



|                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                        |  |                                            |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------|----------------------------|
| <br><br> | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b>                                                                                                                                                                                                                                |  | CÓDIGO Nº: <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>   |                            |
|                                                                                                                                                                            | OBRA:                                                                                                                                                                                                                                                  |  | FOLHA: <b>1 de 20</b>                      |                            |
|                                                                                                                                                                            | TÍTULO: <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b>                                                                                                                                                                                   |  |                                            |                            |
|                                                                                                                                                                            | ESCOPO: <b>REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO DOS EQUIPAMENTOS E ESTRUTURAS DEDICADOS À COLETA E QUEIMA DE BIOGÁS E ELABORAÇÃO DE PROJETOS BÁSICO E EXECUTIVO PARA IMPLANTAÇÃO E/OU REFORMA DOS SISTEMAS DE COLETA E QUEIMA DE GASES, EM CAXIAS DO SUL - RS</b> |  |                                            |                            |
|                                                                                                                                                                            | NOME DA EMPRESA<br><b>E.MATSUO TRATAMENTO DE EFLUENTES</b><br><br><b>CONTRATO Nº 3230370000</b>                                                                                                                                                        |  | ENG. RESP.:<br><b>ELIAS TAKESHI MATSUO</b> | CREA:<br><b>5061891463</b> |
| ASSINATURA:                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                        |  |                                            |                            |

| ÍNDICE DE REVISÕES |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REV.               | DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 0                  | <b>EMISSÃO INICIAL</b><br><br> <div> Documentado assinado digitalmente<br/> <b>ELIAS TAKESHI MATSUO</b><br/> Data: 25/03/2025 08:43:05-0300<br/> Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> </div> |

|             |           |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| REVISÃO     | REV. 0    | REV. 1 | REV. 2 | REV. 3 | REV. 4 | REV. 5 | REV. 6 | REV. 7 |
| DATA        | 31/5/2024 |        |        |        |        |        |        |        |
| EXECUÇÃO    | E. MATSUO |        |        |        |        |        |        |        |
| VERIFICAÇÃO |           |        |        |        |        |        |        |        |
| APROVAÇÃO   | E. MATSUO |        |        |        |        |        |        |        |

As informações contidas neste documento são de propriedade de E.MATSUO Tratamento de Efluentes e foram elaboradas para o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, do município de Caxias do Sul, não sendo permitido o seu uso e divulgação para terceiros sem o prévio consentimento dos autores.



26807000010642

|                                                                                                                  |                                                                      |  |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--|----------------------|
| <br>E.MATSUO TRAT. DE EFLUENTES | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>             |  | REV. <b>R0</b>       |
|                                                                                                                  | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b>                               |  | FOLHA <b>2 DE 20</b> |
|                                                                                                                  | TÍTULO: <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b> |  |                      |

**É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem a autorização dos autores.**

**Dados do projeto:**

|                      |                                                                                                 |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Código do documento: | <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>                                                                   |
| Cliente:             | Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, do município de Caxias do Sul.             |
| Título do documento: | MEMORIAL TÉCNICO DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                                        |
| Responsável Técnico: | Engº Elias Takeshi Matsuo                                                                       |
| CREA:                | 5061891463-SP                                                                                   |
| Data da elaboração:  | 31/5/2024                                                                                       |
| Contato:             | (35) 99168-5353<br><a href="mailto:elias@monerasolucoes.com.br">elias@monerasolucoes.com.br</a> |



|                                                                                                                  |                                 |       |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
| <br>E.MATSUO TRAT. DE EFLUENTES | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.    |
|                                                                                                                  | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0      |
|                                                                                                                  | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 3 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                                                 |                                 |       |         |

## SUMÁRIO

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>APRESENTAÇÃO .....</b>                                                 | <b>4</b>  |
| <b>1 PROJETO EXECUTIVO DE TUBULAÇÕES EXTERNAS .....</b>                   | <b>5</b>  |
| 1.1 MEMORIAL DESCRITIVO .....                                             | 5         |
| 1.2 MEMORIAL DE CÁLCULO .....                                             | 5         |
| 1.2.1 Verificação das velocidades de escoamento.....                      | 6         |
| 1.2.2 Verificação das tensões e deformações .....                         | 9         |
| 1.3 SUPORTES METÁLICOS .....                                              | 11        |
| 1.3.1 Suportes 1 a 3.....                                                 | 11        |
| 1.3.2 Suporte 4 .....                                                     | 12        |
| 1.3.3 Suporte 5 .....                                                     | 13        |
| 1.3.4 Suporte 7 .....                                                     | 14        |
| 1.3.5 Suporte 8 .....                                                     | 15        |
| 1.3.6 Suporte 9 .....                                                     | 16        |
| 1.3.7 Suporte 10 .....                                                    | 17        |
| 1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS AO PROJETO DE TUBULAÇÕES EXTERNAS .....          | 18        |
| <b>ANEXO I – VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES .....</b> | <b>20</b> |



|                                                                                   |                                 |       |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.    |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0      |
|                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 4 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                  |                                 |       |         |

## APRESENTAÇÃO

O presente documento é parte integrante do Produto 3 – Projeto Executivo, dos serviços para a **realização de diagnóstico dos equipamentos e estruturas dedicados à coleta e queima de biogás, e elaboração de projetos básico e executivo para implantação e/ou reforma dos sistemas de coleta e queima de gases gerados no processo de tratamento das Estações de Tratamento de Esgoto – ETE's Canyon, Belo, Pena Branca, Pinhal, Samuara e Tega, no município de Caxias do Sul/RS**, que é objeto do Contrato 3230370000, assinado em 26 de Julho de 2023, entre o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – SAMAE, do município de Caxias do Sul e a empresa E.MATSUO Tratamento de Efluentes.

Os serviços foram executados conforme especificado no Termo de Referência para a elaboração do escopo do contrato 3230370000, tendo como responsável técnico o Engº Civil Elias Takeshi Matsuo, portador do CREA Nº 5061891463-SP, por meio da anotação de Responsabilidade Técnica Nº 28027230231191451.

Para evitar repetição de conteúdo, todos os aspectos relacionados ao dimensionamento e verificações de resistência mecânica para todas as ETE's são apresentadas neste documento único.



|                                                                                   |                                 |       |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.    |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0      |
|                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 5 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                  |                                 |       |         |

## 1 PROJETO EXECUTIVO DE TUBULAÇÕES EXTERNAS

### 1.1 MEMORIAL DESCRITIVO

Este projeto abrange a instalação das tubulações, válvulas, acessórios, instrumentos de controle, equipamentos e suportes, para o escoamento do biogás, da saída dos reatores UASB ao queimador.

A tubulação externa tem a função de encaminhar o biogás para queima no flare, passando antes pelo selo hídrico. O material da tubulação corresponde ao aço inoxidável AISI 304.

Os suportes para as tubulações também foram especificadas em aço inoxidável.

