

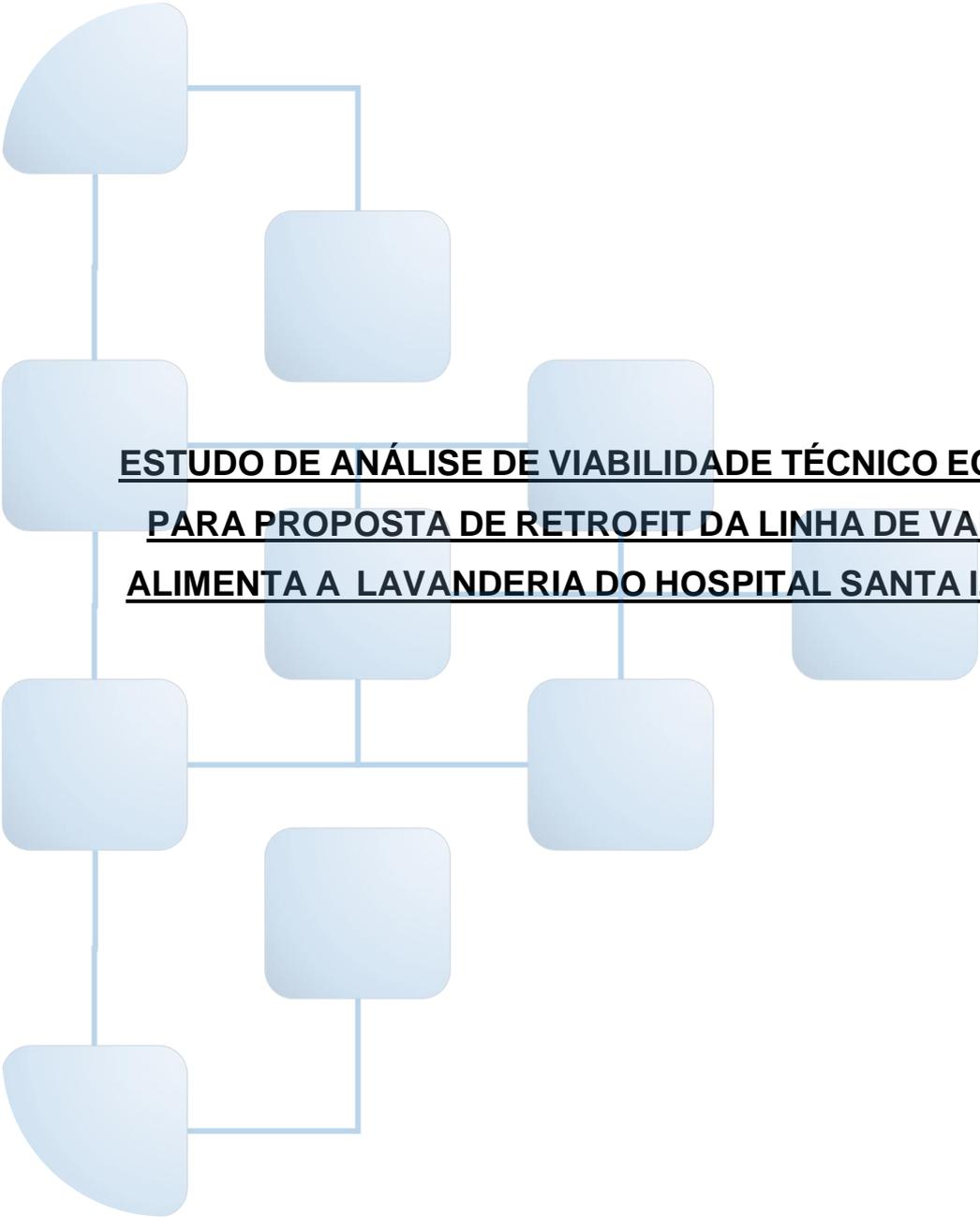


Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



**ESTUDO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA  
PARA PROPOSTA DE RETROFIT DA LINHA DE VAPOR QUE  
ALIMENTA A LAVANDERIA DO HOSPITAL SANTA IZABEL-BA**



Sistema FIEB



ANDRÉ LUDWIG GONDIM OLIVEIRA  
ANTÔNIO FERNANDO COSTA DE LEMOS BRITTO  
BRUNO FERNANDES DA CUNHA SANTOS  
GUILHERME COSTA QUARESMA  
LEONARDO COSTA SANTIAGO  
NAILSON LANTYER CORDEIRO DE ARAUJO SOBRINHO

**ESTUDO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICA PARA  
PROPOSTA DE RETROFIT DA LINHA DE VAPOR QUE ALIMENTA A  
LAVANDERIA DO HOSPITAL SANTA IZABEL-BA**

Relatório apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial de avaliação do Programa Theoprax para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadores: Alexandre Diogo e Paulo Neves



Sistema FIEB



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos aos nossos orientadores Paulo Neves e Alexandre Diogo por todo acompanhamento na execução do projeto.

Ao professor João da Hora por todo auxílio na estruturação e suporte no desenvolvimento do Theoprax.

Ao nosso coordenador Guilherme Oliveira de Souza que sempre se mostrou disposto a ajudar, orientar, corrigir e contribuir com nosso crescimento ao longo do curso.

Ao engenheiro Fabrício Tourinho e colaboradores dos Hospital Santa Izabel por todo suporte nas visitas técnicas e dúvidas sobre o projeto.

E por fim, aos nossos amigos e familiares por todo apoio no decorrer desses anos de graduação.



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## RESUMO

O presente documento teve como objetivo apresentar uma análise técnico econômica para a proposta de um retrofit da linha de vapor que alimenta a lavanderia do Hospital Santa Izabel. Para isso, a metodologia aplicada foi dividida em cinco partes, levantamento informacional, estudo de eficiência energética, estudo de perdas de carga, análise de oportunidades de melhoria e análise de viabilidade econômica. A concepção deste projeto visa solucionar os problemas de baixo rendimento do sistema em questão apresentando propostas de melhoria para o sistema de operação das caldeiras, partes da linha com corrosão, mudanças do plano de manutenção e substituição do combustível utilizado. Como principais resultados foram obtidos os valores de perdas energéticas na linha, orçamentos de instalação de isolamento e proteção contra corrosão e recomendações de boas práticas de engenharia para o sistema como um todo. Todas as etapas do projeto, as considerações, os parâmetros adotados, as dificuldades e os resultados serão abordados nesse documento.

Palavras-chave: Linha de vapor, eficiência energética, perda energética, análise técnico econômica.



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## ABSTRACT

The purpose of this document is to present a technical economic analysis of the proposal for a retrofit of the steam line that feeds the laundry at the Santa Izabel Hospital. For that, the applied methodology was divided in five steps, informational survey, energy efficiency study, load loss study, analysis of improvement opportunities and economic viability analysis. The conception of this project aims to solve the low performance problems of the referred system by presenting proposals of improvement for the boilers operation system, parts of the line with corrosion, changes in the maintenance plan and replacement of the consumable fuel. As main results, were obtained the values of energy losses in the pipeline, budgets for installation of isolation and corrosion protection and recommendations of good engineering practices for the system as a whole. All stages of the project, considerations, parameters adopted, difficulties and results will be addressed in this document.

Keywords: Steam line, energy efficiency, energy loss, technical economic analysis.



Sistema FIEB



## 1.0 INTRODUÇÃO

Esse relatório é parte integrante do projeto de conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, segundo a metodologia Theoprax. De acordo com essa metodologia, os graduandos deverão desenvolver um projeto de engenharia que venha a solucionar um problema ou aprimorar um processo de um cliente real. Seu intuito é promover um contato entre os formandos e o mercado de trabalho e, dessa forma, consolidar os conhecimentos técnicos que foram aprendidos ao longo do curso, bem como as seguintes habilidades: Gestão de tempo, cumprimento de prazos e administração de riscos. Esse documento foi elaborado por uma equipe de seis alunos e contempla os levantamentos de informações, estudos e análises de dados essenciais para a elaboração do projeto de “Estudo de Análise de Viabilidade Técnico Econômica para Proposta de Retrofit da Linha de Vapor que Alimenta a Lavanderia do Hospital Santa Izabel-BA”.

## 2.0 CONTEXTO

O Hospital Santa Izabel utiliza vapor para alimentar os equipamentos da lavanderia, além de suprir o Centro de Material Esterilizado (CME). Para a geração do vapor, o hospital possui 2 caldeiras flamotubulares ATA H3N que trabalham de forma intermitente e consomem 300.000 litros de combustível ao ano. A linha de vapor possui mais de uma década e é formada por tubulação de aço carbono com isolamento em lã de vidro de densidade 20,2 kg/m<sup>3</sup>.

A gerência do Hospital Santa Izabel constatou que os equipamentos presentes na lavanderia estavam operando em condições abaixo do ideal. Com isso, se viu na necessidade de identificar as causas da baixa eficiência deste sistema.

A equipe detectou que a linha em questão apresenta trechos com corrosão, isolamento depreciado e segmentos sem isolamento. Desta forma, ocasiona-se uma perda energética elevada, fazendo com que os equipamentos não operem na



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



sua melhor condição, além de proporcionar um aumento dos custos com a planta do hospital.

Com isso, a equipe de Theoprax realizou uma análise da viabilidade técnico econômica para proposta de retrofit da linha de vapor da lavanderia, visando reduzir os custos, aumentar a produtividade e facilitar o trabalho dos colaboradores do hospital.

### **3.0 METODOLOGIA**

A metodologia aplicada pela equipe durante o desenvolvimento do projeto foi baseada nas bibliografias que englobam os temas de termodinâmica, transferência de calor, mecânica dos fluidos e gestão de projetos. Com base nestes conceitos, a equipe dividiu o projeto em três documentos: Análise de viabilidade técnica, Análise e recomendações técnicas e Análise de viabilidade econômica. A partir disso, pode-se realizar levantamentos informacionais, análises de eficiência energética, estudos de perdas de carga, estudo dos processos hoje presentes na linha de vapor direcionada a lavanderia do Hospital Santa Izabel. Estão presentes nos próximos documentos todo o processo de desenvolvimento do projeto, apresentação dos resultados obtidos e propostas de melhorias a serem à implementadas na linha de vapor.

### **4.0 DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA**

Estão presentes neste documento os seguintes relatórios técnicos:

1. Memorial de Análise Técnica Para Retrofit da Linha de Vapor Direcionada para a Lavanderia do Hospital Santa Izabel-Ba;



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



2. Relatório de Análise e Recomendações Técnicas para Retrofit da Linha de Vapor Direcionada para a Lavanderia do Hospital Santa Izabel-Ba;
3. Relatório de Análise da Viabilidade Econômica para Alterações na Linha de Vapor da Lavanderia do Hospital Santa Izabel-Ba.



**RELATÓRIO DE ANÁLISE TÉCNICA PARA RETROFIT DA LINHA  
DE VAPOR DIRECIONADA PARA A LAVANDERIA DO HOSPITAL**

**SANTA IZABEL-BA**

## SUMÁRIO

<b>1.0 OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 CONTEXTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3.0 PREMISSAS.....</b>	<b>4</b>
<b>4.0 RESTRIÇÕES.....</b>	<b>4</b>
<b>5.0 METODOLOGIA UTILIZADA.....</b>	<b>5</b>
5.1 TERMOGRAFIA.....	5
5.2 CÁLCULO DAS PERDAS DE CALOR.....	8
<b>6.0 RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
6.1 PERDA ENERGÉTICA DO TRECHO NÃO ISOLADO.....	10
6.2 PERDA ENERGÉTICA DO TRECHO ISOLADO.....	12
<b>7.0 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>16</b>
<b>9.0 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>16</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>17</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>21</b>

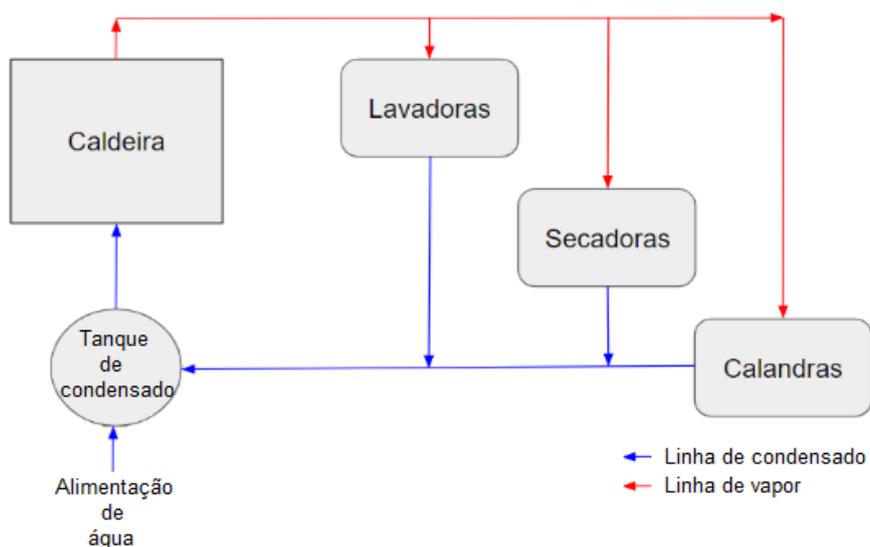
## 1.0 OBJETIVO

Análise de Eficiência Energética nos sistemas de transporte de vapor e condensado da empresa, identificando oportunidades de redução de consumo e custo com energia.

