29,0	1,192	34.502	41.133	19,1	0,800	Circular	81.976
LS2	32.1	35,2	1,130	3.760	42.478	33,3	0,200	Circular	135.436
	32.2								
	32.3								
LS2B	31.1	33,9	1,135	1.272	1.443	22,0	0,143	Circular	89.858
	31.2								
	31.3								
	31.4								
	31.5								
	31.6								
	31.7					10,5	0,207	42.887	
LS2A	30.1	35,2	1,130	2.488	2.811	22,0	0,200	Circular	89.477
	30.2								
	30.3								
	30.4								
LP	29.1	29,0	1,192	30.742	36.651	17,0	0,800	Circular	72.963
	29.2					21,6	0,710		92.705
LS3	28.1	29,0	1,192	3.909	4.660	26,4	0,229	Circular	113.307
	28.2								

Tabela B. 105 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
LS3B	27.1	27,0	1,201	647	777	22,0	0,102	Circular	95.088
	27.2								
	27.3								
	27.4								
	27.5					2,9	0,250*0,250	Quadrada	12.534
LS3A	26.1	29,0	1,192	3.262	3.889	22,0	0,229	Circular	94.422
	26.2								
	26.3								
	26.4								
	26.5								
	26.6					16,6	0,264		71.246
LP	25.1	29,0	1,192	26.833	31.990	18,8	0,710	Circular	80.688
LS4	24.1	26,3	1,204	1.400	1.685	22,0	0,150	Circular	95.320
	24.2								
	24.3								
	24.4								
	24.5								
	24.6								
	24.7								
	24.8								
	24.9					11,2	0,210		48.527
LP	23.1	29,0	1,192	25.433	30.321	17,8	0,710	Circular	76.396
	23.2					22,7	0,630		97.427
	23.3								

Tabela B. 106 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
LS5	22.1	26,5	1,203	1.533	1.844	10,7	0,225	Circular	46.328
	22.2								
	22.3								
	22.4								
	22.5								
	22.6								
	22.7								
	22.8								
	22.9								
	22.10								
	22.11								
	22.12								
	22.13								
	22.14					13,6	0,200		58.884
LP	21.1	29,0	1,192	23.900	28.494	21,3	0,630	Circular	91.418
	21.2								
	21.3					27,0	0,560		115.882
LS6	20.1	33,2	1,137	3.188	3.625	20,4	0,235	Circular	83.513
LS6B	19.1	35,0	1,131	823	930	22,0	0,115	Circular	89.536
	19.2								
	19.3								
	19.4								
	19.5								

Tabela B. 107 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Q (m³/h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m²)
LS6A	18.1	33,2	1,137	2.365	2.689	15,1	0,235	Circular	61.816
	18.2					22,0	0,195		90.063
	18.3								
	18.4								
	18.5								
	18.6					8,2	0,320		33.569
18.7									
LP	17.1	29,0	1,192	20.712	24.693	23,4	0,560	Circular	100.431
LS7	15.1	34,0	1,134	2.365	2.682	22,0	0,195	Circular	89.829
	15.2								
	15.3								
	15.4								
	15.5					7,0	0,345		28.582
LS8	14.1	36,0	1,127	2.365	2.665	22,0	0,195	Circular	89.243
	14.2								
	14.3								
	14.4								
	14.5								
	14.6								
14.7	11,1	0,275	45.027						
LP	13.1	29,0	1,192	15.982	19.054	18,0	0,560	Circular	77.255
	13.2					27,3	0,455		117.169
LS9	12.1	28,1	1,196	2.365	2.829	22,0	0,195	Circular	94.722
	12.2								
	12.3								
	12.4								
	12.5								
	12.6					7,7/5,5	0,330/0,345*0,345		Quadrada

Tabela B. 108 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
LP	11.1	36,3	1,126	13.617	15.329	23,3	0,455	Circular	94.423
BLP	11.2								
LS10B	10.1	36,3	1,126	7.218	8.125	12,3	0,455	Circular	49.846
LS10B1	9.1	36,3	1,126	2.365	2.662	22,0	0,195	Circular	89.155
	9.2								
	9.3								
	9.4								
	9.5								
	9.6					7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	Quadrada	22.289
LS10B	8.1	36,3	1,126	4.853	5.463	8,3	0,455	Circular	33.636
	8.2					16,8	0,320		68.082
LS10B2	7.1	36,3	1,126	2.365	2.662	22,0	0,195	Circular	89.155
	7.2								
	7.3								
	7.4								
	7.5								
LS10B3	6.1	36,3	1,126	2.488	2.801	8,6	0,320	Circular	34.851
	6.2					22,0	0,200		89.155
	6.3								
	6.4								
	6.5								
	6.6					8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	Quadrada	23.504

Tabela B. 109 - Cálculo do caudal e do fluxo mássico das correntes do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /h)	Caudal mássico (kg/h)	v (m/s)	D (m)	Geometria	G (kg/h.m <sup>2</sup> )
BLP-10A	5.1	36,3	1,125	6.399	7.203	10,9	0,455	Circular	44.172
LS10A	4.1	36,3	1,126	4.494	5.059	7,7	0,455	Circular	31.204
	4.2					15,5	0,320		62.814
LS10A2	3.1	36,3	1,126	2.129	2.397	22,0	0,185	Circular	89.155
	3.2								
	3.3								
	3.4								
	3.5					7,1/4,8	0,325/0,350*0,350	Quadrada	19.452
LS10A3	2.1	36,3	1,126	2.365	2.662	8,2	0,320	Circular	33.230
	2.2								
	2.3								
	2.4	38,2	1,119	2.365	2.646	22,0	0,195	Circular	89.155
	2.5								
	2.6								
	2.7								
2.8					6,8	0,350		27.385	
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1.905	2.278	22,0	0,175	Circular	94.722
	1.2								
	1.3								
	1.4								
	1.5								
	1.6								
	1.7					26,5	0,100*0,200	Quadrada	114.096

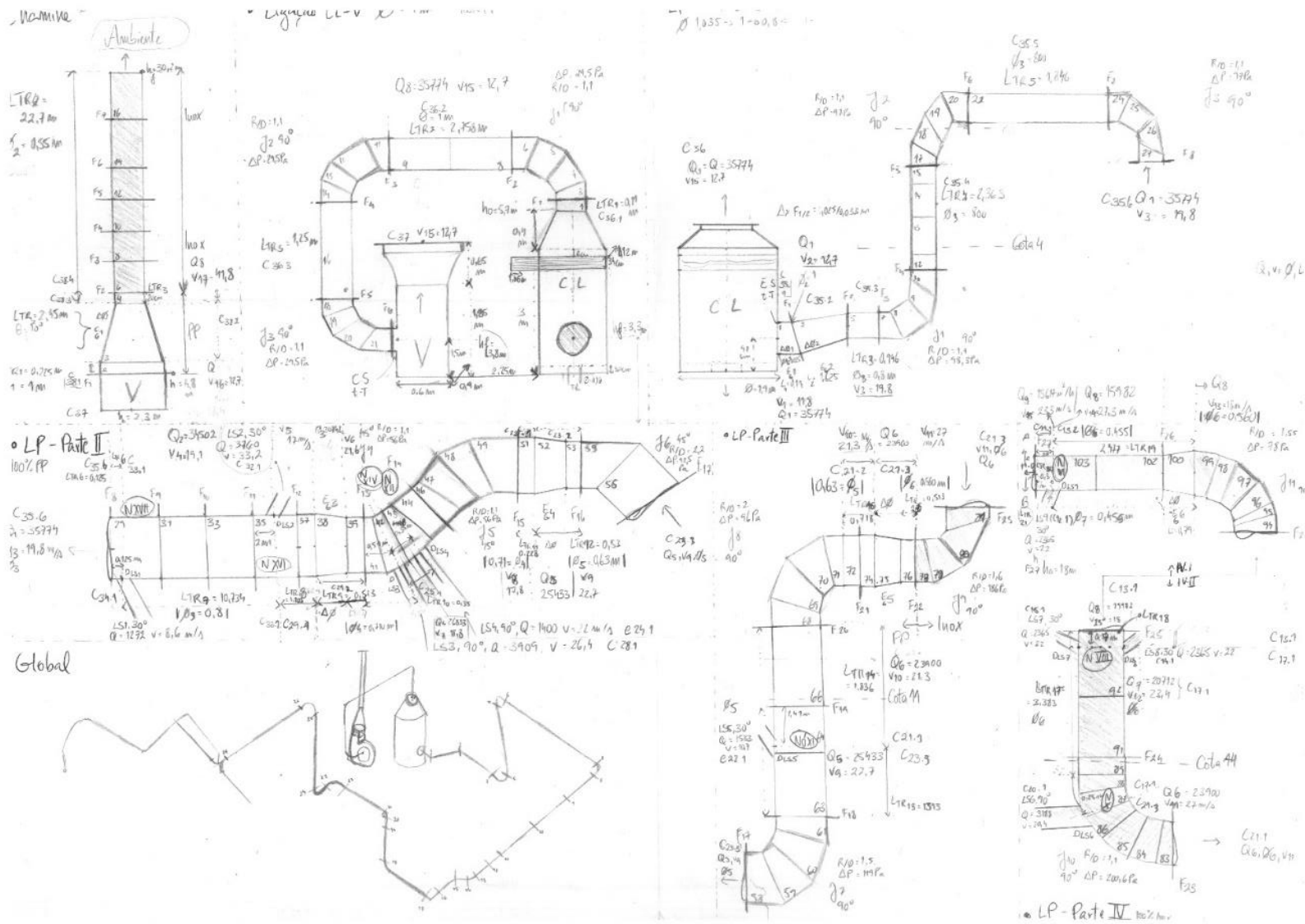


Figura B. 5 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte I)

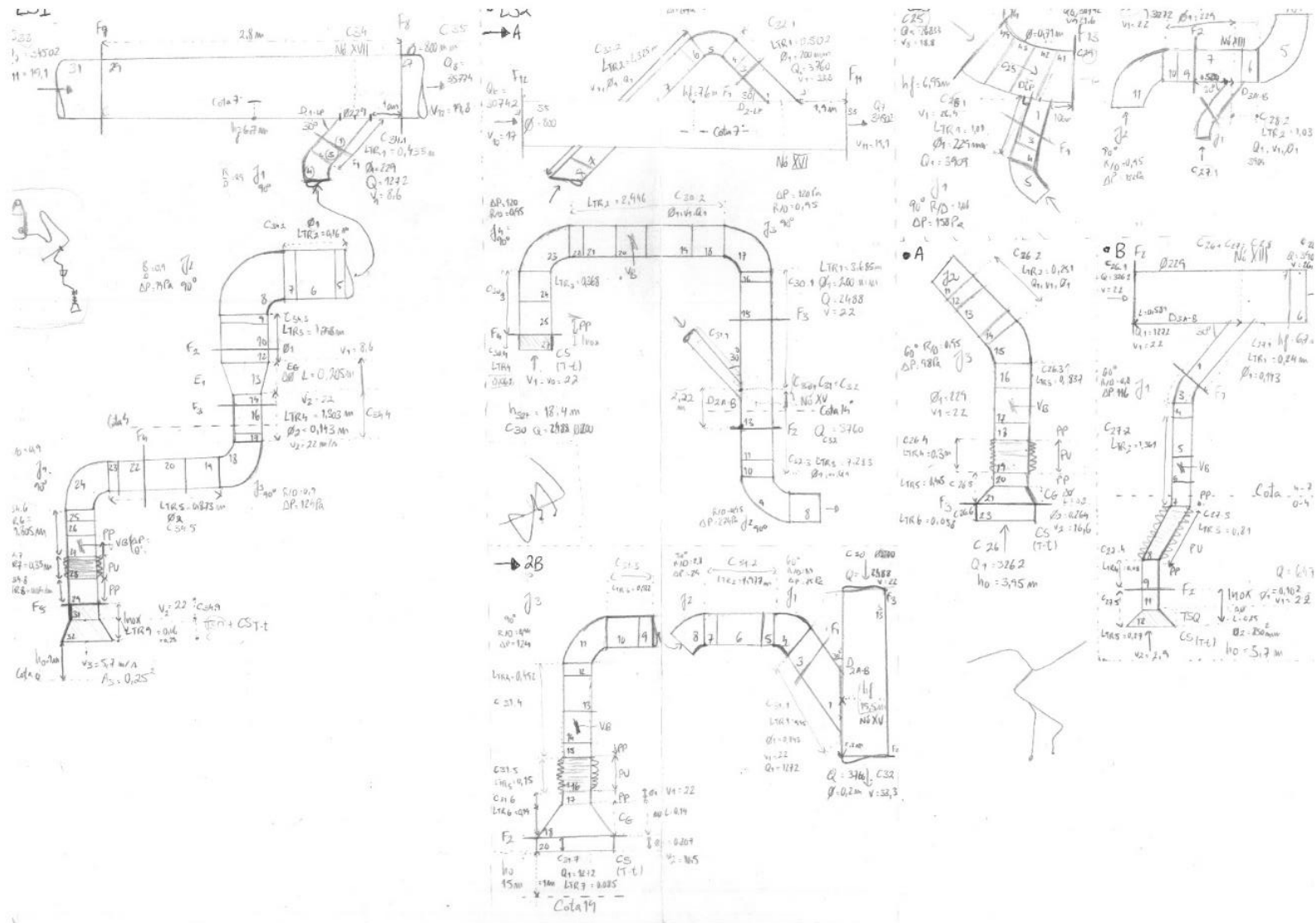


Figura B. 6 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte II)

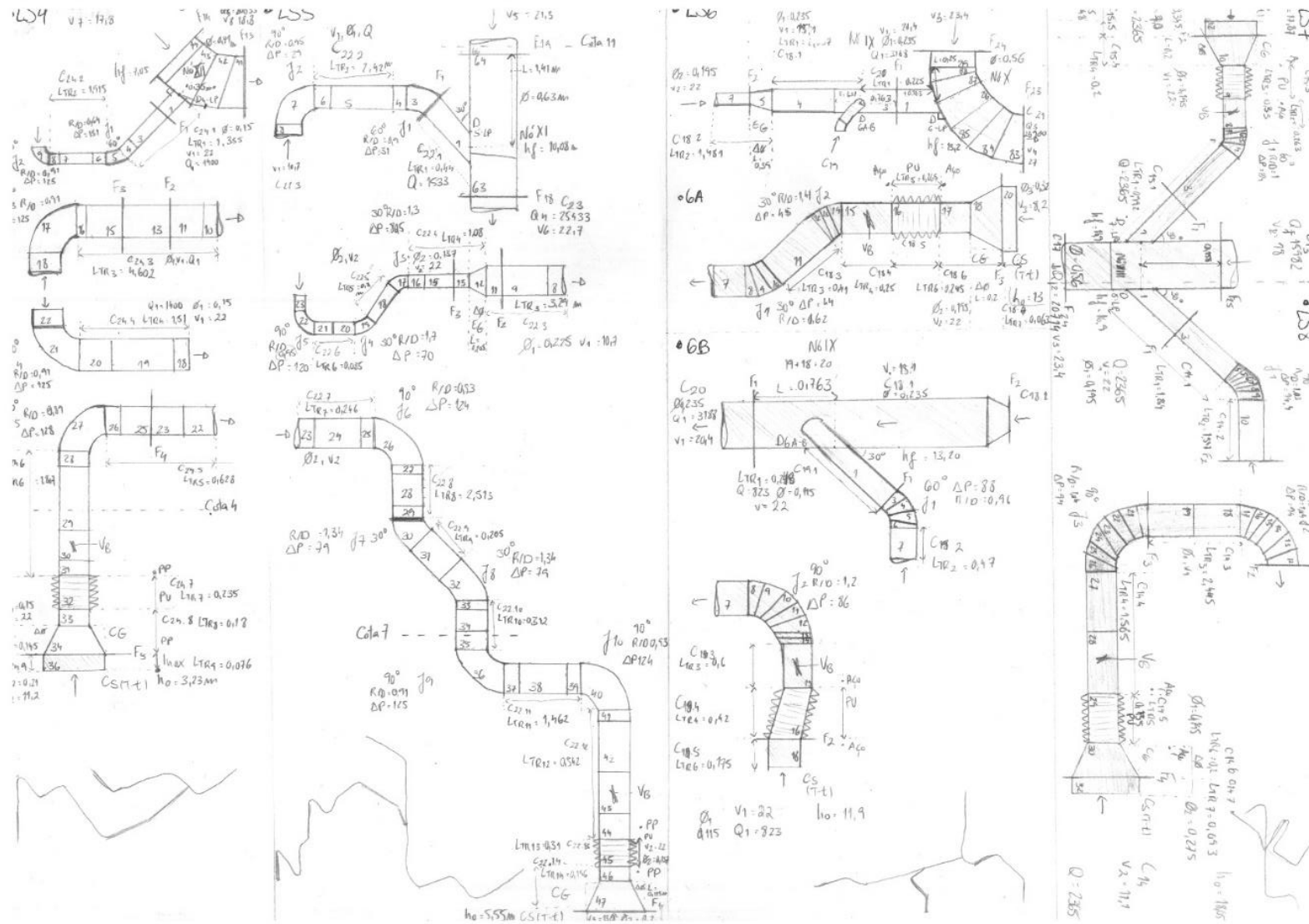


Figura B. 7 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte III)

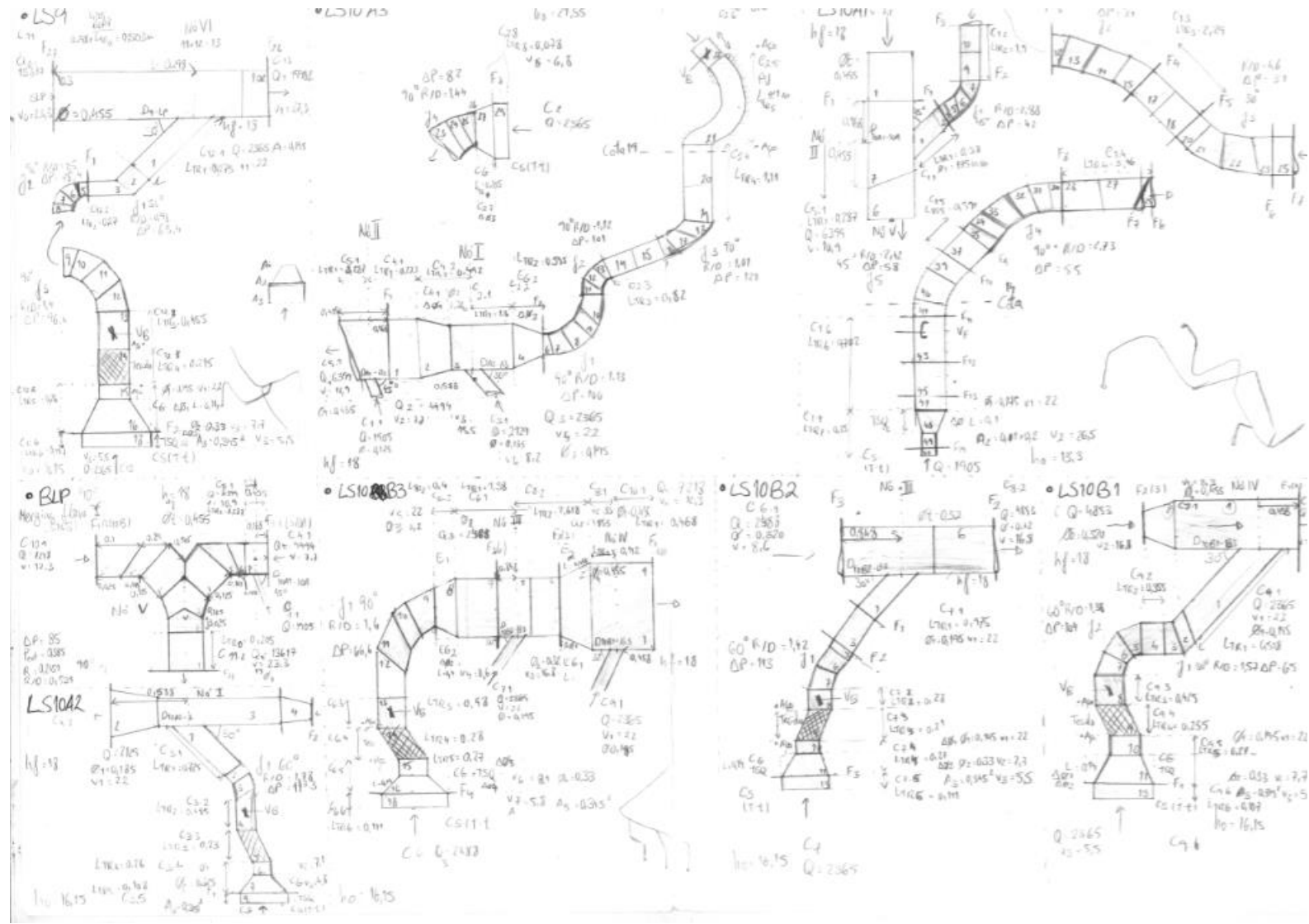


Figura B. 8 - Dados auxiliares para o cálculo das perdas de carga (parte IV)

## B.3 Balanço de energia mecânica

### B.3.1 Quedas de pressão localizadas

O arco na mediatriz é composto pela distância percorrida ao longo do centro da conduta na curva por emboque e pela soma das distâncias entre os gomos que constituem as curvas. A partir do ângulo realizado pela curva é possível calcular o raio da curvatura R para comparar com o diâmetro da conduta D

O raio da curvatura pode ser calculado a partir do arco ao longo da mediatriz e pelo ângulo descrito, comparando o arco da curva com o arco de uma revolução completa, como descrita na equação B.1, tomando como exemplo o primeiro joelho da linha CL-V na Tabela B.106:

$$(B.11) \frac{\text{Perímetro da curvatura}_{x^\circ} (m)}{\text{Perímetro da circunferência equivalente}_{360^\circ} (m)} = \left( \frac{x^\circ}{360^\circ} \right) \therefore$$

$$\text{Perímetro da curvatura}_{90^\circ} = \left( \frac{90^\circ}{360^\circ} \right) * (2\pi * R_C) \leftrightarrow R_C (m) = \frac{\text{Perímetro da curvatura}_{90^\circ} (m)}{2\pi} * \left( \frac{360^\circ}{90^\circ} \right) = \frac{1,775}{2\pi} * 4 = 1,130 \text{ m}$$

A partir de  $R_C$ , é possível comparar com o diâmetro da conduta e calcular  $R_C/D$ , o parâmetro que distingue curvas abruptas e curvas suaves. Para as curvas em gomos e com o número de gomos, é possível consultar a Figura 2.X para se obter o coeficiente de queda de pressão localizada para curvas a  $90^\circ$   $k_{90^\circ}$ , o qual corresponde a 0,31 para o exemplo em questão. Visto que o fator de correção do ângulo  $K_\theta$  é igual à unidade para ângulos de  $90^\circ$ , 0,31 é igual ao fator de perda de carga localizada do joelho de gomos, tal como se pode observar nas Equações B.12 e B.13.

$$(B.12) k_{90^\circ} (\text{interpolado}) = 0,31, \text{ para: } \begin{cases} \frac{R_C}{D} = 1,130 \\ \theta = 90^\circ \end{cases}$$

$$(B.13) k = K_{\theta=90^\circ} * k_{90^\circ} = 1,00 * 0,31 = 0,31$$

Para joelhos por emboque, após o cálculo do parâmetro  $R_C/D$  é possível consultar a Figura 2.X e a partir do ângulo da curva, determinou-se o fator de perda de carga localizada do joelho k.

Nas Tabelas B.110 a B.115 encontram-se os cálculos do coeficiente k e das perdas de carga associadas às curvas do sistema.

Tabela B. 110 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte I)

Joelhos											
Linha	Número de joelhos	Número(s) do(s) segmento(s)	Ângulo (°)	Número de gomos	Arco na mediatriz (m)	Raio da curvatura (m)	Diâmetro da tubagem (m)	R <sub>c</sub> /D	K <sub>θ</sub> - Fator de correção do ângulo	k <sub>90°</sub>	k
CL-V	1	3-6	90	4	1,775	1,130	1,000	1,130	1,00	0,31	0,31
	2	11-14	90	4	1,775	1,130	1,000	1,130	1,00	0,31	0,31
	3	18-21	90	4	1,770	1,127	1,000	1,127	1,00	0,31	0,31
LP	1	7-10	90	4	1,423	0,906	0,800	1,132	1,00	0,42	0,42
	2	17-20	90	4	1,440	0,917	0,800	1,146	1,00	0,41	0,41
	3	24-27	90	4	1,440	0,917	0,800	1,146	1,00	0,41	0,41
	4	41-44	45	4	0,613	0,780	0,710	1,098	0,60	0,48	0,29
	5	46-49	45	4	0,608	0,773	0,710	1,089	0,60	0,49	0,29
	6	54-56	45	2	1,090	1,388	0,630	2,203	0,60	0,50	0,30
	7	58-61	90	4	1,520	0,968	0,630	1,536	1,00	0,39	0,39
	8	68-71	90	4	2,025	1,289	0,630	2,046	1,00	0,31	0,31
	9	78-81	90	4	1,400	0,891	0,560	1,592	1,00	0,43	0,43
	10	83-88	90	6	1,010	0,643	0,560	1,148	1,00	0,46	0,46
	11	94-99	90	6	1,363	0,867	0,560	1,549	1,00	0,40	0,40
LS1	1	4	90	1	0,335	0,213	0,229	0,931			0,43
	2	8	90	1	0,335	0,213	0,229	0,931			0,43
	3	18	90	1	0,210	0,134	0,143	0,935			0,43
	4	24	90	1	0,210	0,134	0,143	0,935			0,43
LS2A	1	5	90	1	0,300	0,191	0,200	0,955			0,41
	2	9	90	1	0,300	0,191	0,200	0,955			0,41
	3	17	90	1	0,300	0,191	0,200	0,955			0,41
	4	23	90	1	0,300	0,191	0,200	0,955			0,41

Tabela B. 111 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte II)

Joelhos											
Linha	Número de joelhos	Número(s) do(s) segmento(s)	Ângulo (°)	Número de gomos	Arco na mediatriz (m)	Raio da curvatura (m)	Diâmetro da tubagem (m)	R <sub>c</sub> /D	K <sub>θ</sub> - Fator de correção do ângulo	k <sub>90°</sub>	k
LS2B	1	4	60	1	0,210	0,201	0,143	1,402			0,26
	2	8	30	1	0,210	0,401	0,143	2,805			0,10
	3	11	90	1	0,210	0,134	0,143	0,935			0,43
LS3A	1	5	90	1	0,380	0,242	0,229	1,056			0,38
	2	11	90	1	0,340	0,216	0,229	0,945			0,42
	3	15	60	1	0,228	0,217	0,229	0,949			0,34
LS3B	1	3	60	1	0,085	0,081	0,102	0,796			0,40
LS4	1	5	60	1	0,100	0,095	0,150	0,637			0,52
	2	9	90	1	0,215	0,137	0,150	0,912			0,43
	3	17	90	1	0,215	0,137	0,150	0,912			0,43
	4	21	90	1	0,215	0,137	0,150	0,912	0,43		
	5	27	90	1	0,210	0,134	0,150	0,891	0,44		
LS5	1	3	60	1	0,215	0,205	0,225	0,912	0,45		
	2	7	90	1	0,335	0,213	0,225	0,948	0,42		
	3	17	30	1	0,105	0,201	0,157	1,277	0,28		
	4	19	30	1	0,140	0,267	0,157	1,703	0,24		
	5	22	90	1	0,235	0,150	0,157	0,953	0,41		
	6	26	90	1	0,230	0,146	0,157	0,933	0,43		
	7	30	30	1	0,110	0,210	0,157	1,338	0,27		
	8	32	30	1	0,110	0,210	0,157	1,338	0,27		
	9	36	90	1	0,225	0,143	0,157	0,912	0,43		
	10	40	90	1	0,230	0,146	0,157	0,933	0,43		

Tabela B. 112 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as curvas do sistema (parte III)

Joelhos											
Linha	Número de joelhos	Número(s) do(s) segmento(s)	Ângulo (°)	Número de gomos	Perímetro na mediatriz (m)	Raio da curvatura (m)	Diâmetro da tubagem (m)	R <sub>c</sub> /D	K <sub>θ</sub> - Fator de correção do ângulo	k <sub>90°</sub>	k
LS6A	1	8-10	30	3	0,165	0,315	0,195	1,616	0,45	0,34	0,15
	2	12-14	30	3	0,150	0,286	0,195	1,469	0,45	0,35	0,16
LS6B	1	3-6	60	4	0,116	0,111	0,115	0,963	0,78	0,39	0,30
	2	8-14	90	7	0,215	0,137	0,115	1,190	1,00	0,30	0,30
LS7	1	4-7	60	4	0,205	0,196	0,195	1,004	0,78	0,37	0,29
LS8	1	4-9	90	6	0,315	0,201	0,195	1,028	1,00	0,33	0,33
	2	12-17	90	6	0,318	0,202	0,195	1,037	1,00	0,32	0,32
	3	21-26	90	6	0,318	0,202	0,195	1,037	1,00	0,32	0,32
LS9	1	2-3	30	2	0,100	0,191	0,195	0,979	0,45	0,50	0,23
	2	5-9	90	4	0,460	0,293	0,195	1,502	1,00	0,27	0,27
	3	10-12	90	3	0,430	0,274	0,195	1,404	1,00	0,33	0,33
LS10A1	1	4-7	45	4	0,395	0,503	0,175	2,874	0,60	0,24	0,14
	2	12-15	30	4	0,470	0,898	0,175	5,129	0,45	0,24	0,11
	3	20-23	30	4	0,418	0,797	0,175	4,556	0,45	0,24	0,11
	4	30-35	90	6	0,750	0,477	0,175	2,728	1,00	0,19	0,19
	5	39-41	45	3	0,333	0,423	0,175	2,419	0,60	0,33	0,20
LS10A2	1	2-3	60	2	0,345	0,329	0,185	1,781	0,78	0,50	0,39
LS10A3	1	6-9	90	4	0,348	0,221	0,195	1,134	1,00	0,34	0,34
	2	10-13	90	4	0,343	0,218	0,195	1,118	1,00	0,35	0,35
	3	16-18	90	3	0,310	0,197	0,195	1,012	1,00	0,42	0,42
	4	23-26	90	4	0,440	0,280	0,195	1,436	1,00	0,28	0,28
LS10B1	1	2-3	30	2	0,160	0,306	0,195	1,567	0,45	0,50	0,23
	2	5-7	90	3	0,423	0,269	0,195	1,379	1,00	0,36	0,36
LS10B2	1	6-7	60	2	0,290	0,277	0,195	1,420	0,78	0,50	0,39
LS10B3	1	9-12	90	4	0,505	0,321	0,200	1,607	1,00	0,23	0,23
<b>Total</b>	<b>69</b>							<b>Total</b>			

$$(B.14) \Delta P_l (Pa) = k * P_d (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,3066 * 1,201 * \frac{12,65^2}{2} = 29,5 Pa$$

Tabela B. 113 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte I)

Joelhos									
Linha	Número de joelhos	Ângulo (°)	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v (m/s)	ΔP (Pa)	Número de joelhos	Linha
CL-V	1	90	0,31	27,0	1,201	12,7	29,5	1	CL-V
	2	90	0,31	27,0	1,201	12,7	29,5	2	
	3	90	0,31	27,0	1,201	12,7	29,5	3	
LP	1	90	0,42	29,0	1,192	19,8	97,7	1	LP
	2	90	0,41	29,0	1,192	19,8	96,3	2	
	3	90	0,41	29,0	1,192	19,8	96,3	3	
	4	45	0,29	29,0	1,192	17,8	55,2	4	
	5	45	0,29	29,0	1,192	17,8	55,6	5	
	6	45	0,30	29,0	1,192	22,7	91,9	6	
	7	90	0,39	29,0	1,192	22,7	118,4	7	
	8	90	0,31	29,0	1,192	22,7	95,6	8	
	9	90	0,43	29,0	1,192	27,0	184,7	9	
	10	90	0,46	29,0	1,192	27,0	199,2	10	
	11	90	0,40	29,0	1,192	18,0	77,3	11	
LS1	1	90	0,43	26,0	1,205	8,6	18,9	1	LS1
	2	90	0,43	26,0	1,205	8,6	18,9	2	
	3	90	0,43	26,0	1,205	22,0	124,6	3	
	4	90	0,43	26,0	1,205	22,0	124,6	4	
LS2A	1	90	0,41	35,2	1,130	33,3	258,3	1	LS2A
	2	90	0,41	35,2	1,130	33,3	258,3	2	
	3	90	0,41	35,2	1,130	22,0	113,1	3	
	4	90	0,41	35,2	1,130	22,0	113,1	4	

Tabela B. 114 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte II)

Joelhos									
Linha	Número de joelhos	Ângulo (°)	k	T Ar (°C)	$\rho$ Ar (kg/m <sup>3</sup> )	v (m/s)	$\Delta P$ (Pa)	Número de joelhos	Linha
LS2B	1	60	0,26	33,9	1,135	22,0	71,1	1	LS2B
	2	30	0,10	33,9	1,135	22,0	27,5	2	
	3	90	0,43	33,9	1,135	22,0	117,3	3	
LS3A	1	90	0,38	29,0	1,192	26,4	156,8	1	LS3A
	2	90	0,42	29,0	1,192	22,0	120,7	2	
	3	60	0,34	29,0	1,192	22,0	97,1	3	
LS3B	1	60	0,40	27,0	1,201	22,0	116,2	1	LS3B
LS4	1	60	0,52	26,3	1,204	22,0	150,9	1	LS4
	2	90	0,43	26,3	1,204	22,0	125,8	2	
	3	90	0,43	26,3	1,204	22,0	125,8	3	
	4	90	0,43	26,3	1,204	22,0	125,8	4	
	5	90	0,44	26,3	1,204	22,0	128,4	5	
LS5	1	60	0,45	26,5	1,203	10,7	30,7	1	LS5
	2	90	0,42	26,5	1,203	10,7	28,9	2	
	3	30	0,28	26,5	1,203	22,0	80,7	3	
	4	30	0,24	26,5	1,203	22,0	70,1	4	
	5	90	0,41	26,5	1,203	22,0	120,4	5	
	6	90	0,43	26,5	1,203	22,0	124,4	6	
	7	30	0,27	26,5	1,203	22,0	79,4	7	
	8	30	0,27	26,5	1,203	22,0	79,4	8	
	9	90	0,43	26,5	1,203	22,0	125,7	9	
	10	90	0,43	26,5	1,203	22,0	124,4	10	

Tabela B. 115 - Cálculo das quedas de pressão causadas pelas curvas do sistema (parte III)

Joelhos									
Linha	Número de joelhos	Ângulo (°)	k	T Ar (°C)	$\rho$ Ar (kg/m <sup>3</sup> )	v (m/s)	$\Delta P$ (Pa)	Número de joelhos	Linha
LS6A	1	30	0,15	33,2	1,137	22,0	41,8	1	LS6A
	2	30	0,16	33,2	1,137	22,0	42,7	2	
LS6B	1	60	0,30	35,0	1,131	22,0	83,1	1	LS6B
	2	90	0,30	35,0	1,131	22,0	80,9	2	
LS7	1	60	0,29	34,0	1,134	22,0	79,0	1	LS7
LS8	1	90	0,33	36,0	1,127	22,0	88,6	1	LS8
	2	90	0,32	36,0	1,127	22,0	88,2	2	
	3	90	0,32	36,0	1,127	22,0	88,2	3	
LS9	1	30	0,23	36,3	1,126	22,0	61,3	1	LS9
	2	90	0,27	36,3	1,126	22,0	73,5	2	
	3	90	0,33	36,3	1,126	22,0	90,4	3	
LS10A1	1	45	0,14	28,1	1,196	22,0	41,7	1	LS10A1
	2	30	0,11	28,1	1,196	22,0	31,3	2	
	3	30	0,11	28,1	1,196	22,0	31,3	3	
	4	90	0,19	28,1	1,196	22,0	55,0	4	
	5	45	0,20	28,1	1,196	22,0	57,3	5	
LS10A2	1	60	0,39	36,3	1,126	22,0	106,2	1	LS10A2
LS10A3	1	90	0,34	38,2	1,119	22,0	92,9	1	LS10A3
	2	90	0,35	38,2	1,119	22,0	93,8	2	
	3	90	0,42	38,2	1,119	22,0	113,2	3	
	4	90	0,28	38,2	1,119	22,0	76,6	4	
LS10B1	1	30	0,23	36,3	1,126	22,0	61,3	1	LS10B1
	2	90	0,36	36,3	1,126	22,0	97,9	2	
LS10B2	1	60	0,39	36,3	1,126	22,0	106,2	1	LS10B2
LS10B3	1	90	0,23	36,3	1,126	22,0	62,5	1	LS10B3
<b>Total</b>	<b>69</b>			<b>Total</b>			<b>6354,4</b>	<b>69</b>	<b>Total</b>

$$(B.15) \lambda (rad) = 2\pi * \frac{\lambda (^{\circ})}{360^{\circ}} = 2\pi * \frac{30}{360} = \frac{\pi}{6} rad \cong 0,524 rad$$

Tabela B. 116 - Identificação das propriedades das derivações do sistema

Linha	Nó	Número	Segmento da linha (principal/secundária)	Ângulo $\lambda$ ( $^{\circ}$ )	Ângulo $\lambda$ (rad)	T Ar ( $^{\circ}$ C)	$\rho$ Ar (kg/m <sup>3</sup> )
LS1	XVII	1	29 (LP)	30	0,524	26,0	1,205
LS2A	XVII	1	35 (LP)	30	0,524	35,2	1,130
LS2B	XVII	1	13 (LS2)	30	0,524	33,9	1,135
LS3A	XIV	1	42 (LP)	90	1,571	29,0	1,192
LS3B	XIII	1	7 (LS3)	30	0,524	27,0	1,201
LS4	XIII	1	43 (LP)	90	1,571	26,3	1,204
LS5	XI	1	63 (LP)	30	0,524	26,5	1,203
LS6A	X	1	87 (LP)	90	1,571	33,2	1,137
LS6B	IX	1	3 (LS6)	30	0,524	35,0	1,131
LS7	VIII	1	92 (LP)	30	0,524	34,0	1,134
LS8	VIII	1	92 (LP)	30	0,524	36,0	1,127
LS9	VI	1	103 (LP)	30	0,524	36,3	1,126
LS10A1	I	1	7 (BLP)	45	0,785	28,1	1,196
LS10A2	III	1	3 (LS10A)	30	0,524	36,3	1,126
LS10B1	IV	1	1 (LS10B)	30	0,524	36,3	1,126
LS10B2	III	1	5 (LS10B)	30	0,524	36,3	1,126
Linha	Nó	Número	Segmento da linha (principal/secundária)	Ângulo $\lambda$ ( $^{\circ}$ )	Ângulo $\lambda$ (rad)	T Ar ( $^{\circ}$ C)	$\rho$ Ar (kg/m <sup>3</sup> )

$$(B.16) q_{1,3} = \frac{Q_1}{Q_3} \left( \frac{m^3/h}{m^3/h} \right) = \frac{1.272}{35.774} = 0,036$$

$$(B.17) a = \frac{A_1}{A_3} \left( \frac{m^2}{m^2} \right) = \frac{0,25\pi * \phi_1^2}{0,25\pi * \phi_3^2} = \left( \frac{\phi_1}{\phi_3} \right)^2 = \left( \frac{0,229 m}{0,800 m} \right)^2 = 0,082$$

$$(B.18) \gamma (rad) = \pi - \lambda (rad) = \pi - \frac{\pi}{6} = \frac{5}{6} \pi rad \cong 2,618 rad$$

$$\begin{aligned} (B.19) k_{1,3} &= 0,95 * (1 - q_{1,3})^2 + q_{1,3}^2 * \left[ \left( 1,3 * \tan\left(\frac{\gamma (rad)}{2}\right) - 0,3 + \frac{0,4 - 0,1a}{a^2} \right) * \left( 1 - 0,9 * \left(\frac{\phi_1}{a}\right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] + 0,4q_{1,3} * \left[ \frac{1+a}{a} * \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right] \\ &= 0,95 * (1 - 0,036)^2 + 0,036^2 * \left[ \left( 1,3 * \tan\left(\frac{5\pi/6}{2}\right) - 0,3 + \frac{0,4 - 0,1 * 0,082}{0,082^2} \right) * \left( 1 - 0,9 * \left(\frac{0,229}{0,800}\right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] + 0,4 * 0,036 * \left[ \frac{1 + 0,082}{0,082} * \tan\left(\frac{5\pi/6}{2}\right) \right] \\ &= 1,544 \end{aligned}$$

$$(B.20) \Delta P_{1,3} (Pa) = k_{1,3} * P_d (Pa) = k_{1,3} * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 1,544 * 1,205 * \frac{8,6^2}{2} = 68,8 Pa$$

Tabela B. 117 - Determinação do coeficiente de perda de carga localizada e cálculo da queda de pressão atribuída ao ramal nas derivações da rede de transporte