Como verificado na prática, a produção de biogás atualmente é muito baixa em todas as ETE's, além de ser intermitente. Isto resulta em velocidades de escoamento muito baixas e possibilidade de entrada de ar atmosférico na tubulação. Portanto, a tubulação de coleta do biogás deve ser pressurizada o tempo todo.

Esta pressurização será realizada através de válvula de alívio sustentadora de pressão à montante, cujo funcionamento irá garantir a pressão mínima da rede, fazendo a liberação do biogás quando houver aumento de pressão devido à produção de biogás nos reatores e sua acumulação de biogás nas campânulas.

Esta forma de operação garante que haja uma diferença de pressão que compense a perda de carga e force o fluxo em somente uma direção, do reator ao queimador. Por haver maior pressão, haverá também maior velocidade de escoamento, permitindo a operação do flare.

Quando a produção de biogás ficar muito baixa ou nula, esta válvula irá se fechar e a chama será extinguida.

Nas ETE's Canyon e Tega a pressurização ocorre inicialmente através do selo hídrico, o qual é necessário para manter as condições normais de operação do reator UASB.

### 1.2 MEMORIAL DE CÁLCULO



|                                                                                   |                                 |       |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.    |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0      |
|                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 6 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                  |                                 |       |         |

Neste memorial de cálculo serão feitas as verificações quanto ao dimensionamento da tubulação e quanto aos aspectos mecânicos e estruturais.

A metodologia de cálculo para a avaliação das tensões e deformações foram extraídas do livro “Tubulações industriais - Cálculo” (DA SILVA TELLES, C., 2006, 9ª EDIÇÃO. LTC – Livros técnicos e científicos Editora S.A.).

### 1.2.1 Verificação das velocidades de escoamento

Adotamos as seguintes diretrizes para a verificação do dimensionamento das tubulações externas do biogás:

- I. Pressão mínima de 0,15 mca;
- II. O escoamento dos gases se dará pela diferença de pressões;
- III. Velocidade máxima de escoamento da ordem de 5 m/s;
- IV. Diâmetro mínimo da tubulação equivalente a 40 mm.

Tendo em vista a baixa pressão de operação e o baixo peso específico do biogás, bem como a pequena extensão da tubulação, a perda de carga no escoamento pode ser desprezada e a verificação do dimensionamento fica condicionado à análise das velocidades de escoamento nas tubulações.

A estimativa das vazões de biogás foi realizada na etapa de diagnóstico. Foram estimadas as vazões de biogás para 4 cenários distintos, sendo os cenários I e II para etapa imediata e os cenários III e IV para final de plano. Foram utilizadas também 2 metodologias de cálculo distintas.

Calculamos os valores médios das vazões para finalidade de verificação das velocidades de escoamento. Os valores são apresentados nas tabelas a seguir.



|                                                              |                                        |       |                |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|----------------|
|                                                              | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº             |       | REV.           |
|                                                              | <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>          |       | <b>R0</b>      |
|                                                              | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b> | FOLHA | <b>7 DE 20</b> |
| TÍTULO:                                                      |                                        |       |                |
| <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b> |                                        |       |                |

**Tabela 1. Vazões médias estimadas de biogás em etapa imediata (média dos cenários I e II) e etapa final (média dos cenários III e IV).**

|                 | Unidade | Balanço de massa | PROBIO 1.0 | MÉDIA (m3/d) | MÉDIA (m3/h) |
|-----------------|---------|------------------|------------|--------------|--------------|
| ETE CANYON      |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 16,81            | 17,1       | 22,76        | 0,95         |
| Cenário II      | m3/d    | 29,33            | 27,8       |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 342              | 319,9      | 386,23       | 16,09        |
| Cenário IV      | m3/d    | 412,2            | 470,8      |              |              |
| ETE BELO        |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 8,64             |            | 26,78        | 1,49         |
| Cenário II      | m3/d    | 54,58            | 43,9       |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 1.441,67         | 1.219,50   | 1.196,32     | 49,85        |
| Cenário IV      | m3/d    | 1.153,32         | 970,8      |              |              |
| ETE PENA BRANCA |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 21,9             | 24         | 65,85        | 2,74         |
| Cenário II      | m3/d    | 114,9            | 102,6      |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 850,9            | 758,3      | 995,95       | 41,50        |
| Cenário IV      | m3/d    | 1.258,20         | 1.116,40   |              |              |
| ETE PINHAL      |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 107,87           | 76         | 121,51       | 5,06         |
| Cenário II      | m3/d    | 165,95           | 136,2      |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 1.701,74         | 1.516,50   | 2645,74      | 110,24       |
| Cenário IV      | m3/d    | 3.731,00         | 3.633,70   |              |              |
| ETE SAMUARA     |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 107,87           | 76         | 10,57        | 0,44         |
| Cenário II      | m3/d    | 165,95           | 136,2      |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 1.701,74         | 1.516,50   | 535,16       | 22,30        |
| Cenário IV      | m3/d    | 3.731,00         | 3.633,70   |              |              |
| ETE TEGA        |         |                  |            |              |              |
| Cenário I       | m3/d    | 107,87           | 76         | 265,18       | 11,05        |
| Cenário II      | m3/d    | 165,95           | 136,2      |              |              |
| Cenário III     | m3/d    | 1.701,74         | 1.516,50   | 3.590,53     | 149,61       |
| Cenário IV      | m3/d    | 3.731,00         | 3.633,70   |              |              |



|                                                              |                                        |       |                |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|----------------|
|                                                              | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº             |       | REV.           |
|                                                              | <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>          |       | <b>R0</b>      |
|                                                              | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b> | FOLHA | <b>8 DE 20</b> |
| TÍTULO:                                                      |                                        |       |                |
| <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b> |                                        |       |                |

As velocidades de escoamento são apresentadas nas tabelas a seguir. Estas velocidades foram calculadas para final de plano e para etapa inicial imediata.

**Tabela 2. Velocidades de escoamento de biogás nas tubulações projetadas, para as vazões teóricas de biogás para início de plano.**

|                 | VAZÃO MÁX. TEÓRICA | VELOCIDADE DE ESCOAMENTO NAS TUBULAÇÕES EXISTENTES NAS ETE's (INICIAL) |            |            |            |
|-----------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
|                 | m³/h               | DN 1.1/2 POL                                                           | DN 2 POL   | DN 3 POL   | DN 4 POL   |
| ETE CANYON      | 1                  | 0,19                                                                   | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE BELO        | 0,75 (1 REATOR)    | 0,15                                                                   | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 1,5 (TOTAL)        | XXXXXXXXXX                                                             | 0,18       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE PENA BRANCA | 1,37 (1 REATOR)    | 0,27                                                                   | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 2,74 (TOTAL)       | XXXXXXXXXX                                                             | 0,32       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE PINHAL      | 1,26 (1 REATOR)    | 0,25                                                                   | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 2,53 (2 REATORES)  | XXXXXXXXXX                                                             | 0,30       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 5,06 (TOTAL)       | XXXXXXXXXX                                                             | XXXXXXXXXX | 0,25       | XXXXXXXXXX |
| ETE SAMUARA     | 0,44               | 0,09                                                                   | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE TEGA        | 5,5 (2 REATORES)   | XXXXXXXXXX                                                             | XXXXXXXXXX | 0,27       | XXXXXXXXXX |
|                 | 11 (TOTAL)         | XXXXXXXXXX                                                             | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | 0,32       |

Em relação às vazões para final de plano, as vazões atuais de biogás, isto é, calculadas considerando as características e vazões de esgoto atuais, são muito baixas, estando abaixo de 5% da vazão para final de plano para todas as ETE's, com exceção da ETE Tega, que chega a 10%.