## 2.0 CONTEXTO

O Hospital Santa Izabel utiliza vapor para alimentar secadoras e calandras da lavanderia e o CME - Central de Material de Esterilização. Para fornecimento de vapor, o hospital possui 2 caldeiras flamotubulares ATA H3N que trabalham de forma intermitente e uma linha de tubulação de aço carbono com isolamento em lã de vidro de densidade 20,2 kg/m<sup>3</sup> consumido 300.000 litros de combustível ao ano. A linha de vapor já possui mais de uma década, apresenta trechos sem isolamento, trechos com intempéries e equipamentos trabalhando com eficiência abaixo. Desta forma, a equipe de Theoprax realizou uma análise da linha de vapor atual da lavanderia para avaliar os custos com combustível devido a perdas energéticas.

Figura 1 – Esquemático da linha de vapor presente no hospital



Fonte: Próprio autor

Este documento é a primeira etapa de projeto que irá possibilitar uma visão geral sobre a linha existente para uma futura tomada de decisão, acerca das possíveis modificação desta linha, onde será realizado o estudo das perdas de calor em toda a extensão da tubulação por meio das paredes das tubulações e acessórios presentes nos trechos sem isolamento térmico.

### 3.0 PREMISSAS

Para a realização deste documento a equipe contou com as seguintes premissas:

- Os dados referentes aos consumidores de vapor serão disponibilizados pelo cliente;
- As documentações técnicas como plantas baixas, isométricos, planta de arranjo, tubulações estão representando a realidade;
- Foi estimado o custo das perdas energéticas da linha com base no consumo de combustível informado pelo cliente e usado o valor de eficiência das caldeiras com base nas especificações do manual do fabricante;
- As especificações do isolamento térmico existente serão disponibilizadas pelo cliente.
- Os comprimentos de trechos de tubulação de difícil acesso serão estimados com uso do software *Digimizer*.

### 4.0 RESTRIÇÕES

- Trechos de tubulação em locais de difícil acesso não serão realizadas medições.

## 5.0 METODOLOGIA UTILIZADA

### 5.1 TERMOGRAFIA

“A termografia por infravermelhos (TI) consiste na captação de imagens de calor (termogramas), não visíveis pelo olho humano, através de uma câmara termográfica. A imagem infravermelha deve ser acompanhada por uma medição térmica precisa, para poder refletir as condições reais de um objeto. ” (MENDONÇA, 2005, p. 4).

As medições termográficas foram realizadas nos trechos sem isolamento térmico das linhas de vapor e condensado, utilizando a câmera termográfica FLIR - T300.

Figura 2 – Câmera termográfica FLIR T300



Fonte: FLIR Systems

Para realização das medições, foi necessário inserir alguns parâmetros, tais como: temperatura ambiente, emissividade do material da tubulação (aço carbono), umidade relativa do ambiente e a distância entre a câmera e o objeto a ser fotografado. Esses parâmetros foram aferidos em três momentos

diferentes, a depender do ambiente no qual a linha de vapor estava sendo analisada, sendo eles: na casa das caldeiras, ao ar livre e na lavanderia.

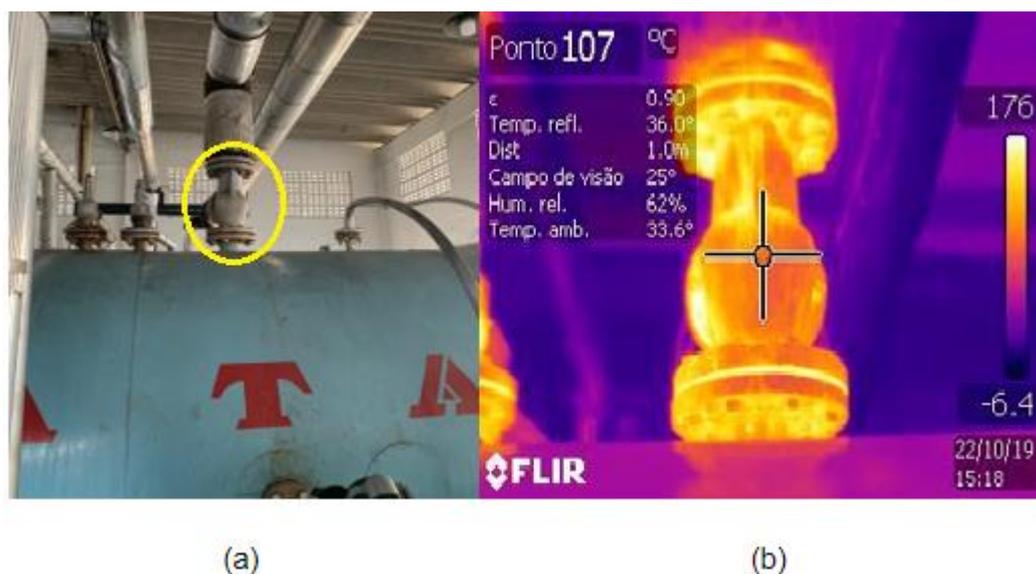
Quadro 1 - Parâmetros

Ambiente	Umidade Relativa	Temperatura Ambiente (°C)
Caldeira	62%	33,6
Ambiente Externo	68,5%	30,2
Lavanderia	63%	30,2

Fonte: Próprio Autor

Com todos os parâmetros inseridos, foram capturadas 55 imagens térmicas, sendo que, 27 destas foram retiradas para análise, acompanhadas de fotos dos trechos sem isolamento. Na figura 3, 4 e 5 temos algumas das imagens capturadas pela equipe.

Figura 3: Imagem da válvula da linha de saída de vapor da caldeira 1. a) Imagem da válvula da caldeira 1 e b) Imagem térmica da válvula.

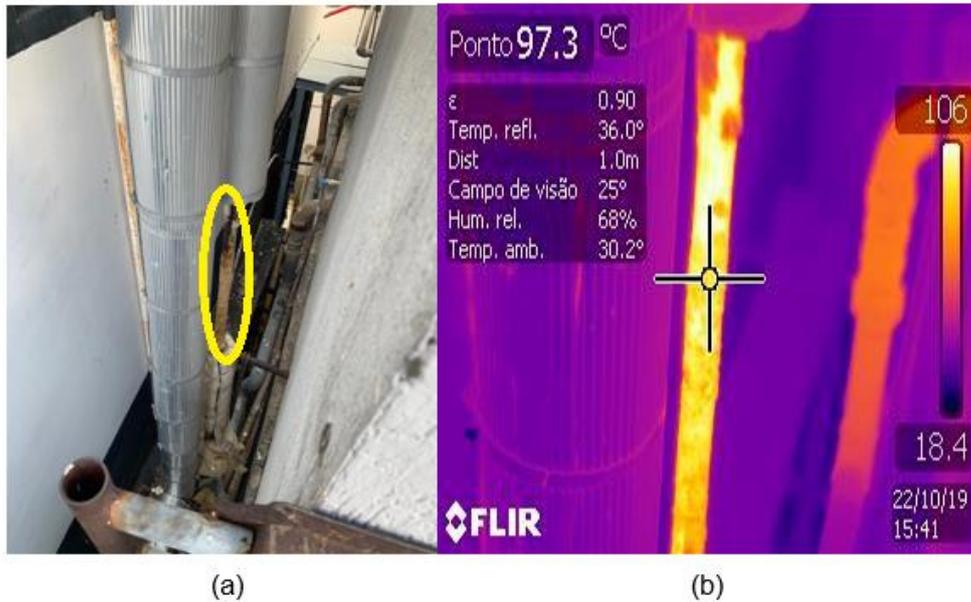


(a)

(b)

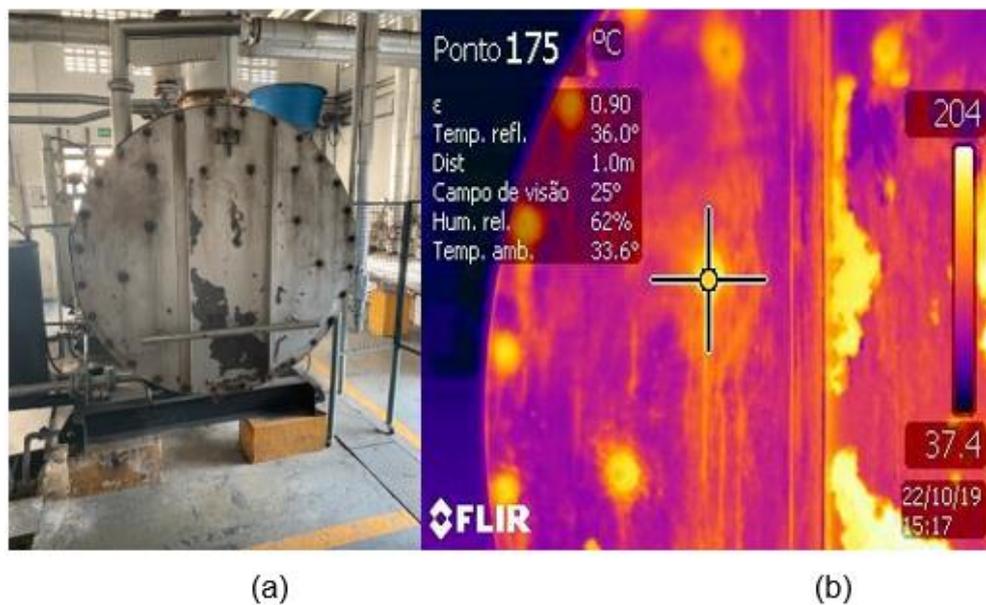
Fonte: Próprio Autor

Figura 4: Imagem de um trecho de tubulação não isolado. a) Imagem da tubulação e b) Imagem térmica da tubulação.



Fonte: Próprio Autor

Figura 5: Imagem do fundo da caldeira 1. a) Imagem do fundo da caldeira 1 e b) Imagem térmica do fundo da caldeira 1.



Fonte: Próprio Autor

## 5.2 CÁLCULO DAS PERDAS DE CALOR

“Calor é definido como a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para o outro em consequência da diferença de temperatura entre eles” (Çengel; Ghajar, 2012, p.2). A transferência de calor pode ser realizada por três formas: condução, convecção e radiação. Para a realização do estudo feito neste documento iremos abranger a convecção e a radiação.

A perda total de calor pelas paredes de uma tubulação ou válvula é resultado da soma entre o calor perdido por convecção e pela radiação.

A equipe calculou o calor perdido pelas paredes das linhas de vapor e condensado, nos pontos onde foram retiradas as fotos com câmera termográfica, com uso do software *ESS – Engineering Equation Solver*. Na Figura 6 é apresentada a interface do software utilizado.

Figura 6 - Software *ESS* (os valores apresentados na figura são meramente ilustrativos)

**Perda de Energia em Cilindro Horizontal**  
(Convecção Natural em Ar e Radiação)

Dados de Entrada	Resultados
D = 0,089 [m]	O calor perdido através desta parede por convecção é:
L = 2,5 [m]	<b>Qconv = 13,98</b>
Tsup = 303,7 [K]	O calor perdido através desta parede por radiação é:
Tinf = 297,6 [K]	<b>Qrad = 23,66</b>
ε = 0,9	O calor perdido através desta parede é:
	<b>Qtot = 37,64 [W]</b> hcomb = 8,828

Fonte: Laboratório de Energia SENAI CIMATEC

A equipe alimentou o software com os dados de entrada de acordo com cada trecho das linhas de vapor e condensado e para o valor da emissividade foi utilizado 0,9. Para os trechos em que a equipe não teve acesso para realizar a medição de suas dimensões foi utilizado o software *Digimizer*, que permite realizar medições dimensionais em fotografias.

Os dados do isolamento térmico utilizados pela equipe foram fornecidos pelo cliente. O seu material é a lã de vidro que apresenta densidade de 20,2

kg/m<sup>3</sup>. A espessura do isolamento no percurso da linha de vapor está presente no Quadro 1, os demais dados do isolamento térmico estão presentes no Anexo B.

Quadro 2 - Espessura do isolamento

Diâmetro da tubulação	Espessura (mm)	Comprimento (m)
1" (condensado)	25	13,261
1" (vapor)	51	18,442
2" (condensado)	25	94,239
2" (vapor)	51	121,992
3" (vapor)	63	24,193

Fonte: Cliente

Com base nesses dados, a equipe fez uso do software *ESS* para obter o calor perdido através da parede em cada trecho e no total da linha, além do coeficiente de transferência de calor em cada segmento.