Ramal							
Linha	Nó	Ângulo $\lambda$ (°)	$q_{1,3}$	a	$k_{1,3}$ (ramo)	$v_{\text{ramo}}$ (m/s)	$\Delta P_{1,3}$ (Pa)
LS1	XVII	30	0,036	0,082	1,544	8,6	68,8
LS2A	XVII	30	0,109	0,063	2,757	33,3	1726,8
LS2B	XVII	30	0,338	0,511	2,262	22,0	621,0
LS3A	XIV	90	0,127	0,104	1,063	26,4	441,6
LS3B	XIII	30	0,166	0,198	2,292	22,0	666,0
LS4	XIII	90	0,052	0,045	0,989	22,0	288,0
LS5	XI	30	0,060	0,128	1,614	10,7	111,1
LS6A	X	90	0,133	0,176	1,060	20,4	250,9
LS6B	IX	30	0,258	0,239	2,796	22,0	765,0
LS7	VIII	30	0,114	0,121	2,265	22,0	621,6
LS8	VIII	30	0,114	0,121	2,265	22,0	617,5
LS9	VI	30	0,148	0,184	2,139	22,0	582,6
LS10A1	I	45	0,298	0,148	2,738	22,0	792,4
LS10A2	III	30	0,474	0,334	3,667	22,0	999,0
LS10B1	IV	30	0,328	0,184	3,705	22,0	1009,4
LS10B2	III	30	0,487	0,371	3,530	22,0	961,5
Total							10523,1
Linha	Nó	Ângulo $\lambda$ (°)	$q_{1,3}$	a	$k_{1,3}$ (ramo)	$v_{\text{ramo}}$ (m/s)	$\Delta P_{1,3}$ (Pa)

$$(B.21) k_{2,3} = \left[ 0,03 * (1 - q_{2,3})^2 + 0,35q_{2,3}^2 - 0,2q_{2,3} * (1 - q_{2,3}) \right] = [0,03 * (1 - 0,964)^2 + 0,35 * (0,964)^2 - 0,2 * 0,964 * (1 - 0,964)] = 0,319$$

$$(B.22) \Delta P_{2,3} (Pa) = k_{2,3} * P_d (Pa) = k_{2,3} * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,319 * 1,205 * \frac{19,1^2}{2} = 70,0 Pa$$

Tabela B. 118 - Determinação do coeficiente de perda de carga localizada e cálculo da queda de pressão atribuída à coluna principal nas derivações da rede de transporte

Tramo principal						
Linha	Nó	Ângulo $\lambda$ (°)	$q_{2,3}$	$k_{2,3}$ (principal)	$v_{\text{principal}}$ (m/s)	$\Delta P_{2,3}$ (Pa)
LS1	XVII	30	0,964	0,319	19,1	70,0
LS2A	XVII	30	0,891	0,259	17,0	42,3
LS2B	XVII	30	0,662	0,112	22,0	30,7
LS3A	XIV	90	0,873	0,245	18,8	51,6
LS3B	XIII	30	0,834	0,217	22,0	63,0
LS4	XIII	90	0,948	0,305	17,8	58,1
LS5	XI	30	0,940	0,298	21,3	81,3
LS6A	X	90	0,867	0,240	23,4	74,8
LS6B	IX	30	0,742	0,156	15,1	20,1
LS7	VIII	30	0,772	0,175	18,0	32,1
LS8	VIII	30	0,772	0,175	18,0	31,9
LS9	VI	30	0,852	0,230	23,3	70,1
LS10A1	I	45	0,702	0,133	7,7	4,7
LS10A2	III	30	0,526	0,054	8,2	2,0
LS10B1	IV	30	0,672	0,117	8,3	4,6
LS10B2	III	30	0,513	0,049	8,6	2,0
<b>Total</b>						<b>639,4</b>
Linha	Nó	Ângulo $\lambda$ (°)	$q_{2,3}$	$k_{2,3}$ (principal)	$v_{\text{principal}}$ (m/s)	$\Delta P_{2,3}$ (Pa)

Tabela B. 119 - Comparação dos métodos usados para o cálculo das quedas de pressão nas derivações

Linha	Nó	$k_{1,3}$ (calculado)	$k_{1,3}$ (tabelado)	$\Delta P_{1,3}$ calculado (Pa)	$\Delta P_{1,3}$ tabelado (Pa)	$k_{2,3}$ calculado (principal)	$k_{2,3}$ tabelado (principal)	$\Delta P_{2,3}$ calculado (Pa)	$\Delta P_{2,3}$ tabelado (Pa)	Linha
LS1	XVII	1,54	1,00	68,8	44,6	0,32	0,40	70,0	87,9	LS1
LS2A	XVII	2,76	1,00	1726,8	626,4	0,26	0,40	42,3	65,3	LS2A
LS2B	XVII	2,26	1,00	621,0	274,6	0,11	0,40	30,7	109,8	LS2B
LS3A	XIV	1,06	1,00	441,6	415,5	0,24	0,40	51,6	84,3	LS3A
LS3B	XIII	2,29	1,00	666,0	290,5	0,22	0,40	63,0	116,2	LS3B
LS4	XIII	0,99	1,00	288,0	291,3	0,30	0,40	58,1	76,3	LS4
LS5	XI	1,61	1,00	111,1	68,8	0,30	0,40	81,3	109,1	LS5
LS6A	X	1,06	1,00	250,9	236,6	0,24	0,40	74,8	124,5	LS6A
LS6B	IX	2,80	1,00	765,0	273,6	0,16	0,40	20,1	51,6	LS6B
LS7	VIII	2,26	1,00	621,6	274,5	0,17	0,40	32,1	73,5	LS7
LS8	VIII	2,26	1,00	617,5	272,7	0,17	0,40	31,9	73,0	LS8
LS9	VI	2,14	1,00	582,6	272,4	0,23	0,40	70,1	122,2	LS9
LS10A1	I	2,74	1,00	792,4	289,4	0,13	0,40	4,7	14,2	LS10A1
LS10A2	III	3,67	1,00	999,0	272,4	0,05	0,40	2,0	15,1	LS10A2
LS10B1	IV	3,71	1,00	1009,4	272,4	0,12	0,40	4,6	15,5	LS10B1
LS10B2	III	3,53	1,00	961,5	272,4	0,05	0,40	2,0	16,7	LS10B2
<b>Total</b>				<b>10523,1</b>	<b>4448,1</b>			<b>639,4</b>	<b>1155,2</b>	Total

$$(B.23) \frac{D_1 (m)}{D_2 (m)} = \frac{1,000}{0,550} = 1,818$$

$$(B.24) \alpha (^\circ) = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{D_1 - D_2 (m)}{2}}{L (m)} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{1,000 - 0,550}{2}}{2,450} \right) = 5,25^\circ$$

$$(B.25) \theta (^\circ) = 2 * \alpha (^\circ) = 2 * 5,25 = 10,5^\circ$$

$$(B.26) k (interpolado) = 0,0500, \text{ para: } \begin{cases} \frac{D_1}{D_2} = 1,818 \\ \theta = 10,5^\circ \end{cases}$$

Tabela B. 120 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as contrações graduais (entre condutas) do sistema

Contrações graduais (Tubo-tubo)									
Linha	Número	Nº segmento	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	L (m)	Ângulo α(°)	Ângulo θ (°)	k
Chaminé	1	3	1,000	0,550	<b>1,818</b>	2,450	5,3	<b>10,5</b>	<b>0,0500</b>
LS2B	1	18	0,207	0,143	<b>1,448</b>	0,140	12,9	<b>25,8</b>	<b>0,0500</b>
LS3A	1	21	0,264	0,229	<b>1,153</b>	0,200	5,0	<b>10,0</b>	<b>0,0550</b>
LS4	1	34	0,210	0,150	<b>1,400</b>	0,145	11,7	<b>23,4</b>	<b>0,0485</b>
LS5	1	47	0,200	0,157	<b>1,274</b>	0,115	10,5	<b>21,2</b>	<b>0,0420</b>
LS6A	1	18	0,320	0,195	<b>1,641</b>	0,200	17,4	<b>34,7</b>	<b>0,0488</b>
LS7	1	10	0,345	0,195	<b>1,769</b>	0,200	20,6	<b>41,1</b>	<b>0,0460</b>
LS8	1	30	0,275	0,195	<b>1,410</b>	0,200	11,3	<b>22,6</b>	<b>0,0485</b>
LS9	1	16	0,330	0,195	<b>1,692</b>	0,140	25,7	<b>51,5</b>	<b>0,0600</b>
LS10A2	1	7	0,325	0,185	<b>1,757</b>	0,140	26,6	<b>53,1</b>	<b>0,0590</b>
LS10A3	1	27	0,350	0,195	<b>1,795</b>	0,205	20,7	<b>41,4</b>	<b>0,0455</b>
LS10B1	1	11	0,330	0,195	<b>1,692</b>	0,140	25,7	<b>51,5</b>	<b>0,0473</b>
LS10B2	1	11	0,330	0,195	<b>1,692</b>	0,140	25,7	<b>51,5</b>	<b>0,0473</b>
LS10B3	1	16	0,330	0,200	<b>1,650</b>	0,140	24,9	<b>49,8</b>	<b>0,0480</b>
<b>Total</b>	<b>14</b>					<b>Total</b>			
Linha	Número	Nº segmento	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	L (m)	Ângulo α(°)	Ângulo θ (°)	k

$$(B.27) \Delta P_l (Pa) = k * P_{d,2} (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v_2^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,0500 * 1,201 * \frac{41,8^2}{2} = 52,5 Pa$$

Tabela B. 121 - Cálculo da queda de pressão causada pelas contrações graduais (entre condutas) do sistema

Contrações graduais (Tubo-tubo)							
Linha	Número	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>2</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha
Chaminé	1	0,0500	27,0	1,201	41,8	52,5	Chaminé
LS2B	1	0,0500	33,9	1,135	22,0	13,7	LS2B
LS3A	1	0,0550	29,0	1,192	22,0	15,9	LS3A
LS4	1	0,0485	26,3	1,204	22,0	14,1	LS4
LS5	1	0,0420	26,5	1,203	22,0	12,2	LS5
LS6A	1	0,0488	33,2	1,137	22,0	13,4	LS6A
LS7	1	0,0460	34,0	1,134	22,0	12,6	LS7
LS8	1	0,0485	36,0	1,127	22,0	13,2	LS8
LS9	1	0,0600	36,3	1,126	22,0	16,3	LS9
LS10A2	1	0,0590	36,3	1,126	22,0	16,1	LS10A2
LS10A3	1	0,0455	38,2	1,119	22,0	12,3	LS10A3
LS10B1	1	0,0473	36,3	1,126	22,0	12,9	LS10B1
LS10B2	1	0,0473	36,3	1,126	22,0	12,9	LS10B2
LS10B3	1	0,0480	36,3	1,126	22,0	13,1	LS10B3
<b>Total</b>	<b>14</b>		<b>Total</b>			<b>231,3</b>	<b>Total</b>
Linha	Número	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>2</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha

$$(B.28) \Delta P_l (Pa) = k * P_{d,2} (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v_2^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,500 * 1,205 * \frac{5,7^2}{2} = 9,8 Pa$$

Tabela B. 122 - Cálculo das perdas de carga originadas pelas contrações súbitas (transição equipamento-condutas) do sistema

Contrações súbitas (Tanque-Tubo)										
Linha	Número	Nº segmento	Tipo de equipamento	Tipo de entrada	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>2</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha
LS1	1	32+	TRBA	Borda viva	0,500	26,0	1,205	5,7	9,8	LS1
LS2A	1	27+	ELVE	Borda viva	0,500	35,2	1,130	22,0	136,7	LS2A
LS2B	1	20+	SILO	Borda viva	0,500	33,9	1,135	10,5	31,3	LS2B
LS3A	1	23+	TRSF	Borda viva	0,500	29,0	1,192	16,6	82,1	LS3A
LS3B	1	12+	TRBA	Borda viva	0,500	27,0	1,201	2,9	2,5	LS3B
LS4	1	36+	TRSF	Borda viva	0,500	26,3	1,204	11,2	37,7	LS4
LS5	1	47+	TRBA	Borda viva	0,500	26,5	1,203	13,6	55,6	LS5
LS6A	1	20+	ELVE	Borda viva	0,500	33,2	1,137	8,2	19,1	LS6A
LS6B	1	18+	PCCL	Borda viva	0,500	35,0	1,131	22,0	136,8	LS6B
LS7	1	12+	ELVE	Borda viva	0,500	34,0	1,134	7,0	13,9	LS7
LS8	1	32+	ELVE	Borda viva	0,500	36,0	1,127	11,1	34,7	LS8
LS9	1	18+	TRSF	Borda viva	0,500	36,3	1,126	5,5	8,5	LS9
LS10A1	1	51+	SILO	Borda viva	0,500	28,1	1,196	26,5	210,0	LS10A1
LS10A2	1	9+	TRSF	Borda viva	0,500	36,3	1,126	4,8	6,5	LS10A2
LS10A3	1	29+	ELVE	Borda viva	0,500	38,2	1,119	6,8	12,9	LS10A3
LS10B1	1	13+	TRSF	Borda viva	0,500	36,3	1,126	5,5	8,5	LS10B1
LS10B2	1	13+	TRSF	Borda viva	0,500	36,3	1,126	5,5	8,5	LS10B2
LS10B3	1	18+	TRSF	Borda viva	0,500	36,3	1,126	5,8	9,5	LS10B3
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>Total</b>							<b>824,7</b>	<b>Total</b>
Linha	Número	Nº segmento	Tipo de equipamento	Tipo de entrada	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>2</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha

$$(B. 29) \frac{D_2 (m)}{D_1 (m)} = \frac{1,000}{1,035} = 1,035$$

$$(B. 30) \alpha (^\circ) = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{D_2 - D_1}{2} (m)}{L (m)} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{1,035 - 1,000}{2}}{0,190} \right) = 5,25^\circ$$

$$(B. 31) \theta (^\circ) = 2 * \alpha (^\circ) = 2 * 5,25 = 10,5^\circ$$

$$(B. 32) k (interpolado) = 0,02, \text{ para: } \begin{cases} \frac{D_2}{D_1} = 1,035 \\ \theta = 10,5^\circ \end{cases}$$

Tabela B. 123 - Cálculo do coeficiente de perda de carga localizada para as expansões graduais (entre condutas) do sistema

Expansões graduais (Tubo-tubo)									
Linha	Número	Nº Segmento	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	D <sub>2</sub> /D <sub>1</sub> (m)	L (m)	Ângulo α(°)	Ângulo θ (°)	k
LP	1	1	1,000	1,035	<b>1,035</b>	0,190	5,3	<b>10,5</b>	<b>0,02</b>
	2	3	0,800	1,000	<b>1,250</b>	1,600	3,6	<b>7,2</b>	<b>0,04</b>
	3	38	0,710	0,800	<b>1,127</b>	0,300	8,5	<b>17,1</b>	<b>0,10</b>
	4	52	0,630	0,710	<b>1,127</b>	0,315	7,2	<b>14,5</b>	<b>0,08</b>
	5	75	0,560	0,630	<b>1,125</b>	0,300	6,7	<b>13,3</b>	<b>0,07</b>
	6	100	0,455	0,560	<b>1,231</b>	0,790	3,8	<b>7,6</b>	<b>0,04</b>
LS1	1	13	0,143	0,229	<b>1,601</b>	0,205	11,8	<b>23,7</b>	<b>0,32</b>
LS5	1	12	0,157	0,225	<b>1,433</b>	0,205	9,4	<b>18,8</b>	<b>0,20</b>
LS6A	1	5	0,195	0,235	<b>1,205</b>	0,390	2,9	<b>5,9</b>	<b>0,03</b>
LS10A3	1	2	0,320	0,455	<b>1,422</b>	0,320	11,9	<b>23,8</b>	<b>0,28</b>
	2	4	0,195	0,320	<b>1,641</b>	0,385	9,2	<b>18,4</b>	<b>0,20</b>
LS10B3	1	2	0,320	0,455	<b>1,422</b>	0,455	8,4	<b>16,9</b>	<b>0,20</b>
	2	8	0,200	0,320	<b>1,600</b>	0,400	8,5	<b>17,1</b>	<b>0,16</b>
<b>Total</b>	<b>13</b>					<b>Total</b>			
Linha	Número	Nº Segmento	D <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m)	D <sub>2</sub> /D <sub>1</sub> (m)	L (m)	Ângulo α(°)	Ângulo θ (°)	k

$$(B.33) \Delta P_l (Pa) = k * P_{d,1} (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v_1^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,02 * 1,192 * \frac{12,7^2}{2} = 1,9 Pa$$

Tabela B. 124 - Cálculo da queda de pressão associada às expansões graduais (entre condutas) do sistema

Expansões graduais (Tubo-tubo)							
Linha	Número	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>1</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha
LP	1	0,02	29,0	1,192	12,7	1,9	LP
	2	0,04	29,0	1,192	19,8	9,3	
	3	0,10	29,0	1,192	21,6	27,8	
	4	0,08	29,0	1,192	22,7	23,0	
	5	0,07	29,0	1,192	27,0	30,4	
	6	0,04	29,0	1,192	27,3	17,8	
LS1	1	0,32	26,0	1,205	22,0	92,0	LS1
LS5	1	0,20	26,5	1,203	22,0	59,3	LS5
LS6A	1	0,03	33,2	1,137	22,0	8,3	LS6A
LS10A3	1	0,28	36,3	1,126	15,5	37,7	LS10A3
	2	0,20	36,3	1,126	22,0	55,2	
LS10B3	1	0,20	36,3	1,126	16,8	31,8	LS10B3
	2	0,16	36,3	1,126	22,0	43,6	
<b>Total</b>	<b>13</b>			<b>Total</b>		<b>438,1</b>	<b>Total</b>
Linha	Número	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>1</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha

$$(B.34) \Delta P_l (Pa) = k * P_{d,2} (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v_2^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 1,000 * 1,201 * \frac{12,7^2}{2} = 96,8 Pa$$

Tabela B. 125 - Cálculo das quedas de pressão causadas pela expansão súbita das condutas (transição tubagem-equipamento) do sistema

Expansões súbitas (Tubo-tanque)									
Linha	Número	Nº segmento	Tipo de equipamento	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	v <sub>1</sub> (m/s)	ΔP (Pa)	Linha
CL-V	1	22+	Ventilador	1,000	27,0	1,201	12,7	96,8	CL-V
LP	1	0-	Câmara de Lavagem	1,000	29,0	1,192	11,8	83,0	LP
<b>Total</b>	<b>2</b>		<b>Total</b>					<b>179,8</b>	<b>Total</b>

$$(B.35) \Delta P_l (Pa) = k * P_{d,2} (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v_2^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,02 * 1,205 * \frac{22,0^2}{2} = 5,8 Pa$$

Tabela B. 126 - Cálculo das quedas de pressão originadas pela transformação da secção reta nas condutas do sistema

Transformação de secção reta quadrada para circular											
Linha	Número	Gradual/Súbita	Nº Segmento	A <sub>1</sub> (m²)	A <sub>2</sub> (m²)	k	v <sub>2</sub> (m/s)	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	ΔP (Pa)	Linha
LS1	1	Gradual	32	0,063	0,016	0,02	22,0	26,0	1,205	5,8	LS1
LS3B	1	Gradual	12	0,063	0,008	0,02	22,0	27,0	1,201	5,8	LS3B
LS9	1	Súbita	17	0,119	0,086	0,02	22,0	36,3	1,126	5,5	LS9
LS10A1	1	Súbita	48	0,020	0,024	0,02	22,0	28,1	1,196	5,8	LS10A1
LS10A2	1	Súbita	8	0,123	0,083	0,02	22,0	36,3	1,126	5,5	LS10A2
LS10B1	1	Súbita	12	0,119	0,086	0,02	22,0	36,3	1,126	5,5	LS10B1
LS10B2	1	Súbita	12	0,119	0,086	0,02	22,0	36,3	1,126	5,5	LS10B2
LS10B3	1	Súbita	17	0,119	0,086	0,02	22,0	36,3	1,126	5,5	LS10B3
<b>Total</b>	<b>8</b>									<b>44,7</b>	<b>Total</b>
Linha	Número	Gradual/Súbita	Nº Segmento	A <sub>1</sub> (m²)	A <sub>2</sub> (m²)	k	v <sub>2</sub> (m/s)	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	ΔP (Pa)	Linha

$$(B.36) k = 0,28, \text{ para: } \begin{cases} \frac{R_c}{D} \cong 0,50 \\ \alpha = 90^\circ \end{cases}$$

$$(B.37) \Delta P_l \text{ (Pa)} = k * P_d \text{ (Pa)} = k * \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) = 0,28 * 1,126 * \frac{23,3^2}{2} = 85,3 \text{ Pa}$$

Tabela B. 127 - Cálculo da queda de pressão gerada pela passagem da corrente de ar pela bifurcação da linha principal

<b>Bifurcação (BLP)</b>	
<b>Ângulo <math>\alpha</math> (°)</b>	<b>90</b>
<b>Diâmetro (m)</b>	0,455
<b>Arco na mediatriz (m)</b>	0,385
<b>Raio da curvatura (m)</b>	0,245
<b><math>R_c/D</math></b>	<b>0,539</b>
<b>k</b>	<b>0,28</b>
<b>T Ar (°C)</b>	36,3
<b><math>\rho</math> Ar (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,126
<b>v (m/s)</b>	<b>23,3</b>
<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	<b>85,3</b>

$$(B.38) \Delta P_l (Pa) = k * P_d (Pa) = k * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 0,24 * 1,205 * \frac{22,0^2}{2} = 70,0 Pa$$

Tabela B. 128 - Cálculo das quedas de pressão originadas pelas válvulas nos ramais do sistema

Válvulas											
Linha	Número	Número do segmento	Tipo	Ângulo (°)/ Abertura (%)	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	Diâmetro da tubagem (m)	Velocidade (m/s)	ΔP (Pa)	Linha
LS1	1	27	Borboleta	5	0,24	26,0	1,205	0,143	22,0	70,0	LS1
LS2A	1	20	Borboleta	5	0,24	35,2	1,130	0,200	22,0	65,6	LS2A
LS2B	1	14	Borboleta	5	0,24	33,9	1,135	0,143	22,0	65,9	LS2B
LS3A	1	17	Borboleta	5	0,24	29,0	1,192	0,229	22,0	69,2	LS3A
LS3B	1	6	Borboleta	5	0,24	27,0	1,201	0,102	22,0	69,7	LS3B
LS4	1	30	Borboleta	5	0,24	26,3	1,204	0,150	22,0	69,9	LS4
LS5	1	43	Borboleta	5	0,24	26,5	1,203	0,157	22,0	69,9	LS5
LS6A	1	15	Borboleta	5	0,24	33,2	1,137	0,195	22,0	66,0	LS6A
LS6B	1	15	Borboleta	5	0,24	35,0	1,131	0,115	22,0	65,7	LS6B
LS7	1	8	Borboleta	5	0,24	34,0	1,134	0,195	22,0	65,9	LS7
LS8	1	28	Borboleta	5	0,24	36,0	1,127	0,195	22,0	65,4	LS8
LS9	1	13	Borboleta	5	0,24	36,3	1,126	0,195	22,0	65,4	LS9
LS10A1	1	43	Faca	1	0,00	28,1	1,196	0,175	22,0	0,0	LS10A1
LS10A2	1	4	Borboleta	5	0,24	36,3	1,126	0,185	22,0	65,4	LS10A2
LS10A3	1	22	Borboleta	5	0,24	38,2	1,119	0,195	22,0	65,0	LS10A3
LS10B1	1	8	Borboleta	5	0,24	36,3	1,126	0,195	22,0	65,4	LS10B1
LS10B2	1	8	Borboleta	5	0,24	36,3	1,126	0,195	22,0	65,4	LS10B2
LS10B3	1	13	Borboleta	5	0,24	36,3	1,126	0,200	22,0	65,4	LS10B3
<b>Total</b>	<b>18</b>					<b>Total</b>				<b>1135,1</b>	<b>Total</b>
Linha	Número	Número do segmento	Tipo	Ângulo (°)/ Abertura (%)	k	T Ar (°C)	ρ Ar (kg/m³)	Diâmetro da tubagem (m)	Velocidade (m/s)	ΔP (Pa)	Linha

Tabela B. 129 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte I)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	Chaminé	Contração gradual	3	1,000-0,550	0,05	12,7-41,8	52,55	52,55
1	CL-V	Expansão súbita (Tubo-Ventilador)	22	1,000	1,00	12,7	96,82	185,27
2		Joelho 3 (90°)	18-21	1,000	0,31		29,52	
3		Joelho 2 (90°)	11-14	1,000	0,31		29,46	
4		Joelho 1 (90°)	3-6	1,000	0,31		29,46	
1	Câmara de Lavagem						500,00	
1	LP	Expansão súbita (Tubo-Câmara de Lavagem)	0	1,035	1,00	11,8	83,00	1.873,65
2		Expansão gradual 1	1	1,000-1,035	0,02	11,8-12,7	1,92	
3		Expansão gradual 2	3	0,800-1,000	0,04	12,7-19,8	9,35	
4		Joelho 1 (90°)	7-10	0,800	0,42	19,8	97,65	
5		Joelho 2 (90°)	17-20	0,800	0,41	19,8	96,30	
6		Joelho 3 (90°)	24-27	0,800	0,41	19,8	96,30	
7		Derivação LS1	29	0,800	0,32	19,8-19,1	70,05	
8		Derivação LS2	35	0,800	0,26	19,1-17,0	42,25	
9		Expansão gradual 3	38	0,710-0,800	0,10	17,0-21,6	27,81	
10		Joelho 4 (45°)	41-44	0,710	0,29	21,6	55,18	
11		Derivação LS3	42	0,710	0,24	21,6-18,8	51,60	
12		Derivação LS4	43	0,710	0,30	18,8-17,8	58,08	
13		Joelho 5 (45°)	46-49	0,710	0,29	17,8	55,56	
14		Expansão gradual 4	52	0,630-0,710	0,08	17,8-22,7	23,04	
15		Joelho 6 (45°)	55-56	0,630	0,30	22,7	91,87	
16		Joelho 7 (90°)	58-61	0,630	0,39	22,7	118,45	
17		Derivação LS5	64	0,630	0,30	22,7-21,3	81,26	
18		Joelho 8 (90°)	68-71	0,630	0,31	21,3	95,60	
19		Expansão gradual 5	75	0,560-0,630	0,07	21,3-27,0	30,42	
20		Joelho 9 (90°)	78-81	0,560	0,43	27,0	184,74	
21		Joelho 10 (90°)	83-88	0,560	0,46	27,0	199,25	
22		Derivação LS6	87	0,560	0,24	27,0-23,4	74,80	
23		Derivação LS7	92	0,560	0,17	23,4-18,0	32,09	
24		Derivação LS8	92	0,560	0,17		31,88	
25		Joelho 11 (90°)	94-99	0,560	0,40	18,0	77,28	
26		Expansão gradual 6	100	0,455-0,560	0,04	18,0-27,3	17,77	
27		Derivação LS9	103	0,455	0,23	27,3-23,3	70,13	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 130 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte II)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS1	Derivação LP	1	0,229	1,54	8,6	68,81	533,44
2		Joelho 1 (90°)	4	0,229	0,43	8,6	18,94	
3		Joelho 2 (90°)	8	0,229	0,43	8,6	18,94	
4		Expansão gradual	13	0,143-0,229	0,32	8,6-22,0	91,99	
5		Joelho 3 (90°)	18	0,143	0,43	22,0	124,58	
6		Joelho 4 (90°)	24	0,143	0,43	22,0	124,58	
7		Válvula Borboleta	27	0,143	0,24	22,0	69,97	
8		Transformação de secção reta gradual	32	0,250 <sup>2</sup> -0,143	0,02	22,0-5,7	5,83	
9		Contração súbita (Transportador-Tubo)	32+	0,250 <sup>2</sup>	0,50	5,7	9,79	
1	LS2A	Derivação LP	1	0,200	2,76	33,3	1.726,76	2.702,56
2		Joelho 1 (90°)	5	0,200	0,41	33,3	258,30	
3		Joelho 2 (90°)	9	0,200	0,41	33,3	258,30	
4		Derivação LS2B	13	0,200	0,11	33,3-22,0	30,73	
5		Joelho 3 (90°)	17	0,200	0,41	22,0	113,08	
6		Válvula Borboleta	20	0,200	0,24	22,0	65,62	
7		Joelho 4 (90°)	22	0,200	0,41	22,0	113,08	
8		Contração súbita (Elevador-Tubo)	27+	0,200	0,50	22,0	136,70	
1	LS2B	Derivação LS2A	1	0,143	2,26	22,0	621,03	947,84
2		Joelho 1 (60°)	4	0,143	0,26	22,0	71,14	
3		Joelho 2 (30°)	8	0,143	0,10	22,0	27,46	
4		Joelho 3 (90°)	11	0,143	0,43	22,0	117,32	
5		Válvula Borboleta	14	0,143	0,24	22,0	65,90	
6		Contração gradual	18	0,207-0,143	0,05	22,0-10,5	13,73	
7		Contração súbita (Silo-Tubo)	20	0,207	0,50	10,5	31,27	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 131 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte III)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS3A	Derivação LP	1	0,229	1,06	26,4	441,61	1.046,34
2		Joelho 1 (90°)	5	0,229	0,38	26,4	156,75	
3		Derivação LS3B	7	0,229	0,22	26,4-22,0	63,03	
4		Joelho 2 (90°)	11	0,229	0,42	22,0	120,66	
5		Joelho 3 (60°)	15	0,229	0,34	22,0	97,06	
6		Válvula Borboleta	17	0,229	0,24	22,0	69,24	
7		Contração gradual	21	0,229-0,264	0,06	22,0-16,6	15,87	
8		Contração súbita (Transportador-Tubo)	23+	0,264	0,50	16,6	82,13	
1	LS3B	Derivação LS3A	1	0,102	2,29	22,0	665,97	860,25
2		Joelho 1 (60°)	3	0,102	0,40	22,0	116,22	
3		Válvula Borboleta	6	0,102	0,24	22,0	69,73	
4		Transformação de secção reta gradual	12	0,250 <sup>2</sup> -0,102	0,02	22,0-2,9	5,81	
5		Contração súbita (Transportador-Tubo)	12+	0,250 <sup>2</sup>	0,50	2,9	2,52	
1	LS4	Derivação LP	1	0,150	0,99	22,0	288,02	1.066,43
2		Joelho 1 (60°)	5	0,150	0,52	22,0	150,93	
3		Joelho 2 (90°)	9	0,150	0,43	22,0	125,76	
4		Joelho 3 (90°)	17	0,150	0,43	22,0	125,76	
5		Joelho 4 (90°)	21	0,150	0,43	22,0	125,76	
6		Joelho 5 (90°)	27	0,150	0,44	22,0	128,42	
7		Válvula Borboleta	30	0,150	0,24	22,0	69,90	
8		Contração gradual	34	0,210-0,150	0,05	22,0-11,2	14,13	
9		Contração súbita (Transportador-Tubo)	36+	0,210	0,50	11,2	37,74	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 132 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte IV)

Perdas de carga localizadas globais

Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS5	Derivação LP	1	0,225	1,61	10,7	111,14	1.172,04
2		Joelho 1 (60°)	3	0,225	0,45	10,7	30,74	
3		Joelho 2 (90°)	7	0,225	0,42	10,7	28,86	
4		Expansão gradual	12	0,157-0,225	0,20	10,7-22,0	59,26	
5		Joelho 3 (30°)	17	0,157	0,28	22,0	80,71	
6		Joelho 4 (30°)	19	0,157	0,24	22,0	70,11	
7		Joelho 5 (90°)	22	0,157	0,41	22,0	120,38	
8		Joelho 6 (90°)	26	0,157	0,43	22,0	124,37	
9		Joelho 7 (30°)	30	0,157	0,27	22,0	79,37	
10		Joelho 8 (30°)	32	0,157	0,27	22,0	79,37	
11		Joelho 9 (90°)	36	0,157	0,43	22,0	125,68	
12		Joelho 10 (90°)	40	0,157	0,43	22,0	124,37	
13		Válvula Borboleta	43	0,157	0,24	22,0	69,85	
14		Contração gradual	47	0,200-0,157	0,04	22,0-13,6	12,22	
15		Contração súbita (Transportador-Tubo)	48+	0,200	0,50	13,6	55,61	
1	LS6A	Derivação LP	1	0,235	1,06	20,4	250,91	462,43
2		Derivação LS6B	3	0,235	0,16	20,4-15,1	20,15	
3		Expansão gradual	5	0,195-0,235	0,03	15,1-22,0	8,26	
4		Joelho 1 (30°)	8-10	0,195	0,15	22,0	41,82	
5		Joelho 2 (30°)	12-14	0,195	0,16	22,0	42,72	
6		Válvula Borboleta	15	0,195	0,24	22,0	66,05	
7		Contração gradual	18	0,320-0,195	0,05	22,0-8,2	13,42	
8		Contração súbita (Elevador-Tubo)	20+	0,320	0,50	8,2	19,12	
1	LS6B	Derivação LS6A	1	0,115	2,80	22,0	764,95	1.131,38
2		Joelho 1 (60°)	3-6	0,115	0,30	22,0	83,05	
3		Joelho 2 (90°)	8-14	0,115	0,30	22,0	80,93	
4		Válvula Borboleta	15	0,115	0,24	22,0	65,66	
5		Contração súbita (Arrefecedor-Tubo)	18+	0,115	0,50	22,0	136,79	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 133 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte V)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS7	Derivação LP	1	0,195	2,26	22,0	621,57	793,01
2		Joelho 1 (60°)	4-7	0,195	0,29	22,0	79,04	
3		Válvula Borboleta	8	0,195	0,24	22,0	65,87	
4		Contração gradual	10	0,345-0,195	0,05	22,0-7,0	12,63	
5		Contração súbita (Elevador-Tubo)	12+	0,345	0,50	7,0	13,89	
1	LS8	Derivação LP	1	0,195	2,26	22,0	617,51	995,83
2		Joelho 1 (90°)	4-9	0,195	0,33	22,0	88,62	
3		Joelho 2 (90°)	12-17	0,195	0,32	22,0	88,16	
4		Joelho 3 (90°)	21-26	0,195	0,32	22,0	88,16	
5		Válvula Borboleta	28	0,195	0,24	22,0	65,44	
6		Contração gradual	30	0,275-0,195	0,05	22,0-11,1	13,23	
7		Contração súbita (Elevador-Tubo)	32+	0,275	0,50	11,1	34,71	
1	LS9	Derivação LP	1	0,195	2,14	22,0	582,56	903,49
2		Joelho 1 (30°)	2-3	0,195	0,23	22,0	61,29	
3		Joelho 2 (90°)	5-9	0,195	0,27	22,0	73,53	
4		Joelho 3 (90°)	10-12	0,195	0,33	22,0	90,42	
5		Válvula Borboleta	13	0,195	0,24	22,0	65,38	
6		Contração gradual	16	0,330-0,195	0,06	22,0-7,7	16,35	
7		Transformação de secção reta súbita	17	0,345-0,33	0,02	7,7-5,5	5,45	
8		Contração súbita (Transportador-Tubo)	18+	0,345	0,50	5,5	8,51	
1	BLP	Bifurcação (90°)	-	0,455	0,28	(12,3+10,9)-23,3	85,30	90,03
2		Derivação LS10A1	7	0,455	0,13	7,7-10,9	4,73	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 134 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte VI)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS10A1	Derivação BLP	1	0,175	2,74	22,0	792,37	1.224,61
2		Joelho 1 (45°)	4-7	0,175	0,14	22,0	41,68	
3		Joelho 2 (30°)	12-15	0,175	0,11	22,0	31,26	
4		Joelho 3 (30°)	20-23	0,175	0,11	22,0	31,26	
5		Joelho 4 (90°)	30-35	0,175	0,19	22,0	54,99	
6		Joelho 5 (45°)	39-41	0,175	0,20	22,0	57,31	
7		Válvula Faca	43	0,175	0,00	22,0	0,00	
8		Transformação de secção reta súbita	48	(0,1*0,2)-0,175	0,02	22,0-26,5	5,79	
9		Contração súbita (Silo-Tubo)	51+	0,1*0,2	0,50	26,5	209,97	
1	LS10A2	Derivação LS10A	1	0,185	3,67	22,0	998,99	1.198,62
2		Joelho 1 (60°)	2-3	0,185	0,39	22,0	106,24	
3		Válvula Borboleta	4	0,185	0,24	22,0	65,38	
4		Contração gradual	7	0,325-0,185	0,06	22,0-7,1	16,07	
5		Transformação de secção reta súbita	8	0,350-0,325	0,02	7,1-4,8	5,45	
6		Contração súbita (Transportador-Tubo)	9+	0,350	0,50	4,8	6,48	
1	LS10A3	Expansão gradual 1	2	0,320-0,455	0,28	7,7-15,5	37,67	561,61
2		Derivação LS10A2	3	0,320	0,05	15,5-8,2	2,04	
3		Expansão gradual 2	4	0,195-0,320	0,20	8,2-22,0	55,25	
4		Joelho 1 (90°)	6-9	0,195	0,34	22,0	92,91	
5		Joelho 2 (90°)	10-13	0,195	0,35	22,0	93,78	
6		Joelho 3 (90°)	16-18	0,195	0,42	22,0	113,19	
7		Válvula Borboleta	22	0,195	0,24	22,0	64,97	
8		Joelho 4 (90°)	23-26	0,195	0,28	22,0	76,56	
9		Contração gradual	27	0,350-0,195	0,05	22,0-6,8	12,32	
10		Contração súbita (Elevador-Tubo)	29+	0,350	0,50	6,8	12,93	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 135 - Cálculo das quedas de pressão localizadas de todas as correntes do sistema (parte VII)

Perdas de carga localizadas globais								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	LS10B1	Derivação LS10B	1	0,195	3,71	22,0	1.009,40	1.260,82
2		Joelho 1 (30°)	2-3	0,195	0,23	22,0	61,29	
3		Joelho 2 (90°)	5-7	0,195	0,36	22,0	97,91	
4		Válvula Borboleta	8	0,195	0,24	22,0	65,38	
5		Contração gradual	11	0,330-0,195	0,05	22,0-7,7	12,87	
6		Transformação de secção reta súbita	12	0,345-0,330	0,02	7,7-5,5	5,45	
7		Contração súbita (Transportador-Tubo)	13+	0,345	0,50	5,5	8,51	
1	LS10B2	Derivação LS10B	1	0,195	3,53	22,0	961,53	1.159,99
2		Joelho 1 (60°)	6-7	0,195	0,39	22,0	106,24	
3		Válvula Borboleta	8	0,195	0,24	22,0	65,38	
4		Contração gradual	11	0,330-0,195	0,05	22,0-7,7	12,87	
5		Transformação de secção reta súbita	12	0,345-0,330	0,02	7,7-5,5	5,45	
6		Contração súbita (Transportador-Tubo)	13+	0,345	0,50	5,5	8,51	
1	LS10B3	Derivação LS10B1	1	0,455	0,12	12,3-8,3	4,55	237,79
2		Expansão gradual 1	2	0,320-0,455	0,20	8,3-16,8	31,77	
3		Derivação LS10B2	5	0,320	0,05	16,8-8,6	2,05	
4		Expansão gradual 2	8	0,200-0,320	0,16	8,6-22,0	43,59	
5		Joelho 1 (90°)	9-12	0,200	0,23	22,0	62,47	
6		Válvula Borboleta	13	0,200	0,24	22,0	65,38	
7		Contração gradual	16	0,330-0,200	0,05	22,0-8,1	13,08	
8		Transformação de secção reta súbita	17	0,345-0,330	0,02	8,1-5,8	5,45	
9		Contração súbita (Transportador-Tubo)	18+	0,345	0,50	5,8	9,47	
176	Total							20.959,98
Valores médios				0,300	0,46	19,8	119,1	930,0
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 136 - Cálculo das quedas de pressão localizadas associadas ao caminho crítico de aspiração (parte I)

Perdas de carga localizadas do caminho crítico (LS10A1)								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)
1	Chaminé	Contração gradual	3	1,000-0,550	0,05	12,7-41,8	52,55	52,55
1	CL-V	Expansão súbita (Tubo-Ventilador)	22	1,000	1,00	12,7	96,82	185,27
2		Joelho 3 (90°)	18-21	1,000	0,31		29,52	
3		Joelho 2 (90°)	11-14	1,000	0,31		29,46	
4		Joelho 1 (90°)	3-6	1,000	0,31		29,46	
1	LP	Expansão súbita (Tubo-Câmara de Lavagem)	0	1,035	1,00	11,8	83,00	1.873,65
2		Expansão gradual 1	1	1,000-1,035	0,02	11,8-12,7	1,92	
3		Expansão gradual 2	3	0,800-1,000	0,04	12,7-19,8	9,35	
4		Joelho 1 (90°)	7-10	0,800	0,42	19,8	97,65	
5		Joelho 2 (90°)	17-20	0,800	0,41	19,8	96,30	
6		Joelho 3 (90°)	24-27	0,800	0,41	19,8	96,30	
7		Derivação LS1	29	0,800	0,32	19,8-19,1	70,05	
8		Derivação LS2	35	0,800	0,26	19,1-17,0	42,25	
9		Expansão gradual 3	38	0,710-0,800	0,10	17,0-21,6	27,81	
10		Joelho 4 (45°)	41-44	0,710	0,29	21,6	55,18	
11		Derivação LS3	42	0,710	0,24	21,6-18,8	51,60	
12		Derivação LS4	43	0,710	0,30	18,8-17,8	58,08	
13		Joelho 5 (45°)	46-49	0,710	0,29	17,8	55,56	
14		Expansão gradual 4	52	0,630-0,710	0,08	17,8-22,7	23,04	
15		Joelho 6 (45°)	55-56	0,630	0,30	22,7	91,87	
16		Joelho 7 (90°)	58-61	0,630	0,39	22,7	118,45	
17		Derivação LS5	64	0,630	0,30	22,7-21,3	81,26	
18		Joelho 8 (90°)	68-71	0,630	0,31	21,3	95,60	
19		Expansão gradual 5	75	0,560-0,630	0,07	21,3-27,0	30,42	
20		Joelho 9 (90°)	78-81	0,560	0,43	27,0	184,74	
21		Joelho 10 (90°)	83-88	0,560	0,46	27,0	199,25	
22		Derivação LS6	87	0,560	0,24	27,0-23,4	74,80	
23		Derivação LS7	92	0,560	0,17	23,4-18,0	32,09	
24		Derivação LS8	92	0,560	0,17		31,88	
25		Joelho 11 (90°)	94-99	0,560	0,40	18,0	77,28	
26		Expansão gradual 6	100	0,455-0,560	0,04	18,0-27,3	17,77	
27		Derivação LS9	103	0,455	0,23	27,3-23,3	70,13	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ por Linha (Pa)