A análise dos valores das velocidades de escoamento do biogás mostram a dificuldade no dimensionamento das tubulações do biogás para as ETE's de Caxias do Sul, uma vez que poderá haver superdimensionamento para as vazões atuais e subdimensionamento para as vazões futuras.



|                                                       |                                 |       |         |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|---------|
|                                                       | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.    |
|                                                       | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0      |
|                                                       | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 9 DE 20 |
| TÍTULO:                                               |                                 |       |         |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS |                                 |       |         |

**Tabela 3. Velocidades de escoamento de biogás nas tubulações projetadas, para as vazões teóricas de biogás de final de plano.**

|                 | VAZÃO MÁX. TEÓRICA | VELOCIDADE DE ESCOAMENTO (MÁXIMA) |            |            |            |
|-----------------|--------------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|
|                 | m³/h               | DN 1.1/2 POL                      | DN 2 POL   | DN 3 POL   | DN 4 POL   |
| ETE CANYON      | 16                 | 3,1                               | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE BELO        | 25 (1 REATOR)      | 4,84                              | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 50 (TOTAL)         | XXXXXXXXXX                        | 5,89       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE PENA BRANCA | 21 (1 REATOR)      | 4,07                              | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 42 (TOTAL)         | XXXXXXXXXX                        | 4,95       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE PINHAL      | 27,5 (1 REATOR)    | 5,33                              | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 55 (2 REATORES)    | XXXXXXXXXX                        | 6,48       | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
|                 | 110 (TOTAL)        | XXXXXXXXXX                        | XXXXXXXXXX | 5,43       | XXXXXXXXXX |
| ETE SAMUARA     | 22,5               | 4,36                              | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX |
| ETE TEGA        | 80 (2 REATORES)    | XXXXXXXXXX                        | XXXXXXXXXX | 3,70       | XXXXXXXXXX |
|                 | 160 (TOTAL)        | XXXXXXXXXX                        | XXXXXXXXXX | XXXXXXXXXX | 4,38       |

### 1.2.2 Verificação das tensões e deformações

#### *Peso próprio de tubulações e acessórios*

O peso próprio das tubulações foi obtida através de catálogo de fabricante.

**Tabela 4. Dimensional dos tubos de aço inoxidável padrão Schedule conforme ANSI B36.10, utilizados neste projeto.**

| DIAM. NOMINAL | DIAM. EXTERNO | Sch.5s | Sch.10s | Sch.40s |
|---------------|---------------|--------|---------|---------|
| Pol.          | mm            | Kg/m   |         | Kg/m    |
| 1 1/2         | 48,26         |        | 3.154   |         |
| 2             | 60,33         |        | 3.991   |         |
| 3             | 88,9          | 4.584  |         |         |
| 4             | 114,3         | 5.925  |         |         |



|                                                                                   |                                |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|----------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº            |       | REV.     |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0         |       | R0       |
|                                                                                   | ESTÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 10 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                  |                                |       |          |

O projeto de tubulações foi concebido de forma a localizar suportes próximos a válvulas e outros componentes de peso significativo, evitando a aplicação de cargas pontuais em posições críticas.

### **Cargas acidentais**

Para a verificação das tensões e deformações foram consideradas as seguintes cargas acidentais:

- 2.000 kgf (2 kN) entre suportes, para tubulações com diâmetro igual ou acima de 3 Pol;
- 500 kgf (0,5 kN) entre suportes, para tubulações com diâmetro inferior à 3 Pol;

### **Resultados**

O cálculo de tensões e deformações foi realizado para dois cenários distintos.

- Cenário 1: Condições normais de operação;
- Cenário 2: Consideração de cargas acidentais.

No cenário 1 as solicitações são causadas pelo peso próprio de tubulações. Tem por objetivo a verificação das deformações / flexas.

No cenário 2, o objetivo é a verificação das tensões, uma vez que a aplicação das cargas tem curta duração e as deformações, embora elevadas, ainda se encontram no regime elástico, retornando à forma inicial.

**Tabela 1. Verificação das deformações / flexa para o cenário 1.**

| DIAM. NOMINAL (Pol) | VÃO MÁXIMO ENTRE SUPORTES (m)     | DEFORMAÇÃO / FLEXA MÁXIMA (mm) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 1/2               | 5,6 (travessia entre os reatores) | 9,4                            |
|                     | 4,5 (normal)                      | 3,9                            |
| 2                   | 8,1 (travessia entre os reatores) | 25,7                           |
|                     | 5,0                               | 3,7                            |
| 3                   | 4,8                               | 1,4                            |
| 4                   | 5,3                               | 1,2                            |

**Tabela 2. Verificação das tensões para o cenário 2.**



|                                                                                   |                                        |       |                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-----------------|
|  | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº             |       | REV.            |
|                                                                                   | <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>          |       | <b>R0</b>       |
|                                                                                   | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b> | FOLHA | <b>11 DE 20</b> |
| TÍTULO:                                                                           |                                        |       |                 |
| <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b>                      |                                        |       |                 |

| DIAM. NOMINAL | VÃO MÁXIMO ENTRE SUPORTES         | TENSÃO MÁXIMA |
|---------------|-----------------------------------|---------------|
| Pol.          | m                                 | MPa           |
| 1 1/2         | 5,6 (travessia entre os reatores) | 194,9         |
|               | 4,5 (normal)                      | 152           |
| 2             | 8,1 (travessia entre os reatores) | 198,1         |
|               | 5,0                               | 110,9         |
| 3             | 4,8                               | 216,3         |
| 4             | 5,3                               | 146,1         |

### 1.3 SUPORTES METÁLICOS

Tendo em vista a baixa carga das tubulações para coleta de biogás e a necessidade de alta resistência à corrosão, os suportes metálicos serão fabricados em perfis de chapas dobradas de aço inoxidável AISI 304.

A verificação do seu dimensionamento foi realizado através da análise por elementos finitos, dado que não há normas específicas para o dimensionamento de elementos estruturais de pequeno porte sujeitos à baixa carga.

Apresentamos à seguir somente as verificações para os suportes.

#### 1.3.1 Suportes 1 a 3

Os suportes 1,2 e 3 são do tipo mão francesa. Dentre estes suportes, aquele que está sujeito à maior carga é o suporte 3, o qual será utilizado na ETE Tega. As mãos francesas serão utilizadas em grande quantidade, pois podem ser fixadas nas paredes de concreto, dispensando a construção de bases de concreto novas.