Para calcular os custos das perdas térmicas foram utilizados dados de consumo de combustível informados pelo cliente e eficiências das caldeiras informadas pelo fabricante das mesmas.

Desta forma, a equipe requisitou a documentação técnicas das caldeiras em questão (modelo ATA H3N), presentes no Anexo A. As caldeiras operam de forma intermitente em regime semanal, ou seja, uma opera em uma semana e a outra na semana seguinte, 24 horas por dia todos os 365 dias do ano, totalizando 8760 horas por ano.

O combustível utilizado nas caldeiras é óleo BPF, temos no quadro abaixo as especificações e preço médio do combustível, pago pela empresa nos últimos 12 meses.

Quadro 3 - Especificações do óleo BPF

Poder calorífico [kcal/kg]	9.750
Preço [R\$/l]	3,49
Densidade [kg/l]	0,97
Consumo específico das caldeiras [kg/h]	34,72
Custo da energia [R\$/kWh]	0,3497

Fonte: Cliente

A partir dos dados obtidos por meio das imagens termográficas e dos dados do combustível e das caldeiras, a equipe obteve os resultados das perdas energéticas da linha de vapor e condensado e da tampa traseira da caldeira 1.

Para o custo perdido nas tampas das caldeiras foram utilizados os dados coletados da caldeira 1 e foram extrapolados para a caldeira 2

## 6.0 RESULTADOS

### 6.1 PERDA ENERGÉTICA DO TRECHO NÃO ISOLADO

A perda energética da linha de vapor e condensado sem isolamento térmico e tampas das caldeiras, estão presentes no Quadro 3. Além do valor da perda em si, também está presente o custo anual destas perdas. Foram calculados

21,54 metros de tubulação sem isolamento térmico nas linhas de vapor e condensado do HSI.

Quadro 4- Cálculo das perdas de energia nas linhas de vapor, condensado e tampas das caldeiras sem isolamento térmico.

Tempo de operação [h/ano]	8.760
Custo com energia [R\$/kWh]	0,3497
Energia perdida nas linhas s/ isolamento térmico [kWh/ano]	47135,64
Energia perdida nas tampas das caldeiras [kWh/ano]	31.255,68
Custo específico das perdas por metro de tubulação não isolada [R\$/m.ano]	765,24
Custo total [R\$/ano]	27.413,44

Fonte: Próprio autor

Além dos cálculos das perdas supracitados, foram estimadas as perdas após a instalação de isolamento neste trecho não isolado. O isolamento escolhido foi a lã de rocha. No Quadro 4 estão presentes os valores das perdas para este cenário.

Quadro 5- Cálculo das perdas de energia nas linhas de vapor, condensado e tampas das caldeiras adicionando isolamento térmico de lã de rocha.

Tempo de operação [h/ano]	8.760
Custo com energia [R\$/kWh]	0,3497
Energia perdida nas linhas c/ isolamento térmico [kWh/ano]	2.134,05

Energia perdida nas tampas das caldeiras com isolamento [kWh/ano]	1.247,50
Custo específico das perdas por metro de tubulação isolada [R\$/m.ano]	34,65
Custo total [R\$/ano]	1.182,53

Fonte: Próprio autor

Comparando os quadros pode-se perceber que o hospital tem um custo acrescido de R\$ 26.230,91 por ano por conta da falta de isolamento neste trecho da linha.

## 6.2 PERDA ENERGÉTICA DO TRECHO ISOLADO

A perda energética dos trechos com isolamento térmico na condição atual, estão presentes no Quadro 5. Além do valor da perda em si, também está presente o custo anual destas perdas. Foram calculados 272,13 metros de tubulação nas linhas de vapor e condensado do HSI.

Quadro 6- Cálculo das perdas de energia nas linhas de vapor e condensado dos trechos com isolamento térmico de fibra de vidro.

Tempo de operação [h/ano]	8.760
Custo com energia [R\$/kWh]	0,3497
Energia perdida nas linhas [kWh/ano]	34.852,67
Custo específico das perdas por metro de tubulação na linha atual [R\$/m.ano]	44,78
Custo total [R\$/ano]	12.187,98

Fonte: Próprio autor

O cálculo foi realizado considerando uma perda de eficiência do potencial de isolamento da lã de vidro em todo o trecho das linhas de vapor e condensado, foi considerado um rendimento de 70%. Em alguns trechos foi possível visualizar a influência de intempéries do clima diretamente no isolamento, o que evidencia a hipótese considerada. Estes pontos podem ser mostrados na Figura 7.

Figura 7 - Condições do isolamento térmico em pontos da linha



Fonte: Próprio Autor.

Então, a equipe também calculou as perdas energéticas para uma possível substituição deste isolamento térmico de lã de vidro presente no hospital por um isolamento de lã de rocha para que o isolamento atue de maneira otimizada. Estão presentes no Quadro 6 os resultados para este cenário.

Quadro 7- Cálculo das perdas de energia nas linhas de vapor, condensado com isolamento térmico de lã de rocha.

Tempo de operação [h/ano]	8.760
Custo com energia [R\$/kWh]	0,3497

Energia perdida nas linhas [kWh/ano]	24.396,87
Comprimento de tubulação [m]	272,13
Custo específico das perdas por metro de tubulação isoladas com lã de rocha [R\$/m.ano]	31,35
Custo total [R\$/ano]	8.531,59

Fonte: Próprio autor

Comparando os quadros 5 e 6 pode-se perceber que o hospital tem um gasto acrescido de R\$ 3.620,26 por ano por conta da situação do isolamento atual da linha de vapor.

## 7.0 RECOMENDAÇÕES

O tipo de isolamento selecionado para a tubulação foi a lã de rocha. Este material é um excelente isolante térmico suportando temperaturas de operação de até 750°C sem deterioração, temperatura superior a lã de vidro que suporta apenas 450°C, além de não exigir manutenção periódica e não perder propriedade de isolante com o decorrer do tempo.

Para tubulação de vapor com 1" de diâmetro é utilizada uma espessura de isolamento de 50 mm, assim como, para a tubulação de 2". Para a tubulação de 3" de diâmetro é utilizada a espessura de isolamento de 63 mm.

Em relação a tubulação de condensado, é utilizada uma espessura de 25 mm para os diâmetros de 1" e 2". Para o fundo da caldeira, é utilizada manta de lã de rocha 64 kg/m<sup>3</sup>. Em relação ao revestimento do isolamento, realizou-se o orçamento do alumínio corrugado, que é o mesmo utilizado no sistema atualmente.

Para as válvulas presentes na linha serão utilizadas jaquetas térmicas que atuam como isolante térmico.

Foram realizados dois orçamentos como recomendação, um para a troca do isolamento de toda a tubulação e outro apenas para colocar o isolamento na parte não isolada da linha. Estes dois orçamentos foram feitos em duas empresas diferentes um apresentando custo do material e instalação (TECFRIBRAS) e uma apenas com o custo do material (RENTEC), caso o cliente deseje realizar a instalação por conta própria.

Orçamentos disponíveis no anexo C.

Atualmente o hospital Santa Izabel gasta R\$1.047.000,00, por ano, com combustível para as caldeiras que alimentam a linha de vapor. As perdas energéticas provenientes dos trechos não isolados geram um custo anual adicional de R\$ 26.230,91, o que corresponde a 2,5% do custo total referente ao sistema. Para realizar o isolamento total deste trecho, incluindo os acessórios e fundo de caldeira, o custo é de R\$ 9.979,84 com *payback* de 5 meses para a proposta que apresenta custo de instalação e dos materiais.

O custo anual de perdas térmicas considerando as linhas de vapor e condensado instaladas no hospital é de R\$ 29.887,3, o que corresponde a 2,85 % do custo consumido pelo sistema. Para realizar a troca do isolamento deste trecho de lã de vidro para lã de rocha e isolar os trechos não isolados, incluindo os acessórios e fundo das caldeiras, o custo é de R\$ 37.058,82 com *payback* de 15 meses para a proposta que apresenta custo de instalação e dos materiais.

Desta forma, após análise e apresentação dos resultados, recomenda-se que o Hospital Santa Izabel instale o isolamento de lã de rocha nos trechos não isolados de forma imediata reduzindo assim o custo de operação das caldeiras. Entretanto ainda há possibilidade de redução de perdas realizando a troca do isolamento deteriorado. Esta deve ser analisada pela empresa para possível implantação.

## 8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conscientização dos funcionários e a vontade dos administradores e gerentes de realizar reduções dos custos com energia são passos fundamentais para o processo. Desta forma, torna-se necessário o comprometimento de todos e o acompanhamento mensal da evolução dos consumos por meio da construção de gráficos de indicadores de desempenho energético em que devem constar os índices mensais e as metas a serem atingidas.

## 9.0 REFERÊNCIAS

Projeto de *Retrofit* de tubulações de vapor do CME do Hospital Santa Izabel-BA

OLIVEIRA, P.J. Transmissão de Calor – Radiação. Departamento Engenharia Electromecânica, UBI, 2014. Disponível em: <<http://webx.ubi.pt/~pjp/TransCal8.pdf>>. Acesso em: 16 de nov. de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5590. Disponível em: <<http://www.abntdigital.com.br>>. Acesso em: 16 de nov. de 2019.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de Calor e Massa: 4. ed. Rio Grande do Sul: AMGH Editora, 2012

MENDONÇA, Luís V. Termografia por Infravermelhos Inspecção de Betão. Engenharia & Vida, Boston, set. de 2005. Disponível em: <<http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/0b94a72a7148922d47af9326f7f729d5.pdf>>. Acesso em: 16 de nov. de 2019.



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## ANEXO A - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS CALDEIRAS

### ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS (Caldeiras 1 e 2):

Marca: ATA                      Nº: 10.125                      Ano de Fabricação: 2000                      Categoria:

B

Modelo:H3N                      Tamanho: 8                      Pressão de Projeto: 150 Psig

Fabricante: ATA COMBUSTÃO TÉCNICA S/A

Funcional:

Vapor saturado

Capacidade de máxima produção vapor: 1000 kg/h com água a 20°C.

PMTA: 10,50 kgf/cm<sup>2</sup>

Combustível (Fonte de Calor)

Normal: Óleo 1A                      Auxiliar: Óleo Diesel

Alimentação de água de forma intermitente

Volume de água durante uso normal: 1,5 m<sup>3</sup>

Rendimento: 88%



Sistema FIEB

**SENAI  
CIMATEC**

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## **ANEXO B - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS MANTAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO**

**Especificações Técnicas (Lã de rocha):**

Limite de Temperatura: até 900 °C

Densidade: 64 kg/m<sup>3</sup>

Condutividade térmica (200 °C ): 0,865 W/mK

**Especificações Técnicas (Lã de vidro):**

Limite de Temperatura: -180 a 540 °C

Densidade: 20,2 kg/m<sup>3</sup>

Condutividade térmica (200 °C ): 0,519 W/mK



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## ANEXO C - ORÇAMENTO DAS MANTAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

**Orçamento A: Orçamento das peças para substituição dos trechos que apresentam isolamento térmico.**

ITEM		S.C.	UNID.	QUANT.	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	PRAZO DE ENTREGA	VL.UNIT.	VL. TOTAL DOS PRODUTOS	ICMS	
<p><b>ORÇAMENTO</b>  <b>Nº 0202 - 20 - THEOPRAX</b>  Emissão: 10/06/20  SR. BRUNO  Cod. Cliente  TEL - 71 -  E-MAIL</p>										
<p><b>rentec</b>  REFRATÁRIOS E ISOLANTES  Lot. Varandas Tropicais, Rua A  Quadra 3, Lote 3 - Portão  Lauro de Freitas/BA - CEP: 42701-330  Tel.: (071) 3379 - 8000  <b>WHATSAPP (71) 99924-9160</b>  rentec@rentec.com.br  www.rentec.com.br</p>										
<p>Conforme sua solicitação, estamos enviando nossa proposta.</p>										
<p><b>TOTAL DO ORÇAMENTO</b></p>								R\$	11.336,74	
<p><b>CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO:</b>  - PRAZO DE PAGAMENTO: À VISTA  - PRAZO DE ENTREGA: ACIMA  - FRETE: FOB  - VALIDADE: 10 DIAS  - VENDEDOR: EDUARDO ALBUQUERQUE</p>										