Tabela B. 137 - Cálculo das quedas de pressão localizadas associadas ao caminho crítico de aspiração (parte II)

Perdas de carga localizadas do caminho crítico (LS10A1)								
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_l$ (Pa)	$\Delta P_l$ por Linha (Pa)
1	BLP	Bifurcação (90°)	-	0,455	0,28	(12,3+10,9)-23,3	85,30	85,30
1	LS10A1	Derivação BLP	1	0,175	2,74	22,0	792,37	1.224,61
2		Joelho 1 (45°)	4-7	0,175	0,14	22,0	41,68	
3		Joelho 2 (30°)	12-15	0,175	0,11	22,0	31,26	
4		Joelho 3 (30°)	20-23	0,175	0,11	22,0	31,26	
5		Joelho 4 (90°)	30-35	0,175	0,19	22,0	54,99	
6		Joelho 5 (45°)	39-41	0,175	0,20	22,0	57,31	
7		Válvula Faca	43	0,175	0,00	22,0	0,00	
8		Transformação de secção reta súbita	48	(0,1*0,2)-0,175	0,02	22,0-26,5	5,79	
9		Contração súbita (Silo-Tubo)	51+	0,1*0,2	0,50	26,5	209,97	
42	Total						3.921,38	
Número de acidentes	Linha	Tipo de acidente	Número(s) do(s) segmento(s)	Diâmetro(s) (m)	k	Velocidade (m/s)	$\Delta P_l$ (Pa)	$\Delta P_l$ por Linha (Pa)

### B.3.2 Quedas de pressão friccionais

- Equação de Haaland

$$(B.39) Re = \frac{\rho \left(\frac{kg}{m^3}\right) * v \left(\frac{m}{s}\right) * D (m)}{\mu (Pa.s)} = \frac{1,201 * 12,7 * 1,000}{1,86 * 10^{-5}} = 8,21 * 10^5$$

$$(B.40) \frac{\varepsilon (m)}{D (m)} = \frac{1,52 * 10^{-6}}{1,000} = 1,52 * 10^{-6}$$

$$(B.41) f_D = \left[ -1,8 * \log_{10} \left( \frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{1,11}}{3,7} + \frac{6,9}{Re} \right) \right]^{-2} = \left[ -1,8 * \log_{10} \left[ \frac{(1,52 * 10^{-6})^{1,11}}{3,7} + \frac{6,9}{8,21 * 10^5} \right] \right]^{-2} = 0,01200$$

$$(B.42) \Delta P_f (Pa) = f_D * \frac{L (m)}{D (m)} * P_d (Pa) = f_D * \frac{L}{D} * \rho \left(\frac{kg}{m^3}\right) * \frac{v^2}{2} \left(\frac{m^2}{s^2}\right) = 0,01200 * \frac{0,225}{1,000} * 1,201 * \frac{12,7^2}{2} = 0,2615 Pa \cong 0,3 Pa$$

$$(B.43) \frac{\Delta P_f}{L} \left(\frac{Pa}{m}\right) = \frac{0,2615}{0,225} = 1,162 \frac{Pa}{m} \cong 1,2 \frac{Pa}{m}$$

Tabela B. 138 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01200	0,3	1,2
	38.2				12,7-41,8	1,000	1,49E+06		2,76E-06	0,01091	51,0	20,8
	38.3				41,8	1,000	1,49E+06		2,76E-06	0,01091	4,2	20,8
	38.4						1,49E+06	Aço inox	1,45E-06	0,01088	471,0	20,8
Ventilador	37				12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01200	0,0	0,0
Total											526,43	Total
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01200	0,13	1,2
	36.2								1,52E-06	0,01200	3,20	1,2
	36.3								1,52E-06	0,01200	1,45	1,2
	36.4								1,52E-06	0,01200	0,06	1,2
Total											4,84	Total
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	0,01211	0,18	1,0
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	0,01203	1,88	1,2
	35.3				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,01159	3,20	3,4
	35.4								1,90E-06	0,01159	8,00	3,4
	35.5								1,90E-06	0,01159	6,25	3,4
	35.6								1,90E-06	0,01159	0,42	3,4
Total											19,95	Total
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01697	1,43	3,3
	34.2								6,64E-06	0,01697	0,53	3,3
	34.3								6,64E-06	0,01697	5,93	3,3
	34.4				22	0,143	2,05E+05		1,06E-05	0,01550	41,17	31,6
	34.5								1,06E-05	0,01550	27,58	31,6
	34.6								1,06E-05	0,01550	57,03	31,6
	34.7							Poliuretano	7,46E-03	0,03481	23,42	71,0
	34.8							Aço inox	5,59E-06	0,01546	1,26	31,5
	34.9				5,7	0,250*0,250	9,27E+04		3,20E-06	0,01812	0,44	1,4
Total											158,79	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 139 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01166	34,03	3,2
<b>Total</b>											<b>34,03</b>	<b>Total</b>
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01369	21,53	42,9
	7,60E-06								0,01369	99,71	42,9	
	7,60E-06								0,01369	312,35	42,9	
<b>Total</b>											<b>433,59</b>	<b>Total</b>
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	0,01574	13,60	30,2
	31.2								1,06E-05	0,01574	59,73	30,2
	31.3								1,06E-05	0,01574	3,69	30,2
	31.4								1,06E-05	0,01574	14,86	30,2
	31.5				10,5	0,207	1,30E+05	Poliuretano	7,46E-03	0,03483	10,03	66,9
	31.6							Polipropileno	1,06E-05	0,01574	5,74	30,2
	31.7							7,34E-06	0,01691	0,43	5,1	
<b>Total</b>											<b>108,08</b>	<b>Total</b>
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01477	74,39	20,2
	30.2								7,60E-06	0,01477	59,47	20,2
	30.3								7,60E-06	0,01477	7,43	20,2
	30.4							Aço inox	4,00E-06	0,01474	1,25	20,2
<b>Total</b>											<b>142,55</b>	<b>Total</b>
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01189	3,08	2,6
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	0,01166	2,39	4,6
<b>Total</b>											<b>5,47</b>	<b>Total</b>
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01375	25,20	25,0
	28.2								6,64E-06	0,01375	25,77	25,0
<b>Total</b>											<b>50,97</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 140 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	0,01659	11,34	47,3	
	27.2							Polipropileno	1,49E-05	0,01659	64,31	47,3	
	27.3							Poliuretano	1,05E-02	0,03894	89,84	110,9	
	27.4							Polipropileno	1,49E-05	0,01659	3,78	47,3	
	27.5				2,9	0,250*0,250	4,69E+04	Aço inox	3,20E-06	0,02103	0,11	0,4	
<b>Total</b>											<b>169,39</b>	<b>Total</b>	
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01421	18,08	17,9	
	26.2							Polipropileno	6,64E-06	0,01421	4,49	17,9	
	26.3							Polipropileno	6,64E-06	0,01421	14,99	17,9	
	26.4							Poliuretano	4,66E-03	0,03007	11,37	37,9	
	26.5				Polipropileno	6,64E-06	0,01421	7,25	17,9				
	26.6				16,6	0,264	2,80E+05	Polipropileno	5,76E-06	0,01457	0,53	9,1	
<b>Total</b>											<b>56,71</b>	<b>Total</b>	
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01193	1,24	3,5	
<b>Total</b>											<b>1,24</b>	<b>Total</b>	
LS4	24.1	26,3	1,2035	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	0,01536	40,41	29,8	
	24.2								1,01E-05	0,01536	57,10	29,8	
	24.3								1,01E-05	0,01536	137,23	29,8	
	24.4								1,01E-05	0,01536	45,03	29,8	
	24.5								1,01E-05	0,01536	18,73	29,8	
	24.6								1,01E-05	0,01536	53,88	29,8	
	24.7								Poliuretano	7,11E-03	0,03428	15,64	66,6
	24.8								Polipropileno	1,01E-05	0,01536	5,37	29,8
	24.9				11,2	0,210	1,53E+05	Aço inox	3,81E-06	0,01637	0,45	5,9	
<b>Total</b>											<b>373,83</b>	<b>Total</b>	
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01205	0,73	3,2	
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	0,01180	3,05	5,8	
	23.3				2,41E-06	0,01180	9,17		5,8				
<b>Total</b>											<b>12,95</b>	<b>Total</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 141 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	0,01631	2,20	5,0
	22.2								6,76E-06	0,01631	12,08	5,0
	22.3								6,76E-06	0,01631	16,42	5,0
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	0,01523	30,48	28,2
	22.5								9,68E-06	0,01523	8,47	28,2
	22.6								9,68E-06	0,01523	2,40	28,2
	22.7								9,68E-06	0,01523	6,94	28,2
	22.8								9,68E-06	0,01523	70,93	28,2
	22.9								9,68E-06	0,01523	5,79	28,2
	22.10								9,68E-06	0,01523	8,81	28,2
	22.11				9,68E-06	0,01523	41,27		28,2			
	22.12				9,68E-06	0,01523	15,30	28,2				
	22.13				Poliuretano	6,79E-03	0,03378	19,41	62,6			
	22.14				Polipropileno	7,60E-06	0,01593	1,38	8,9			
Total											241,87	Total
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	0,01193	9,40	5,1
	21.2								2,41E-06	0,01193	3,68	5,1
	21.3				27,0	0,560	9,65E+05		2,71E-06	0,01170	4,66	9,1
Total											17,73	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01447	14,40	14,6
Total											14,40	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	0,01642	9,69	39,1
	19.2								6,96E-06	0,01642	18,36	39,1
	19.3								6,96E-06	0,01642	23,44	39,1
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	0,03742	37,39	89,0
	19.5							Aço inox	6,96E-06	0,01642	6,84	39,1
Total											95,71	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 142 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,1372	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01532	17,22	8,5
	18.2				22,0	0,195	2,58E+05		4,10E-06	0,01478	30,89	20,9
	18.3								4,10E-06	0,01478	8,55	20,9
	18.4							4,10E-06	0,01478	5,21	20,9	
	18.5							Poliuretano	5,47E-03	0,03159	11,81	44,6
	18.6				Aço inox	4,10E-06	0,01478	5,11	20,9			
	18.7					2,50E-06	0,01625	0,12	1,9			
Total											78,92	Total
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01196	23,59	7,0
Total											23,59	Total
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01479	20,66	20,8
	15.2								4,10E-06	0,01479	5,48	20,8
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	0,03159	14,67	44,5
	15.4							Aço inox	4,10E-06	0,01479	4,16	20,8
	15.5				2,32E-06	0,01653	0,06		1,3			
Total											45,04	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 143 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01483	26,21	20,7	
	14.2								4,10E-06	0,01483	32,07	20,7	
	14.3								4,10E-06	0,01483	50,69	20,7	
	14.4								4,10E-06	0,01483	32,86	20,7	
	14.5								Poliuretano	5,47E-03	0,03160	6,85	44,2
	14.6									4,10E-06	0,01483	4,15	20,7
	14.7				Aço inox	2,91E-06	0,01582	0,37	4,0				
Total											153,20	Total	
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01251	0,73	4,3	
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	0,01208	35,10	11,8	
Total											35,83	Total	
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01461	5,96	21,7	
	12.2								4,10E-06	0,01461	5,85	21,7	
	12.3								4,10E-06	0,01461	9,86	21,7	
	12.4								Tecido	2,34E-02	0,05197	16,58	77,1
	12.5									4,10E-06	0,01615	6,23	24,0
	12.6				Aço inox	2,32E-06	0,01712	0,10	0,9				
Total											44,59	Total	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 144 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01257	2,52	8,4
BLP	11.2								1,76E-06	0,01257	1,73	8,4
Total											4,25	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01410	1,23	2,6
Total											1,23	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01483	10,73	20,7
	9.2								4,10E-06	0,01483	7,36	20,7
	9.3								4,10E-06	0,01483	8,81	20,7
	9.4							Aço inox	2,34E-02	0,05198	18,52	72,6
	9.5								4,10E-06	0,01642	6,19	22,9
	9.6								2,32E-06	0,01741	0,09	0,9
Total											51,70	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01518	0,14	1,3
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	0,01421	18,46	7,1
Total											18,61	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01483	20,20	20,7
	7.2								4,10E-06	0,01483	5,80	20,7
	7.3							Aço inox	2,34E-02	0,05198	15,25	72,6
	7.4								4,10E-06	0,01642	6,19	22,9
	7.5								2,32E-06	0,01741	0,10	0,9
Total											47,54	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01615	2,90	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	0,01476	8,04	20,1
	6.3							4,00E-06	0,01476	19,70	20,1	
	6.4						Aço inox	2,29E-02	0,05147	19,63	70,1	
	6.5							4,00E-06	0,01625	5,98	22,1	
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05	2,32E-06	0,01722	0,10	1,0	
Total											56,35	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 145 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,30	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01442	0,61	2,1
<b>Total</b>											<b>0,61</b>	<b>Total</b>
LS10A	4.1	36,30	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01540	0,31	1,1
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05		2,50E-06	0,01442	2,44	6,1
<b>Total</b>											<b>2,75</b>	<b>Total</b>
LS10A2	3.1	36,30	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço inox	4,32E-06	0,01498	15,99	22,1
	3.2							Aço inox	4,32E-06	0,01498	10,70	22,1
	3.3							Tecido	2,47E-02	0,05308	17,98	78,2
	3.4							Aço inox	4,32E-06	0,01674	6,41	24,7
	3.5							Aço inox	2,29E-06	0,01785	0,07	0,7
<b>Total</b>											<b>51,15</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 146 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Haaland e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS10A3	2.1	36,30	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01630	2,51	1,9	
	2.2								2,50E-06	0,01630	0,76	1,9	
	2.3								4,10E-06	0,01483	16,99	20,7	
	2.4	38,20	1,119	1,91E-05	22,0	0,195	2,51E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01486	22,90	20,6	
	2.5								Poliuretano	5,47E-03	0,03160	43,87	43,9
	2.6								4,10E-06	0,01486	6,60	20,6	
	2.7								4,10E-06	0,01486	4,23	20,6	
	2.8								2,29E-06	0,01666	0,10	1,2	
<b>Total</b>											<b>97,96</b>	<b>Total</b>	
LS10A1	1.1	28,10	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	0,01491	9,37	24,7	
	1.2								4,57E-06	0,01491	46,85	24,7	
	1.3								4,57E-06	0,01491	56,47	24,7	
	1.4								4,57E-06	0,01491	85,32	24,7	
	1.5								4,57E-06	0,01491	14,57	24,7	
	1.6								4,57E-06	0,01491	17,31	24,7	
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05	6,00E-06	0,01516	11,94	47,8		
<b>Total</b>											<b>241,83</b>	<b>Total</b>	
<b>Total global</b>											<b>3423,65</b>	<b>Total global</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

• **Equação de Fang**

$$(B.44) f_D = 1,613 * \left[ \ln \left( 0,234 * \left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,1007} - \frac{60,525}{Re^{1,1105}} + \frac{56,291}{Re^{1,0712}} \right) \right]^{-2} = 1,613 * \left[ \ln \left( 0,234 * (1,52 * 10^{-6})^{1,1007} - \frac{60,525}{(8,21 * 10^5)^{1,1105}} + \frac{56,291}{(8,21 * 10^5)^{1,0712}} \right) \right]^{-2} = 1,21 * 10^{-2}$$

Tabela B. 147 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)		
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	1,21E-02	0,3	1,2		
	38.2				12,7-41,8	1,49E+06	2,76E-06		1,10E-02	51,4	21,0			
	38.3				41,8	1,49E+06	2,76E-06		1,10E-02	4,2	21,0			
	38.4					1,49E+06	1,45E-06	1,10E-02	474,5	21,0				
Ventilador	37			12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	1,21E-02	0,0	0,00			
<b>Total</b>											<b>530,3</b>	<b>Total</b>		
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	1,21E-02	0,1	1,2		
	36.2								1,52E-06	1,21E-02	3,2	1,2		
	36.3								1,52E-06	1,21E-02	1,5	1,2		
	36.4								1,52E-06	1,21E-02	0,1	1,2		
<b>Total</b>											<b>4,9</b>	<b>Total</b>		
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	1,22E-02	0,2	1,0		
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	1,21E-02	1,9	1,2		
	35.3				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	1,17E-02	3,2	3,4		
	35.4				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	1,17E-02	8,1	3,4		
	35.5				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	1,17E-02	6,3	3,4		
	35.6				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	1,17E-02	0,4	3,4		
<b>Total</b>											<b>20,1</b>	<b>Total</b>		
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	1,72E-02	1,4	3,3		
	34.2								6,64E-06	1,72E-02	0,5	3,3		
	34.3								6,64E-06	1,72E-02	6,0	3,3		
	34.4				22,0	0,143	2,05E+05	1,06E-05	1,57E-02	41,7	32,0			
	34.5				22,0	0,143	2,05E+05	1,06E-05	1,57E-02	27,9	32,0			
	34.6				22,0	0,143	2,05E+05	1,06E-05	1,57E-02	57,7	32,0			
	34.7									Poliuretano	7,46E-03	3,48E-02	23,4	71,0
	34.8									Aço inox	5,59E-06	1,56E-02	1,3	32,0
	34.9				5,7	0,250*0,250	9,27E+04			Aço inox	3,20E-06	1,83E-02	0,4	1,4
<b>Total</b>											<b>160,4</b>	<b>Total</b>		

Tabela B. 148 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	1,18E-02	34,3	3,2
Total											34,3	Total
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	1,38E-02	21,8	43,4
	7,60E-06								1,38E-02	100,8	43,4	
	7,60E-06								1,38E-02	315,7	43,4	
Total											438,3	Total
LS2B	31.1	33,9	1,136	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	1,59E-02	13,8	30,6
	31.2								1,06E-05	1,59E-02	60,5	30,6
	31.3								1,06E-05	1,59E-02	3,7	30,6
	31.4								1,06E-05	1,59E-02	15,0	30,6
	31.5							Poliuretano	7,46E-03	1,59E-02	4,6	30,6
	31.6							Polipropileno	1,06E-05	1,59E-02	5,8	30,6
	31.7							10,5	0,207	1,30E+05	Polipropileno	7,34E-06
Total											103,8	Total
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	1,49E-02	75,3	20,4
	30.2								7,60E-06	1,49E-02	60,2	20,4
	30.3								7,60E-06	1,49E-02	7,5	20,4
	30.4							Aço inox	4,00E-06	1,49E-02	1,3	20,4
Total											144,2	Total
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	1,20E-02	3,1	2,6
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	1,18E-02	2,4	4,6
Total											5,5	Total
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	1,39E-02	25,5	25,22
	28.2								6,64E-06	1,39E-02	26,1	25,22
Total											51,5	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 149 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	1,68E-02	11,5	47,8
	27.2							Polipropileno	1,49E-05	1,68E-02	65,1	47,8
	27.3							Poliuretano	1,05E-02	3,89E-02	89,8	110,9
	27.4							Polipropileno	1,49E-05	1,68E-02	3,8	47,8
	27.5							Aço inox	3,20E-06	2,13E-02	0,1	0,4
Total											170,33	Total
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	1,44E-02	18,3	18,1
	26.2							Polipropileno	6,64E-06	1,44E-02	4,5	18,1
	26.3							Polipropileno	6,64E-06	1,44E-02	15,2	18,1
	26.4							Poliuretano	4,66E-03	3,01E-02	11,4	37,9
	26.5							Polipropileno	6,64E-06	1,44E-02	7,3	18,1
	26.6							Polipropileno	5,76E-06	1,47E-02	0,5	9,2
Total											57,2	Total
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	1,20E-02	1,3	3,6
Total											1,3	Total
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	40,9	30,2
	24.2							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	57,8	30,2
	24.3							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	138,9	30,2
	24.4							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	45,6	30,2
	24.5							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	18,9	30,2
	24.6							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	54,5	30,2
	24.7							Poliuretano	7,11E-03	3,43E-02	15,6	66,5
	24.8							Polipropileno	1,01E-05	1,55E-02	5,4	30,2
	24.9							Aço inox	3,81E-06	1,66E-02	0,5	6,0
Total											378,1	Total
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	1,22E-02	0,7	3,2
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	1,19E-02	3,1	5,8
	23.3								2,41E-06	1,19E-02	9,2	5,8
Total											13,1	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 150 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	1,65E-02	2,2	5,1	
	22.2								6,76E-06	1,65E-02	12,2	5,1	
	22.3								6,76E-06	1,65E-02	16,6	5,1	
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	1,54E-02	30,8	28,6	
	22.5								9,68E-06	1,54E-02	8,6	28,6	
	22.6								9,68E-06	1,54E-02	2,4	28,6	
	22.7								9,68E-06	1,54E-02	7,0	28,6	
	22.8								9,68E-06	1,54E-02	71,8	28,6	
	22.9								9,68E-06	1,54E-02	5,9	28,6	
	22.10								9,68E-06	1,54E-02	8,9	28,6	
	22.11								9,68E-06	1,54E-02	41,8	28,6	
	22.12								9,68E-06	1,54E-02	15,5	28,6	
	22.13								Poliuretano	6,79E-03	3,38E-02	19,4	62,6
	22.14								Polipropileno	7,60E-06	1,61E-02	1,4	9,0
<b>Total</b>											<b>244,5</b>	<b>Total</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 151 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	1,20E-02	9,5	5,2
	21.2								2,41E-06	1,20E-02	3,7	5,2
	21.3								2,71E-06	1,18E-02	4,7	9,2
Total											17,9	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	1,46E-02	14,6	14,7
Total											14,6	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	1,66E-02	9,8	39,5
	19.2								6,96E-06	1,66E-02	18,6	39,
	19.3								6,96E-06	1,66E-02	23,7	39,5
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	3,74E-02	37,4	89,0
	19.5							Aço inox	6,96E-06	1,66E-02	6,9	39,5
Total											96,4	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 152 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	1,55E-02	17,4	8,6	
	18.2				22,0	0,195			2,58E+05	4,10E-06	1,50E-02	31,3	21,1
	18.3									4,10E-06	1,50E-02	8,7	21,1
	18.4						4,10E-06	1,50E-02		5,3	21,1		
	18.5						Poliuretano	5,47E-03		3,16E-02	11,8	44,6	
	18.6				Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	5,2	21,1				
	18.7					2,50E-06	1,64E-02	0,1	2,0				
Total											79,7	Total	
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	1,21E-02	23,8	7,0	
Total											23,8	Total	
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	20,9	21,1	
	15.2								4,10E-06	1,50E-02	5,5	21,1	
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	3,16E-02	14,7	44,5	
	15.4							Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	4,2	21,1	
	15.5				2,32E-06	1,67E-02	0,1		1,4				
Total											45,4	Total	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 153 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	26,5	21,0
	14.2								4,10E-06	1,50E-02	32,4	21,0
	14.3								4,10E-06	1,50E-02	51,3	21,0
	14.4								4,10E-06	1,50E-02	33,2	21,0
	14.5				Poliuretano	5,47E-03	3,16E-02	6,8	44,2			
	14.6				Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	4,2	21,0			
	14.7					2,91E-06	1,60E-02	0,4	4,0			
Total											154,9	Total
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	1,26E-02	0,7	4,4
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	1,22E-02	35,4	11,9
Total											36,2	Total
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	1,48E-02	6,0	21,9
	12.2								4,10E-06	1,48E-02	5,9	21,9
	12.3								4,10E-06	1,48E-02	10,0	21,9
	12.4							Tecido	2,34E-02	5,19E-02	16,6	77,0
	12.5				Aço inox	4,10E-06	1,64E-02	6,3	24,3			
	12.6					7,7/5,5	0,330/0,345 *0,345	1,22E+05	2,32E-06	1,73E-02	0,1	0,9
Total											44,9	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 154 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	1,27E-02	2,7	9,1
BLP	11.2								1,76E-06	1,27E-02	1,9	9,1
Total											4,6	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	1,43E-02	1,2	2,7
Total											1,3	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	10,9	20,1
	9.2								4,10E-06	1,50E-02	7,4	20,1
	9.3								4,10E-06	1,50E-02	8,9	20,1
	9.4							Aço inox	2,34E-02	5,19E-02	18,5	72,5
	9.5								4,10E-06	1,66E-02	6,3	23,2
	9.6								2,32E-06	1,76E-02	0,1	0,9
Total											52,1	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	1,54E-02	0,1	1,3
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	1,44E-02	18,7	7,1
Total											18,8	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	1,50E-02	20,4	21,0
	7.2								4,10E-06	1,50E-02	5,9	21,0
	7.3							Aço inox	2,34E-02	5,19E-02	15,2	72,5
	7.4								4,10E-06	1,66E-02	6,3	23,2
	7.5								2,32E-06	1,76E-02	0,1	0,9
Total											47,9	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	1,63E-02	2,9	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	1,49E-02	8,1	20,3
	6.3								4,00E-06	1,49E-02	19,9	20,3
	6.4							Aço inox	2,29E-02	5,14E-02	19,6	70,0
	6.5				4,00E-06	1,65E-02	6,1		22,4			
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05		2,32E-06	1,74E-02	0,1	1,0
Total											56,8	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 155 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	1,46E-02	0,6	2,1
	Total				0,6	Total						
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço inox	1,76E-06	1,56E-02	0,3	1,1
	4.2				15,5	0,320						
Total											2,8	Total
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço inox	4,32E-06	1,52E-02	16,2	22,3
	3.2								4,32E-06		1,52E-02	10,8
	3.3							Tecido	2,47E-02	5,30E-02	17,9	78,0
	3.4							Aço inox	4,32E-06	1,69E-02	6,5	25,0
	3.5								2,29E-06	1,81E-02	0,1	0,7
Total											51,5	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 156 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Fang e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	1,65E-02	2,5	2,0
	2.2								2,50E-06	1,65E-02	0,8	2,0
	2.3				38,2	1,119	1,91E-05		22,0	0,195	2,51E+05	4,10E-06
	2.4	4,10E-06	1,50E-02	23,2								20,9
	2.5	Poliuretano	5,47E-03	3,16E-02				43,9				43,9
	2.6	Aço inox	4,10E-06	1,50E-02				6,7				20,9
	2.7		4,10E-06	1,50E-02				4,3				20,9
	2.8		6,8	0,350	1,39E+05	2,29E-06	1,69E-02	0,1	1,3			
<b>Total</b>											<b>98,6</b>	<b>Total</b>
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	1,51E-02	9,5	25,0
	1.2								4,57E-06	1,51E-02	47,4	25,0
	1.3								4,57E-06	1,51E-02	57,1	25,0
	1.4								4,57E-06	1,51E-02	86,3	25,0
	1.5								4,57E-06	1,51E-02	14,7	25,0
	1.6								4,57E-06	1,51E-02	17,5	25,0
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05		6,00E-06	1,53E-02	12,1	48,3
<b>Total</b>											<b>244,7</b>	<b>Total</b>
<b>Total global</b>											<b>3451,1</b>	<b>Total global</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

• Equação de Swamee e Jain

$$(B.45) f_D = \left[ -2 * \log_{10} \left( \frac{\left( \frac{\epsilon}{D} \right)}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} = \left[ -2 * \log_{10} \left( \frac{(1,52 * 10^{-6})}{3,7} + \frac{5,74}{(8,21 * 10^5)^{0,9}} \right) \right]^{-2} = 0,01204$$

Tabela B. 157 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01204	0,26	1,2
	38.2				12,7-41,8	1,000	1,49E+06		2,76E-06	0,01096	51,20	20,9
	38.3				41,8	0,550	1,49E+06		2,76E-06	0,01096	4,18	20,9
	38.4						1,49E+06	Aço inox	1,45E-06	0,01092	472,60	20,8
Ventilador	37			12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01204	0,00	0,0	
Total											528,25	Total
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01204	0,13	1,2
	36.2								1,52E-06	0,01204	3,21	1,2
	36.3								1,52E-06	0,01204	1,46	1,2
	36.4								1,52E-06	0,01204	0,06	1,2
Total											4,86	Total
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	0,01214	0,18	1,0
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	0,01206	1,88	1,2
	35.3				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,01163	3,21	3,4
	35.4				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,01163	8,03	3,4
	35.5				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,01163	6,27	3,4
	35.6				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,01163	0,42	3,4
Total											20,01	Total
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01702	1,43	3,3
	34.2								6,64E-06	0,01702	0,53	3,3
	34.3								6,64E-06	0,01702	5,95	3,3
	34.4				22,0	0,143	2,05E+05		1,06E-05	0,01556	41,34	31,7
	34.5				22,0	0,143	2,05E+05		1,06E-05	0,01556	27,70	31,7
	34.6				22,0	0,143	2,05E+05		1,06E-05	0,01556	57,27	31,7
	34.7							Poliuretano	7,46E-03	0,03488	23,47	71,1
	34.8							Aço inox	5,59E-06	0,01552	1,27	31,6
	34.9				5,7	0,250*0,250	9,27E+04		3,20E-06	0,01817	0,44	1,4
Total											159,41	Total

Tabela B. 158 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01170	34,15	3,2
Total											34,15	Total
LS2	32.1	35,2	1,123	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01376	21,63	43,1
	7,60E-06								0,01376	100,17	43,1	
	7,60E-06								0,01376	313,78	43,1	
Total											435,58	Total
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	0,01580	13,65	30,3
	31.2								1,06E-05	0,01580	59,98	30,3
	31.3								1,06E-05	0,01580	3,70	30,3
	31.4								1,06E-05	0,01580	14,93	30,3
	31.5							Poliuretano	7,46E-03	0,03492	10,06	67,1
	31.6							Polipropileno	1,06E-05	0,01580	5,76	30,3
	31.7							10,5	0,207	1,30E+05	7,34E-06	0,01696
Total											108,53	Total
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01483	74,69	20,3
	30.2								7,60E-06	0,01483	59,71	20,3
	30.3								7,60E-06	0,01483	7,46	20,3
	30.4							Aço inox	4,00E-06	0,01479	1,25	20,2
Total											143,12	Total
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01193	3,09	2,6
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	0,01170	2,40	4,6
Total											5,49	Total
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01381	25,30	25,1
	28.2								6,64E-06	0,01381	25,88	25,1
Total											51,18	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 159 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	0,01667	11,39	47,5
	27.2								1,49E-05	0,01667	64,61	47,5
	27.3							Poliuretano	1,05E-02	0,03903	90,05	111,2
	27.4							Polipropileno	1,49E-05	0,01667	3,80	47,5
	27.5							Aço inox	3,20E-06	0,02108	0,11	0,4
Total											169,96	Total
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01427	18,16	18,0
	26.2								6,64E-06	0,01427	4,51	18,0
	26.3								6,64E-06	0,01427	15,05	18,0
	26.4							Poliuretano	4,66E-03	0,03014	11,39	38,0
	26.5							Polipropileno	6,64E-06	0,01427	7,28	18,0
	26.6							Polipropileno	5,76E-06	0,01463	0,53	9,1
Total											56,92	Total
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01197	1,24	3,6
Total											1,24	Total
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	0,01542	40,58	30,0
	24.2								1,01E-05	0,01542	57,35	30,0
	24.3								1,01E-05	0,01542	137,82	30,0
	24.4								1,01E-05	0,01542	45,22	30,0
	24.5								1,01E-05	0,01542	18,81	30,0
	24.6								1,01E-05	0,01542	54,12	30,0
	24.7							Poliuretano	7,11E-03	0,03435	15,67	66,7
	24.8							Polipropileno	1,01E-05	0,01542	5,39	30,0
	24.9							Aço inox	3,81E-06	0,01641	0,45	5,9
Total											375,41	Total
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01209	0,73	3,2
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	0,01184	3,06	5,8
	23.3				2,41E-06	0,01184	9,20		5,8			
Total											12,99	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 160 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	0,01636	2,20	5,0	
	22.2								6,76E-06	0,01636	12,12	5,0	
	22.3								6,76E-06	0,01636	16,47	5,0	
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	0,01529	30,61	28,4	
	22.5								9,68E-06	0,01529	8,50	28,4	
	22.6								9,68E-06	0,01529	2,41	28,4	
	22.7								9,68E-06	0,01529	6,97	28,4	
	22.8								9,68E-06	0,01529	71,24	28,4	
	22.9								9,68E-06	0,01529	5,81	28,4	
	22.10								9,68E-06	0,01529	8,84	28,4	
	22.11								9,68E-06	0,01529	41,44	28,4	
	22.12								9,68E-06	0,01529	15,36	28,4	
	22.13								Poliuretano	6,79E-03	0,03386	19,46	62,8
	22.14								Polipropileno	7,60E-06	0,01599	1,39	8,9
<b>Total</b>											<b>242,84</b>	<b>Total</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 161 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	0,01197	9,43	5,1
	21.2								2,41E-06	0,01197	3,69	5,1
	21.3								2,71E-06	0,01174	4,67	9,1
Total											17,80	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01452	14,44	14,6
Total											14,44	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	0,01648	9,72	39,2
	19.2								6,96E-06	0,01648	18,42	39,2
	19.3								6,96E-06	0,01648	23,52	39,2
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	0,0375	37,49	89,3
	19.5							Aço inox	6,96E-06	0,01648	6,86	39,2
Total											96,01	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 162 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01536	17,27	8,5
	18.2				22,0	0,195			2,58E+05	4,10E-06	0,01483	30,99
	18.3						4,10E-06			0,01483	8,58	20,9
	18.4						4,10E-06			0,01483	5,23	20,9
	18.5						Poliuretano	5,47E-03		0,03167	11,84	44,7
	18.6						Aço inox	4,10E-06		0,01483	5,13	20,9
	18.7				8,2	0,320	1,58E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01629	0,12	2,0
Total											79,16	Total
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01200	23,65	7,0
Total											23,65	Total
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01484	20,72	20,9
	15.2								4,10E-06	0,01484	5,49	20,9
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	0,03167	14,71	44,6
	15.4							Aço inox	4,10E-06	0,01484	4,18	20,9
	15.5				7,0	0,345	1,45E+05	Aço inox	2,32E-06	0,01657	0,06	1,3
Total											45,17	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 163 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>d</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01487	26,29	20,8	
	14.2								4,10E-06	0,01487	32,18	20,8	
	14.3								4,10E-06	0,01487	50,85	20,8	
	14.4								4,10E-06	0,01487	32,97	20,8	
	14.5								Poliuretano	5,47E-03	0,03168	6,87	44,3
	14.6								Aço inox	4,10E-06	0,01487	4,16	20,8
	14.7				11,1	0,275	1,81E+05	Aço inox	2,91E-06	0,01586	0,37	4,0	
Total											153,68	Total	
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01255	0,74	4,3	
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	0,01211	35,21	11,8	
Total											35,94	Total	
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01465	5,98	21,8	
	12.2								4,10E-06	0,01465	5,87	21,8	
	12.3								4,10E-06	0,01465	9,90	21,8	
	12.4								Tecido	2,34E-02	0,05189	16,56	77,0
	12.5								1,63E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01620	6,25
	12.6				7,7/5,5	0,330/0,345 *0,345	1,22E+05	Aço inox	2,32E-06	0,01716	0,10	0,9	
Total											44,66	Total	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>d</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 164 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01261	2,52	8,5
BLP	11.2								1,76E-06	0,01261	1,74	8,5
Total											4,26	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01413	1,24	2,6
Total											1,24	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01488	10,77	20,8
	9.2								4,10E-06	0,01488	7,38	20,8
	9.3								4,10E-06	0,01488	8,83	20,8
	9.4							Aço inox	2,34E-02	0,05191	18,49	72,5
	9.5								4,10E-06	0,01646	6,21	23,0
	9.6								2,32E-06	0,01745	0,09	0,9
Total											51,77	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01522	0,15	1,3
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	0,01425	18,52	7,1
Total											18,66	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01488	20,27	20,8
	7.2								4,10E-06	0,01488	5,82	20,8
	7.3							Aço inox	2,34E-02	0,05191	15,23	72,5
	7.4								4,10E-06	0,01646	6,21	23,0
	7.5								2,32E-06	0,01745	0,10	0,9
Total											47,62	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01619	2,91	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	0,01481	8,07	20,2
	6.3								4,00E-06	0,01481	19,76	20,2
	6.4							Aço inox	2,29E-02	0,05140	19,60	70,0
	6.5				1,58E+05	4,00E-06	0,01630		5,99	22,2		
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05		2,32E-06	0,01726	0,11	1,0
Total											56,44	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 165 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Materia I	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01445	0,61	2,1
<b>Total</b>											<b>0,61</b>	<b>Total</b>
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço	1,76E-06	0,01544	0,31	1,1
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05	inox	2,50E-06	0,01446	2,44	6,1
<b>Total</b>											<b>2,75</b>	<b>Total</b>
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço	4,32E-06	0,01503	16,04	22,1
	3.2							inox	4,32E-06	0,01503	10,73	22,1
	3.3							Tecido	2,47E-02	0,05301	17,95	78,1
	3.4								1,37E+05	4,32E-06	0,01679	6,43
	3.5				7,1/4,8	0,325/0,350 *0,350	9,94E+04	Aço	2,29E-06	0,01790	0,07	0,7
<b>Total</b>											<b>51,23</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Materia I	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 166 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Swamee e Jain e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01635	2,51	1,9	
	2.2								2,50E-06	0,01635	0,76	1,9	
	2.3								4,10E-06	0,01488	17,04	20,8	
	2.4	38,2	1,119	1,91E-05	22,0	0,195	2,51E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01491	22,97	20,7	
	2.5								Poliuretano	5,47E-03	0,03168	43,98	44,0
	2.6								Aço inox	4,10E-06	0,01491	6,62	20,7
	2.7								Aço inox	4,10E-06	0,01491	4,24	20,7
	2.8								Aço inox	2,29E-06	0,01670	0,10	1,2
<b>Total</b>											<b>98,24</b>	<b>Total</b>	
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	0,01496	9,40	24,7	
	1.2								4,57E-06	0,01496	47,00	24,7	
	1.3								4,57E-06	0,01496	56,65	24,7	
	1.4								4,57E-06	0,01496	85,60	24,7	
	1.5								4,57E-06	0,01496	14,62	24,7	
	1.6								4,57E-06	0,01496	17,37	24,7	
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05	6,00E-06	0,01522	11,98	47,9		
<b>Total</b>											<b>242,62</b>	<b>Total</b>	
<b>Total global</b>											<b>3435,88</b>	<b>Total global</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

- Equação de Chen

$$\begin{aligned}
 (B.46) f_D &= \left\{ -2 * \log_{10} \left[ \frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re} * \log_{10} \left( \frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)^{1,1092}}{2,8257} + \frac{5,8506}{Re^{0,892}} \right) \right] \right\}^{-2} = \\
 &= \left\{ -2 * \log_{10} \left[ \frac{(1,52 * 10^{-6})}{3,7065} - \frac{5,0452}{8,21 * 10^5} * \log_{10} \left( \frac{(1,52 * 10^{-6})^{1,1092}}{2,8257} + \frac{5,8506}{(8,21 * 10^5)^{0,892}} \right) \right] \right\}^{-2} = 0,01209
 \end{aligned}$$