A carga para verificação do dimensionamento corresponde a 1.000 N.



|                                                       |                                 |       |          |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
| <p>E.MATSUO TRAT. DE EFLUENTES</p>                    | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                       | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                       | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 12 DE 20 |
| TÍTULO:                                               |                                 |       |          |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS |                                 |       |          |

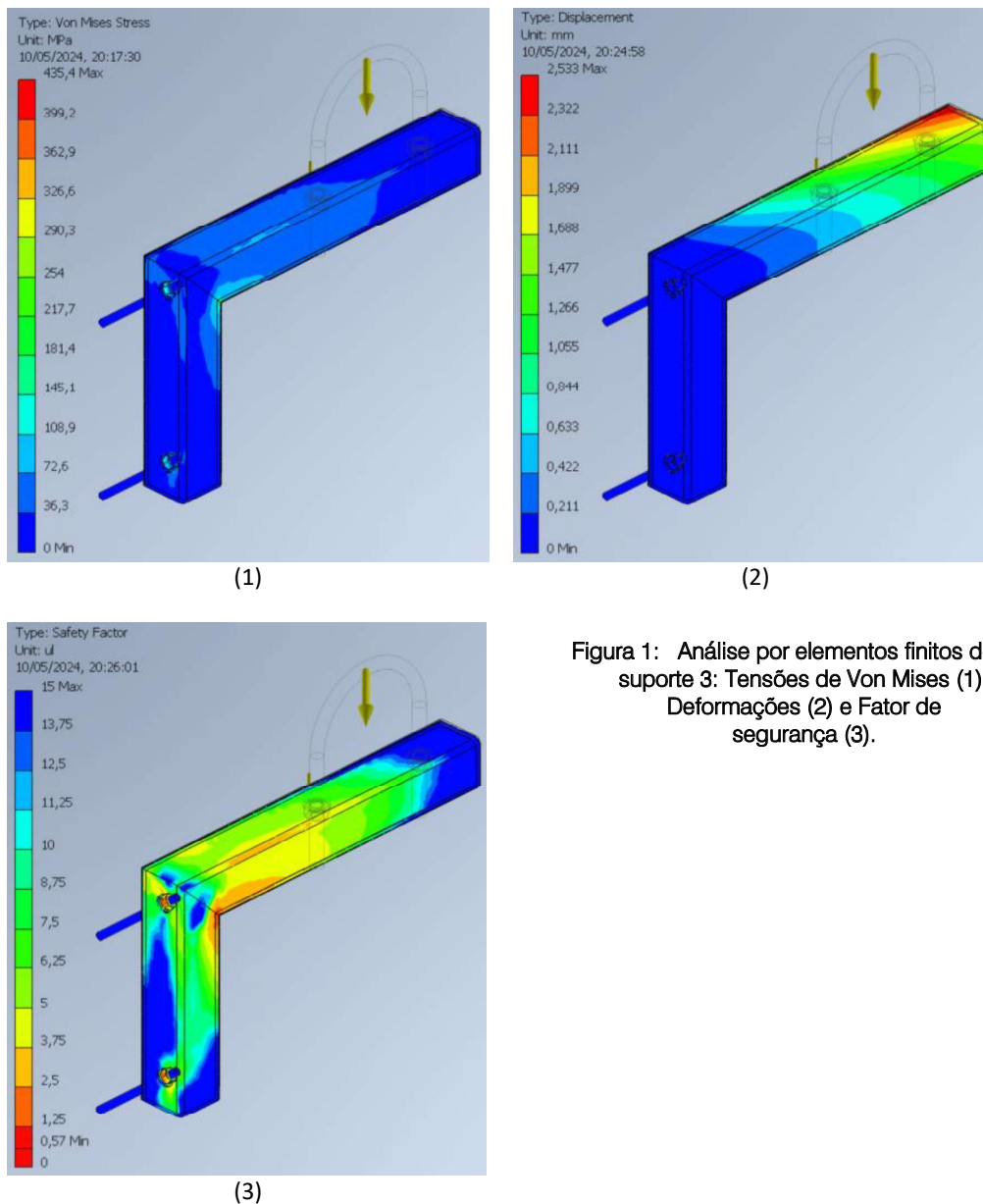


Figura 1: Análise por elementos finitos do suporte 3: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 0,57. Porém, este valor corresponde a uma singularidade. Portanto, o fator de segurança mais apropriado está na região entre 2,5 e 3,75.

### 1.3.2 Suporte 4



|                                                                                   |                                 |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 13 DE 20 |
| TÍTULO:                                                                           |                                 |       |          |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                             |                                 |       |          |

O suporte 4 é utilizado em todas as ETE's, sendo instalados apoiados em base de concreto nova, no nível do terreno. Este tipo de suporte é bastante seguro, por ter 2 apoios.

Por estar localizado no nível do terreno e com tubulação com DN de 1.1/2 Pol a 4 Pol, a carga para verificação do dimensionamento corresponde a 2.000 N.

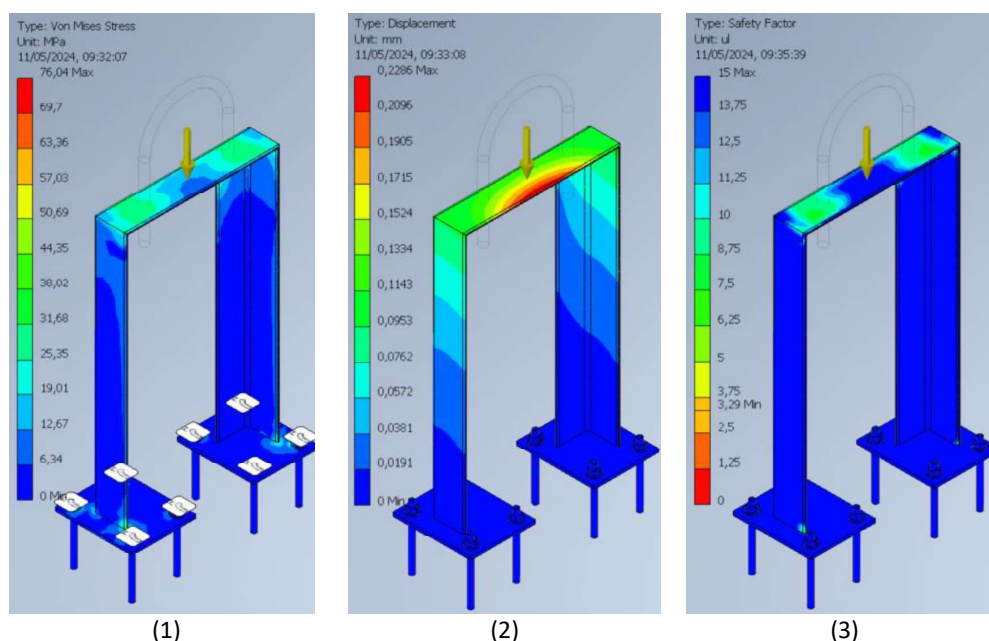


Figura 2: Análise por elementos finitos do suporte 4: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 3,75.