**Orçamento B: Orçamento das peças para o isolamento térmico da tubulação que está sem isolamento.**

ORÇAMENTO		 REFRATÁRIOS E ISOLANTES Lot. Varandas Tropicais, Rua A Quadra 3, Lote 3 - Portão Lauro de Freitas/BA - CEP: 42701-330 Tel.: (071) 3379 - 8000 WHATSAPP (71) 99924-9160 rentec@rentec.com.br www.rentec.com.br							
Nº 0203 - 20 - THEOPRAX Emissão: 10/06/20 SR. BRUNO Cod. Cliente TEL - 71 - E-MAIL		Conforme sua solicitação, estamos enviando nossa proposta.							
ITEM	S.C.	UNID	QUANT.	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	PRAZO DE ENTREGA	VLUNIT.	VR. TOTAL DOS PRODUTOS	ICMS	
1	0	M	6	TUBO LÃ DE ROCHA DE 1" X 25 MM (COM 1,2M)	5 DIAS	R\$ 13,80	R\$ 82,80	18%	
2	0	M	4,8	TUBO LÃ DE ROCHA DE 2" X 25 MM (COM 1,2M)	5 DIAS	R\$ 21,10	R\$ 101,28	18%	
3	0	M	10,8	TUBO LÃ DE ROCHA DE 1" X 50 MM (COM 1,2M)	5 DIAS	R\$ 38,00	R\$ 410,40	18%	
4	0	M	2,4	TUBO LÃ DE ROCHA DE 2" X 50 MM (COM 1,2M)	5 DIAS	R\$ 51,09	R\$ 122,62	18%	
5	0	M	2,4	TUBO LÃ DE ROCHA DE 3" X 63 MM (COM 1,2M)	5 DIAS	R\$ 84,50	R\$ 202,80	18%	
							R\$ -	18%	
							R\$ -	18%	
							R\$ -	18%	
<b>TOTAL DO ORÇAMENTO</b>							<b>R\$ 919,90</b>		
<b>CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO:</b> - PRAZO DE PAGAMENTO: À VISTA - PRAZO DE ENTREGA: ACIMA - FRETE: FOB - VALIDADE: 10 DIAS - VENDEDOR: EDUARDO ALBUQUERQUE									

ORÇAMENTO										
<b>Nº 0204 - 20 - THEOPRAX</b> Emissão: 10/06/20 SR. BRUNO Cod. Cliente TEL - 71 - E-MAIL					 <p>Lot. Varandas Tropicais, Rua A                      Quadra 3, Lote 3 - Portão                      Lauro de Freitas/BA - CEP: 42701-330                      Tel.: (071) 3379 - 8000                      WHATSAPP (71) 99924-9160                      rentec@rentec.com.br                      www.rentec.com.br</p>					
Conforme sua solicitação, estamos enviando nossa proposta.										
ITEM	S.C.	UNID	QUANT.	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	PRAZO DE ENTREGA	VL.UNIT.	VL. TOTAL DOS PRODUTOS	ICMS		
1	0	M²	2,4	MANTA LÃ DE ROCHA 64 KG/M² DE 2000X1200X50 M	IMEDIATO	R\$ 50,00	R\$ 120,00	18%		
2	0	M	50	ALUMÍNIO CORRUGADO 0,15 (ROLO COM 50 M)	IMEDIATO	R\$ 22,00	R\$ 1.100,00	18%		
3	0	KG	1,7	CINTA DE ALUMÍNIO DE 1/2" (ROLO COM 1,7 KG)	IMEDIATO	R\$ 45,00	R\$ 76,50	18%		
4	0	CT	1	SELO DE ALUMÍNIO DE 1/2"	IMEDIATO	R\$ 22,00	R\$ 22,00	18%		
5	0	0	0	0	0	R\$ -	R\$ -	0%		
							R\$ -	0%		
							R\$ -	0%		
							R\$ -	0%		
<b>TOTAL DO ORÇAMENTO</b>							R\$	1.318,50		
<b>CONDIÇÕES GERAIS DE FORNECIMENTO:</b> - PRAZO DE PAGAMENTO: À VISTA - PRAZO DE ENTREGA: ACIMA - FRETE: FOB - VALIDADE: 10 DIAS - VENDEDOR: EDUARDO ALBUQUERQUE										

**Orçamento C: Orçamento das peças e instalação para substituição dos trechos que apresentam isolamento térmico e para os trechos não isolados.**



**TECFIBRAS**  
Fibra de Vidro e Isolamento Térmico

### VALOR DA PROPOSTA

Orçamento 1				
Trecho isolado (troca de isolamento)-Retirada do isolamento antigo para aplicação do isolamento novo.				
Diâmetro da tubulação	Espessura em (mm)	Quantidade	Preço M <sup>2</sup> linear	Preço total
1"	25	14	43,8	613,20
2"	25	95	86,8	8.246,00
1"	51	19	69,42	1.318,93
2"	51	122	107,00	13.054,00
3"	63	25	153,87	3.846,75

Orçamento 2				
Trecho sem isolamento				
Diâmetro da tubulação	Espessura em (mm)	Quantidade	Preço M <sup>2</sup> linear	Preço total
1"	25	6	49,8	298,80
2"	25	4	92,8	371,20
1"	51	10	75,42	754,20
2"	51	2	113,00	226,00
3"	63	2	159,87	319,74

Orçamento 3				
Isolamento parcial de caldeira				
Área (m <sup>2</sup> )	Espessura (mm)	Quantidade	Preço M <sup>2</sup> linear	Preço total
1,434	51	2	330,00	660,00

## Orçamento D: Orçamento das jaquetas térmicas



ISAR ISOL. TERM. E ACUST. LTDA

**Orçamento - 98189**

Pag: 1

14/08/2020 09:52:17

**Cliente** 4846 SENAI - BAHIA  
 SENAI SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
 AV ORLANDO GOMES, 1845  
 PIATA SALVADOR 41650-010 BA

**CNPJ** 03.795.071/0001-16  
**Inscrição** ISENTA  
**Telefone** (71) 3462-8440

**Contato (Email)** DIOGENES FELIPE SANTOS (diogenesap01@gmail.com)

**Cond. Pagamento** 21 DDL **Desc. %** 0,00 **Desc. \$**

**Data de Emissão** 14/08/2020 **Data de Entrega** **Tp. Frete** Destinatário (Contrat) **Vi. Frete** 0,00

**Ped. do Cliente**

**Transportadora** CLIENTE RETIRA

**Observação** PRAZO DE RETIRA: 07 A 10 DIAS ÚTEIS

Material	Descrição	UN	CST	Quantidade	Preço	Total	lcms	Ipi	Valor Ipi
03574	JAUQUETA TERMICA	PC	000	2,000	420,0000	840,00	7,00		0,00
	<b>Observação:</b> 2 (duas) válvulas tipo globo de 3"								
03574	JAUQUETA TERMICA	PC	000	2,000	420,0000	840,00	7,00		0,00
	<b>Observação:</b> 2 (duas) válvulas de retenção de 3"								
03574	JAUQUETA TERMICA	PC	000	10,000	315,0000	3.150,00	7,00		0,00
	<b>Observação:</b> 10 (dez) válvulas tipo gaveta de 1"								
03574	JAUQUETA TERMICA	PC	000	8,000	315,0000	2.520,00	7,00		0,00
	<b>Observação:</b> 8 (oito) válvulas tipo gaveta de 1"								
	Base de Calculo do ICMS				7.350,00				
	Valor do ICMS				514,50				
	Base de Calculo do ICMS-ST				0,00				
	Valor do ICMS-ST				0,00				
	Base de Calculo do IPI				0,00				
	Valor do IPI				0,00				
	Valor do FCP-ST				0,00				
	Valor do ISS			0,00					0,00
	Valor do ISS Retido			0,00					0,00
	Valor do IR Retido			0,00					0,00
	Valor do INSS			0,00					0,00
	Valor da Lei 10.833			0,00					0,00
	Peso Liquido Total			0,00					0,00
	Peso Bruto Total								0,00
	Total das Mercadorias								7.350,00
	Total dos Serviços								0,00
	Total dos Descontos								0,00
	Total da Fatura								7.350,00
	Total da Nota Fiscal								7.350,00
	<b>PARTILHA DE ICMS</b>								
	Valor do ICMS Destino				808,50				
	Valor do ICMS Origem				0,00				
	Valor do FCP				0,00				

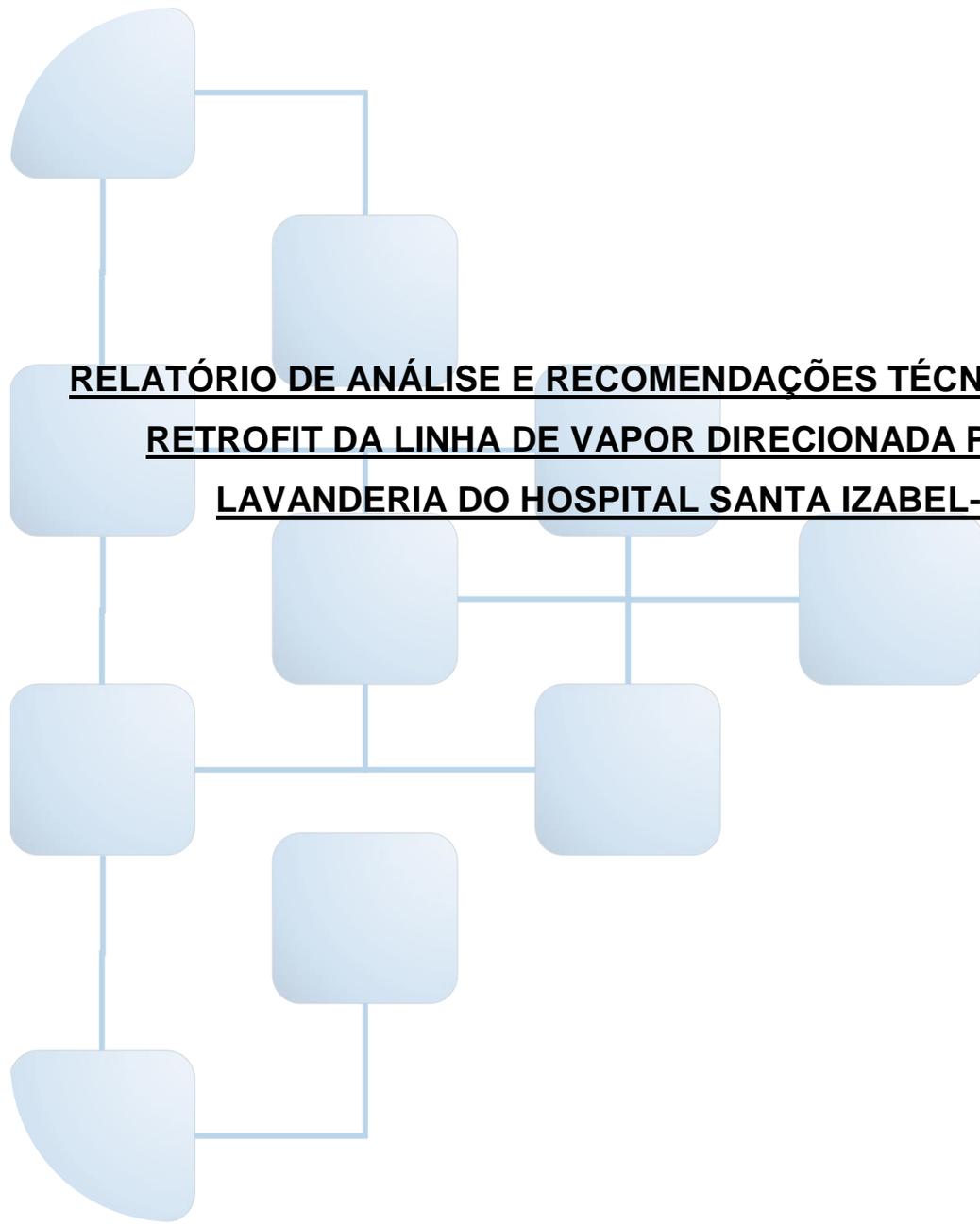


Sistema FIEB



PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



**RELATÓRIO DE ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA  
RETROFIT DA LINHA DE VAPOR DIRECIONADA PARA A  
LAVANDERIA DO HOSPITAL SANTA IZABEL-BA**

## SUMÁRIO

<b>1.0 OBJETIVO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.0 BENEFÍCIOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3.0 CONTEXTO.....</b>	<b>5</b>
<b>4.0 REQUISITOS DO PROJETO.....</b>	<b>6</b>
<b>5.0 ENTREGAS DO TRABALHO.....</b>	<b>6</b>
<b>6.0 PREMISSAS.....</b>	<b>7</b>
<b>7.0 RESTRIÇÕES.....</b>	<b>7</b>
7.1 INSTALAÇÃO DO LOCAL.....	7
7.2 NORMAS, LEGISLAÇÃO E PROCEDIMENTOS.....	7
<b>8.0 METODOLOGIA UTILIZADA.....</b>	<b>8</b>
8.1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....	8
8.2 LEVANTAMENTOS DE DADOS.....	14
8.3 MEMORIAL DE CÁLCULOS.....	15
<b>9.0 PROJETO DA NOVA LINHA.....</b>	<b>15</b>
9.1 AS <i>BUILT</i> DA INSTALAÇÃO ATUAL.....	15
9.2 ANÁLISES, MUDANÇAS E RECOMENDAÇÕES.....	23
9.2.1 ANÁLISE DE CORROSÃO.....	23
9.2.2 MANUTENÇÃO.....	24
9.2.3 ANÁLISE DE TROCA DE COMBUSTÍVEL.....	24
9.2.4 ANÁLISE DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA.....	27
9.2.5 ANÁLISE DOS ACESSÓRIOS DA LINHA DE VAPOR.....	29



9.2.6 ANÁLISE DO ISOLAMENTO.....	30
10.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
11.0 REFERÊNCIAS.....	31

## TABELA DE VARIÁVEIS

Variável	Símbolo	Unidade no SI
Número de Reynolds	$Re$	adimensional
Diâmetro interno	$d$	metros (m)
Massa específica	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade dinâmica	$\mu$	kg/m.s
Comprimento	$L$	m
Perda de carga	$J$	kg.f/cm <sup>2</sup>
Aceleração da gravidade	$g$	m/s <sup>2</sup>
Coefficiente de atrito	$f$	adimensional
Velocidade média	$V_{med}$	m/s
Volume específico	$v$	m <sup>3</sup> /kg
Área	$A$	m <sup>2</sup>



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## 1.0 OBJETIVO

Análise de melhoria do rendimento da caldeira, incluindo o levantamento de campo dos componentes, estudo das perdas de carga referentes às tubulações e recomendações para otimizar o sistema que abastece a lavanderia do hospital.