Tabela B. 167 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01209	0,26	1,2
	38.2				12,7-41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,01098	51,31	20,9	
	38.3				41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,01098	4,19	20,9	
	38.4					1,49E+06	Aço inox	1,45E-06	0,01094	473,67	20,9	
Ventilador	37			12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01209	0,00	0,0	
Total											529,44	Total
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01209	0,13	1,2
	36.2								1,52E-06	0,01209	3,23	1,2
	36.3								1,52E-06	0,01209	1,46	1,2
	36.4								1,52E-06	0,01209	0,06	1,2
Total											4,88	Total
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	0,01219	0,19	1,0
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	0,01211	1,89	1,2
	35.3								1,90E-06	0,01167	3,23	3,4
	35.4								1,90E-06	0,01167	8,06	3,4
	35.5						1,01E+06		1,90E-06	0,01167	6,30	3,4
	35.6						1,90E-06		0,01167	0,43	3,4	
Total											20,08	Total
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01715	1,45	3,3
	34.2								6,64E-06	0,01715	0,53	3,3
	34.3								6,64E-06	0,01715	6,00	3,3
	34.4						1,06E-05		0,01567	41,64	32,0	
	34.5						1,06E-05		0,01567	27,90	32,0	
	34.6						1,06E-05		0,01567	57,68	32,0	
	34.7						Poliuretano	7,46E-03	0,03476	23,39	70,9	
	34.8						Aço inox	5,59E-06	0,01563	1,27	31,9	
	34.9						5,7	0,250*0,250	9,27E+04	3,20E-06	0,01831	0,44
Total											160,32	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 168 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01175	34,27	3,2
Total											34,27	Total
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01384	21,76	43,3
	7,60E-06								0,01384	100,76	43,3	
	7,60E-06								0,01384	315,64	43,3	
Total											438,16	Total
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	0,01592	13,75	30,6
	31.2								1,06E-05	0,01592	60,42	30,6
	31.3								1,06E-05	0,01592	3,73	30,6
	31.4								1,06E-05	0,01592	15,04	30,6
	31.5				10,5	0,207	1,30E+05	Poliuretano	7,46E-03	0,03480	10,02	66,8
	31.6							Polipropileno	1,06E-05	0,01592	5,81	30,6
	31.7							Polipropileno	7,34E-06	0,01710	0,44	5,2
Total											109,21	Total
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01493	75,21	20,4
	30.2								7,60E-06	0,01493	60,12	20,4
	30.3								7,60E-06	0,01493	7,51	20,4
	30.4							Aço inox	4,00E-06	0,01489	1,26	20,4
Total											144,10	Total
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01198	3,10	2,6
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	0,01174	2,41	4,6
Total											5,51	Total
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01389	25,46	25,2
	28.2								6,64E-06	0,01389	26,04	25,2
Total											51,49	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 169 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	0,01679	11,48	47,8
	27.2							Polipropileno	1,49E-05	0,01679	65,09	47,8
	27.3							Poliuretano	1,05E-02	0,03888	89,71	110,8
	27.4							Polipropileno	1,49E-05	0,01679	3,83	47,8
	27.5				2,9	0,250*0,250	4,69E+04	Aço inox	3,20E-06	0,02123	0,12	0,4
Total											170,22	Total
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01436	18,28	18,1
	26.2							Polipropileno	6,64E-06	0,01436	4,54	18,1
	26.3							Polipropileno	6,64E-06	0,01436	15,14	18,1
	26.4							Poliuretano	4,66E-03	0,03004	11,35	37,9
	26.5							Polipropileno	6,64E-06	0,01436	7,33	18,1
	26.6				16,6	0,264	2,80E+05	Polipropileno	5,76E-06	0,01473	0,53	9,2
Total											57,18	Total
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01202	1,25	3,6
Total											1,25	Total
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	0,01671	43,96	32,4
	24.2							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	57,76	30,2
	24.3							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	138,80	30,2
	24.4							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	45,54	30,2
	24.5							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	18,94	30,2
	24.6							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	54,50	30,2
	24.7							Poliuretano	7,11E-03	0,03424	15,62	66,5
	24.8							Polipropileno	1,01E-05	0,01553	5,43	30,2
	24.9				11,2	0,210	1,53E+05	Aço inox	3,81E-06	0,01537	0,42	5,5
Total											380,98	Total
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01214	0,74	3,2
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	0,01189	3,07	5,8
	23.3				2,41E-06	0,01189	9,23		5,8			
Total											13,04	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 170 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	0,01649	2,22	5,1	
	22.2								6,76E-06	0,01649	12,21	5,1	
	22.3								6,76E-06	0,01649	16,60	5,1	
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	0,01540	30,83	28,6	
	22.5								9,68E-06	0,01540	8,56	28,6	
	22.6								9,68E-06	0,01540	2,43	28,6	
	22.7								9,68E-06	0,01540	7,02	28,6	
	22.8								9,68E-06	0,01540	71,74	28,6	
	22.9								9,68E-06	0,01540	5,85	28,6	
	22.10								9,68E-06	0,01540	8,91	28,6	
	22.11								9,68E-06	0,01540	41,74	28,6	
	22.12								9,68E-06	0,01540	15,47	28,6	
	22.13								Poliuretano	6,79E-03	0,03374	19,39	62,6
	22.14								Polipropileno	7,60E-06	0,01610	1,40	9,0
Total											244,37	Total	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 171 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	0,01202	9,47	5,2
	21.2								2,41E-06	0,01202	3,70	5,2
	21.3				27,0	0,560	9,65E+05		2,71E-06	0,01179	4,69	9,2
Total											17,87	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01462	14,54	14,7
Total											14,54	Total
LS6B	19.1	35,0	1,130	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	0,01660	9,80	39,5
	19.2								6,96E-06	0,01660	18,56	39,5
	19.3								6,96E-06	0,01660	23,70	39,5
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	0,03737	37,34	88,9
	19.5							Aço inox	6,96E-06	0,01660	6,91	39,5
Total											96,31	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 172 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01548	17,39	8,5
	18.2				22,0	0,195	2,58E+05		4,10E-06	0,01493	31,21	21,1
	18.3								4,10E-06	0,01493	8,64	21,1
	18.4							4,10E-06	0,01493	5,27	21,1	
	18.5							Poliuretano	5,47E-03	0,03156	11,80	44,5
	18.6				Aço inox	4,10E-06	0,01493	5,16	21,1			
	18.7					2,50E-06	0,01642	0,12	2,0			
Total											79,60	Total
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01205	23,75	7,0
Total											23,75	Total
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01495	20,87	21,0
	15.2								4,10E-06	0,01495	5,53	21,0
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	0,03156	14,66	44,4
	15.4							Aço inox	4,10E-06	0,01495	4,21	21,0
	15.5				2,32E-06	0,01670	0,06		1,4			
Total											45,34	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 173 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01498	26,48	21,0
	14.2								4,10E-06	0,01498	32,40	21,0
	14.3								4,10E-06	0,01498	51,21	21,0
	14.4								4,10E-06	0,01498	33,20	21,0
	14.5							Poliuretano	5,47E-03	0,03157	6,84	44,1
	14.6				Aço inox	4,10E-06	0,01498	4,19	21,0			
	14.7					2,91E-06	0,01599	0,38	4,0			
Total											154,70	Total
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01261	0,74	4,4
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	0,01216	35,36	11,9
Total											36,10	Total
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01475	6,02	21,9
	12.2								4,10E-06	0,01475	5,91	21,9
	12.3								4,10E-06	0,01475	9,96	21,9
	12.4							Tecido	2,34E-02	0,05184	16,54	76,9
	12.5							Aço inox	4,10E-06	0,01633	6,30	24,2
	12.6				7,7/5,5	0,330/0,345 *0,345	1,22E+05		2,32E-06	0,01730	0,10	0,9
Total											44,84	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 174 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01267	2,54	8,5
BLP	11.2								1,76E-06	0,01267	1,74	8,5
Total											4,28	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01423	1,25	2,7
Total											1,25	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01498	10,84	20,9
	9.2								4,10E-06	0,01498	7,43	20,9
	9.3								4,10E-06	0,01498	8,90	20,9
	9.4							Aço inox	2,34E-02	0,05185	18,47	72,4
	9.5								4,10E-06	0,01659	6,26	23,2
	9.6								2,32E-06	0,01759	0,09	0,9
Total											51,99	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01533	0,15	1,3
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	0,01434	18,64	7,1
Total											18,79	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01498	20,41	20,9
	7.2								4,10E-06	0,01498	5,86	20,9
	7.3							Aço inox	2,34E-02	0,05185	15,21	72,4
	7.4								4,10E-06	0,01659	6,26	23,2
	7.5								2,32E-06	0,01759	0,10	0,9
Total											47,84	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01632	2,93	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	0,01491	8,12	20,3
	6.3								4,00E-06	0,01491	19,90	20,3
	6.4							Aço inox	2,29E-02	0,05133	19,58	69,9
	6.5				4,00E-06	0,01643	6,04		22,4			
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05		2,32E-06	0,01740	0,11	1,0
Total											56,68	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 175 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01455	0,61	2,1
Total											0,61	Total
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01556	0,31	1,1
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05		2,50E-06	0,01456	2,46	6,2
Total											2,77	Total
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço inox	4,32E-06	0,01514	16,16	22,3
	3.2								4,32E-06	0,01514	10,81	22,3
	3.3							Tecido	2,47E-02	0,05294	17,93	78,0
	3.4							Aço inox	4,32E-06	0,01692	6,48	24,9
	3.5								7,1/4,8	0,325/0,350*0,350	9,94E+04	2,29E-06
Total											51,45	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 176 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Chen e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01647	2,53	2,0
	2.2								2,50E-06	0,01647	0,77	2,0
	2.3				38,2	1,119	1,91E-05		22,0	0,195	2,51E+05	4,10E-06
	2.4	4,10E-06	0,01502	23,14								20,9
	2.5	Poliuretano	5,47E-03	0,03157				43,83				43,8
	2.6	Aço inox	4,10E-06	0,01502				6,67				20,9
	2.7		4,10E-06	0,01502				4,27				20,9
	2.8		2,29E-06	0,01684	0,10	1,2						
Total											98,48	Total
LS10A1	1.1	28,1	1,190	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	0,01506	9,47	24,9
	1.2								4,57E-06	0,01506	47,34	24,9
	1.3								4,57E-06	0,01506	57,06	24,9
	1.4								4,57E-06	0,01506	86,21	24,9
	1.5								4,57E-06	0,01506	14,72	24,9
	1.6								4,57E-06	0,01506	17,49	24,9
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05		6,00E-06	0,01533	12,07	48,3
Total											244,35	Total
Total global											3456,04	Total global
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

- Carta de Moody

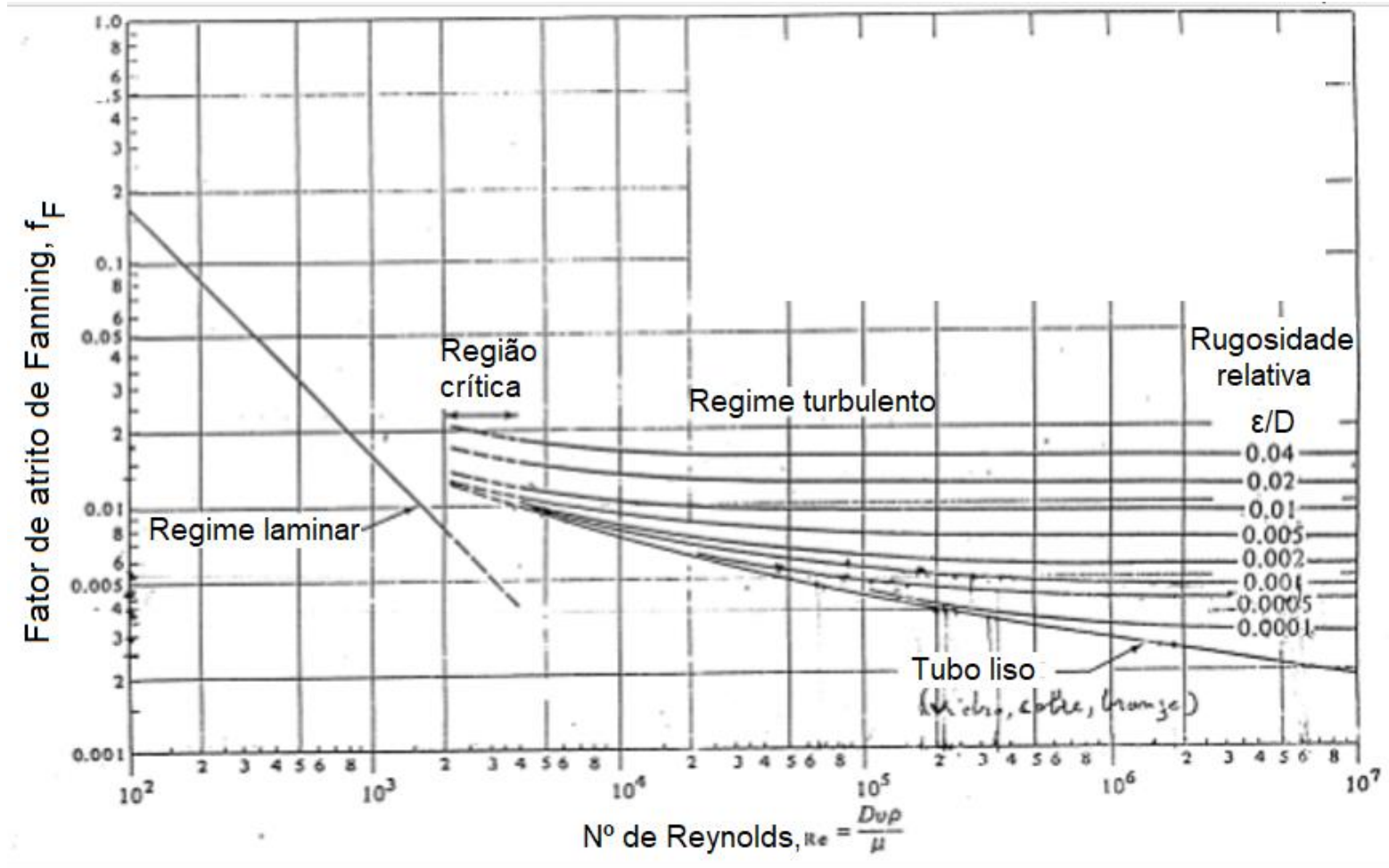


Figura B. 9 - Carta de Moody, expressa em termos do fator de atrito de Fanning [Adaptado de 38]

• Equação de Moody

$$(B.47) f_D = 0,0055 * \left[ 1 + \left( 2 * 10^4 * \frac{\varepsilon}{D} + \frac{1 * 10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,0055 * \left[ 1 + \left( 2 * 10^4 * 1,52 * 10^{-6} + \frac{1 * 10^6}{8,21 * 10^5} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,01142$$

Tabela B. 177 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)		
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01142	0,25	1,1		
	38.2				12,7-41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,01045	48,82	19,9			
	38.3				41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,01045	3,99	19,9			
	38.4					1,49E+06	1,45E-06	0,01039	449,71	19,8				
Ventilador	37			12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01142	0,00	0,0			
Total											502,76	Total		
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,01142	0,12	1,1		
	36.2								1,52E-06	0,01142	3,05	1,1		
	36.3								1,52E-06	0,01142	1,38	1,1		
	36.4								1,52E-06	0,01142	0,06	1,1		
Total											4,61	Total		
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	0,01152	0,18	0,9		
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	0,01145	1,79	1,1		
	35.3							1,01E+06	Polipropileno	1,90E-06	0,01105	3,05	3,2	
	35.4						19,8			0,800	1,90E-06	0,01105	7,63	3,2
	35.5									1,90E-06	0,01105	5,96	3,2	
	35.6									1,90E-06	0,01105	0,40	3,2	
Total											19,01	Total		
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01647	1,39	3,2		
	34.2								6,64E-06	0,01647	0,51	3,2		
	34.3								6,64E-06	0,01647	5,76	3,2		
	34.4						1,06E-05		0,01497	39,76	30,5			
	34.5						1,06E-05		0,01497	26,64	30,5			
	34.6						1,06E-05		0,01497	55,08	30,5			
	34.7							Poliuretano	7,46E-03	0,03499	23,54	71,3		
	34.8							Aço inox	5,59E-06	0,01490	1,22	30,4		
	34.9						5,7		0,250*0,250	9,27E+04	3,20E-06	0,01768	0,43	1,4
Total											154,34	Total		

Tabela B. 178 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01111	32,43	3,0
<b>Total</b>											<b>32,43</b>	<b>Total</b>
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01313	20,65	41,1
	7,60E-06								0,01313	95,63	41,1	
	7,60E-06								0,01313	299,57	41,1	
<b>Total</b>											<b>415,85</b>	<b>Total</b>
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	0,01521	13,15	29,2
	31.2								1,06E-05	0,01521	57,75	29,2
	31.3								1,06E-05	0,01521	3,56	29,2
	31.4								1,06E-05	0,01521	14,37	29,2
	31.5				Poliuretano	7,46E-03	0,03501	10,08	67,2			
	31.6				Polipropileno	1,06E-05	0,01521	5,55	29,2			
	31.7				10,5	0,207	1,30E+05	Polipropileno	7,34E-06	0,01641	0,42	5,0
<b>Total</b>											<b>104,89</b>	<b>Total</b>
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,01421	71,57	19,4
	30.2								7,60E-06	0,01421	57,22	19,4
	30.3								7,60E-06	0,01421	7,15	19,4
	30.4							Aço inox	4,00E-06	0,01415	1,20	19,4
<b>Total</b>											<b>137,13</b>	<b>Total</b>
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,01133	2,93	2,4
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	0,01112	2,28	4,4
<b>Total</b>											<b>5,21</b>	<b>Total</b>
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01318	24,15	23,9
	28.2								6,64E-06	0,01318	24,70	23,9
<b>Total</b>											<b>48,85</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 179 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>d</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	0,01612	11,02	45,9
	27.2								1,49E-05	0,01612	62,48	45,9
	27.3								1,05E-02	0,03850	88,84	109,7
	27.4								1,49E-05	0,01612	3,67	45,9
	27.5				2,9	0,25*0,25	4,69E+04	Aço inox	3,20E-06	0,02077	0,11	0,4
Total											166,12	Total
LS3A	26.1	2,90	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,01364	17,36	17,2
	26.2								6,64E-06	0,01364	4,31	17,2
	26.3								6,64E-06	0,01364	14,38	17,2
	26.4								4,66E-03	0,03071	11,61	38,7
	26.5				6,64E-06	0,01364	6,96	17,2				
	26.6				16,6	0,264	2,80E+05	Polipropileno	5,76E-06	0,01400	0,51	8,7
Total											55,12	Total
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01137	1,18	3,4
Total											1,18	Total
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	0,01482	39,00	28,8
	24.2								1,01E-05	0,01482	55,12	28,8
	24.3								1,01E-05	0,01482	132,46	28,8
	24.4								1,01E-05	0,01482	43,46	28,8
	24.5								1,01E-05	0,01482	18,08	28,8
	24.6								1,01E-05	0,01482	52,01	28,8
	24.7								7,11E-03	0,03452	15,75	67,0
	24.8				1,01E-05	0,01482	5,18	28,8				
	24.9				11,2	0,210	1,53E+05	Aço inox	3,81E-06	0,01583	0,43	5,7
Total											361,49	Total
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,01148	0,70	3,1
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	0,01125	2,91	5,5
	23.3				2,41E-06	0,01125	8,74		5,5			
Total											12,34	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>d</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 180 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	0,01579	2,13	4,8	
	22.2								6,76E-06	0,01579	11,69	4,8	
	22.3								6,76E-06	0,01579	15,89	4,8	
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	0,01469	29,40	27,2	
	22.5								9,68E-06	0,01469	8,17	27,2	
	22.6								9,68E-06	0,01469	2,31	27,2	
	22.7								9,68E-06	0,01469	6,70	27,2	
	22.8								9,68E-06	0,01469	68,42	27,2	
	22.9								9,68E-06	0,01469	5,58	27,2	
	22.10								9,68E-06	0,01469	8,49	27,2	
	22.11								9,68E-06	0,01469	39,80	27,2	
	22.12								9,68E-06	0,01469	14,76	27,2	
	22.13								Poliuretano	6,79E-03	0,03408	19,59	63,2
	22.14								Polipropileno	7,60E-06	0,01539	1,34	8,6
<b>Total</b>											<b>234,27</b>	<b>Total</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 181 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	0,01137	8,96	4,9
	21.2								2,41E-06	0,01137	3,50	4,9
	21.3								2,71E-06	0,01116	4,44	8,7
Total											16,91	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01387	13,80	14,0
Total											13,80	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	0,01590	9,38	37,8
	19.2								6,96E-06	0,01590	17,78	37,8
	19.3								6,96E-06	0,01590	22,70	37,8
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	0,03724	37,21	88,6
	19.5							Aço inox	6,96E-06	0,01590	6,62	37,8
Total											93,69	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 182 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	0,01474	16,57	8,1
	18.2				22,0	0,195	2,58E+05		4,10E-06	0,01419	29,67	20,0
	18.3								4,10E-06	0,01419	8,21	20,0
	18.4							4,10E-06	0,01419	5,01	20,0	
	18.5							Poliuretano	5,47E-03	0,03211	12,01	45,3
	18.6				Aço inox	4,10E-06	0,01419	4,91	20,0			
	18.7					2,50E-06	0,01570	0,12	1,9			
<b>Total</b>											<b>76,49</b>	<b>Total</b>
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01138	22,45	6,6
<b>Total</b>											<b>22,45</b>	<b>Total</b>
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01421	19,84	20,0
	15.2								4,10E-06	0,01421	5,26	20,0
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	0,03211	14,92	45,2
	15.4				Aço inox	4,10E-06	0,01421	4,00	20,0			
	15.5					2,32E-06	0,01600	0,06	1,3			
<b>Total</b>											<b>44,08</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 183 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01424	25,17	19,9
	14.2								4,10E-06	0,01424	30,81	19,9
	14.3								4,10E-06	0,01424	48,69	19,9
	14.4								4,10E-06	0,01424	31,56	19,9
	14.5							Poliuretano	5,47E-03	0,03212	6,96	44,9
	14.6							Aço inox	4,10E-06	0,01424	3,98	19,9
	14.7				2,91E-06	0,01526	0,36		3,9			
Total											147,54	Total
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	0,01191	0,70	4,1
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	0,01150	33,42	11,2
Total											34,12	Total
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01402	5,72	20,8
	12.2								4,10E-06	0,01402	5,62	20,8
	12.3								4,10E-06	0,01402	9,47	20,8
	12.4							Tecido	2,34E-02	0,04834	15,43	71,8
	12.5							Aço inox	4,10E-06	0,01561	6,02	23,2
	12.6				2,32E-06	0,01662	0,09		0,9			
Total											42,35	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 184 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01197	2,40	8,0
BLP	11.2								1,76E-06	0,01197	1,65	8,0
Total											4,04	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01348	1,18	2,5
Total											1,18	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01425	10,31	19,9
	9.2								4,10E-06	0,01425	7,07	19,9
	9.3								4,10E-06	0,01425	8,46	19,9
	9.4							Aço inox	2,34E-02	0,04835	17,22	67,5
	9.5								4,10E-06	0,01589	5,99	22,2
	9.6								2,32E-06	0,01692	0,09	0,8
Total											49,14	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01459	0,14	1,2
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	0,01360	17,67	6,8
Total											17,81	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,01425	19,40	19,9
	7.2								4,10E-06	0,01425	5,57	19,9
	7.3							Aço inox	2,34E-02	0,04835	14,18	67,5
	7.4								4,10E-06	0,01589	5,99	22,2
	7.5								2,32E-06	0,01692	0,09	0,8
Total											45,25	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01560	2,80	2,0
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	0,01417	7,72	19,3
	6.3								4,00E-06	0,01417	18,92	19,3
	6.4							Aço inox	2,29E-02	0,04799	18,30	65,4
	6.5				4,00E-06	0,01571	5,78		21,4			
	6.6				2,32E-06	0,01672	0,10		0,9			
Total											53,62	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 185 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01380	0,58	2,0
<b>Total</b>											<b>0,58</b>	<b>Total</b>
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço inox	1,76E-06	0,01482	0,30	1,1
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05		2,50E-06	0,01382	2,34	5,8
<b>Total</b>											<b>2,63</b>	<b>Total</b>
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço inox	4,32E-06	0,01440	15,37	21,2
	3.2							Aço inox	4,32E-06	0,01440	10,28	21,2
	3.3							Tecido	2,47E-02	0,04911	16,63	72,3
	3.4							Aço inox	4,32E-06	0,01622	6,21	23,9
	3.5							Aço inox	2,29E-06	0,01739	0,07	0,6
<b>Total</b>											<b>48,57</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 186 - Determinação do fator de atrito de Darcy através da equação de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	0,01576	2,42	1,9
	2.2								2,50E-06	0,01576	0,74	1,9
	2.3				38,2	1,119	1,91E-05		22,0	0,195	2,51E+05	4,10E-06
	2.4	4,10E-06	0,01428	22,00								19,8
	2.5	Poliuretano	5,47E-03	0,03212				44,59				44,6
	2.6	Aço inox	4,10E-06	0,01428				6,34				19,8
	2.7		4,10E-06	0,01428				4,06				19,8
	2.8		6,8	0,350	1,39E+05	2,29E-06	0,01613	0,09	1,2			
<b>Total</b>											<b>96,57</b>	<b>Total</b>
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	0,01433	9,01	23,7
	1.2								4,57E-06	0,01433	45,03	23,7
	1.3								4,57E-06	0,01433	54,27	23,7
	1.4								4,57E-06	0,01433	82,00	23,7
	1.5								4,57E-06	0,01433	14,01	23,7
	1.6								4,57E-06	0,01433	16,64	23,7
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05		6,00E-06	0,01460	11,50	46,0
<b>Total</b>											<b>232,44</b>	<b>Total</b>
<b>Total global</b>											<b>3298,87</b>	<b>Total global</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>D</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 187 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,0030	0,26	1,2
	38.2				12,7-41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,0026	48,59	19,8	
	38.3				41,8	1,49E+06	2,76E-06		0,0026	3,97	19,8	
	Ventilador				38.4	12,7	1,000	8,21E+05	Aço inox	1,45E-06	0,0026	450,21
Total											503,0	Total
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	Polipropileno	1,52E-06	0,0030	0,13	1,2
	36.2								1,52E-06	0,0030	3,20	1,2
	36.3								1,52E-06	0,0030	1,45	1,2
	36.4								1,52E-06	0,0030	0,06	1,2
Total											4,8	Total
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	Polipropileno	1,47E-06	0,0030	0,18	1,0
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05		1,52E-06	0,0030	1,87	1,2
	35.3				19,8	0,800	1,01E+06		1,90E-06	0,0028	3,10	3,3
	35.4								1,90E-06	0,0028	7,73	3,3
	35.5								1,90E-06	0,0028	6,04	3,3
	35.6								1,90E-06	0,0028	0,41	3,3
Total											19,3	Total
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,0040	1,35	3,1
	34.2								6,64E-06	0,0040	0,50	3,1
	34.3								6,64E-06	0,0040	5,60	3,1
	34.4								1,06E-05	0,0036	38,26	29,4
	34.5				22,0	0,143	2,05E+05	1,06E-05	0,0036	25,63	29,4	
	34.6							1,06E-05	0,0036	52,99	29,4	
	34.7							Poliuretano	7,46E-03	0,0090	24,22	73,4
	34.8							Aço inox	5,59E-06	0,0036	1,17	29,4
34.9	5,7	0,250*0,250	9,27E+04	3,20E-06	0,0040	0,39	1,3					
Total											150,1	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 188 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,0028	32,68	3,0
<b>Total</b>											<b>32,7</b>	<b>Total</b>
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,0035	22,0	43,8
	7,60E-06								0,0035	101,9	43,8	
	7,60E-06								0,0035	319,3	43,8	
<b>Total</b>											<b>443,3</b>	<b>Total</b>
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	Polipropileno	1,06E-05	0,0040	13,8	30,7
	31.2								1,06E-05	0,0040	60,7	30,7
	31.3								1,06E-05	0,0040	3,7	30,7
	31.4								1,06E-05	0,0040	15,1	30,7
	31.5							Poliuretano	7,46E-03	0,0090	10,4	69,1
	31.6							Polipropileno	1,06E-05	0,0040	5,8	30,7
	31.7								7,34E-06	0,0040	0,4	4,8
<b>Total</b>											<b>110,0</b>	<b>Total</b>
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	Polipropileno	7,60E-06	0,0035	70,5	19,1
	30.2								7,60E-06	0,0035	56,4	19,1
	30.3								7,60E-06	0,0035	7,0	19,1
	30.4							Aço inox	4,00E-06	0,0035	1,2	19,1
<b>Total</b>											<b>135,1</b>	<b>Total</b>
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	Polipropileno	1,90E-06	0,0030	3,1	2,6
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05		2,14E-06	0,0026	2,1	4,1
<b>Total</b>											<b>5,2</b>	<b>Total</b>
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,0035	25,7	25,4
	28.2								6,64E-06	0,0035	26,2	25,4
<b>Total</b>											<b>51,9</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 189 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	Polipropileno	1,49E-05	0,0040	10,9	45,6	
	27.2							Polipropileno	1,49E-05	0,0040	62,0	45,6	
	27.3							Poliuretano	1,05E-02	0,0095	87,7	108,2	
	27.4							Polipropileno	1,49E-05	0,0040	3,6	45,6	
	27.5				2,9	0,250*0,250	4,69E+04	Aço inox	3,20E-06	0,0050	0,1	0,4	
Total											164,4	Total	
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	Polipropileno	6,64E-06	0,0036	18,3	18,1	
	26.2							Polipropileno	6,64E-06	0,0036	4,6	18,1	
	26.3							Polipropileno	6,64E-06	0,0036	15,2	18,1	
	26.4							Poliuretano	4,66E-03	0,0070	10,6	35,3	
	26.5							Polipropileno	6,64E-06	0,0036	7,3	18,1	
	26.6				16,6	0,264	2,80E+05	Polipropileno	5,76E-06	0,0036	0,5	9,0	
Total											56,5	Total	
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,0030	1,2	3,6	
Total											1,2	Total	
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	Polipropileno	1,01E-05	0,0035	36,8	27,2	
	24.2								1,01E-05	0,0035	52,1	27,2	
	24.3								1,01E-05	0,0035	125,1	27,2	
	24.4								1,01E-05	0,0035	41,0	27,2	
	24.5								1,01E-05	0,0035	17,1	27,2	
	24.6								1,01E-05	0,0035	49,1	27,2	
	24.7								Poliuretano	7,11E-03	0,0080	14,6	62,1
	24.8								Polipropileno	1,01E-05	0,0035	4,9	27,2
	24.9				11,2	0,210	1,53E+05	Aço inox	3,81E-06	0,0037	0,4	5,3	
Total											341,1	Total	
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	Polipropileno	2,14E-06	0,0030	0,7	3,2	
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05		2,41E-06	0,0028	2,9	5,5	
	23.3				2,41E-06	0,0028	8,7		5,5				
Total											12,3	Total	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 190 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	Polipropileno	6,76E-06	0,0040	2,2	4,9	
	22.2								6,76E-06	0,0040	11,8	4,9	
	22.3								6,76E-06	0,0040	16,1	4,9	
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05		9,68E-06	0,0036	28,8	26,7	
	22.5								9,68E-06	0,0036	8,0	26,7	
	22.6								9,68E-06	0,0036	2,3	26,7	
	22.7								9,68E-06	0,0036	6,6	26,7	
	22.8								9,68E-06	0,0036	67,1	26,7	
	22.9								9,68E-06	0,0036	5,5	26,7	
	22.10								9,68E-06	0,0036	8,3	26,7	
	22.11								9,68E-06	0,0036	39,0	26,7	
	22.12								9,68E-06	0,0036	14,5	26,7	
	22.13								Poliuretano	6,79E-03	0,0085	19,5	63,0
	22.14								Polipropileno	7,60E-06	0,0037	1,3	8,2
<b>Total</b>											<b>231,0</b>	<b>Total</b>	
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)	

Tabela B. 191 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	Polipropileno	2,41E-06	0,0030	9,5	5,2
	21.2								2,41E-06	0,0030	3,7	5,2
	21.3								2,71E-06	0,0028	4,5	8,7
Total											17,6	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	Aço inox	3,40E-06	0,0035	13,9	14,1
Total											13,9	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	Aço inox	6,96E-06	0,0040	9,4	38,1
	19.2								6,96E-06	0,0040	17,9	38,1
	19.3								6,96E-06	0,0040	22,8	38,1
	19.4							Poliuretano	9,28E-03	0,0095	38,0	90,4
	19.5							Aço inox	6,96E-06	0,0040	6,7	38,1
Total											94,8	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 192 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	Aço inox	3,40E-06	0,0040	18,0	8,8
	18.2				22,0	0,195	2,58E+05		4,10E-06	0,0036	30,1	20,3
	18.3								4,10E-06	0,0036	8,3	20,3
	18.4								4,10E-06	0,0036	5,1	20,3
	18.5				8,2	0,320	1,58E+05	Poliuretano	5,47E-03	0,0080	12,0	45,2
	18.6							Aço inox	4,10E-06	0,0036	5,0	20,3
	18.7							Aço inox	2,50E-06	0,0040	0,1	1,9
<b>Total</b>											<b>78,6</b>	<b>Total</b>
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	Aço inox	1,43E-06	0,0030	23,7	7,0
<b>Total</b>											<b>23,7</b>	<b>Total</b>
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0035	19,5	19,7
	15.2								4,10E-06	0,0035	5,2	19,7
	15.3							Poliuretano	5,47E-03	0,0080	14,9	45,0
	15.4				7,0	0,345	1,45E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0035	3,9	19,7
	15.5								2,32E-06	0,0040	0,1	1,3
<b>Total</b>											<b>43,6</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 193 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0035	24,7	19,6
	14.2								4,10E-06	0,0035	30,3	19,6
	14.3								4,10E-06	0,0035	47,9	19,6
	14.4								4,10E-06	0,0035	31,0	19,6
	14.5							Poliuretano	5,47E-03	0,0080	6,9	44,7
	14.6							Aço inox	4,10E-06	0,0035	3,9	19,6
	14.7				2,91E-06	0,0037	0,3		3,7			
Total											145,1	Total
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	Aço inox	1,43E-06	0,0030	0,7	4,1
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05		1,76E-06	0,0030	34,9	11,7
Total											35,6	Total
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0036	5,9	21,4
	12.2								4,10E-06	0,0036	5,8	21,4
	12.3								4,10E-06	0,0036	9,7	21,4
	12.4							Tecido	2,34E-02	0,0130	16,6	77,2
	12.5							Aço inox	4,10E-06	0,0040	6,2	23,7
	12.6				7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,22E+05		2,32E-06	0,0041	0,1	0,9
Total											44,2	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 194 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	Aço inox	1,76E-06	0,0030	2,4	8,1
BLP	11.2								1,76E-06	0,0030	1,7	8,1
Total											4,1	Total
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	Aço inox	1,76E-06	0,0035	1,2	2,6
Total											1,2	Total
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0035	10,1	19,6
	9.2								4,10E-06	0,0035	6,9	19,6
	9.3							4,10E-06	0,0035	8,3	19,6	
	9.4							Tecido	2,34E-02	0,0130	18,5	72,6
	9.5				Aço inox	4,10E-06	0,0040	6,0	22,4			
	9.6					7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,12E+05	2,32E-06	0,0042	0,1	0,8
Total											50,0	Total
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	Aço inox	1,76E-06	0,0040	0,2	1,4
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05		2,50E-06	0,0035	18,2	7,0
Total											18,3	Total
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	Aço inox	4,10E-06	0,0035	19,1	19,6
	7.2								4,10E-06	0,0035	5,5	19,6
	7.3							Tecido	2,34E-02	0,0130	15,3	72,6
	7.4							Aço inox	4,10E-06	0,0040	6,0	22,4
	7.5				7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,12E+05		2,32E-06	0,0042	0,1	0,8
Total											45,9	Total
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	Aço inox	2,50E-06	0,0040	2,9	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05		4,00E-06	0,0035	7,6	19,1
	6.3							4,00E-06	0,0035	18,7	19,1	
	6.4							Tecido	2,29E-02	0,0130	19,8	70,8
	6.5							Aço inox	4,00E-06	0,0040	5,9	21,8
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05		2,32E-06	0,0042	0,1	0,9
Total											55,0	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 195 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	Aço inox	1,76E-06	0,0035	0,6	2,1
Total											0,6	Total
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	Aço inox	1,76E-06	0,0040	0,3	1,2
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05		2,50E-06	0,0035	2,4	5,9
Total											2,7	Total
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	Aço inox	4,32E-06	0,0035	14,9	20,6
	3.2								4,32E-06	0,0035	10,0	20,6
	3.3							Tecido	2,47E-02	0,0130	17,6	76,6
	3.4						Aço inox	1,37E+05	4,32E-06	0,0040	6,1	23,6
	3.5							7,1/4,8	0,325/0,350*0,350	9,94E+04	2,29E-06	0,0042
Total											48,7	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 196 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da carta de Moody e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	Aço inox	2,50E-06	0,0040	2,5	1,9
	2.2								2,50E-06	0,0040	0,7	1,9
	2.3				38,2	1,119	1,91E-05		22,0	0,195	2,51E+05	4,10E-06
	2.4	4,10E-06	0,0035	21,7								19,6
	2.5	Poliuretano	5,47E-03	0,0075				41,9				41,9
	2.6	Aço inox	4,10E-06	0,0035				6,3				19,6
	2.7		4,10E-06	0,0035				4,0				19,6
	2.8		6,8	0,350	1,39E+05	2,29E-06	0,0040	0,1	1,2			
<b>Total</b>											<b>93,2</b>	<b>Total</b>
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	Aço inox	4,57E-06	0,0035	8,3	21,8
	1.2								4,57E-06	0,0035	41,4	21,8
	1.3								4,57E-06	0,0035	49,9	21,8
	1.4								4,57E-06	0,0035	75,4	21,8
	1.5								4,57E-06	0,0035	12,9	21,8
	1.6								4,57E-06	0,0035	15,3	21,8
	1.7				26,5	0,1*0,2	2,27E+05		6,00E-06	0,0040	11,9	47,4
<b>Total</b>											<b>215,04</b>	<b>Total</b>
<b>Total global</b>											<b>3294,18</b>	<b>Total global</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	Valor	Valor	Nº Reynolds	Material	Rugosidade relativa, ε/D	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

• Equação de Blasius

$$(B.48) f_F = \frac{0,0791}{Re^{0,25}} = \frac{0,0791}{(8,21 * 10^5)^{0,25}} = 2,63 * 10^{-3}$$

$$(B.49) \Delta P_f (Pa) = f_D * \frac{L (m)}{D (m)} * P_d (Pa) = 4 * f_F * \frac{L}{D} * \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) * \frac{v^2}{2} \left( \frac{m^2}{s^2} \right) = 4 * 2,63 * 10^{-3} * \frac{0,225}{1,000} * 1,201 * \frac{12,7^2}{2} = 0,23 Pa$$

Tabela B. 197 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte I)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
Chaminé	38.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	2,63E-03	0,23	1,0
	38.2				12,7-41,8	1,49E+06	2,27E-03	42,34	17,3	
	38.3				41,8	1,49E+06	2,27E-03	3,46	17,3	
	38.4				1,49E+06	2,27E-03	392,31	17,3		
Ventilador	37			12,7	1,000	8,21E+05	2,63E-03	0,00	0,0	
<b>Total</b>									<b>438,33</b>	<b>Total</b>
CL-V	36.1	27,0	1,201	1,86E-05	12,7	1,000	8,21E+05	2,63E-03	0,11	1,0
	36.2							2,63E-03	2,81	1,0
	36.3							2,63E-03	1,27	1,0
	36.4							2,63E-03	0,05	1,0
<b>Total</b>									<b>4,24</b>	<b>Total</b>
LP	35.1	29,0	1,192	1,87E-05	11,8	1,035	7,80E+05	2,66E-03	0,16	0,9
	35.2				12,7	1,000	8,11E+05	2,64E-03	1,65	1,0
	35.3				19,8	0,800	1,01E+06	2,49E-03	2,76	2,9
	35.4				2,49E-03	6,89	2,9			
	35.5				2,49E-03	5,38	2,9			
	35.6				2,49E-03	0,36	2,9			
<b>Total</b>									<b>17,20</b>	<b>Total</b>
LS1	34.1	26,0	1,205	1,85E-05	8,6	0,229	1,28E+05	4,18E-03	1,41	3,3
	34.2							4,18E-03	0,52	3,3
	34.3							4,18E-03	5,85	3,3
	34.4				22,0	0,143	2,05E+05	3,72E-03	39,52	30,3
	34.5							3,72E-03	26,48	30,3
	34.6							3,72E-03	54,75	30,3
	34.7							3,72E-03	10,01	30,3
	34.8				5,7	0,250*0,250	9,27E+04	3,72E-03	1,21	30,3
	34.9							4,53E-03	0,44	1,4
<b>Total</b>									<b>140,20</b>	<b>Total</b>