### 1.3.3 Suporte 5

O suporte 5 é utilizado nas ETE's Belo, Pena Branca e Pinhal, sendo instalados apoiados no topo da laje de concreto dos reatores UASB. Este tipo de suporte é bastante seguro, por ter 2 apoios.

Este suporte resiste a cargas de 2.000 N.



|                                                                                                                   |                                 |       |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
| <br>E. MATSUO TRAT. DE EFLUENTES | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 14 DE 20 |
| TÍTULO:                                                                                                           |                                 |       |          |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                                                             |                                 |       |          |

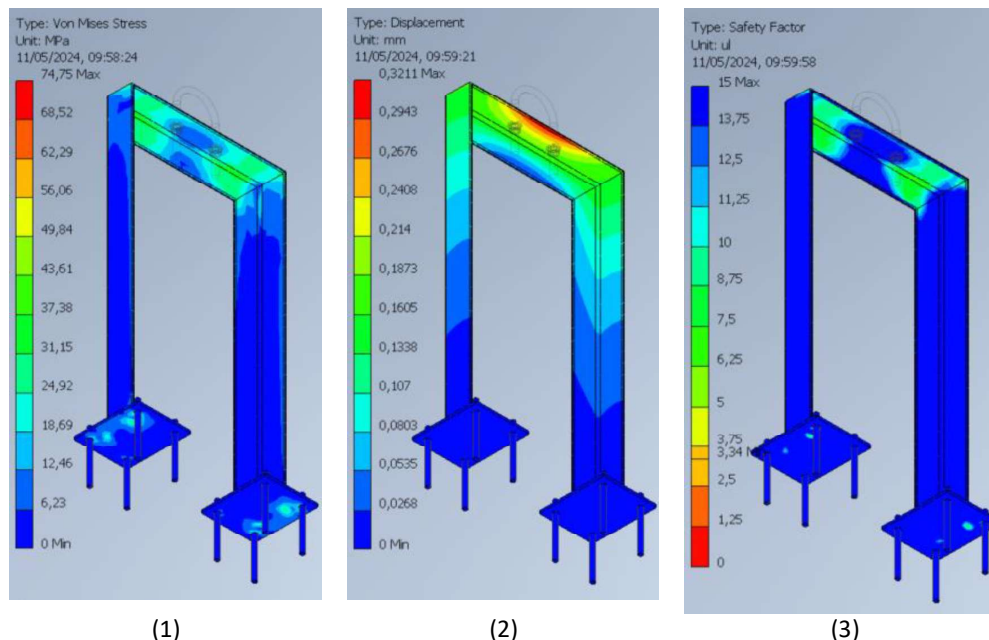


Figura 3: Análise por elementos finitos do suporte 5: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 3,34.

#### 1.3.4 Suporte 7

O suporte 7 é utilizado nas ETE's Canyon e Tega, sendo instalados apoiados no topo da laje de concreto dos reatores UASB. Este suporte possui 2 apoios e seu perfil foi escolhido de forma a suportar esforços horizontais. O esforço horizontal corresponde a 500 N e o vertical corresponde à 2.000 N.



|                                                                                   |                                 |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 15 DE 20 |
| TÍTULO:                                                                           |                                 |       |          |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                             |                                 |       |          |

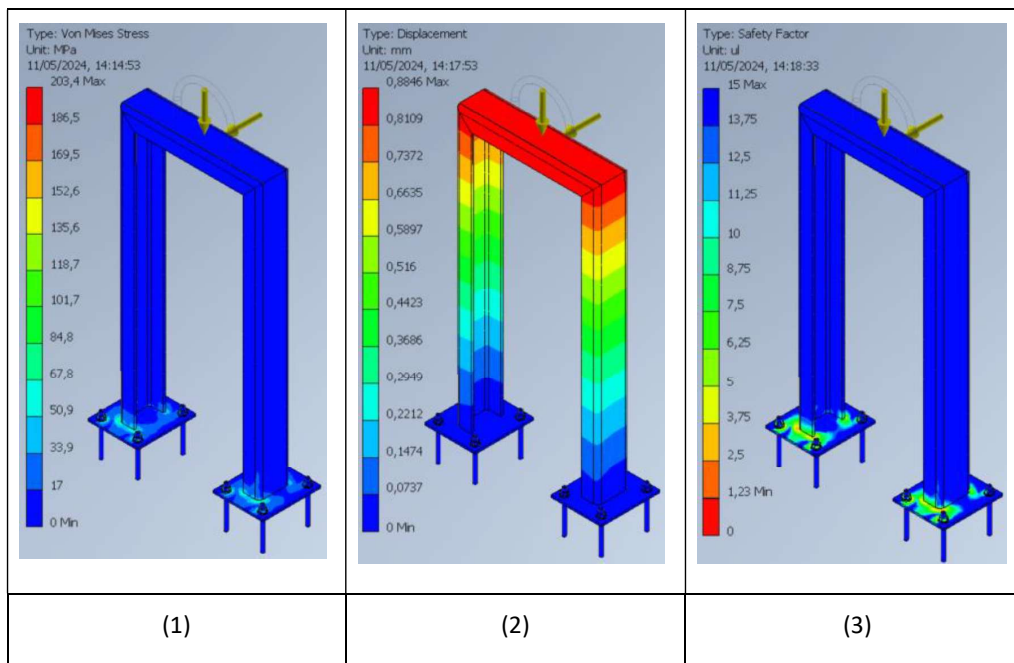


Figura 4: Análise por elementos finitos do suporte 7: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 1,23, em singularidade localizada no chumbador. Desprezando-se esta singularidade, o fator de segurança encontra-se na faixa de 2,5 a 3,75.

### 1.3.5 Suporte 8

O suporte 8 é utilizado somente na ETE Tega, sendo instalado apoiado na base de concreto 3. Este suporte é especial por ser constituído como coluna com perfil único e presença de cargas excêntricas.

As cargas para verificação do dimensionamento correspondem a 2x1.000 N, em posições excêntricas, sobre a chapa de apoio.



|                                                       |                                 |       |          |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
| <p>E.MATSUO TRAT. DE EFLUENTES</p>                    | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                       | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                       | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 16 DE 20 |
| TÍTULO:                                               |                                 |       |          |
| MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS |                                 |       |          |