## 2.0 BENEFÍCIOS

Este documento apresenta as condições de projeto da linha atual com relação a perda de carga. Assim, foi possível realizar análise do atual projeto a partir de considerações embasadas na literatura.

Com a aplicação das recomendações a caldeira terá uma melhor operação do sistema, implicando o aumento do rendimento e, conseqüentemente, um melhor custo-benefício para instituição. Além de, reduzir a quantidade das manutenções periódicas proporcionando maior disponibilidade do sistema.

## 3.0 CONTEXTO

O Hospital Santa Izabel possui 2 caldeiras flamatubulares modelo ATA H3N que funcionam de forma intermitente alimentando a Central de Material e Esterilização (CME) e a lavanderia. A lavanderia objeto e foco deste documento, possuindo 2 calandras e 5 secadoras que, somadas, consomem 730 kg/h de vapor, considerando as mesmas trabalhando em sua máxima operação, segue abaixo os modelos das secadoras e calandras na Figura 1.

Figura 1: Caracterização das secadoras e calandras

Local	Equipamentos	Qtd	Vazão (kg/h)	P (kgf/cm <sup>2</sup> )
Lavanderia	Calandra Suzuki CLM 2545	1	25	7,14 - 9,18
	Calandra Sitec SC 250-30	1	25	7,03
	Secador Rotativo Suzuki SC 100	1	160	7,03 - 8,44
	Secador Rotativo Suzuki SC 50	1	80	7,03 - 8,44
	Secador Rotativo Sitec TT 100	1	120	7,03
	Secador Rotativo IMMECAM	1	160	7,03 - 8,44
	Secador Rotativo Maltec SR 100	1	160	7,03 - 8,44

Fonte: Cliente

A necessidade do trabalho consiste em melhorar o rendimento do sistema proporcionando uma redução nas perdas de cargas e, conseqüentemente, nos custos de operação. Estas são consideradas elevadas devido a uma década de uso constante e sujeição a intempéries, como chuva, sol e vento, o que justifica a deterioração da estrutura física e rendimento comprometido do sistema.

#### 4.0 REQUISITOS DO PROJETO

Para o projeto, pretende-se atingir os seguintes requisitos:

- Reduzir o tempo de intervenção para troca de filtros e limpeza da caldeira;
- Aumentar a disponibilidade das caldeiras;
- Operar a linha com pressão mais próxima da mínima;
- Aumentar a eficiência da caldeira.

#### 5.0 ENTREGAS DO TRABALHO

- *As built* da linha atual;
- Memorial de cálculo das perdas de carga;

- Proposta de mudanças para otimização da linha de vapor.

## 6.0 PREMISSAS

Para a realização deste documento a equipe contou com as seguintes premissas:

- Os dados referentes aos consumidores de vapor serão disponibilizados pelo cliente;
- As documentações técnicas como plantas baixas, isométricos, planta de arranjo, tubulações estão representando a realidade;
- As especificações do isolamento térmico existente serão disponibilizadas pelo cliente;
- O memorial de cálculo da linha será realizado considerando o consumo máximo dos equipamentos

## 7.0 RESTRIÇÕES

### 7.1 INSTALAÇÕES DO LOCAL

- Trechos de tubulação em locais de difícil acesso foram medidos com auxílio do *software Digimizer*.

### 7.2 NORMAS, LEGISLAÇÃO E PROCEDIMENTOS

- Projeto segue as exigências e recomendações da NBR 5626;
- Projeto segue as exigências e recomendações da ASME B31.3;
- Projeto segue as exigências e recomendações da NR 13;
- Projeto segue as exigências e recomendações da N-442;
- Projeto segue as exigências e recomendações da API 570;
- Projeto segue as exigências e recomendações da N-2680.

## 8.0 METODOLOGIA UTILIZADA

### 8.1 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

A metodologia utilizada para realizar o cálculo das perdas de carga presentes nas linhas de vapor e de condensado englobam conhecimentos nas seguintes áreas:

- Termodinâmica;
- Mecânica dos fluidos.

Os fundamentos de termodinâmica, como a viscosidade dinâmica e volume específico do fluido, foram coletados utilizando a bibliografia Princípios de Termodinâmica para Engenharia de H. N. Shapiro.

A equipe utilizou conhecimentos em mecânica dos fluidos presentes na bibliografia Mecânica dos Fluidos Fundamentos e Aplicações de Yunus A. Çengel para realizar os cálculos de perda de carga nas linhas de vapor e condensado.

Os conceitos presentes na bibliografia adotada mostram que as perdas de carga de um sistema qualquer são calculadas de forma diferente, de acordo com o tipo de escoamento, podendo este, ser laminar ou turbulento.

Para calcular o número de Reynolds é necessário calcular primeiramente as velocidades médias dos sistemas de vapor e condensado através da equação abaixo:

$$V_{med} = \frac{v \times \rho}{A}$$

Para verificar o tipo de escoamento presente no sistema foi empregado o cálculo do número de Reynolds, indicado na equação abaixo:

$$Re = d \times V_{med} \times \frac{\rho}{\mu}$$

Segundo Reynolds, caso o resultado da equação seja um valor menor que 2000, configura-se o regime de escoamento laminar e, caso maior, turbulento.

Com objetivo de encontrar a velocidade e o número de Reynolds a equipe coletou os dados de diâmetro da tubulação, viscosidade dinâmica do fluido e massa específica do fluido.

Para determinar a viscosidade dinâmica do vapor foi utilizado a tabela de viscosidade dinâmica do vapor saturado presente na Figura 2, utilizando a temperatura média (146,24 °C) do sistema encontrada através de medições na linha.

Para a pressão da linha utilizou-se 121 psi como a pressão máxima de trabalho e 92,5 psi como pressão mínima de trabalho, conforme o indicado pelo cliente.

Figura 2: Tabela da viscosidade dinâmica do vapor saturado.

Temperature (°F) (deg C)	Dynamic Viscosity - $\mu$ - (centiPoise)													
	Absolute pressure - $p$ - (psia) (kPa)													
	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	7500	10000
Saturated Water	0.667	0.524	0.388	0.313	0.255	0.197	0.164	0.138	0.111	0.094	0.078	-	-	-
Saturated Steam	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.015	0.017	0.019	0.023	-	-	-
1500	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.042	0.042	0.042	0.044	0.046	0.048
1450	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.041	0.041	0.043	0.045	0.047
1400	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.040	0.040	0.042	0.044	0.047
1350	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.039	0.041	0.044	0.047
1300	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.038	0.040	0.043	0.046
1250	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036	0.036	0.037	0.039	0.042	0.045
1200	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.035	0.035	0.036	0.038	0.041	0.045
1150	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.037	0.041	0.045
1100	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.033	0.033	0.034	0.037	0.040	0.045
1050	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.033	0.036	0.040	0.047
1000	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.031	0.032	0.035	0.041	0.049
950	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.030	0.031	0.035	0.042	0.052
900	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.035	0.045	0.057
850	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027	0.027	0.027	0.027	0.028	0.035	0.052	0.064
800	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.027	0.040	0.062	0.071
750	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.026	0.057	0.071	0.078
700	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.026	0.071	0.079	0.085
650	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.023	0.023	0.023	0.082	0.088	0.092
600	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.087	0.091	0.096	0.101
550	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.019	0.095	0.101	0.105	0.109
500	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.018	0.018	0.103	0.105	0.111	0.114	0.119
450	0.018	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.017	0.115	0.116	0.118	0.123	0.127	0.131
400	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.131	0.132	0.134	0.138	0.143	0.147	0.151
350	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.152	0.153	0.154	0.155	0.160	0.164	0.168
300	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.182	0.183	0.183	0.184	0.185	0.190	0.194	0.198
250	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.228	0.228	0.228	0.228	0.229	0.231	0.235	0.238	0.242
200	0.012	0.012	0.012	0.012	0.300	0.300	0.300	0.300	0.301	0.301	0.303	0.306	0.310	0.313
150	0.011	0.011	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.428	0.429	0.431	0.434	0.437
100	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.681	0.682	0.683
50	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.299	1.296	1.289	1.284	1.279
32	1.753	1.753	1.753	1.753	1.753	1.753	1.753	1.752	1.751	1.753	1.745	1.733	1.723	1.713

Fonte: The Engineering Toolbox

Para encontrar a viscosidade dinâmica do condensado foi realizado o mesmo processo, utilizando a tabela de viscosidade dinâmica do líquido saturado da Toolbox presente na Figura 3, e a temperatura média do sistema (113,93° C) obtido a partir de uma medição termográfica.

Para a pressão da linha de condensado utilizou-se 121 psi conforme informado pelo cliente.

Figura 3: Tabela da viscosidade dinâmica do líquido saturado.

Temperature [°C]	Pressure [MPa]	Dynamic viscosity			Kinematic viscosity
		[Pa s], [N s/m <sup>2</sup> ]	[cP], [mPa s]	[lbf s/ft <sup>2</sup> · 10 <sup>-5</sup> ]	[m <sup>2</sup> /s · 10 <sup>-6</sup> ], [cSt]
0.01	0.000612	0.0017914	1.79140	3.7414	1.7918
10	0.0012	0.0013060	1.30600	2.7276	1.3065
20	0.0023	0.0010016	1.00160	2.0919	1.0035
25	0.0032	0.0008900	0.89004	1.8589	0.8927
30	0.0042	0.0007972	0.79722	1.6650	0.8007
40	0.0074	0.0006527	0.65272	1.3632	0.6579
50	0.0124	0.0005465	0.54650	1.1414	0.5531
60	0.0199	0.0004660	0.46602	0.9733	0.4740
70	0.0312	0.0004035	0.40353	0.8428	0.4127
80	0.0474	0.0003540	0.35404	0.7394	0.3643
90	0.0702	0.0003142	0.31417	0.6562	0.3255
100	0.101	0.0002816	0.28158	0.5881	0.2938
110	0.143	0.0002546	0.25461	0.5318	0.2677
120	0.199	0.0002320	0.23203	0.4846	0.2460
140	0.362	0.0001966	0.19664	0.4107	0.2123
160	0.618	0.0001704	0.17043	0.3559	0.1878
180	1.00	0.0001504	0.15038	0.3141	0.1695
200	1.55	0.0001346	0.13458	0.2811	0.1556
220	2.32	0.0001218	0.12177	0.2543	0.1449
240	3.35	0.0001111	0.11106	0.2320	0.1365
260	4.69	0.0001018	0.10181	0.2126	0.1299
280	6.42	0.0000938	0.09350	0.1954	0.1247
300	8.59	0.0000859	0.08586	0.1793	0.1206
320	11.3	0.0000783	0.07831	0.1636	0.1174
340	14.6	0.0000703	0.07033	0.1469	0.1152
360	18.7	0.0000603	0.06031	0.1260	0.1143

Fonte: The Engineering Toolbox

Utilizando a bibliografia H. N. Shapiro, a equipe determinou o volume específico do vapor e do condensado. Ambas foram encontradas a partir da Figura 4.