Tabela B. 198 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte II)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	33.1	29,0	1,192	1,87E-05	19,1	0,800	9,76E+05	2,52E-03	29,37	2,7
<b>Total</b>									<b>29,37</b>	<b>Total</b>
LS2	32.1	35,2	1,130	1,90E-05	33,3	0,200	3,97E+05	3,15E-03	19,82	39,5
	32.2							3,15E-03	91,81	39,5
	32.3							3,15E-03	287,58	39,5
<b>Total</b>									<b>399,21</b>	<b>Total</b>
LS2B	31.1	33,9	1,135	1,89E-05	22,0	0,143	1,89E+05	3,79E-03	13,12	29,1
	31.2							3,79E-03	57,62	29,1
	31.3							3,79E-03	3,56	29,1
	31.4							3,79E-03	14,34	29,1
	31.5							3,79E-03	4,37	29,1
	31.6							3,79E-03	5,54	29,1
	31.7				10,5	0,207	1,30E+05	4,16E-03	0,43	5,0
<b>Total</b>									<b>98,97</b>	<b>Total</b>
LS2A	30.1	35,2	1,130	1,90E-05	22,0	0,200	2,62E+05	3,50E-03	70,45	19,1
	30.2							3,50E-03	56,32	19,1
	30.3							3,50E-03	7,03	19,1
	30.4							3,50E-03	1,19	19,1
<b>Total</b>									<b>134,98</b>	<b>Total</b>
LP	29.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,0	0,800	8,68E+05	2,59E-03	2,69	2,2
	29.2				21,6	0,710	9,79E+05	2,51E-03	2,06	3,9
<b>Total</b>									<b>4,75</b>	<b>Total</b>
LS3	28.1	29,0	1,192	1,87E-05	26,4	0,229	3,86E+05	3,17E-03	23,26	23,0
	28.2							3,17E-03	23,79	23,0
<b>Total</b>									<b>47,05</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 199 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte III)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS3B	27.1	27,0	1,201	1,86E-05	22,0	0,102	1,45E+05	4,05E-03	11,08	46,2
	27.2							4,05E-03	62,86	46,2
	27.3							4,05E-03	37,41	46,2
	27.4							4,05E-03	3,69	46,2
	27.5				2,9	0,250*0,250	4,69E+04	5,38E-03	0,12	0,4
<b>Total</b>									<b>115,16</b>	<b>Total</b>
LS3A	26.1	29,0	1,192	1,87E-05	22,0	0,229	3,22E+05	3,32E-03	16,91	16,7
	26.2							3,32E-03	4,20	16,7
	26.3							3,32E-03	14,01	16,7
	26.4							3,32E-03	5,02	16,7
	26.5							3,32E-03	6,78	16,7
	26.6				16,6	0,264	2,80E+05	3,44E-03	0,50	8,6
<b>Total</b>									<b>47,41</b>	<b>Total</b>
LP	25.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,8	0,710	8,52E+05	2,60E-03	1,08	3,1
<b>Total</b>									<b>1,08</b>	<b>Total</b>
LS4	24.1	26,3	1,204	1,85E-05	22,0	0,150	2,14E+05	3,68E-03	38,70	28,6
	24.2							3,68E-03	54,69	28,6
	24.3							3,68E-03	131,42	28,6
	24.4							3,68E-03	43,12	28,6
	24.5							3,68E-03	17,93	28,6
	24.6							3,68E-03	51,60	28,6
	24.7							3,68E-03	6,71	28,6
	24.8							3,68E-03	5,14	28,6
	24.9				11,2	0,210	1,53E+05	4,00E-03	0,44	5,8
<b>Total</b>									<b>349,75</b>	<b>Total</b>
LP	23.1	29,0	1,192	1,87E-05	17,8	0,710	8,07E+05	2,64E-03	0,64	2,8
	23.2				22,7	0,630	9,13E+05	2,56E-03	2,64	5,0
	23.3				2,56E-03	7,95	5,0			
<b>Total</b>									<b>11,23</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 200 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IV)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS5	22.1	26,5	1,203	1,86E-05	10,7	0,225	1,56E+05	3,98E-03	2,14	4,9
	22.2							3,98E-03	11,79	4,9
	22.3							3,98E-03	16,03	4,9
	22.4				22,0	0,157	2,24E+05	3,64E-03	29,12	27,0
	22.5							3,64E-03	8,09	27,0
	22.6							3,64E-03	2,29	27,0
	22.7							3,64E-03	6,63	27,0
	22.8							3,64E-03	67,76	27,0
	22.9							3,64E-03	5,53	27,0
	22.10							3,64E-03	8,41	27,0
	22.11							3,64E-03	39,42	27,0
	22.12							3,64E-03	14,61	27,0
	22.13							3,64E-03	8,36	27,0
	22.14				13,6	0,200	1,76E+05	3,86E-03	1,34	8,6
Total									221,53	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 201 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte V)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	21.1	29,0	1,192	1,87E-05	21,3	0,630	8,57E+05	2,60E-03	8,20	4,5
	21.2							2,60E-03	3,21	4,5
	21.3				27,0	0,560	9,65E+05	2,52E-03	4,02	7,8
Total									15,42	Total
LS6	20.1	33,2	1,137	1,89E-05	20,4	0,235	2,89E+05	3,41E-03	13,58	13,7
Total									13,58	Total
LS6B	19.1	35,0	1,131	1,90E-05	22,0	0,115	1,51E+05	4,01E-03	9,47	38,2
	19.2							4,01E-03	17,95	38,2
	19.3							4,01E-03	22,92	38,2
	19.4							4,01E-03	16,04	38,2
	19.5							4,01E-03	6,68	38,2
Total									73,06	Total
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 202 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VI)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS6A	18.1	33,2	1,137	1,89E-05	15,1	0,235	2,14E+05	3,68E-03	16,53	8,1
	18.2				22,0	0,195	2,58E+05	3,51E-03	29,33	19,8
	18.3							3,51E-03	8,12	19,8
	18.4							3,51E-03	4,95	19,8
	18.5							3,51E-03	5,25	19,8
	18.6							3,51E-03	4,85	19,8
	18.7				8,2	0,320	1,58E+05	3,97E-03	0,12	1,9
<b>Total</b>									<b>69,15</b>	<b>Total</b>
LP	17.1	29,0	1,192	1,87E-05	23,4	0,560	8,37E+05	2,62E-03	20,63	6,1
<b>Total</b>									<b>20,63</b>	<b>Total</b>
LS7	15.1	34,0	1,134	1,89E-05	22,0	0,195	2,57E+05	3,51E-03	19,62	19,8
	15.2							3,51E-03	5,20	19,8
	15.3							3,51E-03	6,53	19,8
	15.4							3,51E-03	3,95	19,8
	15.5				7,0	0,345	1,45E+05	4,05E-03	0,06	1,3
<b>Total</b>									<b>35,36</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 203 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS8	14.1	36,0	1,127	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	3,52E-03	24,90	19,7
	14.2							3,52E-03	30,48	19,7
	14.3							3,52E-03	48,17	19,7
	14.4							3,52E-03	31,23	19,7
	14.5							3,52E-03	3,05	19,7
	14.6							3,52E-03	3,94	19,7
	14.7				11,1	0,275	1,81E+05	3,84E-03	0,36	3,9
<b>Total</b>									<b>142,14</b>	<b>Total</b>
LP	13.1	29,0	1,192	1,87E-05	18,0	0,560	6,44E+05	2,79E-03	0,65	3,9
	13.2				27,3	0,455	7,93E+05	2,65E-03	30,82	10,4
<b>Total</b>									<b>31,47</b>	<b>Total</b>
LS9	12.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,195	2,75E+05	3,45E-03	5,64	20,5
	12.2							3,45E-03	5,53	20,5
	12.3							3,45E-03	9,33	20,5
	12.4							3,45E-03	4,41	20,5
	12.5							1,63E+05	3,94E-03	6,08
	12.6				7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,22E+05	4,23E-03	0,10	0,9
<b>Total</b>									<b>31,08</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 204 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte VIII)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LP	11.1	36,3	1,126	1,90E-05	23,3	0,455	6,27E+05	2,81E-03	2,25	7,6
BLP	11.2							2,81E-03	1,55	7,6
<b>Total</b>									<b>3,80</b>	<b>Total</b>
LS10B	10.1	36,3	1,126	1,90E-05	12,3	0,455	3,31E+05	3,30E-03	1,16	2,5
<b>Total</b>									<b>1,16</b>	<b>Total</b>
LS10B1	9.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	3,52E-03	10,20	19,7
	9.2							3,52E-03	6,99	19,7
	9.3							3,52E-03	8,37	19,7
	9.4							3,52E-03	5,02	19,7
	9.5				1,50E+05	4,02E-03	6,06	22,5		
	9.6				7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,12E+05	4,32E-03	0,09	0,9
<b>Total</b>									<b>36,73</b>	<b>Total</b>
LS10B	8.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,3	0,455	2,23E+05	3,64E-03	0,14	1,2
	8.2				16,8	0,320	3,18E+05	3,33E-03	17,31	6,6
<b>Total</b>									<b>17,45</b>	<b>Total</b>
LS10B2	7.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,195	2,54E+05	3,52E-03	19,20	19,7
	7.2							3,52E-03	5,51	19,7
	7.3							3,52E-03	4,14	19,7
	7.4							1,50E+05	4,02E-03	6,06
	7.5				7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	1,12E+05	4,32E-03	0,09	0,9
<b>Total</b>									<b>35,00</b>	<b>Total</b>
LS10B3	6.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,6	0,320	1,63E+05	3,94E-03	2,83	2,1
	6.2				22,0	0,200	2,60E+05	3,50E-03	7,63	19,1
	6.3							3,50E-03	18,70	19,1
	6.4							3,50E-03	5,34	19,1
	6.5							1,58E+05	3,97E-03	5,83
	6.6				8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	1,18E+05	4,26E-03	0,10	0,9
<b>Total</b>									<b>40,44</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m³)	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 205 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte IX)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
BLP-10A	5.1	36,3	1,126	1,90E-05	10,9	0,455	2,93E+05	3,40E-03	0,57	2,0
<b>Total</b>									<b>0,57</b>	<b>Total</b>
LS10A	4.1	36,3	1,126	1,90E-05	7,7	0,455	2,07E+05	3,71E-03	0,30	1,1
	4.2				15,5	0,320	2,94E+05	3,40E-03	2,30	5,7
<b>Total</b>									<b>2,59</b>	<b>Total</b>
LS10A2	3.1	36,3	1,126	1,90E-05	22,0	0,185	2,41E+05	3,57E-03	15,25	21,0
	3.2							3,57E-03	10,20	21,0
	3.3							3,57E-03	4,84	21,0
	3.4						1,37E+05	4,11E-03	6,30	24,2
	3.5						7,1/4,8	0,325/0,350*0,350	9,94E+04	4,45E-03
<b>Total</b>									<b>36,66</b>	<b>Total</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>F</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

Tabela B. 206 - Determinação do fator de atrito de Fanning através da equação de Blasius e cálculo das quedas de pressão distribuídas e do gradiente de queda de pressão do sistema (parte X)

Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)
LS10A3	2.1	36,3	1,126	1,90E-05	8,2	0,320	1,55E+05	3,98E-03	2,45	1,9
	2.2							3,98E-03	0,74	1,9
	2.3				38,2	1,119	1,91E-05	22,0	0,195	2,51E+05
	2.4	3,53E-03	21,78	19,6						
	2.5	3,53E-03	19,62	19,6						
	2.6	3,53E-03	6,28	19,6						
	2.7	3,53E-03	4,02	19,6						
	2.8	6,8	0,350	1,39E+05	4,09E-03	0,09	1,2			
<b>Total</b>									<b>71,14</b>	<b>Total</b>
LS10A1	1.1	28,1	1,196	1,86E-05	22,0	0,175	2,47E+05	3,55E-03	8,92	23,5
	1.2							3,55E-03	44,59	23,5
	1.3							3,55E-03	53,74	23,5
	1.4							3,55E-03	81,20	23,5
	1.5							3,55E-03	13,87	23,5
	1.6				3,55E-03	16,47	23,5			
	1.7	26,5	0,1*0,2	2,27E+05	3,62E-03	11,42	45,7			
<b>Total</b>									<b>230,21</b>	<b>Total</b>
<b>Total global</b>									<b>2968,12</b>	<b>Total global</b>
Linha	Subcorrente	T(°C)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidade absoluta (Pa.s)	v (m/s)	D (m)	Nº Reynolds	f <sub>f</sub>	ΔP friccionais (Pa)	ΔP/L (Pa/m)

- **Ábaco de fricção**

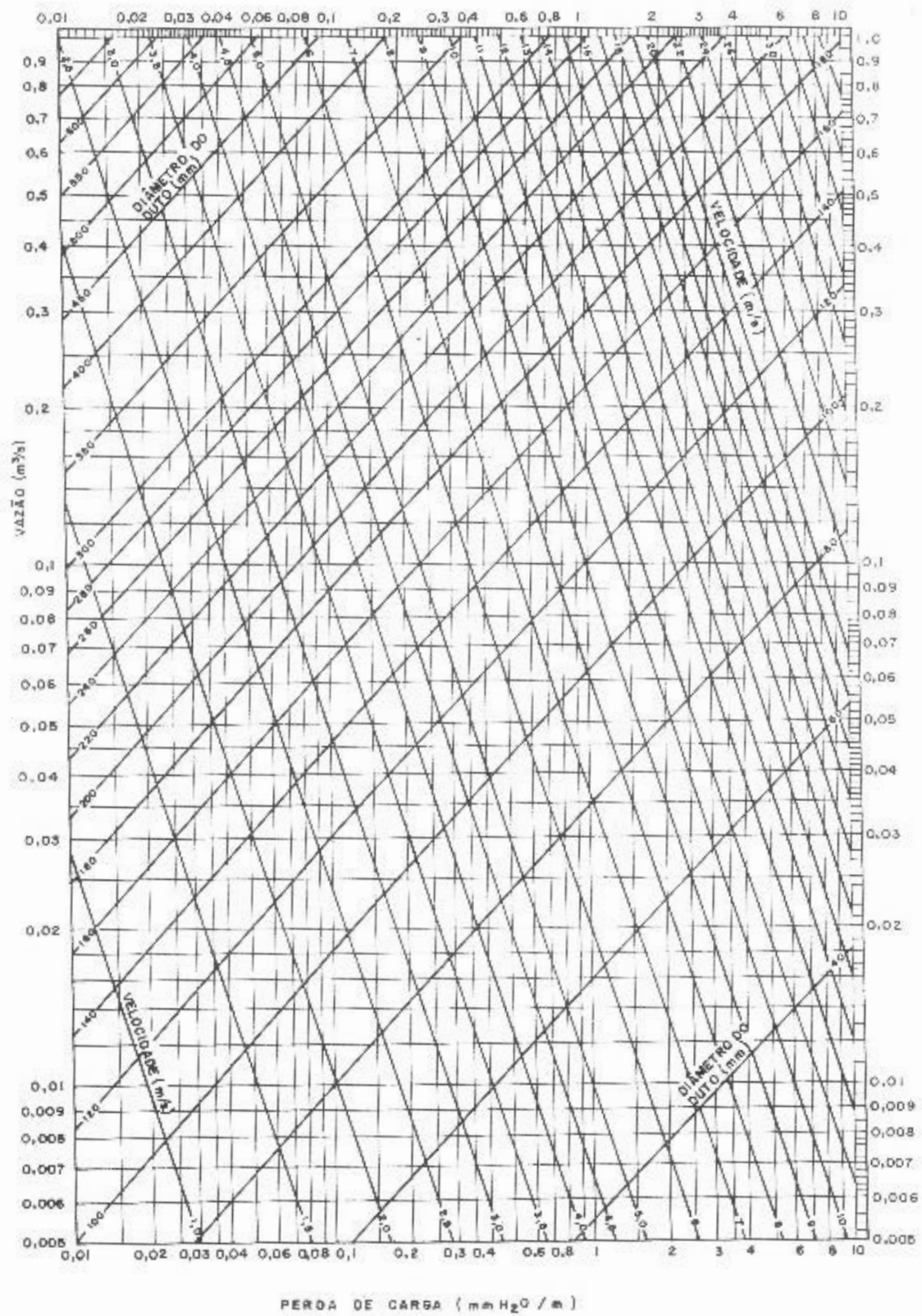


Figura B. 10 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 40-650 mm <sup>[29]</sup>

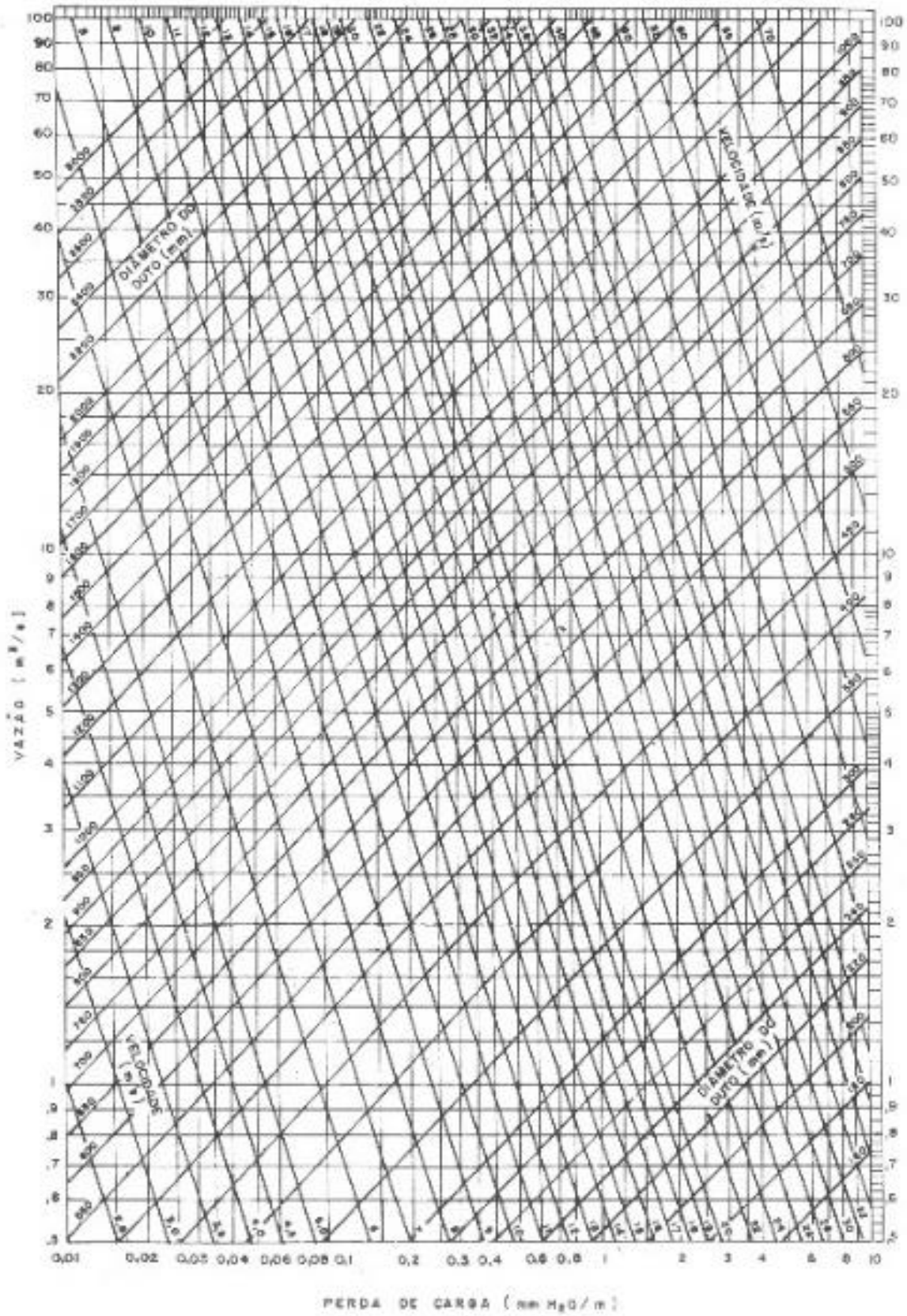


Figura B. 11 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 160-3000 mm<sup>[29]</sup>

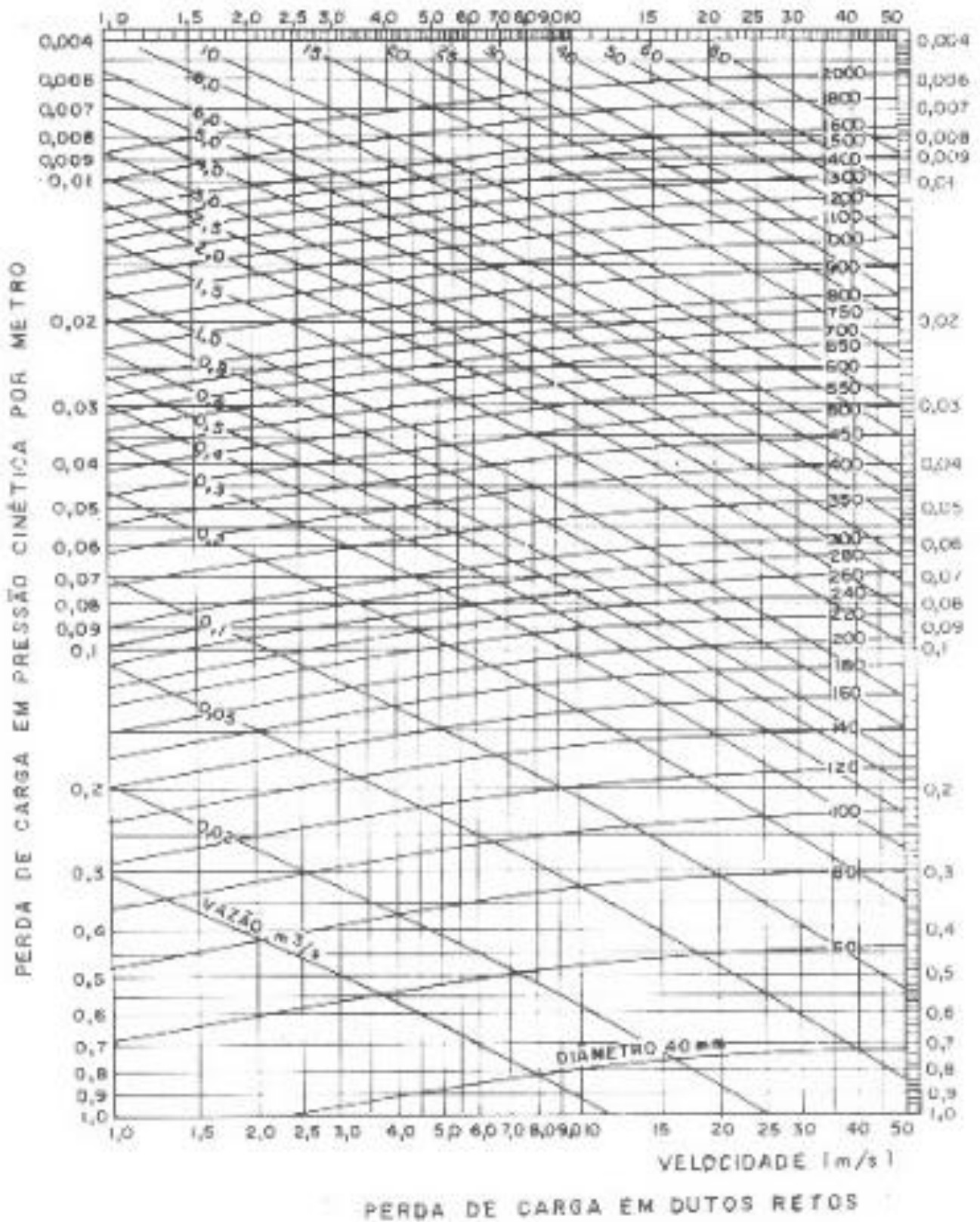


Figura B. 12 - Gradiente de fricção para diâmetros entre os 160 e os 2000 mm<sup>[29]</sup>

$$(B.49) \frac{\Delta P_f (Pa)}{L (m)} = \frac{\Delta P_f (mm H_2O)}{L (m)} * g$$

$$(B.50) \Delta P_f (Pa) = \frac{\Delta P_f (Pa)}{L (m)} * L (m)$$

$$(B.51) \Delta P_t (Pa) = \Delta P_f (Pa) + \Delta P_l (Pa) = f_D * \frac{\sum L}{D} * P_d + \sum k * P_d = \left( f_D * \frac{\sum L}{D} + \sum k \right) * P_d = \left( f_D * \frac{\sum L}{D} + \sum k \right) * \rho \frac{v^2}{2} = 0,33 + 0,00 = 0,33 Pa$$

Tabela B. 207 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte I)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)
Chaminé	38.1	12,7	1,000	1,47	0,33	0,00	0,33
	38.2	12,7-41,8	0,550	1,47	3,60	52,55	56,15
	38.3	41,8		24,52	4,90	0,00	4,90
	38.4			24,52	556,53	0,00	556,53
Ventilador	37	12,7	1,000	1,47	0,00	0,00	0,00
Total					565,37	52,55	617,91
CL-V	36.1	12,7	1,000	1,47	0,16	29,46	29,63
	36.2			1,47	4,06	29,46	33,52
	36.3			1,47	1,84	29,52	31,36
	36.4			1,47	0,07	96,82	96,90
Total					6,13	185,27	191,40
LP	35.1	11,8	1,035	1,47	0,28	84,92	85,20
	35.2	12,7	1,000	1,37	2,23	9,35	11,58
	35.3	19,8	0,800	3,92	3,71	97,65	101,36
	35.4			3,92	9,27	96,30	105,57
	35.5			3,92	7,24	96,30	103,54
	35.6			3,92	0,49	0,00	0,49
Total					23,22	384,52	407,74
LS1	34.1	8,6	0,229	3,92	1,70	68,81	70,51
	34.2			3,92	0,63	18,94	19,57
	34.3			3,92	7,05	18,94	26,00
	34.4	22,0	0,143	50,99	66,45	216,57	283,02
	34.5			50,99	44,52	124,58	169,10
	34.6			50,99	92,05	69,97	162,02
	34.7			50,99	16,83	0,00	16,83
	34.8			50,99	2,04	5,83	7,87
	34.9			5,7	0,250*0,250	1,67	0,52
Total					231,77	533,44	765,22
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)

Tabela B. 208 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte II)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LP	33.1	19,1	0,800	3,53	37,90	70,05	107,94
Total					37,90	70,05	107,94
LS2	32.1	33,3	0,200	63,74	32,00	1726,76	1758,76
	32.2			63,74	148,20	258,30	406,50
	32.3			63,74	464,24	258,30	722,54
Total					644,44	2243,36	2887,80
LS2B	31.1	22,0	0,143	47,07	21,18	692,17	713,35
	31.2			47,07	93,06	27,46	120,52
	31.3			47,07	5,74	117,32	123,06
	31.4			47,07	23,16	65,90	89,06
	31.5			47,07	7,06	13,73	20,79
	31.6			47,07	8,94	31,27	40,22
	31.7	10,5	0,207	6,37	0,54	0,00	0,54
Total					159,69	947,84	1107,53
LS2A	30.1	22,0	0,200	29,42	108,41	143,81	252,22
	30.2			29,42	86,67	65,62	152,29
	30.3			29,42	10,83	113,08	123,91
	30.4			29,42	1,82	136,70	138,52
Total					207,73	459,20	666,94
LP	29.1	17,0	0,800	3,24	3,89	42,25	46,14
	29.2	21,6	0,710	5,88	3,08	27,81	30,89
Total					6,97	70,06	77,03
LS3	28.1	26,4	0,229	32,36	32,69	441,61	474,30
	28.2			32,36	33,43	156,75	190,18
Total					66,12	598,36	664,48
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)

Tabela B. 209 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte III)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)
LS3B	27.1	22,0	0,102	68,65	16,48	665,97	682,44
	27.2			68,65	93,43	116,22	209,65
	27.3			68,65	55,60	69,73	125,33
	27.4			68,65	5,49	5,81	11,30
	27.5	2,9	0,250*0,250	0,44	0,12	2,52	2,64
Total					171,12	860,25	1031,37
LS3A	26.1	22,0	0,229	24,52	24,76	63,03	87,79
	26.2			24,52	6,15	120,66	126,81
	26.3			24,52	20,52	97,06	117,58
	26.4			24,52	7,35	69,24	76,60
	26.5			24,52	9,93	15,87	25,80
	26.6	16,6	0,264	11,77	0,68	82,13	82,81
Total					69,40	447,98	517,38
LP	25.1	18,8	0,710	4,71	1,65	106,79	108,44
Total					1,65	106,79	108,44
LS4	24.1	22,0	0,150	43,15	58,47	288,02	346,49
	24.2			43,15	82,63	150,93	233,56
	24.3			43,15	198,57	125,76	324,34
	24.4			43,15	65,16	125,76	190,92
	24.5			43,15	27,10	125,76	152,86
	24.6			43,15	77,97	128,42	206,39
	24.7			43,15	10,14	69,90	80,04
	24.8			43,15	7,77	14,13	21,89
	24.9	11,2	0,210	7,85	0,60	37,74	38,34
Total					528,40	1066,43	1594,83
LP	23.1	17,8	0,710	3,92	0,89	113,64	114,53
	23.2	22,7	0,630	6,86	3,64	23,04	26,68
	23.3			6,86	10,94	210,31	221,25
Total					15,47	346,99	362,46
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)

Tabela B. 210 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte IV)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LS5	22.1	10,7	0,225	5,39	2,37	111,14	113,51
	22.2			5,39	13,05	30,74	43,79
	22.3			5,39	17,75	28,86	46,60
	22.4	22,0	0,157	39,23	42,36	59,26	101,62
	22.5			39,23	11,77	80,71	92,48
	22.6			39,23	3,33	70,11	73,45
	22.7			39,23	9,65	120,38	130,03
	22.8			39,23	98,58	124,37	222,94
	22.9			39,23	8,04	79,37	87,41
	22.10			39,23	12,24	79,37	91,61
	22.11			39,23	57,35	125,68	183,03
	22.12			39,23	21,26	194,22	215,48
	22.13			39,23	12,16	0,00	12,16
	22.14	13,6	0,200	12,26	1,91	67,84	69,75
Total					311,83	1172,04	1483,86
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)

Tabela B. 211 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte V)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LP	21.1	21,3	0,630	6,86	12,60	81,26	93,87
	21.2			6,86	4,93	95,60	100,53
	21.3	27,0	0,560	12,75	6,54	414,41	420,95
Total					24,07	591,27	615,35
LS6	20.1	20,4	0,235	19,61	19,38	250,91	270,29
Total					19,38	250,91	270,29
LS6B	19.1	22,0	0,115	58,84	14,59	764,95	779,55
	19.2			58,84	27,65	83,05	110,71
	19.3			58,84	35,30	80,93	116,23
	19.4			58,84	24,71	65,66	90,37
	19.5			58,84	10,30	136,79	147,09
Total					112,56	1131,38	1243,94
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)

Tabela B. 212 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VI)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LS6A	18.1	15,1	0,235	12,26	24,97	20,15	45,12
	18.2	22,0	0,195	29,42	43,57	8,26	51,83
	18.3			29,42	12,06	41,82	53,88
	18.4			29,42	7,35	42,72	50,08
	18.5			29,42	7,80	66,05	73,84
	18.6			29,42	7,21	13,42	20,62
	18.7	8,2	0,320	2,45	0,15	19,12	19,27
Total					103,12	211,52	314,64
LP	17.1	23,4	0,560	9,81	33,18	74,80	107,98
Total					33,18	74,80	107,98
LS7	15.1	22,0	0,195	29,42	29,18	621,57	650,75
	15.2			29,42	7,74	79,04	86,78
	15.3			29,42	9,71	65,87	75,58
	15.4			29,42	5,88	12,63	18,51
	15.5	7,0	0,345	1,57	0,08	13,89	13,97
Total					52,59	793,01	845,60
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)

Tabela B. 213 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VII)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)
LS8	14.1	22,0	0,195	29,42	37,19	617,51	654,70
	14.2			29,42	45,51	88,62	134,14
	14.3			29,42	71,93	88,16	160,09
	14.4			29,42	46,63	88,16	134,79
	14.5			29,42	4,56	65,44	70,00
	14.6			29,42	5,88	13,23	19,11
	14.7	11,1	0,275	4,90	0,46	34,71	35,16
Total					212,16	995,83	1208,00
LP	13.1	18,0	0,560	5,59	0,95	63,98	64,93
	13.2	27,3	0,455	17,65	52,55	95,05	147,60
Total					53,50	159,03	212,53
LS9	12.1	22,0	0,195	29,42	8,09	582,56	590,65
	12.2			29,42	7,94	134,82	142,76
	12.3			29,42	13,39	155,80	169,18
	12.4			29,42	6,33	16,35	22,67
	12.5			29,42	7,65	5,45	13,10
	12.6	7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	0,78	0,08	8,51	8,60
Total					43,48	903,49	946,96
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	$\Delta P$ friccionais (Pa)	$\Delta P$ localizadas (Pa)	$\Delta P$ total (Pa)

Tabela B. 214 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte VIII)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)
LP	11.1	23,3	0,455	11,77	3,51	70,13	73,64
BLP	11.2			11,77	2,41	85,30	87,71
Total					5,92	155,43	161,35
LS10B	10.1	12,3	0,455	3,43	1,61	4,55	6,16
Total					1,61	4,55	6,16
LS10B1	9.1	22,0	0,195	29,42	15,24	1009,40	1024,64
	9.2			29,42	10,44	61,29	71,74
	9.3			29,42	12,50	97,91	110,41
	9.4			29,42	7,50	65,38	72,88
	9.5			29,42	7,94	12,87	20,82
	9.6	7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	0,78	0,08	13,96	14,05
Total					53,72	1260,82	1314,53
LS10B	8.1	8,3	0,455	1,57	0,18	0,00	0,18
	8.2	16,8	0,320	9,32	24,39	33,82	58,21
Total					24,57	33,82	58,38
LS10B2	7.1	22,0	0,195	29,42	28,68	961,53	990,22
	7.2			29,42	8,24	106,24	114,48
	7.3			29,42	6,18	65,38	71,56
	7.4			29,42	7,94	12,87	20,82
	7.5	7,7/5,5	0,330/0,345*0,345	0,78	0,09	13,96	14,05
Total					51,13	1159,99	1211,12
LS10B3	6.1	8,6	0,320	2,45	3,38	43,59	46,97
	6.2	22,0	0,200	29,42	11,77	62,47	74,23
	6.3			29,42	28,83	65,38	94,21
	6.4			29,42	8,24	13,08	21,31
	6.5			29,42	7,94	5,45	13,39
	6.6	8,1/5,8	0,330/0,345*0,345	0,78	0,09	9,47	9,55
Total					60,25	199,42	259,67
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)

Tabela B. 215 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte IX)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)
BLP-10A	5.1	10,9	0,455	2,75	0,79	4,73	5,52
Total					0,79	4,73	5,52
LS10A	4.1	7,7	0,455	1,37	0,37	0,00	0,37
	4.2	15,5	0,320	7,85	3,14	39,71	42,85
Total					3,51	39,71	43,22
LS10A2	3.1	22,0	0,185	29,42	21,33	998,99	1020,32
	3.2			29,42	14,27	106,24	120,51
	3.3			29,42	6,77	65,38	72,15
	3.4			29,42	7,65	16,07	23,72
	3.5	7,1/4,8	0,325/0,350*0,350	0,69	0,07	11,93	12,01
Total					50,09	1198,62	1248,71
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)

Tabela B. 216 - Determinação da perda de carga unitária no ábaco e cálculo das quedas de pressão localizadas e totais (parte X)

Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)
LS10A3	2.1	8,2	0,320	7,85	10,20	55,25	65,45
	2.2			7,85	3,10	92,91	96,01
	2.3	22,0	0,195	29,42	24,12	93,78	117,90
	2.4			29,42	32,66	113,19	145,84
	2.5			29,42	29,42	64,97	94,39
	2.6			29,42	9,41	76,56	85,97
	2.7			29,42	6,03	12,32	18,35
	2.8	6,8	0,350	1,96	0,15	12,93	13,08
<b>Total</b>					<b>115,10</b>	<b>521,90</b>	<b>636,99</b>
LS10A1	1.1	22,0	0,175	32,36	12,30	792,37	804,66
	1.2			32,36	61,49	41,68	103,17
	1.3			32,36	74,11	31,26	105,37
	1.4			32,36	111,97	31,26	143,23
	1.5			32,36	19,13	112,30	131,42
	1.6			32,36	22,72	5,79	28,51
	1.7	26,5	0,100*0,200	58,84	14,71	209,97	224,68
<b>Total</b>					<b>316,42</b>	<b>1224,61</b>	<b>1541,03</b>
<b>Total global</b>					<b>4384,33</b>	<b>20959,98</b>	<b>25344,31</b>
Linha	Subcorrente	v (m/s)	D (m)	Perda de carga unitária (Pa/m)	ΔP friccionais (Pa)	ΔP localizadas (Pa)	ΔP total (Pa)

Tabela B. 217 - Resultados dos cálculos das quedas de pressão para as correntes e comparação dos métodos utilizados para quantificar as quedas de pressão localizadas nas derivações

Corrente	$L_{TR}$ (m)	$\Delta P_f$ (Pa)	Nº Acidentes	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_{total}$ (Pa)	$\Delta P_{total}$ (Pa)	
1	LS10A1-Nó II	9,573	316	9	1.225	722	1.541	1.023
2	LS10A3-Nó I	5,228	115	8	522	522	637	637
3	LS10A2-Nó I	1,808	50	6	1.199	472	1.249	522
4	LS10A Nó I-II	0,673	4	2	40	53	43	56
5	LS10A Nó II-V	0,287	1	1	5	14	6	15
6	LS10B3-Nó III	3,421	60	6	199	199	260	260
7	LS10B2-Nó III	1,846	51	6	1.160	471	1.211	522
8	LS10B (Nó III-IV)	2,730	25	2	34	48	58	73
9	LS10B1-Nó IV	1,930	54	7	1.261	524	1.315	577
10	LS10B (Nó IV-V)	0,468	2	1	5	16	6	17
11	LP (Nó V-VI)	0,503	6	2	155	208	161	213
12	LS9-Nó VI	1,582	43	8	903	593	947	637
13	LP (Nó VI-VII)	3,147	54	4	159	242	213	295
14	LS8-Nó VII	7,289	212	7	996	651	1.208	863
15	LS7-Nó VII	1,833	53	5	793	446	846	499
16	LS7+8	0,000	0	0	0	0	0	0
17	LP (Nó VII-IX)	3,383	33	1	75	125	108	158
18	LS6A-Nó VIII	4,751	103	7	212	243	315	346
19	LS6B-Nó VIII	1,913	113	5	1.131	640	1.244	753
20	LS6 (Nó VIII-IX)	0,988	19	1	251	237	270	256
21	LP (Nó IX-X)	3,067	24	5	591	619	615	643
22	LS5-Nó X	13,361	312	15	1.172	1.130	1.484	1.442
23	LP (Nó X-XI)	2,351	15	5	347	365	362	381
24	LS4-Nó XI	12,308	528	9	1.066	1.070	1.595	1.598
25	LP (Nó XI-XIII)	0,350	2	2	107	139	108	141
26	LS3A-Nó XII	2,861	69	6	448	501	517	570
27	LS3B-Nó XII	2,761	171	5	860	485	1.031	656
28	LS3 (Nó XII-XIII)	2,043	66	2	598	572	664	638
29	LP (Nó XIII-XV)	1,726	7	2	70	93	77	100
30	LS2A-Nó XIV	7,061	208	5	459	538	667	746
31	LS2B-Nó XIV	3,466	160	7	948	601	1.108	761
32	LS2 Nó XIV-XV	10,110	644	3	2.243	1.143	2.888	1.787
33	LP (Nó XV-XVI)	10,734	38	1	70	88	108	126
34	LS1-Nó XVI	7,052	232	9	533	509	765	740
35	LP (Nó XVI-CL)	7,095	23	6	885	885	908	905
36	CL-V	4,168	6	4	185	181	191	187
37	V-C	0,000	0	0	0	0	0	0
38	C-Ambiente	25,575	565	1	53	53	618	618
Total		169,443	4.384	176	20.960	15.397	25.334	19.762
Corrente	$L_{TR}$ (m)	$\Delta P_f$ (Pa)	Nº Acidentes	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_i$ (Pa)	$\Delta P_{total}$ (Pa)	$\Delta P_{total}$ (Pa)	

Tabela B. 218 - Comparação dos métodos aplicados para a determinação das perdas de carga friccionais

Corrente	L <sub>TR</sub> (m)	ΔP <sub>f</sub> (Pa)									ΔP <sub>f</sub> /L (Pa/m)	
		Ábaco	Carta de Moody	Eq. de Haaland	Eq. de Fang	Eq. de Swamee & Jain	Eq. de Chen	Eq. de Moody	Eq. de Blasius	Valores médios		
1	LS10A1-Nó II	9,6	316	215	242	245	243	244	232	230	246	17
2	LS10A3-Nó I	5,2	115	93	98	99	98	98	97	71	96	18
3	LS10A2-Nó I	1,8	50	49	51	52	51	51	49	37	49	27
4	LS10A Nó I-II	0,7	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4
5	LS10A Nó II-V	0,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
6	LS10B3-Nó III	3,4	60	55	56	57	56	57	54	40	54	16
7	LS10B2-Nó III	1,8	51	46	48	48	48	48	45	35	46	25
8	LS10B (Nó III-IV)	2,7	25	18	19	19	19	19	18	17	19	7
9	LS10B1-Nó IV	1,9	54	50	52	52	52	52	49	37	50	26
10	LS10B (Nó IV-V)	0,5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3
11	LP (Nó V-VI)	0,5	6	4	4	5	4	4	4	4	4	9
12	LS9-Nó VI	1,6	43	44	45	45	45	45	42	31	43	27
13	LP (Nó VI-VII)	3,1	54	36	36	36	36	36	34	31	37	12
14	LS8-Nó VII	7,3	212	145	153	155	154	155	148	142	158	22
15	LS7-Nó VII	1,8	53	44	45	45	45	45	44	35	45	24
16	LS7+8	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	LP (Nó VII-IX)	3,4	33	24	24	24	24	24	22	21	24	7
18	LS6A-Nó VIII	4,8	103	79	79	80	79	80	76	69	81	17
19	LS6B-Nó VIII	1,9	113	95	96	96	96	96	94	73	95	50
20	LS6 (Nó VIII-IX)	1,0	19	14	14	15	14	15	14	14	15	15
21	LP (Nó IX-X)	3,1	24	18	18	18	18	18	17	15	18	6
22	LS5-Nó X	13,4	312	231	242	245	243	244	234	222	247	18
23	LP (Nó X-XI)	2,4	15	12	13	13	13	13	12	11	13	5
24	LS4-Nó XI	12,3	528	341	374	378	375	381	361	350	386	31
25	LP (Nó XI-XIII)	0,4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4
26	LS3A-Nó XII	2,9	69	57	57	57	57	57	55	47	57	20
27	LS3B-Nó XII	2,8	171	164	169	170	170	170	166	115	162	59
28	LS3 (Nó XII-XIII)	2,0	66	52	51	52	51	51	49	47	52	26
29	LP (Nó XIII-XV)	1,7	7	5	5	6	5	6	5	5	6	3
30	LS2A-Nó XIV	7,1	208	135	143	144	143	144	137	135	149	21
31	LS2B-Nó XIV	3,5	160	110	108	104	109	109	105	99	113	33
32	LS2 Nó XIV-XV	10,1	644	443	434	438	436	438	416	399	456	45
33	LP (Nó XV-XVI)	10,7	38	33	34	34	34	34	32	29	34	3
34	LS1-Nó XVI	7,1	232	150	159	160	159	160	154	140	164	23
35	LP (Nó XVI-CL)	7,1	23	19	20	20	20	20	19	17	20	3
36	CL-V	4,2	6	5	5	5	5	5	5	4	5	1
37	V-C	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	C-Ambiente	25,6	565	503	526	530	528	529	503	438	515	20
<b>Total</b>		<b>169,4</b>	<b>4.384</b>	<b>3.294</b>	<b>3.424</b>	<b>3.451</b>	<b>3.436</b>	<b>3.456</b>	<b>3.299</b>	<b>2.968</b>	<b>3.464</b>	<b>17</b>
Corrente	L <sub>TR</sub> (m)	Ábaco	Carta de Moody	Eq. de Haaland	Eq. de Fang	Eq. de Swamee & Jain	Eq. de Chen	Eq. de Moody	Eq. de Blasius	Valores médios		
ΔP <sub>f</sub> (Pa)												
											ΔP <sub>f</sub> /L (Pa/m)	