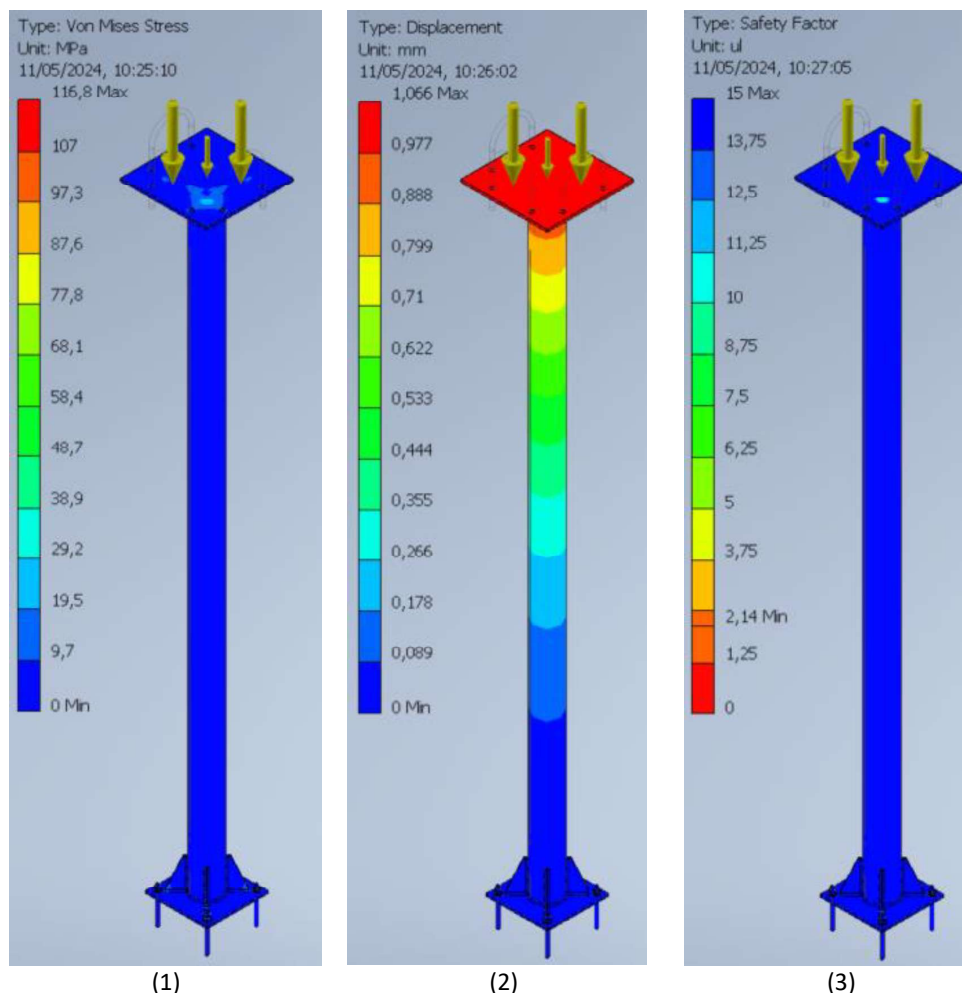


Figura 5: Análise por elementos finitos do suporte 8: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 2,14.

### 1.3.6 Suporte 9

O suporte 9 é empregado unicamente na ETE Samuara, sendo fixada na passarela de concreto que interliga a laje do reator UASB com o barranco adjacente, onde estará localizada o queimador do biogás. Este suporte é especial por ser constituído por coluna única e base superior tipo mão francesa, estando sujeita à excentricidade da carga aplicada.



|                                                                                                                   |                                                                      |  |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--|-----------------------|
| <br>E. MATSUO TRAT. DE EFLUENTES | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>             |  | REV. <b>R0</b>        |
|                                                                                                                   | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b>                               |  | FOLHA <b>17 DE 20</b> |
|                                                                                                                   | TÍTULO: <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b> |  |                       |

A carga para verificação do dimensionamento corresponde a 1.000 N.

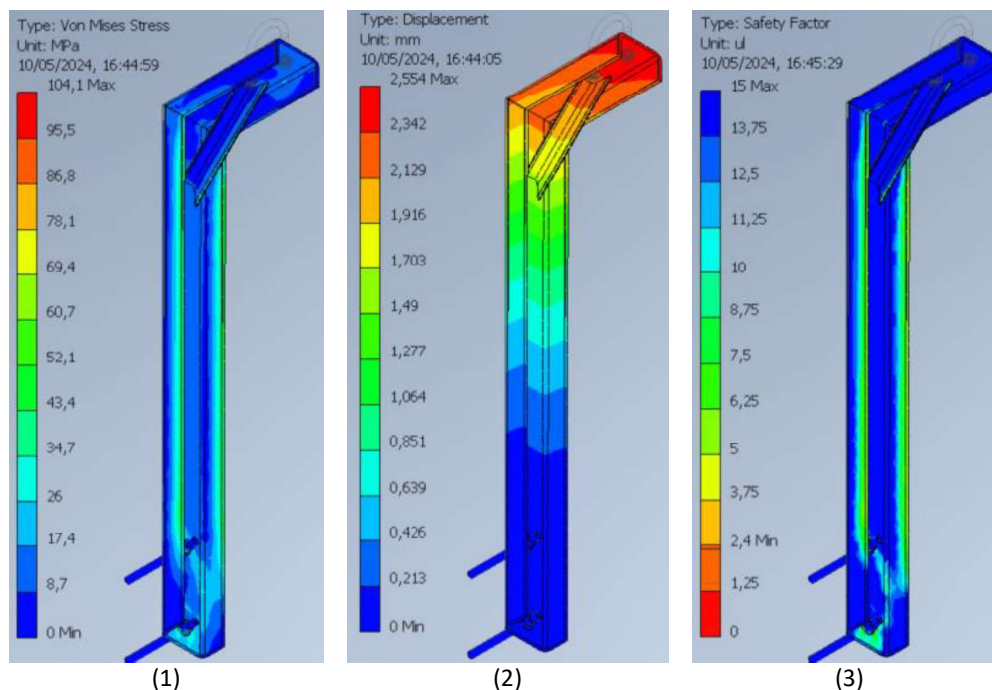


Figura 6: Análise por elementos finitos do suporte 9: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 2,4. Este alto valor indica que a estrutura está seguramente dimensionada.

### 1.3.7 Suporte 10

O suporte 10 será empregado somente na ETE Canyon, sendo necessário para a travessia aérea da tubulação de biogás, onde haverá significativos vãos horizontais e verticais, gerando a necessidade de travamento em duas direções.

Para a verificação do dimensionamento foram consideradas 3 cargas de 500 N, sendo 2 verticais e uma horizontal.



|                                                              |                                        |       |                 |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-----------------|
|                                                              | <b>MEMORIAL TÉCNICO</b> Nº             |       | REV.            |
|                                                              | <b>MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0</b>          |       | <b>R0</b>       |
|                                                              | <b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b> | FOLHA | <b>18 DE 20</b> |
| TÍTULO:                                                      |                                        |       |                 |
| <b>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS</b> |                                        |       |                 |