Figura 4: Tabela termodinâmica da água saturada (líquido - vapor)

TABLE A-2 (Continued)

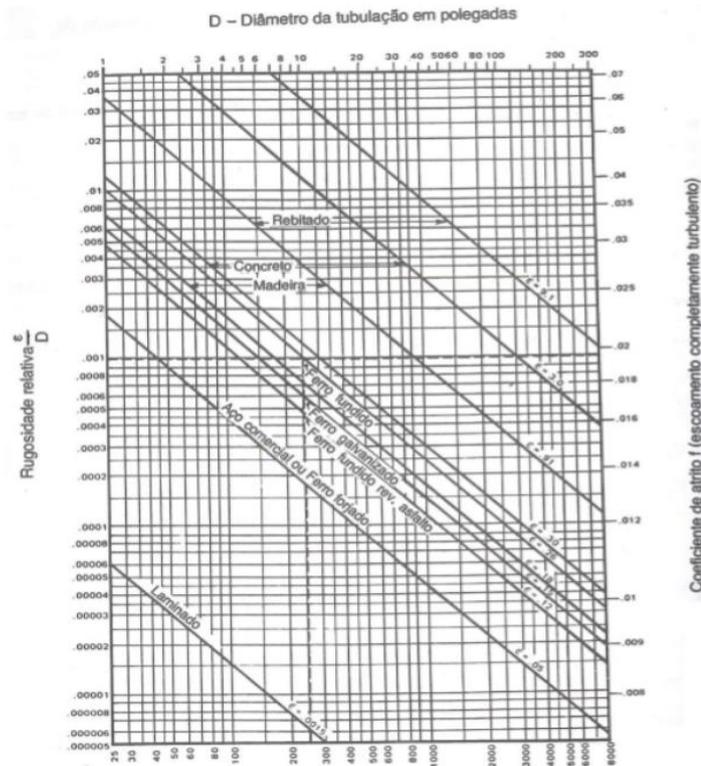
Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Sat. Vapor $s_g$	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290

Fonte: H. N. Shapiro (2014)

A seguir, fez-se necessário encontrar os coeficientes de atrito das tubulações de condensado e vapor. Para posteriormente, calcular a perda de carga.

Para tal, determinou-se, a princípio, o grau de rugosidade do material, utilizando o gráfico da Figura 5, para aço carbono e os respectivos diâmetros.

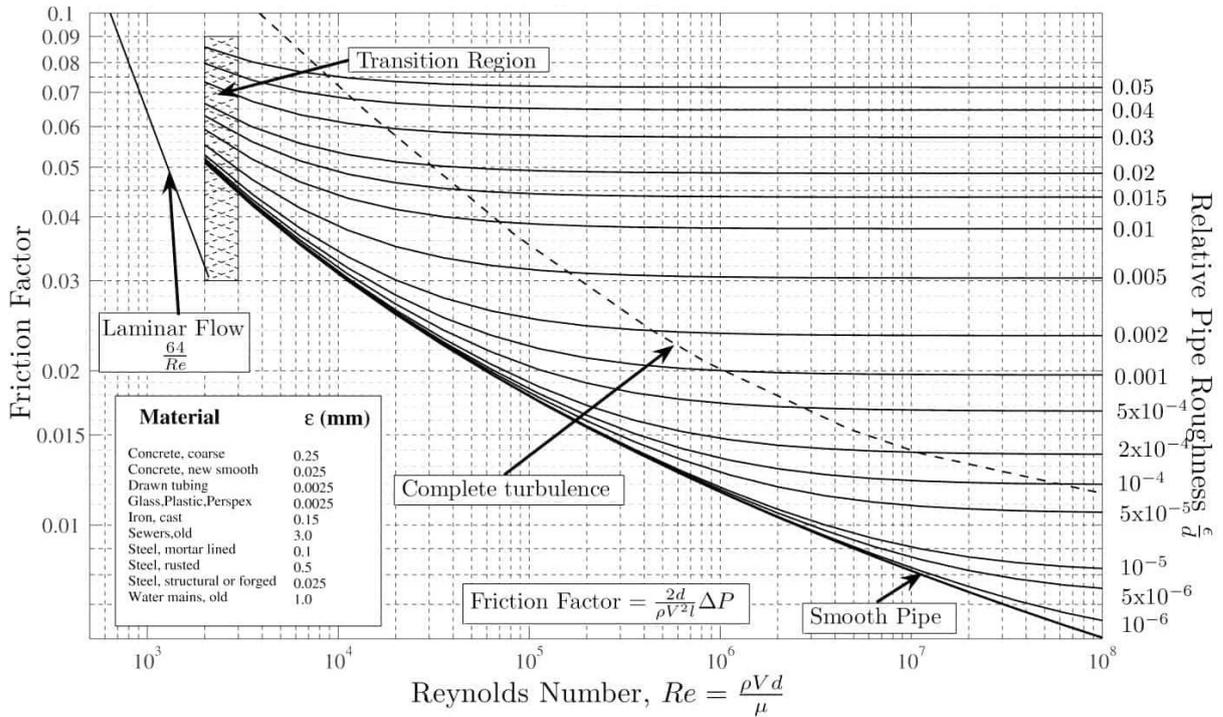
Figura 5: Tabela de Rugosidade



Fonte: DE MATTOS, E.E. 1998

Com o valor da rugosidade encontrou-se o coeficiente de atrito a partir do diagrama de Moody indicado abaixo (Figura 6).

Figura 6: Diagrama de Moody



Fonte: ASME

Para determinar o comprimento equivalente da tubulação foi preciso levantar um quantitativo de todos os acessórios e conexões da linha estudada. Em seguida, por meio da tabela da Figura 7, foi possível conferir o comprimento equivalente de cada acessório, permitindo definir este valor na totalidade da tubulação e prosseguir com os cálculos das perdas de carga.

Figura 7: Tabela de comprimento dos acessórios

Diâmetro Nominal mm pol.	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Pas. Direta	Tê 90° Saída Lateral	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada Borda	Saída Canal	Válv. Pé e Crivo	Válv. Retenção Leve	Válv. Retenção Pesada	Reg. Globo Aberto	Reg. Gaveta Aberto	Reg. Ângulo Aberto
15 1/2"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20 3/4"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25 1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32 1 1/4"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40 1 1/2"	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50 2"	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
65 2 1/2"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
80 3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
100 4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125 5"	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	27,4	17,5	19,2	50,9	1,1	25,2
150 6"	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fonte: Adaptado da norma brasileira de instalações prediais 5626/98.

Observou-se que, para todos os casos calculados, o escoamento é turbulento.

Com essas informações, pode-se calcular a perda de carga total do sistema, visto que, para escoamento turbulento é determinada pela fórmula de Darcy, indicada abaixo:

$$J = \frac{f \times L \times V^2}{2 \times d \times g}$$

## 8.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

A equipe realizou a coleta dos dados necessários para a calcular as perdas de cargas dos sistemas.

As dimensões da linha atual foram fornecidas pelo cliente, que utilizando o Schedule 40 foram resultados em 52,51 mm de diâmetro interno para tubulações de 2" e 24,64 mm para tubulação de 1".

Os consumos das máquinas alimentadas pelo vapor foram fornecidos pelo cliente e são consideradas como a vazão mássica que o sistema deve fornecer à lavanderia.

Assim como foi citado anteriormente a temperatura média da linha de vapor (146,24 °C) e a temperatura média da linha de condensado (113,93° C) foram encontradas através de medições feitas ao longo da linha.

Para a pressão da linha utilizou-se 121 psi como a pressão máxima de trabalho e 92,5 psi como pressão mínima de trabalho, conforme o indicado pelo cliente.

O restante dos dados utilizados neste relatório fora coletado na bibliografia citada anteriormente.

### 8.3 MEMORIAL DE CÁLCULOS

Para os cálculos das perdas de carga foi utilizada a metodologia citada anteriormente, de acordo com a bibliografia e as referências indicadas.

O valor de pressão da linha adotada foi de 121 psi para a pressão máxima de trabalho e 92,5 psi para pressão mínima de trabalho, conforme o indicado pelo cliente.

Os resultados das perdas de cargas estão contidos em três apêndices:

- Apêndice I- As perdas de carga da linha de vapor para pressão máxima de trabalho
- Apêndice II - As perdas de carga da linha de condensado para pressão máxima de trabalho
- Apêndice III - As perdas de carga da linha de vapor para pressão mínima de trabalho.

Para o restante deste relatório apenas os resultados contidos nos Apêndice I e III serão considerados, visto que, as perdas de carga na linha de condensado, pôr serem muito baixas, não apresentam impactos consideráveis no sistema.

## 9.0 PROJETO DA NOVA LINHA

### 9.1 AS *BUILT* DA INSTALAÇÃO ATUAL

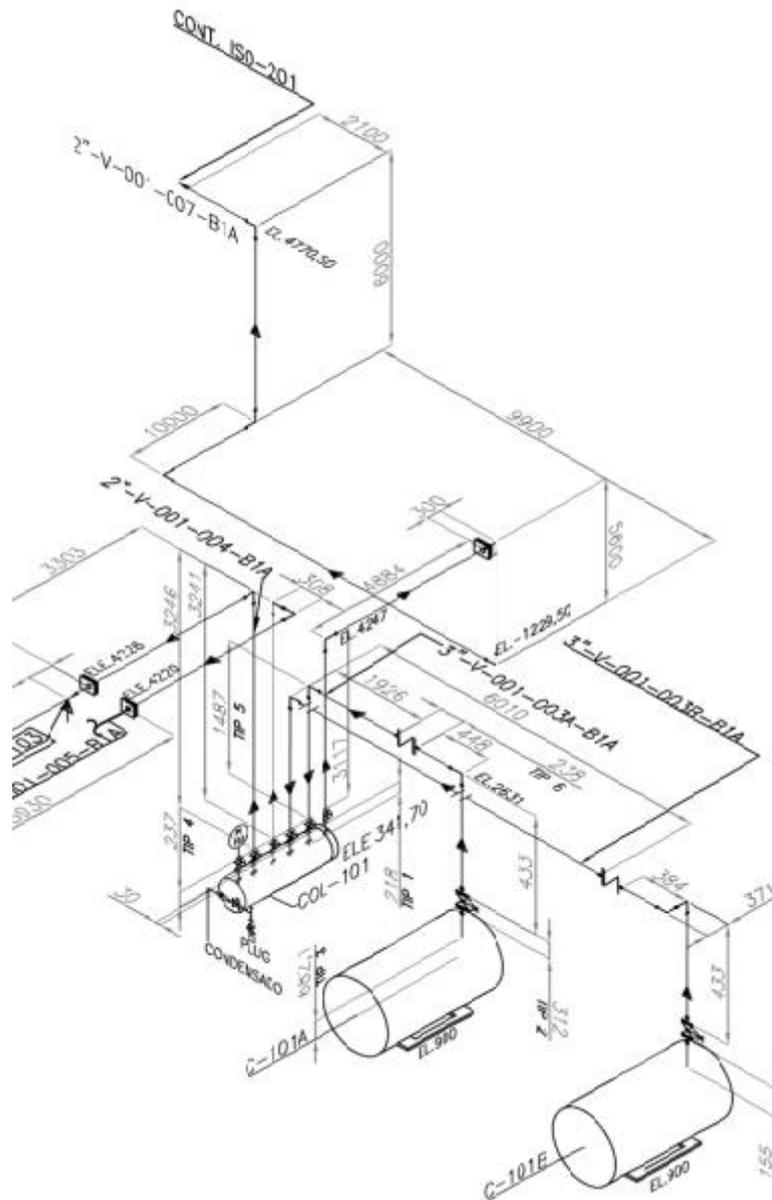
A linha de vapor atualmente instalada no hospital é utilizada para a alimentação da área da Central de Material e Esterilização (CME) e da lavanderia do hospital, sendo que a área de estudo deste relatório engloba apenas a lavanderia.

O diagrama linha de vapor atual do hospital foi fornecido pelo cliente através de desenhos isométricos e estes foram considerados para realizar os cálculos de perda de carga. Parte destes apresentam trechos que não condizem com a realidade em relação às medidas de comprimento, estes trechos estão destacados nas respectivas figuras do diagrama.

A linha de vapor é composta por tubulações de 1", 2" e 3", duas válvulas globo, duas válvulas de retenção e dezoito válvulas gaveta.

Na Figura 8 temos o recorte isométrico do trecho da caldeira até a entrada da lavanderia.