**C. Recálculo do sistema**  
**C.1 Cenário 1: Pré-revamping**

Tabela C. 1 - Identificação das correntes que comunicam com os nós da rede de transporte

Nó	Correntes								
	Entrada 1			Entrada 2			Saída/Resultante		
	Corrente	Linha	Segmentos	Corrente	Linha	Segmentos	Corrente	Linha	Segmentos
1	2	10A3	29-3	3	10A2	9-1	4	10A3/BLP	3/7
2	1	10A1	51-1	4	10A3/BLP	3/7	5	BLP	7-4
3	6	10B3	18-5	7	10B2	13-1	8	10B3	5-1
4	8	10B3	5-1	9	10B1	13-1	10	10B3/BLP	1/4'
5	5	BLP	7-4	10	10B3/BLP	1/4'	11	BLP/LP	3/103
6	11	BLP/LP	3/103	12	9	18-1	13	LP	103-92
7	14	8	32-1	15	7	12-1	16	7+8	-
8	13	LP	103-92	16	7+8	-	17	LP	92-87
9	18	6A	20-3	19	6B	18-1	20	6A	3-1
10	17	LP	92-87	20	6A	3-1	21	LP	87-63
11	21	LP	87-63	22	5	49-1	23	LP	63-43
12	23	LP	63-43	24	4	36-1	25	LP	43-42
13	26	3A	23-7	27	3B	12-1	28	3A	7-1
14	25	LP	43-42	28	3A	7-1	29	LP	42-35
15	30	2A	27-13	31	2B	20-1	32	2A	13-1
16	29	LP	42-35	32	2A	13-1	33	LP	35-29
17	33	LP	35-29	34	1	32-1	35	LP	29-1

$$(C.1) Q_{ideal} \left( \frac{m^3}{h} \right) = v_t \left( \frac{m}{s} \right) * A (m^2) * 3.600 \left( \frac{s}{h} \right) \leftrightarrow \frac{Q}{v_t * 3.600} = 0,25\pi * \phi_e^2 (m^2)$$

$$\leftrightarrow \phi_e (m) = \sqrt[2]{\frac{Q}{v_t * 3.600 * 0,25\pi}} = \sqrt[2]{\frac{4.086}{20 * 3.600 * 0,25\pi}} = 0,269 m$$

$$(C.2) Q_{real} + Q_{fugas} = Q_{ideal} \leftrightarrow v_{esperada} * \phi_r = v_{transporte} * \phi_e \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow v_{esperada} = v_{transporte} * \left( \frac{\phi_e}{\phi_r} \right)^2 = 20 * \left( \frac{0,269}{0,320} \right)^2 = 14,1 m/s$$

Tabela C. 2 - Cálculo do diâmetro efetivo das correntes de saídas dos nós da instalação quando a velocidade de transporte nos ramais é de 20 m/s

Velocidade de transporte (m/s)				20								
Nó	Entrada 1			Entrada 2			Resultante					
	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Diâmetro real (m)	Diâmetro efetivo (m)	Diferença (m)	Velocidade esperada (m/s)
1	2	0,195	2.150	3	0,195	1.935	4	4.086	0,320	0,269	0,051	14,1
2	1	0,175	1.732	4	0,455	4.086	5	5.817	0,455	0,321	0,134	9,9
3	6	0,320	2.262	7	0,195	2.150	8	4.412	0,320	0,279	0,041	15,2
4	8	0,455	4.412	9	0,195	2.150	10	6.562	0,455	0,341	0,114	11,2
5	5	0,455	5.817	10	0,455	6.562	11	12.380	0,455	0,468	-0,013	21,1
6	11	0,455	12.380	12	0,195	2.150	13	14.530	0,455	0,507	-0,052	24,8
7	14	0,195	2.150	15	0,195	2.150	16	4.301	0,195	0,276	-0,081	40,0
8	13	0,560	14.530	16	0,195	4.301	17	18.831	0,560	0,577	-0,017	21,2
9	18	0,235	2.150	19	0,115	748	20	2.898	0,235	0,226	0,009	18,6
10	17	0,560	18.831	20	0,235	2.898	21	21.729	0,560	0,620	-0,060	24,5
11	21	0,630	21.729	22	0,225	1.394	23	23.123	0,630	0,639	-0,009	20,6
12	23	0,710	23.123	24	0,150	1.272	25	24.395	0,710	0,657	0,053	17,1
13	26	0,229	2.965	27	0,100	588	28	3.554	0,229	0,251	-0,022	24,0
14	25	0,710	24.395	28	0,229	3.554	29	27.949	0,710	0,703	0,007	19,6
15	30	0,200	2.262	31	0,143	1.156	32	3.418	0,200	0,246	-0,046	30,2
16	29	0,800	27.949	32	0,200	3.418	33	31.367	0,800	0,745	0,055	17,3
17	33	0,800	31.367	34	0,229	1.156	35	32.524	0,800	0,758	0,042	18,0

Tabela C. 3 - Cálculo do diâmetro efetivo das correntes de saídas dos nós da instalação quando a velocidade de transporte nos ramais é de 25 m/s

Velocidade (m/s)				25								
Nó	Entrada 1			Entrada 2			Resultante					
	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Diâmetro (m)	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Correntes	Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	Diâmetro real (m)	Diâmetro efetivo (m)	Diferença	Velocidade esperada (m/s)
1	2	0,195	2.688	3	0,195	2.419	4	5.107	0,320	0,269	0,051	17,6
2	1	0,175	2.165	4	0,455	2.165	5	7.272	0,455	0,321	0,134	12,4
3	6	0,320	2.827	7	0,195	2.688	8	5.515	0,320	0,279	0,041	19,0
4	8	0,455	5.515	9	0,195	2.688	10	8.203	0,455	0,341	0,114	14,0
5	5	0,455	7.272	10	0,455	8203	11	15.475	0,455	0,468	-0,013	26,4
6	11	0,455	15.475	12	0,195	2.688	13	18.163	0,455	0,507	-0,052	31,0
7	14	0,195	2.688	15	0,195	2.688	16	5.376	0,195	0,276	-0,081	50,0
8	13	0,560	18.163	16	0,195	5.376	17	23.538	0,560	0,577	-0,017	26,5
9	18	0,235	2.688	19	0,115	935	20	3.623	0,235	0,226	0,009	23,2
10	17	0,560	23.538	20	0,235	3.623	21	27.161	0,560	0,620	-0,060	30,6
11	21	0,630	27.161	22	0,225	1.742	23	28.903	0,630	0,639	-0,009	25,8
12	23	0,710	28.903	24	0,150	1.590	25	30.494	0,710	0,657	0,053	21,4
13	26	0,229	3.707	27	0,100	735	28	4.442	0,229	0,251	-0,022	30,0
14	25	0,710	30.494	28	0,229	4.442	29	34.936	0,710	0,703	0,007	24,5
15	30	0,200	2.827	31	0,143	1.445	32	4.273	0,200	0,246	-0,046	37,8
16	29	0,800	34.936	32	0,200	4.273	33	39.209	0,800	0,745	0,055	21,7
17	33	0,800	39.209	34	0,229	1.445	35	40.654	0,800	0,758	0,042	22,5

Tabela C. 4 - Descrição dos diâmetros, caudais e velocidades das correntes dos nós da instalação quando a velocidade de transporte é de 22 m/s

Segmento/Linha	Correntes	Nós		Diâmetros (m)					Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)					Velocidades (m/s)				
				Entradas			Saída		Entradas			Saída		Entradas			Saída	
				1	2	2'	3	3'	1	2	2'	3	3'	1	2	2'	3	3'
3/LS10A	2+3=4	1	10A3+10A2	0,320	0,185		0,320	0,455	2.365	2.129		4.494		8,2	22,0		15,5	7,7
7/BLP	1+4=5	2	10A1+10A	0,175	0,455		0,455		1.905	4.494		6.399		22,0	7,7		10,9	
5/LS10B	6+7=8	3	10B3+10B2	0,320	0,195		0,320	0,455	2.488	2.365		4.853		8,6	22,0		16,8	8,3
1/LS10B	8+9=10	4	10B+10B1	0,195	0,455		0,455		2.365	4.853		7.218		22,0	8,3		12,3	
BLP	5+10=11	5	10A+10B	0,455	0,455		0,455		6.399	7.218		13.617		10,9	12,3		23,3	
103/LP	11+12=13	6	LP+9	0,195	0,455		0,455	0,560	2.365	13.617		15.982		22,0	23,3		27,3	18,0
92/LP	14+15=17	7	7+8+LP	0,195	0,195	0,560	0,560		2.365	2.365	15.982	20.712		22,0	22,0	18,0	23,4	
3/LS6	18+19=20	8	6A+6B	0,235	0,115		0,235		2.365	823		3.188		15,1	22,0		20,4	
87/LP	17+20=21	9	LP+6	0,235	0,560		0,560	0,630	3.188	20.712		23.900		20,4	23,4		27,0	21,3
64/LP	21+22=23	10	LP+5	0,225	0,630		0,630	0,710	1.533	23.900		25.433		10,7	21,3		22,7	17,8
43/LP	23+24=25	11	LP+4	0,150	0,710		0,710		1.400	25.433		26.833		22,0	17,8		18,8	
7/LS3	26+27=28	12	3A+3B	0,229	0,102		0,229		3.262	647		3.909		22,0	22,0		26,4	
42/LP	25+28=29	13	LP+3	0,229	0,710		0,710	0,800	3.909	26.833		30.742		26,4	18,8		21,6	17,0
13/LS2	30+31=32	14	2A+2B	0,200	0,143		0,200		2.488	1.272		3.760		22,0	22,0		33,2	
35/LP	29+32=33	15	LP+2	0,200	0,800		0,800		3.760	30.742		34.502		33,2	17,0		19,1	
29/LP	33+34=35	16	LP+1	0,229	0,800		0,800	0,550	1.272	34.502		35.774		8,6	19,1		19,8	41,8

$$(C.3) A_0^* (m^2) = 0,25\pi * (D_0^*)^2 (m^2) \therefore D_0^* (m) = \sqrt[2]{\frac{A_0^* (m^2)}{0,25\pi}} \leftrightarrow D_0^* (m) = \sqrt[2]{\frac{Q_0 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{v_0^* \left(\frac{m}{s}\right) * 3.600 \left(\frac{s}{h}\right)}} \leftrightarrow D_0^* (m) = \sqrt[2]{\frac{1.272}{5 * 3.600}} = 0,300 m$$

$$D_0^* (m) = \sqrt[2]{\frac{Q_1 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{v_0^* \left(\frac{m}{s}\right) * 3.600 \left(\frac{s}{h}\right)}} \leftrightarrow D_0^* (m) = \sqrt[2]{\frac{0,25\pi * (D_1)^2 (m^2) * v_1 \left(\frac{m}{s}\right) * 3.600 \left(\frac{s}{h}\right)}{v_0^* \left(\frac{m}{s}\right) * 3.600 \left(\frac{s}{h}\right)}} = \sqrt[2]{\frac{v_1 \left(\frac{m}{s}\right)}{v_0^* \left(\frac{m}{s}\right)} * (D_1)^2 (m^2)} = \sqrt[2]{\frac{22}{5} * 0,143^2} \leftrightarrow D_0^* (m) = 0,300 m$$

Tabela C. 5 – Cálculo do diâmetro ideal da captação e comparação com a captação instalada

Captação	Designação técnica do equipamento	Q <sub>0</sub> = Q <sub>1</sub> - Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)			D <sub>0</sub> – Diâmetro hidráulico na captação (m)	D <sub>0</sub> * (m) - Diâmetro da boca de aspiração que garante v <sub>0</sub> * = 5 m/s			D <sub>0</sub> -D <sub>0</sub> *  - Diferença de diâmetros das captações (m)			Captação
		v <sub>1</sub> = 20 m/s	v <sub>1</sub> = 22 m/s	v <sub>1</sub> = 25 m/s		v <sub>1</sub> = 20 m/s	v <sub>1</sub> = 22 m/s	v <sub>1</sub> = 25 m/s	v <sub>1</sub> = 20 m/s	v <sub>1</sub> = 22 m/s	v <sub>1</sub> = 25 m/s	
LS1	TRBA 0163	1.156	1.272	1.445	0,250	0,286	0,300	0,320	0,036	0,050	0,070	LS1
LS2A	ELVE 0013	2.262	2.488	2.827	0,200	0,400	0,420	0,447	0,200	0,220	0,247	LS2A
LS2B	SILO 0031	1.156	1.272	1.445	0,207,	0,286	0,300	0,320	0,079	0,093	0,113	LS2B
LS3A	TRSF 0048	2.965	3.262	3.707	0,264	0,458	0,480	0,512	0,194	0,216	0,248	LS3A
LS3B	TRBA 0163	588	647	735	0,250	0,204	0,214	0,228	0,046	0,036	0,022	LS3B
LS4	TRSF 0071	1.272	1.400	1.590	0,210	0,300	0,315	0,335	0,090	0,105	0,125	LS4
LS5	TRBA 0167	1.394	1.533	1.742	0,200	0,314	0,329	0,351	0,114	0,129	0,151	LS5
LS6A	ELVE 0015	2.150	2.365	2.688	0,320	0,390	0,409	0,436	0,070	0,089	0,116	LS6A
LS6B	PCCL 0010	748	823	935	0,115	0,230	0,241	0,257	0,115	0,126	0,142	LS6B
LS7	ELVE 0012	2.150	2.365	2.688	0,345	0,390	0,409	0,436	0,045	0,064	0,091	LS7
LS8	ELVE 0014	2.150	2.365	2.688	0,275	0,390	0,409	0,436	0,115	0,134	0,161	LS8
LS9	TRSF 0029	2.150	2.365	2.688	0,345	0,390	0,409	0,436	0,045	0,064	0,091	LS9
LS10A1	SILO 0011	1.732	1.905	2.165	0,133	0,350	0,367	0,391	0,209	0,226	0,250	LS10A1
LS10A2	TRSF 0029	1.935	2.129	2.419	0,350	0,370	0,388	0,414	0,020	0,038	0,064	LS10A2
LS10A3	ELVE 0016	2.150	2.365	2.688	0,350	0,390	0,409	0,436	0,040	0,059	0,086	LS10A3
LS10B1	TRSF 0029	2.150	2.365	2.688	0,345	0,390	0,409	0,436	0,045	0,064	0,091	LS10B1
LS10B2	TRSF 0029	2.150	2.365	2.688	0,345	0,390	0,409	0,436	0,045	0,064	0,091	LS10B2
LS10B3	TRSF 0029	2.262	2.488	2.827	0,345	0,400	0,420	0,447	0,055	0,075	0,102	LS10B3
Total		32.524	35.776	40.654								Total
Amplitude		8.131										Amplitude
Novas captações	SILO 0037	1.272	1.400	1.590		0,300	0,315	0,335				Novas captações
	SILO 0038	1.272	1.400	1.590		0,300	0,315	0,335				
	TRSF 0045	1.272	1.400	1.590		0,300	0,315	0,335				
	TRSF 0051	1.272	1.400	1.590		0,300	0,315	0,335				
	TRSF 0076	1.272	1.400	1.590		0,300	0,315	0,335				
Total		38.885	42.774	48.607								Total
Amplitude		9.721										Amplitude

## C.2 Cenário 2: Circuito Ampliado

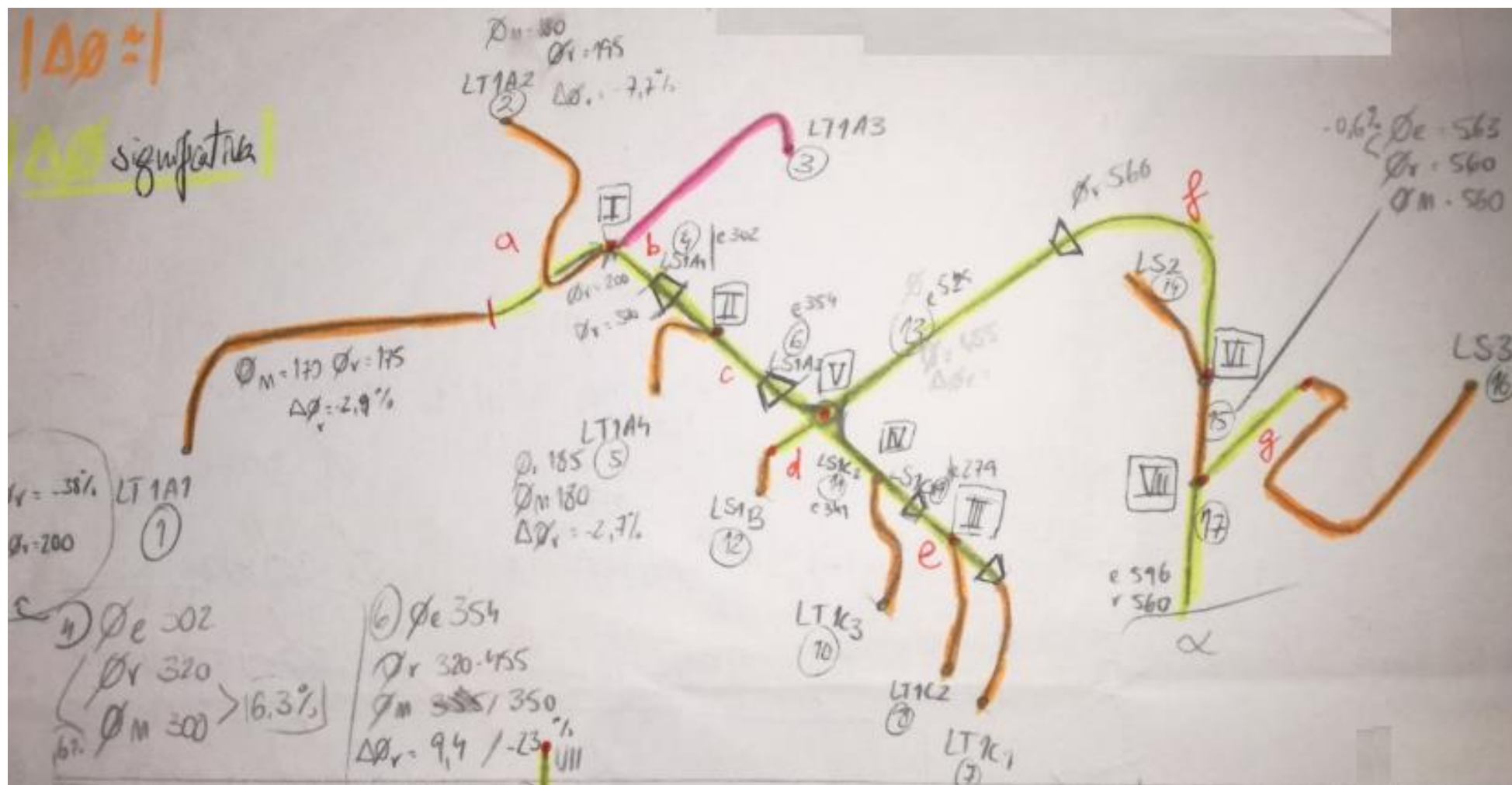


Figura C. 1 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as condutas existentes no cenário 1 (parte I)

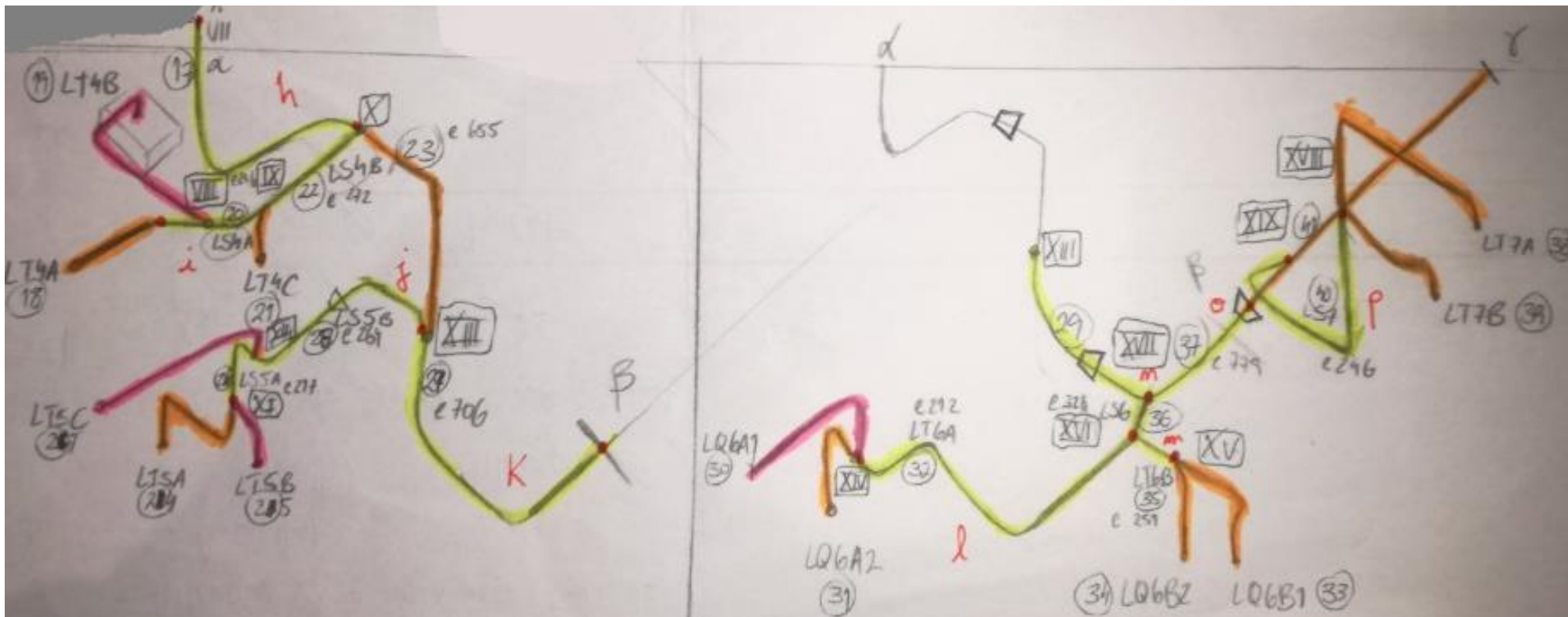


Figura C. 2 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as tubagens existentes do cenário 1 (parte II)

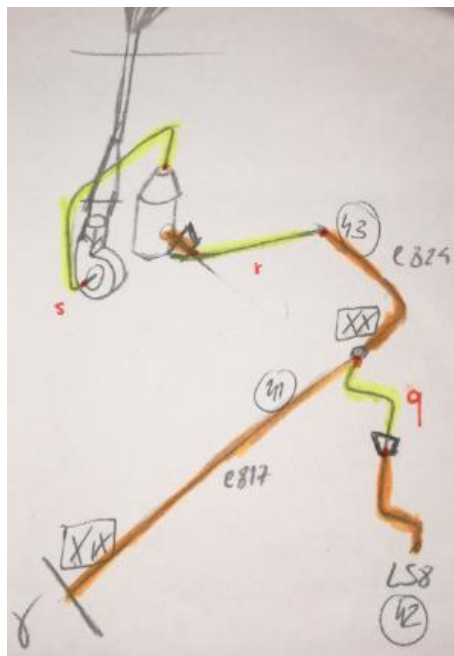
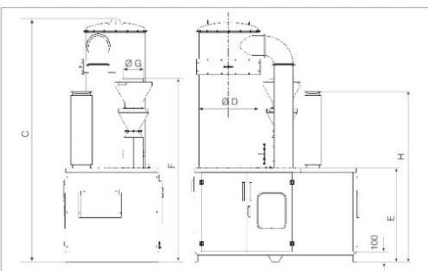


Figura C. 3 - Alterações de traçado para o cenário 2.2 e comparação com as tubagens existentes do cenário 1 (parte III)

### C.3 Cenário 3: Circuito Dividido



**CARATTERISTICHE TECNICHE**  
 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES  
 TECHNICAL FEATURES  
 TECHNISCHE DATEN  
 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tutti i dati contenuti in questo catalogo sono suscettibili di variazioni ed emendamenti.  
 La CORAL si riserva il diritto di modificare senza preavviso.  
 Les données contenues peuvent être modifiées et amendées.  
 CORAL se réserve le droit d'effectuer ces changements sans obligation de préavis.  
 Values on this catalogue are indicative and can be subject to modifications and amendments.  
 CORAL reserves the right to change them without previous advice.  
 Änderungen vorbehalten.  
 Todos los datos contenidos en este catálogo están sujetos a variaciones.  
 CORAL se reserva el derecho de modificaciones sin previo aviso.

Dimensioni (mm)  
 Dimensions (mm)  
 Maße (mm)  
 Medidas (mm)

	A	B	C	ØD	E	F	ØG	H
VENTURI 1000	2100	1300	2590	600	1255	2140	150	2365
VENTURI 2000	2350	1350	3420	600	1355	2460	200	2470
VENTURI 4000	2425	1430	3525	850	1355	2655	280	2470
VENTURI 6000	2850	1700	3740	1000	1535	3000	350	2645
VENTURI 8000	3290	1980	3800	1250	1535	3080	400	2645
VENTURI 10000	3700	1980	3910	1350	1535	3300	450	2645

VENTURI	1000	2000	4000	6000	8000	10000
PORTATA - DEBIT						
AIR FLOW - LUFTMENGE	1000 m <sup>3</sup> /h	2000 m <sup>3</sup> /h	4000 m <sup>3</sup> /h	6000 m <sup>3</sup> /h	8000 m <sup>3</sup> /h	10000 m <sup>3</sup> /h
CAUDAL						
VENTILATORE						
VENTILATEUR - FAN	VAPE 560N	VAPE 560N	VAPC 630N	VAPC 630N	VAPI 630N	VAPI 710N
VENTILATOR-VENTILADOR						
MOTORE - MOTEUR						
MOTOR - MOTOR	HP 5,5 4 kW	HP 5,5 4 kW	HP 15 11 kW	HP 20 15 kW	HP 25 18,5 kW	HP 40 30 kW
MOTOR						
PRESIONE UTILE						
PRESSION DISPONIBLE	1500 Pa	1500 Pa	1500 Pa	1500 Pa	1500 Pa	1500 Pa
AVAILABLE PRESSURE						
EXT. VERFÜGBARER DRUCK						
PRESION UTIL						

09F-10493 Realizzazione grafica: - Coral s.p.a. - Volpiano (TO) - Italy

**CORAL**  
 ANTIPOLLUTION SYSTEMS

**CORAL s.p.a.** Corso Europa, 597 - 10088 Volpiano (Torino) ITALY  
 Tel. +39 011 9822000 ca. Fax +39 011 9822033-044 E-mail: coral@coral.eu http://www.coral.eu

SOCIETÀ DI INGEGNERING - SOCIÉTÉS D'INGÉNIEURIE - ENGINEERING SISTER COMPANIES - INGENIEURFIRMEN - SOCIEDADES DE INGENIERIA

<b>ITALIA</b>		<b>FRANCE</b>		<b>ENGLAND U.K.</b>
MILANO	☎ +39 02 96301003	LYON	☎ +33 4 74 944 662	LITTLEBOROUGH ROCHDALE
TORINO	☎ +39 011 9980141	PARIS	☎ +33 1 60 868 069	☎ +44 1 706 373100
VICENZA	☎ +39 0444 322251	POITIERS	☎ +33 5 49 379 696	




**VENTURI**

LES FILTRES SCRUBBER À VENTURI APPARTIENNENT AUX SYSTEMES D'ÉNERGIE MOYENNE ET À HAUT RENDIMENT.

VENTURI SCRUBBERS ARE PART OF MEDIUM ENERGY SYSTEMS AND HIGH PERFORMANCE.

DIE NÄHWASCHER GEHÖREN ZU DEN MITTELENERGIE- UND HOCHWIRKUNGSGRAD.

LOS LAVADORES DE GASES A VENTURI PERTENECEN A LOS SISTEMAS DE MEDIA ENERGÍA Y ALTO RENDIMIENTO.

**CORAL**  
 ANTIPOLLUTION SYSTEMS

**Venturi**  
 filtro scrubber  
 a media energia - alto rendimento

Figura C. 4 - Equipamento recomendado pela Vento Domável

# VENTURI

**Il filtro Venturi è costituito da due elementi basilari:**  
 -il venturi, nel quale si produce la fase di contatto tra liquido e l'aria da depolverare  
 -il separatore a ciclone dove si effettua la separazione residuale tra l'aria e le goccioline che hanno catturato le polveri.

L'aria polverosa, aspirata da un ventilatore ad alta pressione, passa attraverso le gole dei venturi dove subisce in sequenza un'eccezionale accelerazione della velocità, mentre l'acqua ricircolata da una pompa viene immessa in corrispondenza della medesima. Tale accelerazione dell'aria produce l'atomizzazione dell'acqua in milioni di finissime goccioline che catturano le polveri inquinanti. La miscela di aria polverosa-acqua entra tangenzialmente nel corpo cilindrico del separatore, nel quale hanno luogo dei movimenti spiraloformi.

Le forze centrifughe spingono le goccioline d'acqua con polvere contro la parete, mentre l'aria depurata fuoriesce verso l'alto. A seconda dell'inquinante in ingresso, viene utilizzato un sistema di pulizia/filtrazione dell'acqua di ricircolo adeguato per mantenere la stessa in condizioni ottimali, questo accorgimento consente di avere un impianto funzionale, con un abbattimento costante nel tempo.

Infine all'interno dello chassis insonorizzato sono alloggiati il ventilatore, il sistema di gestione dell'idraulica ed il filtro dell'acqua di ricircolo, mentre il quadro elettrico di controllo è posizionato a bordo macchina.

Tale filtro è applicabile in processi produttivi che generano polveri insolubili in acqua (metalli, composti, resine, inert) oppure che generano particelle incandescenti in grado di generare forti incendi o esplosioni nei filtri a secco.

Nei casi di necessità di abbattimento di polveri solubili oppure di polveri capaci di generare fenomeni di aluminoterma (es. alluminio) l'applicazione dei venturi richiede un consulto preventivo con il nostro Uff. Tecnico per ottimizzare l'applicazione con gli opportuni accorgimenti opzionali.

de propreté. Ce système permet d'avoir une installation fonctionnant de façon optimale en permanence et dans le temps. Enfin, à l'intérieur du chassis insonorisé on trouve, le motoventilateur, le système de gestion hydraulique et le filtre pour le traitement de l'eau en circulation. L'armoire de pilotage de tout le système est positionné sur la machine.

Ce filtre peut être utilisé dans tous les processus de fabrication générant des poussières insolubles dans l'eau (métaux, composés, résines, matières inertes...) ou bien qui génèrent des particules incandescentes capables de provoquer des foyers de début d'incendie ou des explosions dans les filtres classiques.

Dans le cas d'un processus de fabrication où il y a des poussières solubles à traiter ou des poussières capables de générer des phénomènes d'aluminothermie (ex. l'aluminium) l'utilisation du filtre venturi peut se faire en ayant au préalable consulté le bureau d'étude de Coral, afin de s'assurer de la faisabilité, et d'en optimiser l'application avec d'éventuels systèmes additionnels.

**The filter Venturi consists of two basic elements:**  
 -the Venturi where the contact phase between liquid and the air to be scrubbed is produced.  
 -A cyclone separator where the separation of air and droplets that captured dusts occurs.

Dusty air, drawn by an high pressure fan, passes through the venturi orifices where it undergoes a substantial increase in speed while the water, recirculated by a pump, is introduced in the throats. The rapid acceleration of the air causes the atomization of water into millions of fine droplets that capture the pollutant dusts. The mixture of dusty air and water is introduced tangentially in the cylindrical body of the separator, in which spiralfirm movements take place. The centrifugal force pushes the water droplets against the wall surfaces, while the scrubbed air is released upwards. Depending on the incoming pollutant substance an adequate cleaning/filtration system must be used to keep the water inside the tank in good conditions. This solution will keep a functional system with steady scrubbing over time.

Inside the soundproof frame the fan, the hydraulic system and the filter for the recirculated water.

This filter is suggested in production processes that produce dusts undissolvable in water (metals, compounds, resins, inert) or that produce burning particles that could generate fires or explosions in the dry filters.

In case it is necessary to absorb dissolvable dusts or dusts generating aluminothermy cases (aluminum for instance), the use of Venturi has to be studied with our Technical Dept in order to calculate the application with the suitable optional devices.

**Il filtro Venturi è costituito da due elementi basilari:**  
 -il venturi, nel quale si produce la fase di contatto tra liquido e l'aria da depolverare  
 -il separatore a ciclone dove si effettua la separazione residuale tra l'aria e le goccioline che hanno catturato le polveri.

L'aria polverosa, aspirata da un ventilatore ad alta pressione, passa attraverso le gole dei venturi dove subisce in sequenza un'eccezionale accelerazione della velocità, mentre l'acqua ricircolata da una pompa viene immessa in corrispondenza della medesima. Tale accelerazione dell'aria produce l'atomizzazione dell'acqua in milioni di finissime goccioline che catturano le polveri inquinanti. La miscela di aria polverosa-acqua entra tangenzialmente nel corpo cilindrico del separatore, nel quale hanno luogo dei movimenti spiraloformi.

Le forze centrifughe spingono le goccioline d'acqua con polvere contro la parete, mentre l'aria depurata fuoriesce verso l'alto. A seconda dell'inquinante in ingresso, viene utilizzato un sistema di pulizia/filtrazione dell'acqua di ricircolo adeguato per mantenere la stessa in condizioni ottimali, questo accorgimento consente di avere un impianto funzionale, con un abbattimento costante nel tempo.

Infine all'interno dello chassis insonorizzato sono alloggiati il ventilatore, il sistema di gestione dell'idraulica ed il filtro dell'acqua di ricircolo, mentre il quadro elettrico di controllo è posizionato a bordo macchina.

Tale filtro è applicabile in processi produttivi che generano polveri insolubili in acqua (metalli, composti, resine, inert) oppure che generano particelle incandescenti in grado di generare forti incendi o esplosioni nei filtri a secco.

Nei casi di necessità di abbattimento di polveri solubili oppure di polveri capaci di generare fenomeni di aluminoterma (es. alluminio) l'applicazione dei venturi richiede un consulto preventivo con il nostro Uff. Tecnico per ottimizzare l'applicazione con gli opportuni accorgimenti opzionali.

**The filter Venturi consists of two basic elements:**  
 -the Venturi where the contact phase between liquid and the air to be scrubbed is produced.  
 -A cyclone separator where the separation of air and droplets that captured dusts occurs.

Dusty air, drawn by an high pressure fan, passes through the venturi orifices where it undergoes a substantial increase in speed while the water, recirculated by a pump, is introduced in the throats. The rapid acceleration of the air causes the atomization of water into millions of fine droplets that capture the pollutant dusts. The mixture of dusty air and water is introduced tangentially in the cylindrical body of the separator, in which spiralfirm movements take place. The centrifugal force pushes the water droplets against the wall surfaces, while the scrubbed air is released upwards. Depending on the incoming pollutant substance an adequate cleaning/filtration system must be used to keep the water inside the tank in good conditions. This solution will keep a functional system with steady scrubbing over time.

Inside the soundproof frame the fan, the hydraulic system and the filter for the recirculated water.

This filter is suggested in production processes that produce dusts undissolvable in water (metals, compounds, resins, inert) or that produce burning particles that could generate fires or explosions in the dry filters.

In case it is necessary to absorb dissolvable dusts or dusts generating aluminothermy cases (aluminum for instance), the use of Venturi has to be studied with our Technical Dept in order to calculate the application with the suitable optional devices.

**El filtro a venturi esta constituido de dos elementos basicos:**  
 -el venturi, en el que se produce la fase de contacto entre liquido y el aire que debe eliminar los polvos.  
 -el separador a ciclón, en donde se realiza la separación residual entre el aire y las gotitas que han capturado los polvos.

El aire polveroso, aspirado por un ventilador alta presión, pasa a través de las cavidades internas de los venturi donde en secuencia, se somete a una fuerte aceleración de velocidad, mientras en correspondencia a la parte superior de estos y por medio de una bomba de recirculación, el agua es introducida.

Esta fuerte aceleración del aire produce la atomización del agua en millones de finísimas gotitas que capturan los polvos contaminantes. La mezcla de aire polvorento/agua entra tangencialmente en el cuerpo cilíndrico del separador, en el cual se producen movimientos en espiral.

La fuerza centrífuga empuja las gotas de agua con polvo, contra la pared del cilindro, mientras el aire depurado sale hacia la parte alta. Dependiendo del contaminante en entrada, se utilizará un sistema de filtración y limpieza del agua en recirculación adecuado para mantenerla en óptimas condiciones; esta solución nos lleva a tener un sistema limpio y funcional.

Para finalizar, en el interior del chasis insonorizado están alojados el ventilador, el sistema de control hidráulico, el sistema de filtración del agua y recolección automática del contaminante, mientras el tablero eléctrico de control será posicionado a un lado del equipo.

Este filtro es aplicable en procesos productivos donde se generan polvos insolubles en el agua (metales, compuestos, resinas, inertes) o también que generen partículas incandescentes en grado de generar fuentes de incendio o explosión en los filtros a seco.

En el caso de necesidad de abatir polvos solubles o también capaces de generar fenómenos de aluminoterma (aluminio) la utilización de este filtro tendrá que ser consultada con nuestra oficina técnica para optimizar las posibles aplicaciones y elementos opcionales.

**Il filtro Venturi è costituito da due elementi basilari:**  
 -il venturi, nel quale si produce la fase di contatto tra liquido e l'aria da depolverare  
 -il separatore a ciclone dove si effettua la separazione residuale tra l'aria e le goccioline che hanno catturato le polveri.

L'aria polverosa, aspirata da un ventilatore ad alta pressione, passa attraverso le gole dei venturi dove subisce in sequenza un'eccezionale accelerazione della velocità, mentre l'acqua ricircolata da una pompa viene immessa in corrispondenza della medesima. Tale accelerazione dell'aria produce l'atomizzazione dell'acqua in milioni di finissime goccioline che catturano le polveri inquinanti. La miscela di aria polverosa-acqua entra tangenzialmente nel corpo cilindrico del separatore, nel quale hanno luogo dei movimenti spiraloformi.

Le forze centrifughe spingono le goccioline d'acqua con polvere contro la parete, mentre l'aria depurata fuoriesce verso l'alto. A seconda dell'inquinante in ingresso, viene utilizzato un sistema di pulizia/filtrazione dell'acqua di ricircolo adeguato per mantenere la stessa in condizioni ottimali, questo accorgimento consente di avere un impianto funzionale, con un abbattimento costante nel tempo.

Infine all'interno dello chassis insonorizzato sono alloggiati il ventilatore, il sistema di gestione dell'idraulica ed il filtro dell'acqua di ricircolo, mentre il quadro elettrico di controllo è posizionato a bordo macchina.

Tale filtro è applicabile in processi produttivi che generano polveri insolubili in acqua (metalli, composti, resine, inert) oppure che generano particelle incandescenti in grado di generare forti incendi o esplosioni nei filtri a secco.

Nei casi di necessità di abbattimento di polveri solubili oppure di polveri capaci di generare fenomeni di aluminoterma (es. alluminio) l'applicazione dei venturi richiede un consulto preventivo con il nostro Uff. Tecnico per ottimizzare l'applicazione con gli opportuni accorgimenti opzionali.

**The filter Venturi consists of two basic elements:**  
 -the Venturi where the contact phase between liquid and the air to be scrubbed is produced.  
 -A cyclone separator where the separation of air and droplets that captured dusts occurs.

Dusty air, drawn by an high pressure fan, passes through the venturi orifices where it undergoes a substantial increase in speed while the water, recirculated by a pump, is introduced in the throats. The rapid acceleration of the air causes the atomization of water into millions of fine droplets that capture the pollutant dusts. The mixture of dusty air and water is introduced tangentially in the cylindrical body of the separator, in which spiralfirm movements take place. The centrifugal force pushes the water droplets against the wall surfaces, while the scrubbed air is released upwards. Depending on the incoming pollutant substance an adequate cleaning/filtration system must be used to keep the water inside the tank in good conditions. This solution will keep a functional system with steady scrubbing over time.

Inside the soundproof frame the fan, the hydraulic system and the filter for the recirculated water.

This filter is suggested in production processes that produce dusts undissolvable in water (metals, compounds, resins, inert) or that produce burning particles that could generate fires or explosions in the dry filters.

In case it is necessary to absorb dissolvable dusts or dusts generating aluminothermy cases (aluminum for instance), the use of Venturi has to be studied with our Technical Dept in order to calculate the application with the suitable optional devices.