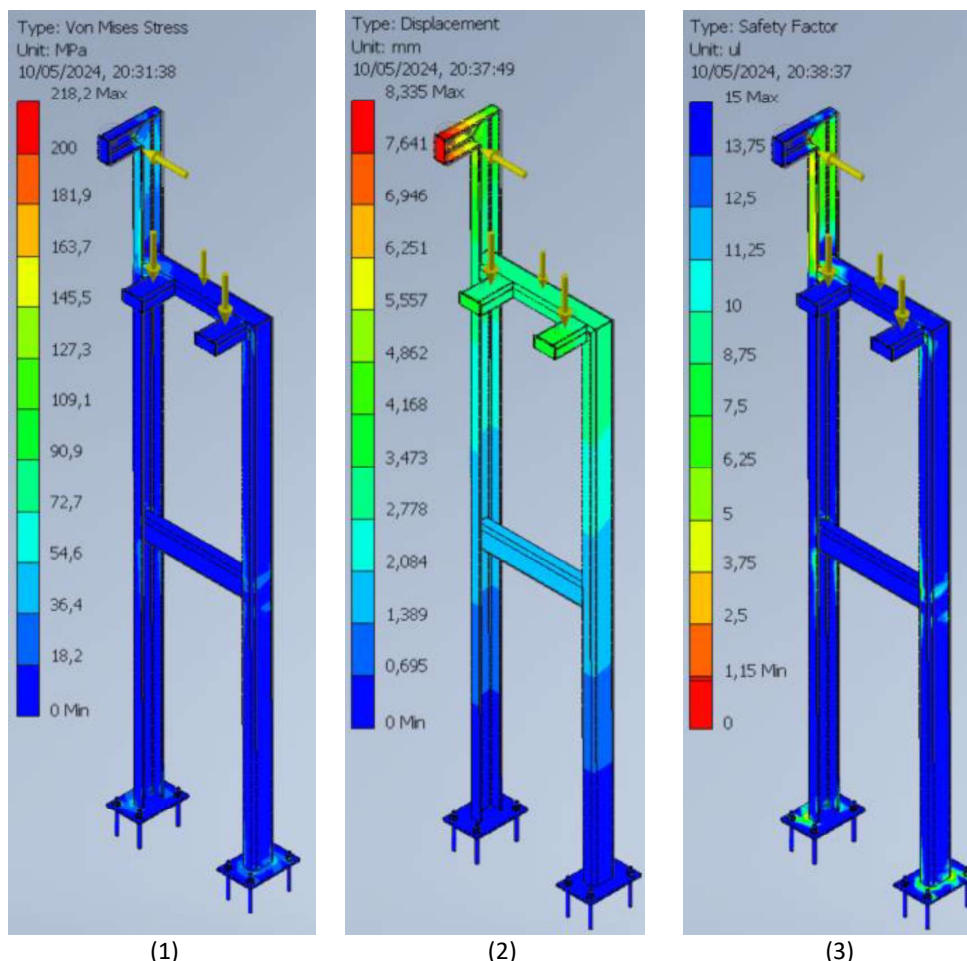


Figura 7: Análise por elementos finitos do suporte 10: Tensões de Von Mises (1); Deformações (2) e Fator de segurança (3).

O menor valor do fator de segurança corresponde a 1,15. Porém, este valor corresponde a uma singularidade. Portanto, o fator de segurança mais apropriado está na região entre 1,15 e 2,5.

#### 1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS AO PROJETO DE TUBULAÇÕES EXTERNAS

Em relação ao dimensionamento das tubulações, procuramos evitar a instalação de capacidade demasiadamente ociosa, dado que as vazões atuais são muito baixas e o aumento das vazões não ocorrerá de forma imediata.

Devido aos aspectos do sistema de esgotamento sanitário municipal, entendemos que



|                                                                                   |                                |       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|----------|
|  | MEMORIAL TÉCNICO Nº            |       | REV.     |
|                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0         |       | R0       |
|                                                                                   | ESTÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 19 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                  |                                |       |          |

o aumento da vazão de biogás demandará um prazo muito longo para acontecer, pois depende de modificações significativas no sistema de coleta e afastamento do esgoto.

Os projetos aqui elaborados suportam as vazões mínimas e máximas de biogás. Os queimadores poderão ser implantados de forma modulada, acompanhando o aumento das vazões.



|                                                                                                                   |                                 |       |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|
| <br>E. MATSUO TRAT. DE EFLUENTES | MEMORIAL TÉCNICO Nº             |       | REV.     |
|                                                                                                                   | MD.SAMAE.LOTE1.4.01.R0          |       | R0       |
|                                                                                                                   | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO | FOLHA | 20 DE 20 |
| TÍTULO:<br>MEMORIAL TEC. DO SISTEMA DE COLETA E QUEIMA DO BIOGÁS                                                  |                                 |       |          |

## ANEXO I – VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL

PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S

ITEM: TUBULAÇÃO DE 1.1/2 POL - CENÁRIO I

RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

VERSÃO

DATA

INICIAL

3/4/2024

CREA:

5061891463

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |         |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|---------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 1,50       | POL             |         |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 48,26      | mm              |         |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 42,72      | mm              |         |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,77       | mm              | SCH 10s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 10,28      | cm <sup>4</sup> |         |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 3,38       | cm <sup>3</sup> |         |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |         |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $S$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO  |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |         |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |        |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|--------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 31,55  | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000 | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00   | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 0,00   | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 5,60 | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 9,4  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 29,3 | MPa |
| 1.2 | DISTÂNCIA MÁXIMA PADRÃO  | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 4,50 | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 3,9  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 18,9 | MPa |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL  
 PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S  
 ITEM: TUBULAÇÃO DE 2 POL - CENÁRIO I  
 RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

| VERSÃO  | DATA       |
|---------|------------|
| INICIAL | 3/4/2024   |
| CREA:   | 5061891463 |

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |                       |
|--------------------------------|------|-----------------------------|-----------------------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ | 2,00                        | POL                   |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  | 60,33                       | mm                    |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  | 54,79                       | mm                    |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  | 2,77                        | mm                    |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 20,79 cm <sup>4</sup> |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 5,41 cm <sup>3</sup>  |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  | 50,00                       | °C                    |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  | 270,00                      | MPa                   |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  | 193.000,00                  | MPa                   |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |        |                   |
|-----------------------------|--------|--------|-------------------|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    | 39,92  | N/m               |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    | 0,0000 | N/m               |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    | 0,00   | N                 |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    | 0,00   | N                 |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 8,10 | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 25,7 | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 48,4 | MPa |

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 5,00 | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 3,7  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 18,4 | MPa |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL  
 PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S  
 ITEM: TUBULAÇÃO DE 3 POL - CENÁRIO I  
 RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

| VERSÃO  | DATA       |
|---------|------------|
| INICIAL | 3/4/2024   |
| CREA:   | 5061891463 |

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |        |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|--------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 3,00       | POL             |        |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 88,90      | mm              |        |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 84,68      | mm              |        |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,11       | mm              | SCH 5s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 54,20      | cm <sup>4</sup> |        |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 9,36       | cm <sup>3</sup> |        |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |        |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |        |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |        |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|--------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 45,85  | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000 | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00   | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 0,00   | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1                | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |  |
|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|--|
| VÃO ENTRE SUPORTES | $L$      |                                                                                  | 4,80 | m   |  |
| FLECHA MÁXIMA      | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 1,4  | mm  |  |
| TENSÃO MÁXIMA      | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 11,3 | MPa |  |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL  
 PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S  
 ITEM: TUBULAÇÃO DE 4 POL - CENÁRIO I  
 RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

| VERSÃO  | DATA       |
|---------|------------|
| INICIAL | 3/4/2024   |
| CREA:   | 5061891463 |

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |        |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|--------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 3,00       | POL             |        |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 88,90      | mm              |        |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 84,68      | mm              |        |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,11       | mm              | SCH 5s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 54,20      | cm <sup>4</sup> |        |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 9,36       | cm <sup>3</sup> |        |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |        |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |        |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |        |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|--------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 45,85  | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000 | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00   | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 0,00   | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1                | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |      |     |  |
|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|--|
| VÃO ENTRE SUPORTES | $L$      |                                                                                  | 4,80 | m   |  |
| FLECHA MÁXIMA      | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 1,4  | mm  |  |
| TENSÃO MÁXIMA      | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 11,3 | MPa |  |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL

PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S

ITEM: TUBULAÇÃO DE 1.1/2 POL - CENÁRIO II

RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

VERSÃO

DATA

INICIAL

3/4/2024

CREA:

5061891463

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |       |                 |
|--------------------------------|------|-----------------------------|-------|-----------------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ | 1,50                        | POL   |                 |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  | 48,26                       | mm    |                 |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  | 42,72                       | mm    |                 |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  | 2,77                        | mm    | SCH 10s         |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 10,28 | cm <sup>4</sup> |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 3,38  | cm <sup>3</sup> |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  | 50,00                       | °C    |                 |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $S$  | 270,00                      | MPa   | MÍNIMO          |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  | 193.000,00                  | MPa   |                 |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |        |                   |
|-----------------------------|--------|--------|-------------------|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    | 31,55  | N/m               |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    | 0,0000 | N/m               |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    | 0,00   | N                 |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    | 500,00 | N                 |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 5,60  | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 44,8  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 194,9 | MPa |
| 1.2 | DISTÂNCIA MÁXIMA PADRÃO  | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 4,50  | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 22,3  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 152,0 | MPa |



26807000010642

## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL

PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S

ITEM: TUBULAÇÃO DE 2 POL - CENÁRIO II

RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

VERSÃO

DATA

INICIAL

3/4/2024

CREA:

5061891463

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |         |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|---------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 2,00       | POL             |         |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 60,33      | mm              |         |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 54,79      | mm              |         |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,77       | mm              | SCH 10s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 20,79      | cm <sup>4</sup> |         |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 5,41       | cm <sup>3</sup> |         |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |         |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO  |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |         |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |        |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|--------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 39,92  | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00   | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000 | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00   | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 500,00 | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 8,10  | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 78,7  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 198,1 | MPa |

| 1.1 | TRAVESSIA ENTRE REATORES | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |
|-----|--------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
|     | VÃO ENTRE SUPORTES       | $L$      |                                                                                  | 5,00  | m   |
|     | FLECHA MÁXIMA            | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 16,2  | mm  |
|     | TENSÃO MÁXIMA            | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 110,9 | MPa |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



|              |                                            |         |            |
|--------------|--------------------------------------------|---------|------------|
| CLIENTE:     | SAMAE CAXIAS DO SUL                        | VERSÃO  | DATA       |
| PROJETO:     | DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S | INICIAL | 3/4/2024   |
| ITEM:        | TUBULAÇÃO DE 3 POL - CENÁRIO II            | CREA:   | 5061891463 |
| RESPONSÁVEL: | ENGº ELIAS T. MATSUO                       |         |            |

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |        |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|--------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 3,00       | POL             |        |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 88,90      | mm              |        |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 84,68      | mm              |        |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,11       | mm              | SCH 5s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 54,20      | cm <sup>4</sup> |        |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 9,36       | cm <sup>3</sup> |        |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |        |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |        |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |          |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|----------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 45,85    | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00     | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000   | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00     | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 2.000,00 | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1                | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |  |
|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|--|
| VÃO ENTRE SUPORTES | $L$      |                                                                                  | 4,80  | m   |  |
| FLECHA MÁXIMA      | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 18,3  | mm  |  |
| TENSÃO MÁXIMA      | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 216,3 | MPa |  |



## ANEXO I - VERIFICAÇÃO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES DE TUBULAÇÕES



CLIENTE: SAMAE CAXIAS DO SUL  
 PROJETO: DIAGNÓSTICO E PROJETOS DE BIOGÁS DAS ETE'S  
 ITEM: TUBULAÇÃO DE 4 POL - CENÁRIO II  
 RESPONSÁVEL: ENGº ELIAS T. MATSUO

| VERSÃO  | DATA       |
|---------|------------|
| INICIAL | 3/4/2024   |
| CREA:   | 5061891463 |

### 0 PARÂMETROS E CONSTANTES UTILIZADAS:

#### PROPRIEDADES DO TUBO

|                                |      |                             |            |                 |        |
|--------------------------------|------|-----------------------------|------------|-----------------|--------|
| DIÂMETRO NOMINAL DO TUBO       | $DN$ |                             | 3,00       | POL             |        |
| DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO       | $D$  |                             | 88,90      | mm              |        |
| DIÂMETRO INTERNO DO TUBO       | $d$  |                             | 84,68      | mm              |        |
| ESPESSURA DA PAREDE            | $t$  |                             | 2,11       | mm              | SCH 5s |
| MOMENTO DE INÉRCIA             | $I$  | $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ | 54,20      | cm <sup>4</sup> |        |
| MOMENTO RESISTENTE             | $Z$  | $\frac{\pi(D^3 - d^3)}{32}$ | 9,36       | cm <sup>3</sup> |        |
| TEMPERATURA DE PROJETO         | $T$  |                             | 50,00      | °C              |        |
| LIMITE DE ESCOAMENTO           | $Z$  |                             | 270,00     | MPa             | MÍNIMO |
| MÓDULO DE ELASTICIDADE DO TUBO | $E$  |                             | 193.000,00 | MPa             |        |

#### CARGAS APLICADAS

|                             |        |  |          |                   |  |
|-----------------------------|--------|--|----------|-------------------|--|
| PESO PRÓPRIO DO TUBO VAZIO  | $q$    |  | 45,85    | N/m               |  |
| DENSIDADE DO FLUÍDO         | $\rho$ |  | 0,00     | kg/m <sup>3</sup> |  |
| CARGA DISTRIBUÍDA DO FLUÍDO | $q$    |  | 0,0000   | N/m               |  |
| CARGAS PONTUAIS             | $Q$    |  | 0,00     | N                 |  |
| CARGA ACIDENTAL             | $W$    |  | 2.000,00 | N                 |  |

### 1 CÁLCULO DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

| 1.1                | SIGLA    | EQUAÇÃO                                                                          |       |     |  |
|--------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|--|
| VÃO ENTRE SUPORTES | $L$      |                                                                                  | 4,80  | m   |  |
| FLECHA MÁXIMA      | $\delta$ | $\frac{2400 \cdot L^3}{E \cdot I} \left[ \frac{Q + W}{3} + \frac{qL}{4} \right]$ | 18,3  | mm  |  |
| TENSÃO MÁXIMA      | $S_v$    | $\frac{L}{10 \cdot Z} [q \cdot L + 2 \cdot (Q + W)]$                             | 216,3 | MPa |  |