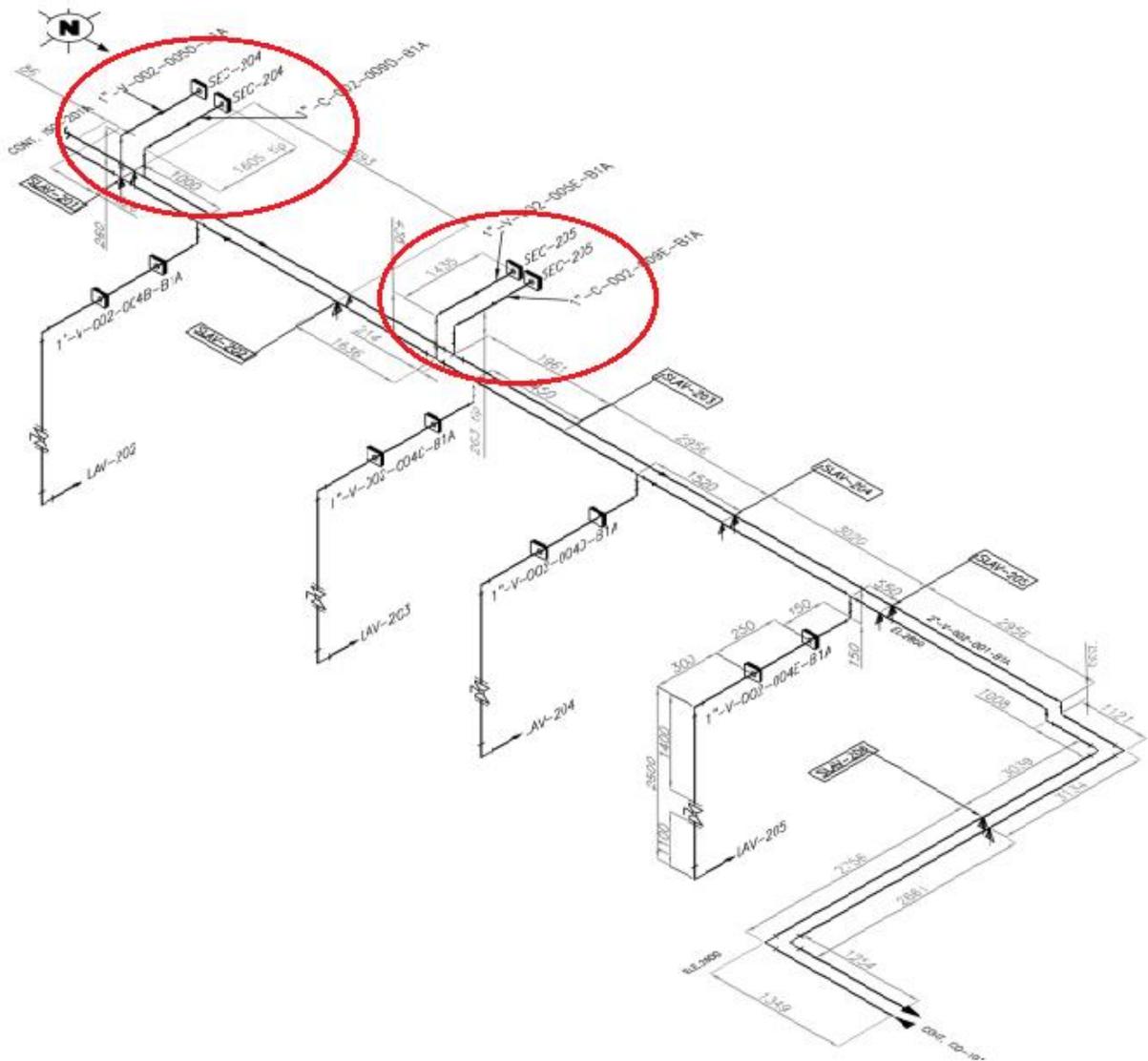
Figura 8: Isométrico da caldeiraria até a entrada da lavanderia



Fonte: Cliente

Parte da tubulação que alimenta a lavanderia está presente na Figura 9, onde estão representadas as secadoras 4 e 5.

Figura 9: Isométrico da lavanderia



Fonte: Cliente

Podemos perceber que as tubulações que fazem a alimentação e o retorno das secadoras 4 e 5 estão destacadas, visto que, estas não condizem com a realidade. Temos presente na Figura 10 e 11 fotografias destes trechos.

Figura 10: Fundo da secadora 4



Fonte: Próprio autor

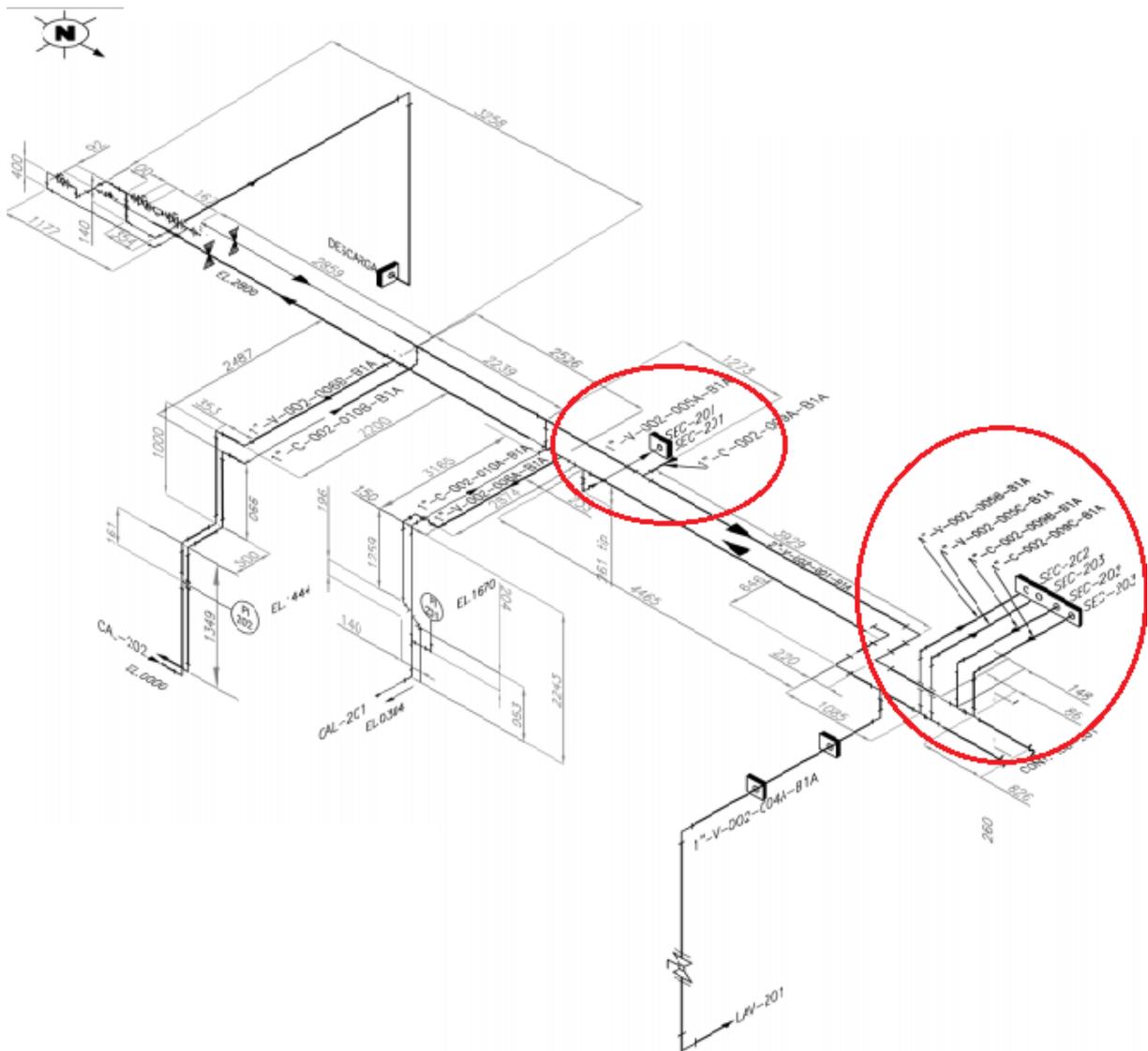
Figura 11: Fundo da secadora 5



Fonte: Próprio autor

Na Figura 13 está presente o restante da linha de vapor que alimenta as secadoras 1, 2, 3 e as calandras 1 e 2.

Figura 13: Isométrico da lavanderia



Fonte: Cliente

Podemos perceber que as tubulações que fazem a alimentação e o retorno das secadoras 1,2 e 3 estão destacadas, visto que, estas não condizem com a realidade. Temos presente na Figura 14, 15 e 16 fotografias destes trechos.

Figura 14: Fundo da secadora 1



Figura 15: Fundo da secadora 2



Fonte: Próprio autor

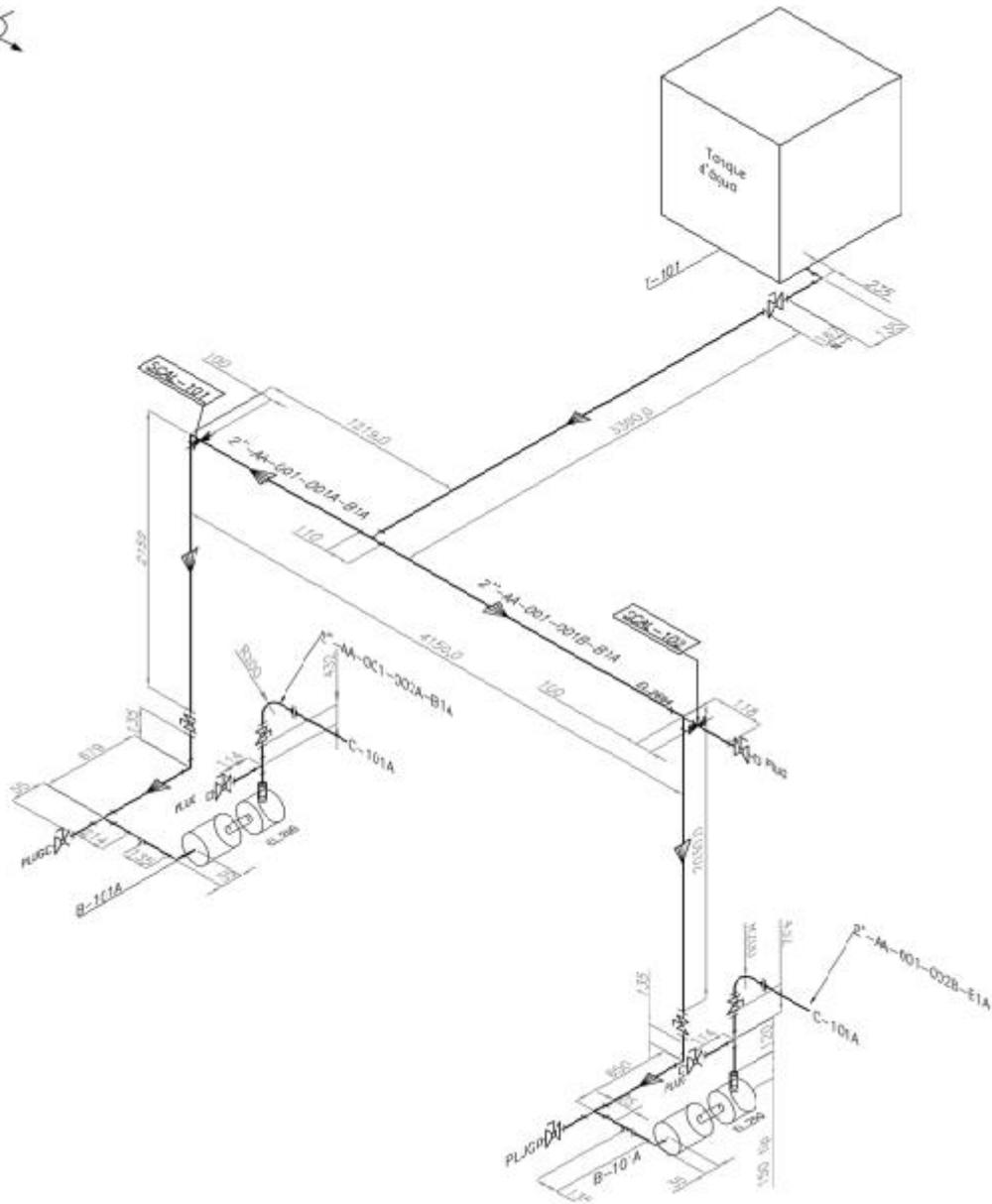
Figura 16: Fundo da secadora 3



Fonte: Próprio autor

Por fim, temos o último recorte do diagrama, onde estão representados o tanque de condensado e a tubulação de retorno para as caldeiras.

Figura 17: Isométrico da caldeiraria



Fonte: Cliente

## 9.2 ANÁLISES, MUDANÇAS E RECOMENDAÇÕES

### 9.2.1 ANÁLISE DE CORROSÃO

Sistemas de tubulação de metal têm sido a escolha padrão dos engenheiros em aplicações industriais, devido sua resistência e durabilidade em ambientes de alta temperatura e pressão. Entretanto, a corrosão é um problema real. A mesma afeta as taxas de vazão e eficiência, enfraquecendo as tubulações e podendo ocasionar paradas inesperadas e onerosas.

Sendo assim, se faz necessário medidas preventivas para diminuir ou evitar esse processo corrosivo.

No que tange a parte interna da tubulação, já é estabelecido uma espessura de parede para durar uma vida útil de 15 anos. Porém, a cada 5 anos deve ser feito uma medição de espessura pontual. Os pontos selecionados devem ser os mais suscetíveis a corrosão, visto que, os mesmos tendem a sofrer o processo de oxidação primeiro, ou seja, deve-se selecionar pontos nas curvas ou pontos retos após as mesmas, após válvulas e tês. Esses pontos são mais suscetíveis porque na mudança de direção, curvas e acessórios em geral, normalmente, logo após ocorre um aumento de velocidade do fluido e devido a isso maior será o ataque de corrosão e erosão. Lembrando que trechos retos sofrem menos com esse processo.

Conforme as boas práticas de manutenção para medição de espessura pontual recomendam-se a utilização do ensaio por ultrassom.