**El filtro a venturi esta constituido de dos elementos basicos:**  
 -el venturi, en el que se produce la fase de contacto entre liquido y el aire que debe eliminar los polvos.  
 -el separador a ciclón, en donde se realiza la separación residual entre el aire y las gotitas que han capturado los polvos.

El aire polveroso, aspirado por un ventilador alta presión, pasa a través de las cavidades internas de los venturi donde en secuencia, se somete a una fuerte aceleración de velocidad, mientras en correspondencia a la parte superior de estos y por medio de una bomba de recirculación, el agua es introducida.

Esta fuerte aceleración del aire produce la atomización del agua en millones de finísimas gotitas que capturan los polvos contaminantes. La mezcla de aire polvorento/agua entra tangencialmente en el cuerpo cilíndrico del separador, en el cual se producen movimientos en espiral.

La fuerza centrífuga empuja las gotas de agua con polvo, contra la pared del cilindro, mientras el aire depurado sale hacia la parte alta. Dependiendo del contaminante en entrada, se utilizará un sistema de filtración y limpieza del agua en recirculación adecuado para mantenerla en óptimas condiciones; esta solución nos lleva a tener un sistema limpio y funcional.

Para finalizar, en el interior del chasis insonorizado están alojados el ventilador, el sistema de control hidráulico, el sistema de filtración del agua y recolección automática del contaminante, mientras el tablero eléctrico de control será posicionado a un lado del equipo.

Este filtro es aplicable en procesos productivos donde se generan polvos insolubles en el agua (metales, compuestos, resinas, inertes) o también que generen partículas incandescentes en grado de generar fuentes de incendio o explosión en los filtros a seco.

En el caso de necesidad de abatir polvos solubles o también capaces de generar fenómenos de aluminoterma (aluminio) la utilización de este filtro tendrá que ser consultada con nuestra oficina técnica para optimizar las posibles aplicaciones y elementos opcionales.

**PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO**  
**PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT**  
**OPERATING PRINCIPLES**  
**FUNKTIONSPRINZIP**  
**PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

- ➔ ARIA INQUINATA - AIR POLLUEE - POLLUTED AIR - SCHMUTZLUFT - AIRE CONTAMINADO
- ➔ ARIA PULITA - AIR PROPRE - CLEAN AIR - SAUBERE LUFT - AIRE LIMPIO
- ➔ ACQUA PULITA - EAU PROPRE - CLEAN WATER - SALBERWASSER - AGUA LIMPIO
- ➔ ACQUA INQUINATA - EAU POLLUEE - POLLUTED WATER - SCHMUTZWASSER - AGUA CONTAMINADO

**1 GRUPPO VENTURI**  
 GROUPE VENTURI  
 VENTURI UNIT  
 VENTURIDISEN  
 GRUPO DE VENTURI

**2 SEPARATORE DI GOCCE**  
 SEPARATEUR DE GOUTTES  
 DROPLET SEPARATOR  
 TRÖPFEN-ABSCHIEDER  
 SEPARADOR DE GOTAS

**3 TORRE DI DECAANTAZIONE**  
 TOUR DE DÉCANTATION  
 DECANTING TOWER  
 ABSCHIEDERTURM  
 TORRE DE DECAANTACION

**4 GUARDIA IDRAULICA**  
 GARDE HYDRAULIQUE  
 HYDRAULIC GUARD  
 WASSER-WÄCHTER  
 GUARDIA HIDRAULICA

**5 FILTRO A CARTA**  
 FILTRES EN PAPIER  
 PAPER FILTER  
 PAPIERBRAND-FILTER  
 FILTRO EN PAPEL

**6 VENTILATORE**  
 VENTILATEUR  
 FAN  
 VENTILATOR  
 VENTILADOR

**7 SILENZIATORE AFON**  
 SILENCIEUX AFON  
 AFON SILENCER  
 SILENCIADOR AFON

Figura C. 5 - Princípio de funcionamento do scrubber

## D. Caderno de encargos do projeto



### PROJECTO DE DESPOEIRAMENTO

DONO DA OBRA - **Rar-Refinarias De Açúcar Reunidas S.A**

OBRA - Fábrica de Açúcar

LOCAL: R. Manuel Pinto de Azevedo, 272

### MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA CADERNO DE ENCARGOS

1  
Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98  
- Telemóvel: 968027475 / 966061735  
Email: geral@ventodomavel.com  
NIPC: 508421977

## ÍNDICE

<b>I - MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA</b>	3
1 - OBJECTIVO / GENERALIDADES	3
2 - DESCRIÇÃO GERAL DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS	4
3 - ZONAS ONDE DEVERÁ SER EMPLEMENTADO O DESPOEIRAMENTO	5
4 - EQUIPAMENTO	6
5 - NÍVEIS DE RUÍDO	7
6. -DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE CONDUTAS DE AR	7
<b>II - CADERNO DE ENCARGOS</b>	8
1 - OBJECTIVO	8
2 - CONDIÇÕES TÉCNICAS GERAIS	8
3 - FILTRO DE DESPOEIRAMENTO E VENTILADOR	8
4 - CONDIÇÕES ACÚSTICAS	11
5 - REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE AR	13
TABELAS	14
6 - EQUIPAMENTO DE CONTROLO	20
7 - INSTALAÇÃO ELÉCTRICA	20
8 - ESPECIFICAÇÕES DIVERSAS	20
9 - OBRIGAÇÕES DO ADJUDICATÁRIO	20
10 - PRAZO DE EXECUÇÃO	21
11 - ENSAIOS DAS INSTALAÇÕES	21
12 - INSTRUÇÕES DE FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DAS INSTALAÇÕES	21
13 - PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E MANUTENÇÃO DASINSTALAÇÕES DE DESPOEIRAMENTO	21

## **I - MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

### **1 - OBJECTIVO / GENERALIDADES**

É objectivo do presente Projecto, redefinir toda Instalação de Despoeiramento do açúcar actualmente existente nas Instalações da Fábrica de açúcar, R. Manuel Pinto de Azevedo, PORTO.

O presente projecto foi concebido tendo em conta a implantação e a localização dos equipamentos existentes assim como as directivas dos representantes do Dono da Obra.

Foi também considerada a regulamentação aplicável, as regras da boa arte e a opção por soluções técnicas, económica e energeticamente eficientes, tendo em conta a fiabilidade dos equipamentos a instalar, ventilador e filtro.

Chama-se a atenção para o facto de, o edifício onde vai ser instalado todo o sistema de despoeiramento já se encontrar construído com todos os constrangimentos daí decorrentes, nomeadamente os estruturais e os de constituição civil.

Nas páginas seguintes irão ser especificados os parâmetros definidores do Projecto, a concepção das Instalações, o nível e qualidade dos equipamentos e as normas de montagem a que deverão obedecer.

Importa também referir que as marcas e modelos dos equipamentos, indicados no Caderno de Encargos, têm como único objectivo a orientação dos concorrentes à execução da obra, não constituindo por si, uma limitação à apresentação de outras marcas e modelos desde que garantam as mesmas características e níveis de qualidade, cabendo essa aprovação à Fiscalização e/ou Dono de Obra.

Para que os concorrentes à execução da Instalação se possam inteirar das condições pretendidas, bem como os atravancamentos e condicionalismos físicos existentes, aconselha-se aos mesmos a visitarem a obra, ficando deste modo com uma ideia mais clara sobre o tipo de Instalação pretendida.

O desenvolvimento da rede de condutas a propor deverá manter o seu actual traçado e a instalação dos novos equipamentos de despoeiramento, ventilador e filtro, deverão ser instalados no mesmo local que os equipamentos actuais ocupam

Todas as soluções constantes neste projecto estão de acordo com as indicações do Dono de Obra e das infra estruturas do edifício.

## 2 - DESCRIÇÃO GERAL DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS

1- O presente Projecto de Execução define os locais de despoeiramento, que irão captar, aspirar e transportar as poeiras sob a forma de partículas sólidas em suspensão no ar que se libertam nos vários espaços referenciados no DESENHO SINOPTICO, de acordo com as especificações das respectivas tabelas, CAPTAÇÃO/LINHA/NOME TÉCNICO/DIÂMETRO NORMALIZADO e na TABELA CORRESPONDÊNCIA / ESTIMATIVA DOS COMPRIMENTOS, assim como as soluções que se pretendem adoptar para estas Instalações.

Do mesmo modo, vão ser definidas soluções a adoptar para a optimização do sistema proposto.

De acordo com o levantamento efectuado no local, das considerações e recomendações salientadas do *layout* fornecido e do dimensionamento efectuado relativamente aos caudais propostos, das velocidades recomendadas e das perdas de carga calculadas, **propomos a substituição dos equipamentos existentes, ventilador e filtro, pelos adequados ao tipo de despoeiramento pretendido bem como a substituição de toda a rede de condutas de despoeiramento existentes, de acordo com as especificações e características expressas caderno de encargo e respectivos anexos.**

As campânulas de aspiração, quer no ponto de queda quer nos pontos de carga, deverão ser concebidas de forma a reduzir ao máximo os espaços envolventes das superfícies abertas e cumprir as normas estabelecidas pelo ACGIH®'s AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Os caudais de aspiração e as velocidades de aspiração e de transporte nos diferentes postos de trabalho foram dimensionados e calculadas de acordo com as normas vigentes e cumprem os valores impostos pelas normas de segurança e higiene nos locais de trabalho.

Nas superfícies abertas das captações as velocidades derivam da concepção e do tipo de campânula, variando de 0,25 m/s a 2m/s na face aberta

Sempre que sejam consideradas condutas de aspiração para poeiras em suspensão as velocidades deverão variar de 22 m/s a 25 m/s.

Estão previstas campânulas de aspiração na ausência de bocais de aspiração próprios incorporados nas máquinas, nos equipamentos envolventes, nas quedas dos transportadores e durante o seu transporte e nos elevadores.

As condutas a existirem serão aéreas suspensas por cabo de aço à estrutura do telhado ou à própria estrutura dos equipamentos.

A unidade aspiro filtrante proposta será colocada no interior da fábrica com as condições impostas de acordo com a especificação da zonas ATEX

O filtro proposto deverá cumprir às normas internacionais construtivas e de segurança de acordo com a Declaração de Conformidade C E (Refere-se à Directiva das Máquinas – 2006/42/CE

A entrada de objectos estranhos no circuitos de aspiração através dos diversos pontos de captação deverá ser objecto de condições preventivas e adequadas que impeçam a sua ocorrência.

### **3 - ZONAS ONDE DEVERÁ SER IMPLEMENTADO O DESPOEIRAMENTO**

#### **TAPETES TRANSPORTADORES**

Os caudais em jogo e recomendados foram calculados em função do tipo de material a transportar, da largura e das velocidades dos mesmos.

#### **S/FINS**

Nestes equipamentos a captação do despoeiramento deverá ser efectuado na queda entre s/fins.

#### **ELEVADORES - NORAS**

Os caudais em jogo e recomendados foram calculados em função do tipo de material a transportar, da secção da mesmo e na respectiva altura.

Dado que as noras possuem dimensões idênticas e porque as alturas ultrapassam os 10 metros recomenda-se que o caudal seja repartido pelo pé e pela cabeça das mesmas.

#### **CRIVOS**

Este tipo de equipamento deverá ser capotado de forma a reduzir ao máximo as superfícies envolventes abertas.

Para além da necessidade de despoeiramento na sua envolvente o mesmo deverá ser tido em consideração em relação às respectivas quedas de entrada e de saída do mesmo.

#### **VIBRADOR**

O caudal de aspiração neste tipo de equipamento é calculado em função da blindagem a prever na envolvente entre a altura de queda do vazamento deste relativamente ao elemento transportador.

#### **MOINHOS**

Este tipo de equipamento provoca um sopro, na parte inferior, que produz a saída de poeiras em quantidade apreciável.

#### **SILOS E ELEMENTOS RECEPTORES PARA ARMAZENAGEM por gravidade**

Nestes locais a distância entre a entrada (descarga) de material e a aspiração preconizada no interior do mesmo deverá obedecer a uma distâncias tal que a velocidade transversal entre si, não exceda 5 m/s.

**NOTA TÉCNICA:**

***Nos equipamentos onde a captação é efectuada por secção recta ou circular a velocidade na secção da mesma não poder ultrapassar o valor de 5 m/s, sob pena de aspirar açúcar em grão.***

Relativamente ao ponto anterior, a geometria da secção reta na captação fica a critério do instalador pelo que, a área da secção recta (caso seja quadrada, p.ex.) dimensionada deve respeitar a área correspondente aos diâmetros listados.

Fica à inteira responsabilidade do adjudicatário da obra verificar a estanqueidade das zonas, anteriormente referidas, onde serão pontualmente efectuadas as aspirações localizadas de forma a garantir a perfeita vedação das mesmas para impedir a entrada de caudais parasitas que, a ocorrerem, irão contribuir para o desequilíbrio de toda a eficiência do sistema de aspiração preconizado e deste modo comprometer o sistema de despoeiramento idealizado.

**4 - EQUIPAMENTO****4.1- Torre de Lavagem / Wet-Scrubbers ou filtro via húmida**

O filtro recomendado deverá ser um despoeirador de via húmida, com elevado rendimento de filtragem, através do qual o ar poluído é submetido a uma hidro-centrifugação por efeito da depressão criada pelo ventilador colocado a jusante do conjunto, evitando o seu contacto com as poeiras, gases corrosivos ou explosivos.

**4.2- VENTILADOR**

O ventilador será do tipo centrífugo de alto rendimento com turbina de pás de reacção equilibrada estática e dinamicamente, equipado com motor eléctrico. e devem mencionar seguintes características:

Modelo: \*

Caudal (m<sup>3</sup>/h): 48.000

Pressão Total (Pa) 4500

Pot. Inst.(KW): \*

Rendimento (%) \*

Velocidade (rpm): \*

Tensão V-Hz: \*

Acoplamento: \*

Nív. Sonoro (LpA[dB(A)]): \*

\* Parâmetros a especificar pelo proponente

6

Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98  
- Telemóvel: 968027475 / 966061735  
Email: geral@ventodomavel.com  
NIPC: 508421977

## 5 - NÍVEIS DE RUÍDO

Os níveis de ruído não devem ultrapassar em cada zona C12.N0965/004-01-9 os seguintes valores:

- Zonas onde estejam em funcionamento os moto redutores dos equipamentos de despoeiramento - NC 60/65 dB (A)
- Zonas onde estejam em funcionamento os motores dos equipamentos de despoeiramento - NC 70/80 dB (A)

A definição dos níveis de ruído é da responsabilidade da Especialidade de Acústica, sobrepondo-se, em caso de divergência, aos níveis aqui indicados os valores indicados no Caderno de Encargos de Acústica.

## 6. -DIMENSIONAMENTO DAS REDES DE CONDUTAS DE AR

O método utilizado para o dimensionamento das condutas de extracção e insuflação de ar foi o método de perda de carga constante.

Resumidamente este método consiste em eleger uma velocidade inicial na conduta principal à saída ou à entrada do ventilador (conforme se trate de insuflação ou extracção, respectivamente), e calcular as dimensões das condutas de modo a terem a mesma perda de carga por unidade de comprimento, ao longo de toda a rede.

A eleição da velocidade inicial depende do nível desejado admissível para o respectivo projecto.

Partindo desta velocidade inicial e do caudal posto em jogo, determinou-se a perda de carga por unidade de comprimento a qual se manteve constante durante todo o sistema.

A perda de carga total que o ventilador deve vencer, foi calculada a perda de carga no tramo que oferece maior resistência, incluindo as perdas de carga localizadas.

Os registos não são autorizados com vista à regulação do caudal nos locais de captação pontual nem para o equilíbrio dos circuitos parcelares de aspiração.

## **II - CADERNO DE ENCARGOS**

### **1 - OBJECTIVO**

É objectivo do presente Caderno de Encargos estabelecer as Condições Gerais e Especiais a que deverão obedecer o fornecimento e os trabalhos inerentes à Instalação de despoeiramento Instalação de Despoeiramento do açúcar - nas Instalações da Fábrica de açúcar, R. Manuel Pinto de Azevedo PORTO

### **2 - CONDIÇÕES TÉCNICAS GERAIS**

Neste capítulo irão definir-se os principais equipamentos que compõem o Projecto indicando-se as suas principais características.

### **3 - FILTRO DE DESPOEIRAMENTO E VENTILADOR**

Optou-se pela utilização de filtros de via húmida com incorporação directa no sistema de recuperação do açúcar de forma a otimizar a captação do poluentes e permitir a reintrodução das poeiras filtradas nos vários sistemas de transporte/armazenamento e evitar a utilização de condutas inseridas em filtros autónomos, devido à elevada limitação de espaço.

O modelo de filtro proposto poderá incorporar o moto ventilador acondicionado em caixa apropriada e de fácil acesso

#### **3.1 - FILTRO A PROPÔR acompanhado da DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE CE**

Filtro com entrada tangencial originando um movimento circular descendente sob o efeito do peso das partículas e da força centrífuga a que estão animadas., que assegure uma elevada eficácia de separação (<0,5%) e devem mencionar as características indicadas:

\* Modelo

Cauda (m3/h): 48.000 m3/h

\* Pot. Inst.(KW)

\* Sup. Filtrante (m2)

\* Elem. Filtrante

\* Número de elementos/dimensões

\* Tipo de Limpeza

\* Volume do reservatório

\* Eficiência

\* Quadro Programador

\* Pressostato diferencial

8

Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98

- Telemóvel: 968027475 / 966061735

Email: geral@ventodomavel.com

NIPC: 508421977

- \* Descarga inferior
- \* Capacidade de recolha das poeiras
- \* Dimensões
- \* Parâmetros a especificar pelo proponente

A perda de carga do filtro não poderá exceder a pressão estática de 1200 /1500 Pa

A temperatura do ar filtrado não deverá exceder a temperatura de 60 °C

PLACA DE IDENTIFICAÇÃO CE

TIPO

Nº Código de matrícula da máquina

S/N Número de serie

ORD. PROD. Nº de ordem de construção

MAX m3/h Caudal nominal

MIN m3/h Caudal em funcionamento

kW Potencia motor

dB (A) Nivel sonoro

V/Ph - Hz Volt/Fase eléctrica - Frequência

H Stat Pa Pressão estática

Rpm Rotações/min do motor

Rpm max Rotações/min ventilador

IP Grau de protecção eléctrica

Kg Peso da máquina

**A título exemplificativo:**

DATOS TÉCNICOS:

**HIWR - T 10**

Ø Boca de entrada	500 mm
Boca de salida	500 x 480 mm
Caudal de aspiración	15.000 m <sup>3</sup> /h
Depresión total	300 daPa
Presión libre disponible	150 daPa
Potencia motor	22 Kw.
Velocidad motor	1.500 rpm
Ø Exterior	1.750 mm
Altura total aproximada	6.160 + x mm
X altura boca descarga	800-1000 mm.
Capacidad del equipo	1.870 l
Peso total aproximado	2.440 kg
Ø boca de descarga	100 mm
Descarga	Válvula Bola manual
Presión sonora	88 dB(A) *
Zona según ATEX 94/9	Zona libre
Voltaje principal	380 V
Frecuencia	50 Hz
Clase de protección motor	IP55
Eficiencia motor	IE3
Contaminante aspirado	<300 mg/Nm <sup>3</sup>
Tamaño partículas esperado	2-50 µm
Temperatura aire	+5/+35 °C
Instalación	Dentro de fábrica
Grado de equilibrado rodete	Q=2,5
Pintado acabado	RAL 9007 "Silvered"



\* Media a 1 m en campo libre de reverberaciones con las dos bocas del ventilador conectadas. Tolerancia ± 3 dB(A). S/ DIN 45635-01-K12

**3.2 - VENTILADOR acompanhado da DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE CE**

O ventilador será do tipo centrífugo de alto rendimento com turbina de pás de reacção equilibrada estática e dinamicamente, equipado com motor eléctrico e devem mencionar as seguintes características:

\* Modelo

Caudal: 48000 m<sup>3</sup>/h

Depressão: 4500 Pa

\* Potência. Instalada

\* Potência Absorvida

Rendimento: ≥80%

\* Velocidade

- \* Tensão V-Hz
- \* Acoplamento
- \* Nív. Sonoro LpA [dB(A)]
- \* Parâmetros a especificar pelo proponente

**A título exemplificativo:**

Ventilador centrífugo de média pressão e aspiração simples para funcionar em ambientes químicos abrasivos ou marítimos.

Marca: MZ ou equivalente

Modelo: CMRG-2271-4T IE3

Q (m<sup>3</sup>/h) 20027

Velocidade (rpm) 1465

Máx. Temp. (°C) 250

Potência Mecânica Nominal (kW) 11

Hz/fases 50/3

Motor (rpm) 1470

Pólos 4

Corrente máx. (A) 380-415 V D 20.90

Corrente máx. (A) 660-725 V Y 12.10

Protecção do motor IP55

Tamanho da estrutura do motor 160

**4 - CONDIÇÕES ACÚSTICAS**

O equipamento a instalar deverá ter um nível de ruído mínimo de modo a não incomodar os utentes dos diversos locais.

Todo o equipamento deverá ser montado tendo em atenção a não transmissão de vibrações quer à estrutura do edifício, quer às condutas e tubagem.

#### **4.1 - ATENUADORES ACÚSTICOS**

O dimensionamento do atenuador acústico próprio para ser inserido na conduta de saída de ar para o exterior deve ser feito de modo a satisfazer os seguintes requisitos:

Atenuação acústica pretendida.

Tamanho da conduta e espaço disponível.

Caudal de ar.

Perda de carga máx.

As características da atenuação devem ser apresentadas em tabela ou gráficos tendo por base o princípio da câmara de absorção obedecendo à norma europeia DIN EN ISO 7235 reconhecida por entidades certificadas.

#### **4.2 - ELEMENTOS ATENUADORES**

Desenho aerodinâmico com moldura em chapa de aço galvanizada com esquinas arredondadas (raio > 15 mm) de modo a minimizar a perda de carga e em consequência contribuir para uma significativa poupança de energia.

Material absorção de som em lã mineral -peso específico > 30 Kg/ m<sup>3</sup>- (com marca de qualidade RAL) biodegradável conforme norma TRGS 905 e as orientações europeias 97/ 69/ EEC. É revestido por uma manta de fibra de vidro laminada (não entrançada), impregnada por uma mistura repelente da água, de modo a oferecer protecção contra a erosão do ar para

velocidades de passagem até 20 m/s. Tanto a lã mineral como a manta de fibra de vidro são imunes ao desenvolvimento de fungos ou bactérias.

Os painéis lambda exteriores e de compartimentação interna são em chapa de aço galvanizada.

Todo o conjunto é estável para temperaturas do ar até 100° C.

Podem ser instalados em qualquer posição para alturas até 1200 mm.

Cumpra na íntegra todos os requisitos higiénicos exigidos pela norma Alemã VDI 6022, DIN 1946 parte 2 e parte 4, assim como a norma VDI 3803.

#### **4.3 - INSTALAÇÃO**

Devem ser cumpridas as indicações específicas do fabricante no que diz respeito à localização e montagem por modo a assegurar as características técnicas de absorção de som e perdas de carga.

## 5 - REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE AR

### 5.1 - CONDUTAS E ACESSÓRIOS

As condutas de ar de secção circular, deverão ser de fabrico de série, feitas em máquinas automáticas para o efeito, utilizando como matéria-prima, Aços 316L, com execução calandrada com fecho longitudinal por soldadura com união por flanges ou colares.

As dimensões e tolerâncias das condutas circulares devem estar de acordo com as normas DIN 24145, Eurovent 2/3, ou DW 144, com espessuras mínimas de 1 mm.

Todos os acessórios de interligação deverão ser construídos no mesmo material e as ligações entre tramos de diferentes diâmetros realizadas por meio de reduções troncocónicas/troco piramidais convergentes ou divergentes, deverão ter um ângulo de abertura máximo admissível de 60°.

As ramificações "Picagens" de ar provenientes de ramificações que se juntam em cada nó devem ser dotadas com entradas de 30°

As uniões deverão ser capazes de garantir a estanquidade exigida pela classe de pressão C (Eurovent 2.2.) e em conformidade com a norma DW 143.

As curvas deverão ter raio de curvatura mínimo de 1,5 vezes o diâmetro.

A suspensão das condutas de secção circular, efectuar-se-á por intermédio de abraçadeiras em aço galvanizado devidamente pintado com tinta anticorrosiva, formando duas meias luas as quais possuirão abas para roscar os varões de suspensão. Entre cada abraçadeira e a conduta será aplicado um material antivibrático imputrescível de modo a evitar

Transmissão de vibrações para a estrutura do edifício.

O Fornecimento e montagem da conduta de prolongamento, deverá ser MUNIDA COM CHAPÉU TERMINAL DE SAÍDA RÁPIDA, de acordo com o **Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril – Capítulo III**, relativo à descarga de poluentes atmosféricos, até à altura fixada pela metodologia de cálculo estabelecida pela **Portaria n.º 263/2005, de 17 de Março** – Fixa regras para o cálculo da altura de chaminés e define as situações em que devem ser realizados estudos de dispersão poluentes atmosféricos, equipada com duas tomas de amostragem compatível com **NP 2167/2007**- Secção de amostragem e plataforma para chaminés ou condutas.

## TABELAS

### Captação/Linha/Nome Técnico/Diâmetro

CAPTAÇÃO	LINHA	NOME TÉCNICO	DIÂMETRO
1	LT1A1	Silo de 40 ton para açúcar a granel	Ø 400
2	LT1A2	Elevador de retorno dos classificadores	Ø 450
3	LT1A3	Transportador sem-fim de descarga no elevador dos classificadores (SF-101)	Ø 315
4	LT1A4	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Ø 400
5	LT1C1	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Ø 450
6	LT1C2	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Ø 450
7	LT1C3	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Ø 450
8	LS1B	Transportador sem-fim distribuição classificadores	Ø 450
9	LS2	Elevador para classificadores	Ø 450
10	LS3	Elevador para silo 75 ton	Ø 450
11	LT4A	Elevador de açucares especiais	Ø 450
12	LT4B	Silo de açúcar (20 ton)	Ø 315
13	LT4C	Arrefecedor de açúcar	Ø 250
14	LT5A	Transportador de banda de açúcar especial para Máquina libra	Ø 355
15	LT5B	Silo de pó e troças (10 ton)	Ø 355
16	LT5C	Transportador sem-fim de ligação do classificador à torre (SF-104)	Ø 355
17	LQ6A1	Transportador sem-fim nº2 do sistema alternativo (SF-76)	Ø 355
18	LQ6A2	Transportador sem-fim para elevador dos classificadores	Ø 355
19	LQ6B1	Transportador sem-fim descarga para silo 70 ton	Ø 500
20	LQ6B2	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	Ø 224
21	LT7A	Elevador de açúcar para silo 70 ton	Ø 450
22	LT7B	Silo 70 ton	Ø 300
23	LS8	Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga secador 20 ton	Ø 300

**NOTA: Consultar Memória descritiva - Nota Técnica- Cap III**

14

Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98

- Telemóvel: 968027475 / 966061735

Email: geral@ventodomavel.com

NIPC: 508421977

**Correspondência dos Comprimentos**

<b>PONTOS DE CAPTAÇÃO</b>	<b>NÓS</b>	<b>COMPRIMENTO DE TROÇOS RETOS (m)</b>	<b>DIÂMETROS NORMALIZADOS (m)</b>
1	I	8	0,170
2	I	4	0,180
3	I	4	0,150
4	II	2	0,180
5	III	2	0,200
6	III	2	0,180
7	IV	5	0,180
8	V	2	0,180
9	VI	5	0,180
10	VII	2	0,180
11	VIII	1	0,180
12	VIII	2	0,150
13	IX	5	0,100
14	XI	2	0,150
15	XI	1	0,150
16	XII	9	0,150
17	XIV	4	0,150
18	XIV	3	0,150
19	XV	3	0,220
20	XV	1	0,100
21	XVIII	2	0,200
22	XVIII	2	0,140
23	XX	3	0,140

**Correspondência de comprimentos dos nós**

NÓS	COMPRIMENTO DE TROÇOS RETOS (m)	DIÂMETROS NORMALIZADOS (m)
I-II	6	0,300
II-V	3	0,350
III-IV	6	0,280
IV-V	3	0,315
V-VI	6	0,520
VI-VII	3	0,560
VII-X	6	0,580
VIII-IX	3	0,250
IX-X	6	0,250
X-XIII	6	0,630
XI-XII	3	0,200
XII-XIII	10	0,250
XIII-XVII	5	0,710
XIV-XVI	10	0,200
XV-XVI	4	0,250
XVI-XVII	2	0,315
XVII-XIX	3	0,750
XVIII-XIX	10	0,224
XIX-XX	15	0,800
XX-CL	15	0,800

**NOTA TÉCNICA:**

**A** - A metragem da conduta de ligação entre o filtro e o ventilador e deste para o exterior, dependerá das características dos mesmos, do seu atravancamento, da localização relativa de ambos e da implantação no local.

**B** - Os valores indicados deverão ser confirmados pelo adjudicatário.

16

Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98  
- Telemóvel: 968027475 / 966061735  
Email: geral@ventodomavel.com  
NIPC: 508421977

## 5.2 – LIGAÇÕES AO EQUIPAMENTO

As ligações das condutas aos vários componentes, ventilador e filtro, ou outros não referidos, serão executados por intermédio de mangas flexíveis impusíveis e estanques ao ar, que evitem a propagação de vibrações e não inflamáveis.

O revestimento destas mangas deverá ser de neoprene, ou outro material de idêntica resistência.

A fixação das mangas flexíveis deverá ser executada por meio de aros metálicos, com aplicação de cordão de silicone para garantia de uma boa estanquidade e a ligação mecânica deverá ser assegurada com parafusos auto roscantes.

O comprimento destes troços será o mais curto possível. Todas as ligações flexíveis serão dotadas com isolamento térmico sempre que pertençam a redes de condutas isoladas. A ligação das condutas aos plenos dos difusores será efectuada por tubos flexíveis devidamente isolados.

O comprimento máximo admissível para as condutas flexíveis é de 1,5 m. Não serão admitidas ligações entre duas condutas flexíveis para obter troços mais compridos.

## 5.3- ABERTURAS DE INSPECÇÃO

### **Portas de Visita**

Serão instaladas portas de visita nas condutas de forma a se proceder à limpeza e manutenção das mesmas, de acordo com a NP 12097.

Deverão ser previstas portas de visita junto de todos os elementos de obstrução para que se tenha acesso para limpeza em ambos os lados desses elementos.

Com vista à inspecção nas condutas serão instaladas portas de inspecção, nas zonas onde se possam acumular sujidades e poeiras, nomeadamente a montante ou a jusante das curvas e das derivações.

Serão constituídas por um aro sem costura no mesmo material da conduta com 0,8 mm para fixação às condutas e por portinhola com dupla parede no mesmo material da conduta.

No interior da portinhola existirá uma fibra de 25 mm de espessura que será térmica e acusticamente isolante, tendo também características retardantes ao fogo.

O conjunto será protegido com tinta anti-ferrugem e tinta de acabamento.

O fecho e abertura deverão ser mediante manípulo e a estanquidade deverá ser garantida mediante guarnições do tipo hermético.

Quando necessário na portinhola existirá uma janela em policarbonato para inspecção.

Devem ainda existir pontos de acesso sempre que:

- Existam condutas de grandes dimensões
- Haja mudanças de secção na conduta;
- Haja mudanças de direcção com inclinação superiores a 45° devem ser precedidas de um acesso
- Existam distâncias em troço recto, que sejam superiores a 7.5m. Esta distância não deve ultrapassar os 3 a 5 m em condutas sujas
- Existirem troços rectos verticais – Nestes casos, deve haver dois pontos de acesso, um em cada uma das extremidades do troço (base e topo).

#### **Tomadas de medição de Caudal**

As tomadas de medição de caudal serão para instalação em condutas determinando o caudal pelo princípio de "Medição de pressão real".

No caso das condutas circulares, será uma peça de forma circular em chapa de alumínio para montagem entre condutas com tubos para tomada de ar também em alumínio.

Poderão ser ligadas a condutas que obedeçam na sua construção às Normas DIN 24145 e DIN 24146.

#### **Regulador de caudal de ar circular**

Os registos serão montados nos ramais secundários apenas com a função de colocação dos mesmos, fora de serviço, para efeitos de manutenção ao equipamento a que se refere, a ou as, aspirações do respectivo despeiramento.

Não serão permitidos registos circulares independente da pressão própria tanto para sistemas de caudal de ar constante (CAV) como variável (VAV) a baixa velocidade com funcionamento autónomo (sem recurso a energia exterior)

Apenas serão autorizados damper de guilhotina, estanques, com accionamento ELETROPNEUMÁTICO de atuação ON-OFF ou MODULANTE, com sinal de actuação aos equipamentos a que se referem.

#### **Pinturas**

Dado que o material das condutas e dos acessórios de acoplamento a instalar serão em aço INOX fica dispensado qualquer referência de RAL salvo se tal for opção do dono da obra

Por imposição legal, os materiais a implementar em obra, tais como tintas, vernizes, colas, entre outros, deverão cumprir o requisito legal imposto pelo Decreto-Lei 181/2006 nomeadamente quanto à emissão de compostos orgânicos voláteis.

#### **5.4 - SUSPENSÕES ANTI-VIBRÁTICAS PARA CONDUTAS E LIGAÇÕES FLEXÍVEIS**

As suspensões, os suportes e as fixações serão em inox ou em aço galvanizado.

Os cortes que afectem a galvanização terão de ser recobertos por uma espessa camada de tinta rica em zinco.

Nos troços horizontais os suportes serão constituídos por perfis colocados sob as condutas e suspensões com varões de rosca regulável. Estes varões serão fixos através de pregos por disparo na estrutura ou chumbados (excepto se de outro modo for indicado). Entre a porca e o perfil é obrigatória a interposição de uma anilha de borracha e uma anilha metálica.

Em alternativa à anilha de borracha, poderá ser usada banda de borracha a aplicar na zona de assentamento da conduta.

O número dos suportes dependerão do percurso e das características das condutas, em geral a distância entre os suportes não deverá ser superior a 2,5 metros.

Nos troços verticais, os suportes serão constituídos por mangas em aço com interposição de camadas de anéis de borracha ou material análogo em toda a superfície de encosto.

As mangas serão fixadas à estrutura ou às paredes como atrás indicado. As distâncias entre estas dependerão do peso e das características das condutas.

As condutas circulares de diâmetro igual ou inferior a 200 mm, poderão ainda ser suspensas com braçadeiras de varão único, sendo fixadas à estrutura através de pregos por disparo ou chumbados.

Neste caso também é obrigatório a interposição de anilha e/ou banda de borracha.

Marca de Referência: MUPRO ou equivalente.

Não é aceitável qualquer tipo de suspensão que obrigue à furação na chapa das condutas ou implique o uso de soldaduras, bem como o uso de fita perfurada como elemento de suspensão.

No atravessamento de paredes, divisórias ou lajes, entre as condutas e estes elementos será prevista a interposição de mastique ou material elástico, incombustível e impermeável, para evitar transmissão de vibrações.

#### **NOTA TÉCNICA:**

Qualquer alteração construtiva a implementar no ponto anterior, **5 - REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE AR**, deverá ser dada a conhecer ao director de obra a fim de verificar a viabilidade da mesma.

**Todas as interligações entre os materiais metálicos deverão ser dotadas de ligações equipotenciais com a rede de terras de protecção, através da ligação de condutores entre todas as partes metálicas e o barramento principal de terra.**

## **6 - EQUIPAMENTO DE CONTROLO**

Os equipamentos de controlo serão do tipo eléctrico e electrónico.

## **7 - INSTALAÇÃO ELÉCTRICA**

O Projecto das Instalações Eléctricas é da responsabilidade do Dono da obra ou caso este assim o entenda poderá ser atribuído ao adjudicatário da obra mediante orçamento da mesma.

## **8 - ESPECIFICAÇÕES DIVERSAS**

\* Após a adjudicação, o empreiteiro deverá apresentar todos os equipamentos e materiais a instalar para apreciação da Fiscalização e equipa projectista, pelo que deverá apresentar a discriminação completa das características de todos os equipamentos e materiais, além, e de uma forma geral, de toda a documentação e catálogos susceptíveis de permitirem uma apreciação adequada do proposto. Os catálogos deverão conter informação sobre as características técnicas gerais do material proposto e as características correspondentes às condições nominais de funcionamento.

A instalação será executada segundo as boas regras de construção

O ruído dos equipamentos satisfará à regulamentação em vigor e ao exigido na especificação e a sua montagem será feita de modo a garantir a total ausência de vibrações transmitidas ao edifício.

Todos os equipamentos serão identificados com etiquetas, resistentes à intempérie.

\* Pretende-se que todos os equipamentos e materiais a instalar sejam de primeira qualidade, estando sujeitos a prévia aprovação da Fiscalização da Obra.

\* Deverá ser claramente indicada a marca, modelo e identificação dos equipamentos propostos, que não poderão ser substituídos após adjudicação sem autorização do Dono de Obra.

\* Os equipamentos terão de satisfazer às normas portuguesas, quando existam, ou às normas do país de origem do equipamento.

## **9 - OBRIGAÇÕES DO ADJUDICATÁRIO**

A presente empreitada compreende o fornecimento e montagem dos equipamentos e materiais inerentes às instalações, objectivo deste Projecto, quer sejam citados nas Peças Desenhadas e Escritas, quer sejam omissas numas e outras, mas necessários ao bom funcionamento das Instalações.

As Instalações deverão ser executadas segundo as mais apertadas normas de boa técnica, de

acordo com este Caderno de Encargos e Peças Desenhadas que o acompanham, dele fazendo parte integrante.

#### **10 - PRAZO DE EXECUÇÃO**

Os prazos de execução dos trabalhos deverão ser coordenados com o andamento geral das montagens, devendo o Adjudicatário ter em conta todas as indicações dadas pelo dono da obra, ou seu representante, a quem competirá fiscalizar a realização dos trabalhos.

O Adjudicatário deverá ainda procurar a coordenação dos seus trabalhos com outras empreitadas.

#### **11 - ENSAIOS DAS INSTALAÇÕES**

O Adjudicatário deverá também entregar ao Dono da Obra ou seu representante, todos os

certificados de Fábrica dos principais equipamentos instalados – Filtros, Ventiladores, Etc., de acordo com os termos do disposto no Artigo 9 do Dec. Lei n.º 113/93.

Os Equipamentos devem ostentar chapa de identificação em local bem visível e ser acompanhados de documentação técnica em língua portuguesa.

Os Sistemas de despoeiramento devem possuir mecanismos de protecção, de acordo com as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente, para cada tipo de equipamento constituinte da instalação.

Todos os encargos inerentes a estes trabalhos, assim como a aparelhagem de medida necessária, serão da responsabilidade do Adjudicatário.

Caso se verifiquem condições de funcionamento anormais, deverão ser feitas as necessárias reparações de modo a se obterem os resultados desejados.

Todos os trabalhos referentes aos ensaios e formação, estarão a cargo do empreiteiro e compreendidos nos horários dos organismos de controlo interessados, devendo a escolha dos mesmos ser feita e submetida ao acordo do Dono da Obra. Todos os equipamentos de medida e de verificação e todos os materiais necessários para os ensaios serão fornecidos pelo empreiteiro, sem mais expensas para o Dono da Obra.

#### **12 - INSTRUÇÕES DE FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DAS INSTALAÇÕES**

O Adjudicatário deverá também dispor de pessoal qualificado na obra, de modo a poder facultar ao encarregado da condução das instalações todos os esclarecimentos que lhe forem solicitados.

#### **13 - PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E MANUTENÇÃO DAS INSTALAÇÕES**

##### **DE DESPOEIRAMENTO**

O “Plano de Manutenção Preventiva” – PMP tem como requisito garantir o funcionamento otimizado os sistemas instalados, visando estabelecer e manter os objectivos pretendidos.

21

Rua 40, 754 3.º C \* 4500 – 434 ESPINHO Tel: 2237525 98

- Telemóvel: 968027475 / 966061735

Email: geral@ventodomavel.com

NIPC: 508421977

O P.M.P. estabelecerá claramente as tarefas de manutenção previstas, tendo em consideração a boa prática da profissão, as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente, para cada tipo de equipamento constituinte da instalação.

O PMP deverá ser elaborado e mantido permanentemente actualizado sob a responsabilidade de um técnico (Técnico Responsável pela Manutenção).

As operações de manutenção das Instalações de DESPOEIRAMENTO serão executadas sob a responsabilidade do Técnico Responsável pela Manutenção e executadas por técnicos qualificados.

Nas zonas técnicas principais deverão estar afixados os esquemas de princípio das instalações.

Em local apropriado e exclusivo para as instalações de DESPOEIRAMENTO devem estar disponíveis os seguintes elementos para base documental:

- Documentação técnica de equipamentos incluindo catálogos e fichas técnicas com características de selecção e com instruções de funcionamento e de manutenção;

**Devem com a periodicidade programada ser verificados os itens das famílias de equipamentos aplicáveis a este caso, obedecendo aos critérios dos respectivos fabricantes expresso nos cadernos de manutenção dos mesmos**

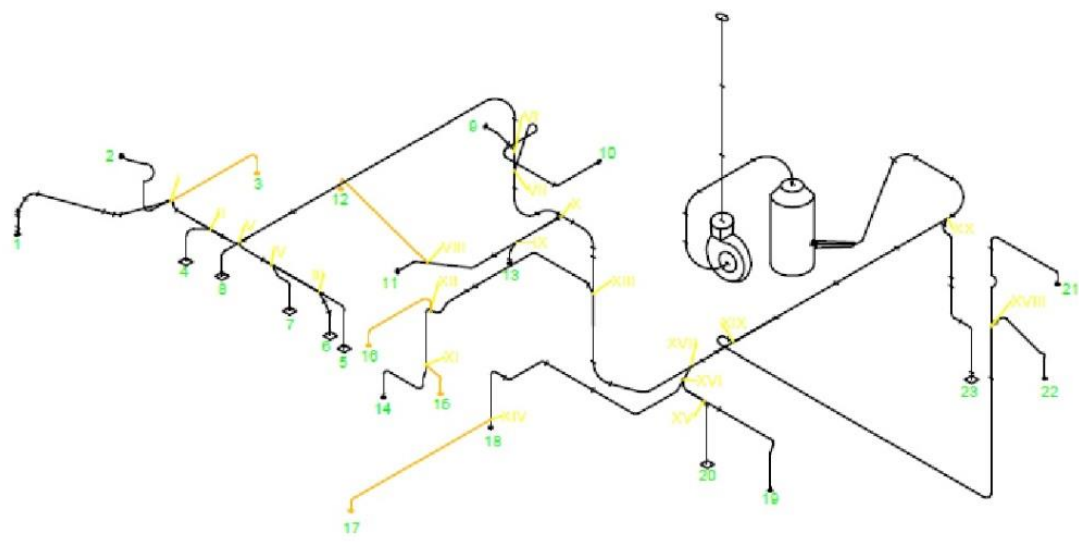
Na tabela abaixo pode-se encontrar o plano de acções de manutenção, segundo a periodicidade indicada, a executar na instalação;

**NOTA: Todas as operações abaixo indicadas serão da inteira responsabilidade da equipa de manutenção, e sempre realizadas na maior segurança possível; sempre sem tensão nos equipamentos e com marcha parada. O operador deve também, estar a todo o tempo provido dos Equipamentos de Protecção Individual (EPI), receber formação em como utiliza-los e como proceder às operações de manutenção em plena segurança.**

Condutas	Periodicidade				
	1	3	6	12	24
Verificação de corrosão e aplicação de isolamento.				X	
Inspecção interior e limpeza.				X	
Verificação dos caudais e comparar com o projecto.				X	

* VENTILADOR * FILTRO	Periodicidade				
	1	3	6	12	24

- Com a periodicidade programada obedecendo aos critérios dos respectivos fabricantes expresso nos cadernos de manutenção dos mesmos.



Da I a XX: Derivações

Pontos de captação:

- 1 - SILO 0011 - Silo de 40 ton a granel
- 2 - ELVE 0016 - Elevador de retorno dos classificadores
- 3 - TRSF 0045 - Transportador sem-fim de descarga no elevador dos classificadores
- 4/5/6/7/8 - TRSF 0029 - Transportador de distribuição dos classificadores
- 9 - ELVE 0012 - Elevador para classificadores
- 10 - ELVE 0014 - Elevador para silo de 75 ton
- 11 - ELVE 0015 - Elevador de açúcares especiais
- 12 - SILO 0037 - Silo de 20 ton
- 13 - PCCL 0010 - Arrefecedor de açúcar
- 14 - TRBA 0167 - Transportador de banda de açúcares especiais para máquina Libra
- 15 - SILO 0038 - Silo de 10 ton de pó e troças
- 16 - TRSF 0051 - Transportador sem-fim de ligação do classificador à torne
- 17 - TRSF 0076 - Transportador sem-fim nº2 do sistema alternativo
- 18 - TRSF 0071 - Transportador sem-fim para elevador dos classificadores
- 19 - TRSF 0048 - Transportador sem-fim de descarga para silo de 70 ton
- 20 - TRBA 0163 - Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga do secador de 20 ton
- 21 - ELVE 0013 - Elevador de açúcar para silo de 70 ton
- 22 - SILO 0031 - Silo de 70 ton
- 23 - TRBA 0163 - Transportador de banda de ligação ao sem-fim de descarga do secador de 20 ton

Rua 40, 754 3.º C \* 4500-434 - ESPINHO

Tel: 22 375 25 98 - Telemóvel: 96.802 74 75 / 96 243 82 16

Email: [geral@ventodomavel.com](mailto:geral@ventodomavel.com)  
 NIPC: 508421977



## E. Estimativas de custos

### E.1 Caso 1: Substituição integral da rede de transporte

Tabela E. 1 - Estimativa dos preços das condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte (parte I)

Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Caudal volumétrico (m³/h)	Diâmetro normalizado (m)	Preços unitários de tubos calandrados com 1 mm de espessura da Sandometal (€/m)		Comprimento de troços retos propostos (m)	Preço de encomenda - Comprimentos propostos (€)		Comprimento de troços retos indicados (m)	Comprimentos arredondados (m)	Preço de encomenda - Comprimentos indicados (€)		Nota
				Chapa galvanizada	Chapa preta		Chapa galvanizada	Chapa preta			Chapa galvanizada	Chapa preta	
<b>1*</b>	<b>1</b>	<b>1.905,0</b>	<b>0,170</b>	11,90	8,55	8	95,20	68,40	7,0	7	83,30	59,85	Preços para diâmetro 180 mm
2	2	2.365,3	0,180	11,90	8,55	4	47,60	34,20	3,5	4	47,60	34,20	
3	3	1.399,6	0,150	9,85	7,15	4	39,40	28,60	3,5	4	39,40	28,60	
<b>4*</b>	I-II	<b>5.669,9</b>	<b>0,300</b>	19,40	14,25	6	116,40	85,50	2,0	2	38,80	28,50	
5	4	2.128,9	0,180	11,90	8,55	2	23,80	17,10	1,8	2	23,80	17,10	
<b>6*</b>	II-V	<b>7.798,8</b>	<b>0,350</b>	21,70	16,90	3	65,10	50,70	1,2	2	43,40	33,80	Preços para diâmetro 355 mm
7	5	2.488,1	0,200	12,95	9,50	2	25,90	19,00	3,4	4	51,80	38,00	
8	6	2.365,3	0,180	11,90	8,55	2	23,80	17,10	1,8	2	23,80	17,10	
9	III-IV	4.853,4	0,280	18,10	13,30	6	108,60	79,80	3,1	4	72,40	53,20	
10	7	2.365,3	0,180	11,90	8,55	5	59,50	42,75	1,9	2	23,80	17,10	
11	IV-V	7.218,7	0,315	20,60	15,00	3	61,80	45,00	0,5	1	20,60	15,00	
12	8	2.365,3	0,180	11,90	8,55	2	23,80	17,10	1,5	2	23,80	17,10	
<b>13*</b>	V-VI	<b>17.382,8</b>	<b>0,520</b>	25,85	23,75	6	155,10	142,50	3,7	4	103,40	95,00	Preços para diâmetro 500 mm
14	9	2.365,3	0,180	11,90	8,55	5	59,50	42,75	1,8	2	23,80	17,10	
<b>15*</b>	VI-VII	<b>19.748,1</b>	<b>0,560</b>	28,45	26,60	3	85,35	79,80	1,0	1	28,45	26,60	
16	10	2.365,3	0,180	11,90	8,55	2	23,80	17,10	8,0	8	95,20	68,40	
<b>17*</b>	VII-X	<b>22.113,4</b>	<b>0,580</b>	28,45	26,60	6	170,70	159,60	4,0	4	113,80	106,40	Preços para diâmetro 560 mm
18	11	2.365,3	0,180	11,90	8,55	1	11,90	8,55	3,0	3	35,70	25,65	
19	12	1.399,6	0,150	9,85	7,15	2	19,70	14,30	2,5	3	29,55	21,45	
20	VIII-IX	3.764,9	0,250	16,55	11,90	3	49,65	35,70	1,0	1	16,55	11,90	
21	13	822,6	0,100	6,75	4,75	5	33,75	23,75	1,5	2	13,50	9,50	
22	IX-X	4.587,5	0,250	16,55	11,90	6	99,30	71,40	2,0	2	33,10	23,80	

Tabela E. 2 - Estimativa dos preços das condutas da Sandometal em chapa galvanizada ou preta, considerando a substituição integral da rede de transporte (parte II)

Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Caudal volumétrico (m³/h)	Diâmetro normalizado (m)	Preços unitários de tubos calandrados com 1 mm de espessura da Sandometal (€/m)		Comprimento de troços retos propostos (m)	Preço de encomenda - Comprimentos propostos (€)		Comprimento de troços retos indicados (m)	Comprimentos arredondados (m)	Preço de encomenda - Comprimentos indicados (€)		Nota
				Chapa galvanizada	Chapa preta		Chapa galvanizada	Chapa preta			Chapa galvanizada	Chapa preta	
				24	14		1.533,3	0,150			9,85	7,15	
25	15	1.399,6	0,150	9,85	7,15	1	9,85	7,15	2,0	2	19,70	14,30	
26	XI-XII	2.932,8	0,200	12,95	9,50	3	38,85	28,50	2,5	3	38,85	28,50	
27	16	1.399,6	0,150	9,85	7,15	9	88,65	64,35	3,0	3	29,55	21,45	
28	XII-XIII	4.332,4	0,250	16,55	11,90	10	165,50	119,00	7,0	7	115,85	83,30	
29*	XIII-XVII	31.033,3	0,710	36,35	33,75	5	181,75	168,75	3,5	4	145,40	135,00	
30	17	1.399,6	0,150	9,85	7,15	4	39,40	28,60	10,5	11	108,35	78,65	
31	18	1.399,6	0,150	9,85	7,15	3	29,55	21,45	2,5	3	29,55	21,45	
32	XIV-XVI	2.799,2	0,200	12,95	9,50	10	129,50	95,00	8,5	9	116,55	85,50	
33	19	3.262,0	0,220	14,75	10,65	3	44,25	31,95	4,0	4	59,00	42,60	Preços para diâmetro 224 mm
34	20	647,2	0,100	6,75	4,75	1	6,75	4,75	2,8	3	20,25	14,25	
35	XV-XVI	3.909,2	0,250	16,55	11,90	4	66,20	47,60	2,0	2	33,10	23,80	
36	XVI-XVII	6.708,3	0,315	20,60	15,00	2	41,2	30,00	1,0	1	20,60	15,00	
37*	XVII-XIX	37.741,6	0,750	36,35	33,75	3	109,05	101,25	2,0	2	72,70	67,50	Preços para diâmetro 710 mm
38	21	2.488,1	0,200	12,95	9,50	2	25,90	19,00	6,5	7	90,65	66,50	
39	22	1.272,0	0,140	9,85	7,15	2	19,70	14,30	3,5	4	39,40	28,60	Preços para diâmetro 150 mm
40	XVIII-XIX	3.760,1	0,224	14,75	10,65	10	147,50	106,50	7,9	8	118,00	85,20	
41*	XIX-XX	41.501,8	0,800	41,40	38,00	15	621,00	570,00	9,2	10	414,00	380,00	
42	23	1.272,0	0,140	9,85	7,15	3	29,55	21,45	6,9	7	68,95	50,05	
43*	XX-CL	42.773,8	0,800	41,40	38,00	15	621,00	570,00	7,1	8	331,20	304,00	
44*	CL-V	42.773,8	0,800	41,40	38,00	5	207,00	190,00	4,4	5	207,00	190,00	
<b>Total</b>						<b>204</b>	<b>4.236,80</b>	<b>3.534,30</b>	<b>162,5</b>	<b>175</b>	<b>3.191,40</b>	<b>2.612,30</b>	
Corrente	Nº da captação (1) /Trajeto entre nós (I)	Caudal volumétrico (m³/h)	Diâmetro normalizado (m)	Preços unitários de tubos calandrados com 1 mm de espessura da Sandometal (€/m)		Comprimento de troços retos propostos (m)	Preço de encomenda - Comprimentos propostos (€)		Comprimento de troços retos indicados (m)	Comprimentos arredondados (m)	Preço de encomenda - Comprimentos indicados (€)		Nota
				Chapa galvanizada	Chapa preta		Chapa galvanizada	Chapa preta			Chapa galvanizada	Chapa preta	

Tabela E. 3 - Estimativa dos preços de condutas calandradas da Sandometal em aço inox 304 ou 316 (fechados por pontos ou soldadura contínua), considerando a substituição integral da rede de transporte

Diâmetro normalizado (m)	Comprimento de troços retos propostos (m)	Preços unitários de tubos calandrados AISI 304 com 1 mm de espessura (€/m)		Preços de encomenda para tubos calandrados AISI 304 com 1 mm de espessura (€/m)		Preços unitários de tubos calandrados AISI 316 com 1 mm de espessura (€/m)		Preços de encomenda para tubos calandrados AISI 316 com 1 mm de espessura (€/m)		Nota
		Fecho por pontos	Soldadura contínua	Fecho por pontos	Soldadura contínua	Fecho por pontos	Soldadura contínua	Fecho por pontos	Soldadura contínua	
0,100	6	20,05	25,30	120,30	151,80	28,50	25,30	171,00	151,80	
0,140	5	26,40	31,65	132,00	158,25	39,05	44,30	195,25	221,50	Preços para Ø 150 mm
0,150	25	26,40	31,65	660,00	791,25	39,05	44,30	976,25	1.107,50	
0,170	8	30,15	35,40	241,20	283,20	45,35	50,60	362,80	404,80	Preços para Ø 180 mm
0,180	23	30,15	35,40	693,45	814,20	45,35	50,60	1.043,05	1.163,80	
0,200	17	32,70	37,95	555,90	645,15	49,60	54,85	843,20	932,45	
0,220	3	35,75	41,00	107,25	123,00	54,65	59,90	163,95	179,70	Preços para Ø 224 mm
0,224	10	35,75	41,00	357,50	410,00	54,65	59,90	546,50	599,00	
0,250	23	39,05	44,30	898,15	1.018,90	60,15	65,40	1.383,45	1.504,20	
0,280	6	42,85	48,10	257,10	288,60	66,50	71,75	399,00	430,50	
0,300	6	45,35	50,60	272,10	303,60	70,70	75,95	424,20	455,70	
0,315	5	47,25	52,50	236,25	262,50	73,85	79,10	369,25	395,50	
0,350	3	52,35	57,60	157,05	172,80	82,30	87,55	246,90	262,65	Preços para Ø 355 mm
0,520	6	70,70	75,95	424,20	455,70	112,95	118,20	677,70	709,20	Preços para Ø 500 mm
0,560	3	78,30	83,55	234,90	250,65	125,60	130,85	376,80	392,55	
0,580	6	78,30	83,55	469,80	501,30	125,60	130,85	753,60	785,10	Preços para Ø 560 mm
0,630	6	87,15	92,40	522,90	554,40	140,40	145,65	842,40	873,90	
0,710	5	97,30	102,55	486,50	512,75	157,25	162,50	786,25	812,50	
0,750	3	97,30	102,55	291,90	307,65	157,25	162,50	471,75	487,50	Preços para Ø 710 mm
0,800	30	108,70	113,95	3.261,00	3.418,50	176,25	181,50	5.287,50	5.445,00	
<b>Total</b>	<b>199</b>			<b>10.379,45</b>	<b>11.424,20</b>			<b>16320,80</b>	<b>17.314,85</b>	

Tabela E. 4 - Estimativa dos preços de condutas calandradas da VAL Steel em aço inoxidável 304, considerando a substituição integral da rede de transporte

Diâmetro normalizado (m)	Comprimento de troços retos propostos (m)	Espessura (mm)	Preços unitários de tubos AISI 304 (€/m)	Valor Líquido (sem IVA) (€)
0,100	6	2	15,25	91,50
0,140	5	2	18,43	92,15
0,150	25	2	22,10	552,50
0,170	8	2	23,00	184,00
0,180	23	-	23,00	529,00
0,200	17	2	31,45	31,50
0,220	3	2	31,30	93,90
0,224	10	2	31,30	313,00
0,250	23	-	45,60	1.048,80
0,280	6	2	46,32	277,92
0,300	6	-	54,73	328,38
0,315	5	2	54,73	273,65
0,350	3	-	54,73	164,19
0,520	6	3	121,00	726,00
0,560	3	-	121,00	363,00
0,580	6	-	208,00	1.248,00
0,630	6	4	208,00	1.248,00
0,710	5	4	375,00	1.875,00
0,750	3	-	375,00	1.125,00
0,800	30	4	420,00	12.600,00
<b>Total</b>	<b>199</b>			<b>23.165,49</b>

Tabela E. 5 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para condutas e reduções concêntricas em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte

Peça	Dimensões (mm)	Quantidade	Preço unitário AISI 316L (€/udd)	Desconto (%)	Valor Líquido (€, sem IVA)
Tubagens	100	6	40,48	10	218,59
	150 (140)	30	50,64		1.367,28
	180 (170)	31	56,64		1.580,26
	200	17	60,72		929,02
	224 (220)	13	65,60		767,52
	250	23	70,88		1.467,22
	280	6	76,96		415,58
	300	6	80,96		437,18
	315	5	84,00		378,00
	350	3	92,16		248,83
	500	6	121,52		656,21
	560 (580)	9	133,68		1.082,81
	630	6	147,84		798,34
	710 (750)	8	164,08		1.181,38
	800	30	182,32		4.922,64
<b>Total</b>		<b>199</b>		<b>16.450,85</b>	
Reduções concêntricas	224/100	1	33,76	10	30,38
	250/100	1	38,08		34,27
	300/150	2	46,72		84,10
	315/150	2	80,64		145,15
	355/150	5	81,28		365,76
	400/180	2	91,84		165,31
	450/200	2	98,72		177,70
	450/180	7	97,60		614,88
	500/224	1	107,07		96,36
	<b>Total</b>		<b>23</b>		

Tabela E. 6 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para curvas em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte

Peça	Dimensões (mm)	Quantidade	Preço unitário AISI 316L (€/udd)	Desconto (%)	Valor Líquido (€)
Curvas	100 mm/60°	2	54,30	10	97,75
	150/30°	3	54,16		146,23
	150/60°	2	63,44		114,19
	150/90°	12	76,03		821,15
	180/30°	3	57,60		155,52
	180/45°	1	67,33		60,60
	180/60°	3	69,12		186,62
	180/90°	8	77,41		557,34
	200/60°	1	76,80		69,12
	200/90°	8	89,97		647,77
	224/60°	2	79,87		143,77
	224/90°	3	93,31		251,94
	250/30°	3	68,54		185,07
	250/60°	2	89,09		160,36
	250/90°	2	140,74		253,32
	300/90°	1	151,44		136,30
	500/90°	1	288,00		259,20
	560/90°	2	422,40		760,32
	630/90°	1	439,68		395,71
	710/45°	1	337,92		304,13
710/90°	1	564,80	508,32		
800/90°	3	672,00	1.814,40		
<b>Total</b>		<b>65</b>		<b>8.029,12</b>	

Tabela E. 7 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para derivações em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte

Peça	Dimensões (mm)	Quantidade	Preço unitário AISI 316L (€/udd)	Desconto (%)	Valor Líquido (sem IVA)
Derivações (30°)	150+180+180=300	1	159,20	10	143,28
	180+300=350	1	149,76		134,78
	180+200=280	1	113,04		101,74
	180+280=315	1	149,76		134,78
	180+315+350=500	1	244,80		220,32
	180+500=560	1	211,36		190,22
	180+560=560	1	202,88		182,59
	150+180=250	1	99,36		89,42
	100+250=250	1	93,28		83,95
	250+560=630	1	232,16		208,94
	150+150=200	2	90,56		163,01
	150+200=250	1	99,68		89,71
	250+630=710	1	269,44		242,50
	100+224=250	1	99,36		89,42
	200+250=315	1	153,28		137,95
	315+710=710	1	244,96		220,46
	150+200=224	1	99,68		89,71
	224+710=800	1	296,80		267,12
	150+800=800	1	308,96		278,06
	<b>Total</b>		<b>20</b>		

Tabela E. 8 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para pares flangeados em aço inoxidável 316L, considerando a substituição integral da rede de transporte

Peça	Dimensões (mm)	Quantidade	Preço unitário AISI 316L (€/udd)	Desconto (%)	Valor Líquido (€ sem IVA)	
Flanges	100/3	22	16,40	10	324,72	
	150/3	116	19,76		2.062,94	
	180/3	86	21,84		1.690,42	
	200/3	48	25,04		1.081,73	
	224/3	36	26,08		844,99	
	250/3	56	32,56		1.641,02	
	280/3	12	38,08		411,26	
	300/3	12	39,12		422,50	
	315/3	16	47,92		690,05	
	355/5	18	56,56		916,27	
	400/5	2	60,96		109,73	
	450/5	10	67,28		605,52	
	500/2	14	48,80		614,88	
	560/3	18	57,60		933,12	
	630/3	12	62,08		670,46	
	710/3	18	70,16		1.136,59	
	800/3	36	78,24		2.534,98	
	<b>Total</b>		<b>532</b>			<b>16.691,18</b>

Tabela E. 9 - - Estimativa dos preços praticados pela Coral para flanges circulares/barra considerando a substituição integral da rede de transporte

Flanges estampadas						
Diâmetro (mm)	Nº flanges	Nº orifícios/flange	Nº parafusos M8 necessários	Preço unitário flanges(€/udd)	Valor líquido sem IVA (€)	
					S/desconto	C/desconto de 10%
100	22	4	44	5,08	111,76	100,58
150	116	4	232	6,52	756,32	680,69
180	86	5	215	7,67	659,62	593,66
200	48	6	144	8,29	397,92	358,13
220 (224)	36	6	108	8,97	322,92	290,63
250	56	6	168	9,99	559,44	503,50
280	12	6	36	11,20	134,40	120,96
300	12	6	36	14,60	175,20	157,68
315	16	6	48	15,70	251,20	226,08
350 (355)	18	8	72	17,00	306,00	275,40
400	2	8	8	19,10	38,20	34,38
450	10	10	50	21,30	213,00	191,70
500	14	10	70	23,50	329,00	296,10
550 (560/580)	18	12	108	25,80	464,40	417,96
630	12	12	72	47,30	567,60	510,84
710	18	12	108	51,60	928,80	835,92
800	36	16	288	60,00	2.160,00	1.944,00
<b>Total</b>	<b>532</b>		<b>1.807</b>		<b>8.375,78</b>	<b>7.538,20</b>

Flanges galvanizadas em barra

Tabela E. 10 - Cálculo do passo médio dos pares flangeados fabricados pela Sandometal, considerando a substituição integral da rede de transporte

Peça	Dimensões (mm)	Comprimento (m)	Nº Pares flangeados	Passo (m/flange)
Tubagens	100	6	11	0,545
	150 (140)	30	58	0,517
	180 (170)	31	43	0,721
	200	17	24	0,708
	224 (220)	13	18	0,722
	250	23	28	0,821
	280	6	6	1,000
	300	6	6	1,000
	315	5	8	0,625
	350	3	9	0,333
	500	6	7	0,857
	560 (580)	9	9	1,000
	630	6	6	1,000
	710 (750)	8	9	0,889
	800	30	18	1,667
	<b>Total</b>		<b>199</b>	<b>266</b>

## E.2 Caso 2: Substituição parcial da rede de transporte

Tabela E. 11 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para materiais em aço inoxidável 316L, considerando a substituição parcial da rede de transporte

Alteração	Troços retos			Derivações			Curvas						Flanges			Total
	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (€)	Nº	Dimensões (mm)	Preço (€)	Diâmetro (mm)	Quantidade 90°	Quantidade 60°	Quantidade 45°	Quantidade 30°	Preço (€)	Diâmetro (mm)	Quantidade pares flangeados	Preço (€)	Preço (€)
a	170	3	152,93	0	-	0,00	180	0	0	0	2	103,68	180	4	157,25	413,86
b	300	3	218,59	1	180+300=350	134,78	300	0	0	0	0	0,00	300	3	211,25	564,62
c	350	1,5	124,42	1	180+315+350=500	220,32	350	0	0	0	0	0,00	350	5	509,04	853,78
d	180	1,5	76,46	0	-	0,00	180	0	0	0	1	51,84	180	2	78,62	206,92
e	280	3	207,79	1	180+200=280	101,74	280	0	0	0	0	0,00	280	3	205,63	515,16
	315	1,5	113,40	1	180+280=315	134,78	315	0	0	0	0	0,00	315	2	172,51	420,69
f	520	4,5	492,16	0	-	0,00	520	1	0	0	0	259,20	520	5	439,20	1.190,56
g	180	1,5	76,46	1	180+560=580	182,59	180	0	0	0	1	51,84	180	2	78,62	389,51
h	580	4,5	541,40	1	250+560=630	208,94	560	2	0	0	0	760,32	560	5	518,40	2.029,06
i	250	1,5	95,69	0	-	0,00	180	0	0	0	1	51,84	180	2	78,62	226,15
	250	3	191,38	1	100+250=250	83,95	250	0	0	0	1	61,69	250	4	234,43	571,45
j	200	3	163,94	0	-	0,00	200	1	0	0	0	80,97	200	4	180,29	425,20
	250	7,5	478,44	1	250+630=710	242,50	250	2	1	0	0	333,50	250	9	527,47	1.581,91
k	710	4,5	664,52	1	315+710=710	220,46	710	2	0	0	0	1.016,64	710	5	631,44	2.533,06
l	200	9	491,83	1	200+250=315	137,95	200	3	0	0	0	242,91	200	13	585,94	1.458,63
m	250	3	191,38	1	100+224=250	89,42	250	0	0	0	0	0,00	250	4	234,43	515,23
n	315	1,5	113,40	1	-	0,00	315	0	0	0	0	0,00	315	2	172,51	285,91
o	750	3	443,02	1	224+710=800	267,12	750	0	0	0	0	0,00	750	3	378,86	1.089,00
p	224	9	531,36	2	150+200=224 224+710=800	356,83	224	1	1	0	0	155,87	224	13	610,27	1.654,33
q	140	3	136,73	1	140+800=800	278,06	140	2	0	0	0	136,86	140	6	213,41	765,06
r	800	6	984,53	0	-	0,00	800	0	0	0	2	336,00	800	4	563,33	1.883,86
s	800	4,5	738,40	0	-	0,00	800	3	0	0	0	1.814,40	800	3	422,50	2.975,30
<b>Total</b>	-	<b>82,5</b>	<b>7.228,22</b>	<b>16</b>	-	<b>2.659,46</b>	-	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>5.457,56</b>	-	<b>103</b>	<b>7.204,03</b>	<b>22.549,27</b>

### E.3 Caso 3: Implementação das ramificações do cenário 2.1

Tabela E. 12 - Estimativa dos preços praticados pela Sandometal para materiais em aço inoxidável 316L, considerando apenas a implementação das novas ramificações na rede de transporte existente

Linha	Reduções concêntricas		Troços retos			Curvas				Derivações		Flanges		Total
	Dimensões (mm)	Preço (€)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Preço (€)	Diâmetro (mm)	Quantidade 90°	Quantidade 30°	Preço (€)	Dimensões (mm)	Preço (€)	Quantidade	Preço (€)	
<b>3-I</b>	150-315	72,58	150	4	182,30	150	2	0	136,85	150+170+180=300	143,28	16	177,84	<b>712,85</b>
<b>12-VIII</b>	150-315	72,58	150	2	91,15	150	1	1	117,17	150+180=250	89,42	8	88,92	<b>459,24</b>
<b>15-XI</b>	150-355	73,15	150	1	45,58	150	0	1	48,74	150+150=200	81,50	4	44,46	<b>293,44</b>
<b>16-XII</b>	150-355	73,15	150	9	410,18	150	1	1	117,17	150+200=250	89,71	34	377,91	<b>1.068,13</b>
<b>17-XIV</b>	150-355	73,15	150	4	182,30	150	1	1	117,17	150+150=200	81,50	16	177,84	<b>631,97</b>
<b>Total</b>		<b>364,61</b>		<b>20</b>	<b>911,52</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>537,11</b>		<b>485,42</b>	<b>78</b>	<b>866,97</b>	<b>3.165,63</b>

## F. Comparação de propostas

### F.1 SITAPE

1. Silo 0037 de 20 ton (ver Figura A.15 do Anexo A.1.2)

- Tamponar a picagem existente de Ø 200;
- Corte nova picagem Ø 150;
- Instalação de tubagens, uma curva de 90° e outra de 30°, flanges e válvula guilhotina manual Ø 150;
- Soldadura da derivação a 30° na linha principal.

2. SILO 0038 de pó e troças de 10 ton (ver Figura A.16 do Anexo A.1.2)

- Aproveitamento da tampa existente no silo Ø 150;
- Instalação de tubagens, uma curva de 90° e 30°, flanges e válvula guilhotina manual Ø 150;
- Soldadura da derivação a 30° na linha principal;

3. TRSF 0045 (ver Figura A.17 do Anexo A.1.2)

- Soldadura da picagem na peça de descarga entre os sem-fins;
- Instalação de tubagens, uma curva de 90°, flanges e válvula guilhotina manual Ø 150;
- Soldadura da derivação a 30° na linha principal

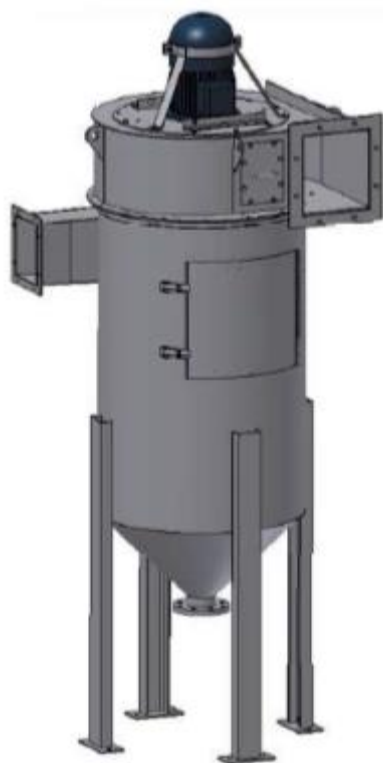
4. Transferência do TRSF SF 104 para TRSF 0004 SF 106 e ainda TRSF 0076 SF 76 (ver Figura A.19 e A.20 do Anexo A.1.2)

- Soldadura da picagem na tampa dos transportadores sem-fim 106 e 076
- Instalação de tubagem, curva 90°, flanges e válvula guilhotina manual Ø 150 e de uma derivação simples Ø 150 para Ø 150 com uma saída Ø 200.

## F.2 Vento Domável

As características principais do separador húmido fabricado em aço inoxidável AISI 304, representado na Figura F.1 são:

- Caudal volumétrico: 40.000 m<sup>3</sup>/h;
- Queda de pressão: 2500 Pa;
- Potência do motor: 7,5 kW;
- Frequência de rotação: 1500 rpm



*Figura F. 1 - Separador de via húmida HIZV-T n°13 da Handte Iberica*

### F.3 Planiclíma

Tabela F. 1 - Preços indicados pela Planiclíma para a substituição das condutas das captações

Rede de transporte	Tramo	L <sub>TR</sub> (m)	Diâmetro (m)	AISI 304		AISI 316L		Tramo
				Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	
Captações	1-I	8	0,170	2.094,26	937,50	3.380,92	937,50	1-I
	2-I	4	0,180	1.094,37	562,50	1.682,55	562,50	2-I
	3*-I	4	0,150	880,22	375,00	1.329,25	375,00	3-I
	4-II	2	0,180	966,65	468,75	1.464,61	468,75	4-II
	5-III	2	0,200	975,68	468,75	1.482,66	468,75	5-III
	6-III	2	0,180	966,65	468,75	1.464,61	468,75	6-III
	7-IV	5	0,180	1.101,99	468,75	1.735,28	468,75	7-IV
	8-V	2	0,180	966,65	468,75	1.464,61	468,75	8-V
	9-VI	5	0,180	1.008,25	375,00	1.585,31	375,00	9-VI
	10-VII	2	0,180	1.219,74	750,00	1.858,30	750,00	10-VII
	11-VIII	1	0,180	1.034,03	750,00	1.486,87	750,00	11-VIII
	12*-VIII	2	0,150	1.215,81	1.125,00	1.700,42	1.125,00	12-VIII
	13-IX	5	0,100	815,47	187,50	1.274,75	187,50	13-IX
	14-XI	2	0,150	1.056,40	375,00	1.681,61	375,00	14-XI
	15*-XI	1	0,150	999,24	750,00	1.473,52	750,00	15-XI
	16*-XII	9	0,150	1.559,87	750,00	2.538,55	750,00	16-XII
	17*-XIV	4	0,150	1.306,76	1.125,00	1.882,33	1.125,00	17-XIV
	18-XIV	3	0,150	968,31	375,00	1.505,42	375,00	18-XIV
	19-XV	3	0,220	1.085,72	375,00	1.740,24	375,00	19-XV
	20-XV	1	0,100	844,53	300,00	1.287,87	300,00	20-XV
21-XVIII	2	0,200	1.078,77	375,00	1.726,35	375,00	21-XVIII	
22-XVIII	2	0,140	1.151,89	625,00	1.772,59	625,00	22-XVIII	
23-XX	3	0,140	1.313,02	375,00	2.194,84	375,00	23-XX	
Total	74			25.704,28	12.831,25	39.713,46	12.831,25	Total
Rede de transporte	Tramo	L <sub>TR</sub> (m)	Diâmetro (m)	AISI 304		AISI 316L		Tramo
				Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	

Tabela F. 2 - Preços indicados pela Planiclíma para a substituição da linha principal e ramificações

Rede de transporte	Tramo	L <sub>TR</sub> (m)	Diâmetro (m)	AISI 304		AISI 316L		Tramo
				Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	
Linha principal e ramificações	I-II	6	0,300	1.564,40	468,75	2.519,52	468,75	I-II
	II-V	3	0,350	1.269,38	468,75	1.929,47	468,75	II-V
	III-IV	6	0,280	1.460,55	468,75	2.311,81	468,75	III-IV
	IV-V	3	0,315	1.240,02	468,75	1.870,76	468,75	IV-V
	V-VI	6	0,520	2.073,34	468,75	3.396,81	468,75	V-VI
	VI-VII	3	0,560	1.769,27	750,00	2.676,17	750,00	VI-VII
	VII-X	6	0,580	2.419,13	375,00	4.125,89	375,00	VII-X
	VIII-IX	3	0,250	1.747,81	750,00	2.773,83	750,00	VIII-IX
	IX-X	6	0,250	1.508,47	750,00	2.295,16	750,00	IX-X
	X-XIII	6	0,630	3.019,27	1.312,50	4.810,56	1.312,50	X-XIII
	XI-XII	3	0,200	1.583,06	1.125,00	2.294,33	1.125,00	XI-XII
	XII-XIII	10	0,250	2.464,12	1.125,00	3.775,27	1.125,00	XII-XIII
	XIII-XVII	5	0,710	3.652,72	1.312,50	5.655,68	1.312,50	XIII-XVII
	XIV-XVI	10	0,200	2.361,67	1.500,00	3.420,36	1.500,00	XIV-XVI
	XV-XVI	4	0,250	1.827,44	1.500,00	2.633,09	1.500,00	XV-XVI
	XVI-XVII	2	0,315	1.770,33	1.500,00	2.518,87	1.500,00	XVI-XVII
	XVII-XIX	3	0,750	3.181,96	2.125,00	4.810,95	2.125,00	XVII-XIX
	XVIII-XIX	10	0,224	3.137,23	2.250,00	4.390,30	2.250,00	XVIII-XIX
	XIX-XX	15	0,800	6.463,23	3.000,00	10.320,51	3.000,00	XIX-XX
XX-CL	15	0,800	7.128,59	1.500,00	12.251,22	1.500,00	XX-CL	
Total	125			51.641,99	23.218,75	80.780,56	23.218,75	Total
Rede de transporte	Tramo	L <sub>TR</sub> (m)	Diâmetro (m)	AISI 304		AISI 316L		Tramo
				Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	

Tabela F. 3 - Quadro resumo da proposta da Planiclina dependendo do material utilizado, âmbito da intervenção e horário de trabalho

Âmbito	L <sub>TR</sub> (m)	AISI 304		AISI 316L		Âmbito
		Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	Preço com montagem à semana (€)	Mais valia para montagem ao fim de semana (€)	
<b>Substituição integral</b>	199	77.346,27	36.050,00	120.494,02	36.050,00	<b>Substituição integral</b>
<b>Cenário 1: Horário normal de trabalho</b>		77.346,27 €		120.494,02 €		Cenário 1: Horário normal de trabalho
<b>Cenário 2: Fins-de-semana</b>		113.396,27 €		156.544,02 €		Cenário 2: Fins-de-semana
<b>Ampliação do sistema</b>	20	5.961,90	4.125,00	8.924,07	4.125,00	<b>Ampliação do sistema</b>
<b>Cenário 1: Horário normal de trabalho</b>		5.961,90 €		8.924,07 €		Cenário 1: Horário normal de trabalho
<b>Cenário 2: Fins-de-semana</b>		10.086,90 €		13.049,07 €		Cenário 2: Fins-de-semana

A partir da marca e do modelo do ventilador apresentado foi possível obter a curva característica do mesmo, apresentado na Figura F.2.

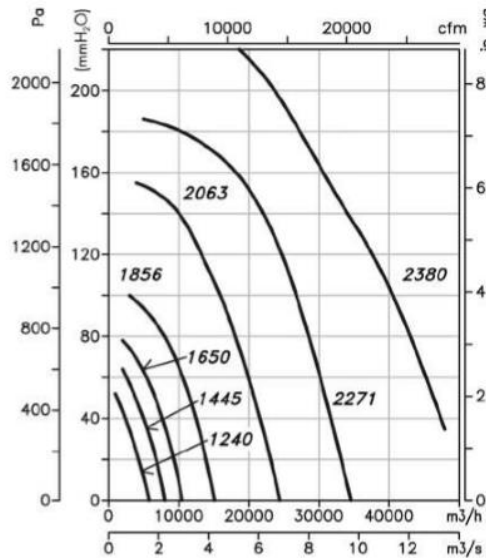


Figura F. 2 - Curva característica do ventilador CMRG-2271-4T

Como é possível verificar na Figura F.2 o ventilador proposto não é adequado para as necessidades do sistema, tanto em queda de pressão como na capacidade de aspiração.

#### **F.4 Despoiravent**

A rede de condutas seria fabricada em aço inoxidável AISI 316L, com espessura de 1 mm (1,2 para condutas com diâmetros superiores a 630 mm). As curvas teriam raios de 2 vezes o seu diâmetro nominal, aplicando derivações a 30° e com uniões por flanges de barra do mesmo material, aparafusadas e com aplicação de silicone de qualidade alimentar. Incluem suportes, pendurais e todo o material necessário à montagem.

Contemplaram a instalação de 30 portas de inspeção, 29 tomadas de medição para tubo de Pitot (em todos os ramais de captação e nas linhas principais). A ligação às captações realizar-se-ia por tubo flexível em poliuretano com espiral de reforço em arame de aço cobreado de alta resistência à abrasão. Ligações equipotenciais nas flanges, de ligação em trança de cobre com terminais cravadas. Chaminé de saída com um diâmetro de 800 mm, 3 metros acima da cumieira, com suporte e espiamento por cabos de aço, saída normalizada e 2 tomas de medição conforme a norma NP 2167/2007. Sem plataforma de acesso às tomas. Tanto as ligações do ventilador ao filtro, como na entrada e saída do ventilador seriam aplicadas lonas anti-vibratórias de borracha crepe e abraçadeiras.

Registos de guilhotina de alta robustez, eletropneumáticos com electroválvula incorporada e botão de corte local.

As principais características do filtro proposto são:

- Capacidade máxima de 49.500 m<sup>3</sup>/h;
- Diâmetro de 2.500 mm;
- Altura de 6,5 m;
- Inclui porta de visita lateral, matriz de aspersores, circuito de injeção de água com nível e bomba de água com manómetro.

As características do ventilador são as seguintes:

- Caudal de serviço de 48.000 m<sup>3</sup>/h;
- Pressão de serviço de 4.400 Pa;
- Rendimento total de 82 %;
- Frequência de rotação da turbina de 1.500 rpm;
- Índice de ruído sem insonorização de 89 dB (A).

O quadro elétrico usado para o arranque dos motores da instalação e controlos dos seus componentes deve cumprir as seguintes especificações:

- Variação de frequência para o motor do ventilador centrífugo;
- Botões manuais para arranque do sistema e para ligar ou desligar os registos eletropneumáticos individualmente;
- Microcontrolador Siemens;
- Sinalizadores do estado dos componentes da instalação.

## F.5 Retaflex

Numa tentativa de estimar qual seria o incremento na proposta se tivesse sido respeitado o material recomendado no caderno de encargos. Portanto com as dimensões dos troços indicados no caderno de encargos para as captações, junto com os preços praticados pela Sandometal para cada um dos materiais, elaborou-se a Tabela F.4.

*Tabela F. 4 - Estimativa do preço dos materiais necessários para implementar as novas captações*

Linha	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Custos (€)		
			AISI 316L	Aço galvanizado	Diferença
3-I	150	4	182,30	35,46	146,84
12-VIII		2	91,15	29,79	61,36
15-XI		1	45,58	6,08	39,50
16-XII		9	410,18	134,06	276,13
17-XIV		4	182,30	117,18	65,12
<b>Total</b>		<b>20</b>	<b>911,52</b>	<b>322,56</b>	<b>588,96</b>

A partir dos dados obtidos foi possível inferir que geralmente condutas em AISI 316L são pelo menos 3x mais caras do que se fossem fabricadas a partir de aço galvanizado. Portanto considerando que esta proporção se mantém para os acessórios das condutas, estimou-se que provavelmente o montante requisitado pela Retaflex seja de 5.500 € e não 1.850 €, implicando que o total do investimento atinja um valor de 8.200 € e não 4.500 €.