Em relação a parte externa da tubulação, principalmente em Salvador, que possui um dos pontos de salinidade mais altos do Brasil, é recomendável a pintura nas partes isoladas e não isoladas de acordo com o item 4.2.2 da norma da Petrobras N-442- REV. P de 10/2012, que diz: “Aplicar revestimento único de uma demão de tinta epóxi, sem solventes, tolerante a superfícies molhadas, especificada na PETROBRAS N-2680, por meio de rolo, trincha ou pistola. A espessura mínima de película seca deve ser de 100  $\mu\text{m}$ ”. Apesar do item 4.2.2 possuir uma temperatura máxima de operação da tinta de 80°C, ele irá proteger

a tubulação das intempéries que podem atingi-la no dia-a-dia do seu funcionamento, sendo mais uma barreira para o surgimento da corrosão sob isolamento. Além disso, deve-se realizar inspeção visual em todo comprimento da tubulação.

Na Figura 18 percebe-se a tubulação em localização sujeita a intempéries, favorecendo o surgimento dos pontos de corrosão.

Figura 18: Tubulação com corrosão e sujeita a intempéries.



Fonte: Próprio Autor

Nas regiões que estiverem com o isolamento térmico, deve-se remover trechos do isolamento para verificar a existência de corrosão. Caso apareçam pontos corroídos, os mesmos devem ser tratados e repintados. Lembrando que, mesmo com a existência do revestimento térmico a pintura deve existir.

### 9.2.2 MANUTENÇÃO

A NR 13 determina os prazos máximos para a realização de inspeções de segurança periódica de acordo com a categoria da caldeira, prazos para a realização de testes de equipamentos de segurança e os parâmetros sob os quais esses testes e inspeções devem ser realizados.

O manual do fabricante fornece recomendações acerca da periodicidade das manutenções, além de detalhar os seus procedimentos de execução. Essas recomendações englobam: Revisões completas com testes de todos os sistemas de segurança; Limpeza da caldeira no lado da água, fornalha, espelhos, câmaras de reversão e tubos da caldeira; Utilização de produtos químicos; Limpeza dos filtros; Lubrificação dos equipamentos da caldeira.

Analisando o plano de manutenção fornecido pelo Hospital Santa Isabel e comparando-o com o manual do fabricante, foi possível perceber que a equipe de manutenção já segue adequadamente as recomendações. A equipe recomenda apenas que seja adicionada ao plano a lubrificação dos equipamentos da caldeira como os mancais e rolamentos, seja com graxa ou óleo, no mínimo a cada seis meses, conforme o item 8.10 do manual. Este ainda fornece uma relação de marcas e fabricantes de graxas e óleos que podem ser utilizados para esse fim. A respeito dos itens de manutenção que constam no plano do hospital, deve-se garantir a execução adequada destes, de acordo com os prazos propostos pelo fabricante.

### 9.2.3 ANÁLISE DE TROCA DE COMBUSTÍVEL

O combustível utilizado na caldeira é um dos quesitos principais nos gastos da caldeira e o cliente não possui um documento que compare os tipos de combustível para saber qual seria o melhor custo benefício para a caldeira. Assim, foi feita a análise de alguns óleos combustíveis diferentes do BPF, para saber se o mesmo é a melhor escolha para que a caldeira tenha um bom desempenho e um baixo consumo de combustível.

Inicialmente foi levado em consideração a comparação do óleo BPF com o gás natural (GNL), que possui alta flexibilidade e economia na geração de energia, apresentando também maior sustentabilidade, porém essa possibilidade foi descartada pelo cliente por uma impossibilidade do fornecimento deste gás para sua planta. Sendo assim, a comparação foi realizada com os óleos combustíveis que são compatíveis com o queimador informado pelo cliente que está instalado na caldeira, o MPR 8, mesmo este não sendo o queimador presente no seu manual. Além disso, foi também realizada a comparação com o gás liquefeito do petróleo (GLP), já que este foi recomendado pelo cliente como um possível substituto para o combustível utilizado atualmente na caldeira. No Quadro 1 temos a comparação dos combustíveis.

Quadro 1: Informações sobre os óleos combustível.

Óleo Combustível	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	Valor (R\$/kg)	Relação PCI/Valor (kcal/R\$)
1A (BPF)	9.750	1,62190	6.011,46803
1B (BTE)	9.940	1,76560	5.629,81423
2A (E)	9.550	1,77051	5.393,92604
2B (F)	9.920	1,57963	6.279,95163
Gás Liquefeito do Petróleo (GLP) 50%	11.025	2,11778	5.205,92318

Fonte: Próprio autor, ANP, Alfa Laval Aalborg.

Os valores dos custos de cada combustível apresentado no Quadro 01 foram retirados dos registros da ANP (Agência Nacional do Petróleo), levando em consideração que estes valores não apresentam a adição do Imposto sobre

Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS). Os valores de poder calorífico foram retirados das tabelas da Alfa Laval Aalborg.

Com a análise da tabela, percebe-se que o custo por quilograma do GLP é superior aos óleos combustíveis, entretanto, o seu poder calorífico também é superior, ocasionando uma relação (PCI/Valor) inferior.

Apesar dessa relação não ser favorável ao gás existem outros fatores a serem levados em consideração, como a geração de energia mais limpa, alta facilidade de queima do combustível, além de reduzir a quantidade de manutenções realizadas anualmente, visto que o gás produz menos fuligem do que os óleos e termina favorecendo na vida útil dos filtros e reduzindo os custos com manutenção. Além disso, seria necessário a troca do queimador da caldeira, para que fosse possível queimar o GLP da melhor forma, o que seria uma desvantagem, porém os custos dessa substituição seriam cobertos pela distribuidora de gás, mantendo o custo benefício da conversão.

Por fim, como os custos com manutenção acabam sendo reduzidos e a troca do queimador será coberta pela instaladora, o GLP torna-se economicamente mais viável do que os óleos combustíveis. Então recomenda-se a substituição do combustível atual para o GLP.

#### 9.2.4 ANÁLISE DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA

Após a realização dos cálculos das perdas de carga nas tubulações presentes nas linhas de vapor que alimentam a lavanderia do hospital, encontramos os resultados presentes no Quadro 2 abaixo. Vale ressaltar que os valores das perdas de carga na linha de condensado serão desconsideradas desta análise. Visto que, os valores são muito pequenos para serem levados em consideração nos cálculos.

Quadro 2: Perdas de carga

Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Perda de carga (kgf/cm <sup>2</sup> )	Porcentagem de perda
8,5	1,303	15%
6,5	1,225	19%

Fonte: Próprio autor

Fica evidente que a perda de pressão de vapor neste trajeto é pequena, se compararmos as perdas de carga com a pressão inicial do sistema, sendo assim pode-se identificar que a pressão que a caldeira trabalha é elevada para o sistema que ela alimenta. Levando em consideração que essa é a faixa de pressão que o hospital utiliza no seu cotidiano (6,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 8,5 kgf/cm<sup>2</sup>) é recomendado que as caldeiras operem mais perto da medida mínima de pressão desta faixa, já que esta gasta menos combustível e energia das caldeiras.

Para que estas recomendações de trabalho com pressões mínimas sejam implementadas as caldeiras ATA H3N apresentam um sistema de controle chamado sistema de modulação.

O sistema de modulação é utilizado para equilibrar a produção com o consumo de vapor, realizando um ajuste de acordo com a demanda de vapor. Este sistema é utilizado quando as paradas e partidas do sistema automático de combustão se tornam muito frequentes, o que aumentam os desgastes dos componentes da caldeira e aumentam a chance de falha.

O sistema de modulação que se adequa à realidade do hospital é o sistema de modulação proporcional. Neste sistema é estabelecido uma pressão mínima inicial e uma faixa de atuação a partir de uma escala graduada de A até F, num total de seis divisões, onde a cada divisão é adicionada 7,8 psi ou 0,55 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo assim, a caldeira irá trabalhar na faixa da pressão entre a pressão mínima e o valor da escala escolhido.

Com isso, é recomendado que as caldeiras trabalhem com o sistema de modulação proporcional com o valor mínimo de pressão de 6,5 kgf/cm<sup>2</sup> e seja estabelecido a faixa de pressão a ser utilizada de acordo com a demanda do hospital, sendo estes valores já previamente estabelecidos de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3: Perdas de carga

Divisão	Faixa de pressão ( kgf/cm <sup>2</sup> )
A	6,5 - 7,05
B	6,5 - 7,6
C	6,5 - 8,145
D	6,5 - 8,69
E	6,5 - 9,24
F	6,5 - 9,79

Fonte: Próprio autor

A partir da adoção deste sistema de modulação para controle das caldeiras, o hospital pode realizar de forma mais meticulosa a intensidade de trabalho das mesmas, se adequando com a demanda de trabalho, gastando menos combustível e cuidando mais da saúde da caldeira.

#### 9.2.5 ANÁLISE DOS ACESSÓRIOS DA LINHA DE VAPOR

Os acessórios presentes na linha de vapor atual da lavanderia estão funcionando com toda sua plenitude e estão instalados nas posições adequada, o que ficou evidenciado nos resultados dos cálculos de perda de carga. Assim, não há necessidade de alteração dos acessórios existentes na linha atual.

### 9.2.6 ANÁLISE DO ISOLAMENTO

A linha de vapor do hospital é antiga constando trechos isolados e não isolados e parte da tubulação está sujeita a intempéries, favorecendo o desenvolvimento de corrosão e maior gasto energético. Sendo assim, percebendo a exposição da linha, sabe-se que o isolamento não vai operar com a eficiência desejada, estima-se uma perda de 30% da sua capacidade devido ao tempo de operação nessas condições.

A equipe realizou uma análise termográfica na linha de vapor e percebeu-se que os pontos com maiores perdas de energia se concentravam nas partes sem o isolamento térmico, lembrando que, existe perdas em menores proporções nas partes isoladas.

Com isso, sugere-se o isolamento das partes não isoladas para uma redução significativa nas perdas energéticas e seus custos, como demonstrado no Relatório de Análise Técnica Para Retrofit Da Linha De Vapor entregue anteriormente.

Sugere-se também a troca do isolamento de lã de vidro presente na linha por isolamento em lã de rocha. Apesar de ambos possuírem propriedades semelhantes, a lã de rocha é um excelente isolante térmico suportando temperaturas de operação de até 750°C sem deterioração, temperatura superior a lã de vidro que suporta apenas 450°C, além de não exigir manutenção periódica. Além de serem mais facilmente encontradas na cidade de Salvador, visto que, os fornecedores não estão trabalhando com lã de vidro, reduzindo assim, custos de logística em relação ao frete para entrega do material e garantindo uma maior disponibilidade para solução de problemas inesperados, principalmente, em relação a manutenção do equipamento.

## 10.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração o estado atual da tubulação de vapor da lavanderia, e com base nos estudos realizados pela equipe, foram propostos, neste relatório, possíveis melhorias no que tange à eficiência total da linha, visando uma redução no consumo de energia, além de garantir as condições ideais do vapor. O cliente deve, assim como na entrega anterior, acompanhar e monitorar o estado da linha e as respectivas recomendações com objetivo de assegurar o melhor atendimento às suas necessidades.

## 11.0 REFERÊNCIAS

Projeto de *Retrofit* de tubulações de vapor do CME do Hospital Santa Izabel-BA

MORAES, M.M., **FENÔMENOS DE TRANSPORTE (BA000200)**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA. Disponível em: [http://rodolfo.chengineer.com/data/uploads/ba200\\_aula9.pdf](http://rodolfo.chengineer.com/data/uploads/ba200_aula9.pdf). Acesso em 20 de maio de 2020.

MACINTYRE, A.J.; **Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. EDITORA GUANABARA KOOGAN SA. Rio de Janeiro-RJ,1990.

DE MATTOS, E.E., DE FALCO, R., **Bombas Industriais**, 2ª edição, Rio de Janeiro, Interciência, 1998.

MOODY, L. F.; **Friction factors for pipe flow**; *Trans. ASME*, vol. 66, 1944, pp. 671–684.

Engineering ToolBox, (2004). **Steam Viscosity**. Disponível em: [https://www.engineeringtoolbox.com/steam-viscosity-d\\_770.html](https://www.engineeringtoolbox.com/steam-viscosity-d_770.html) . Acesso em 19 de maio de 2020.

Shapiro, H.N., Moran, M.J., Boettner, D.D., Bailey, M.B.; **Princípios da Termodinâmica para Engenharia**. 7ª Edição. Editora LTC. 2013.

Çengel, Y.A, Cimbala, J.M; **Mecânica dos Flúidos: Fundamentos e Aplicações**. 3ª Edição. AMGH Editora Ltda. 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, “NBR 5626 – Instalação predial de água fria”, Setembro 1998.

LEGISLAÇÃO DO MINISTÉRIO DO TRABALHO, “Norma Regulamentadora NR-13”, 26.04.1995.

ATA COMBUSTÃO TÉRMICA S.A., “ Manual de instruções das caldeiras H3N”. Agência Nacional de Petróleo. **Preço e defesa da concorrência**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores>. Acesso em: 09 de Julho de 2020.

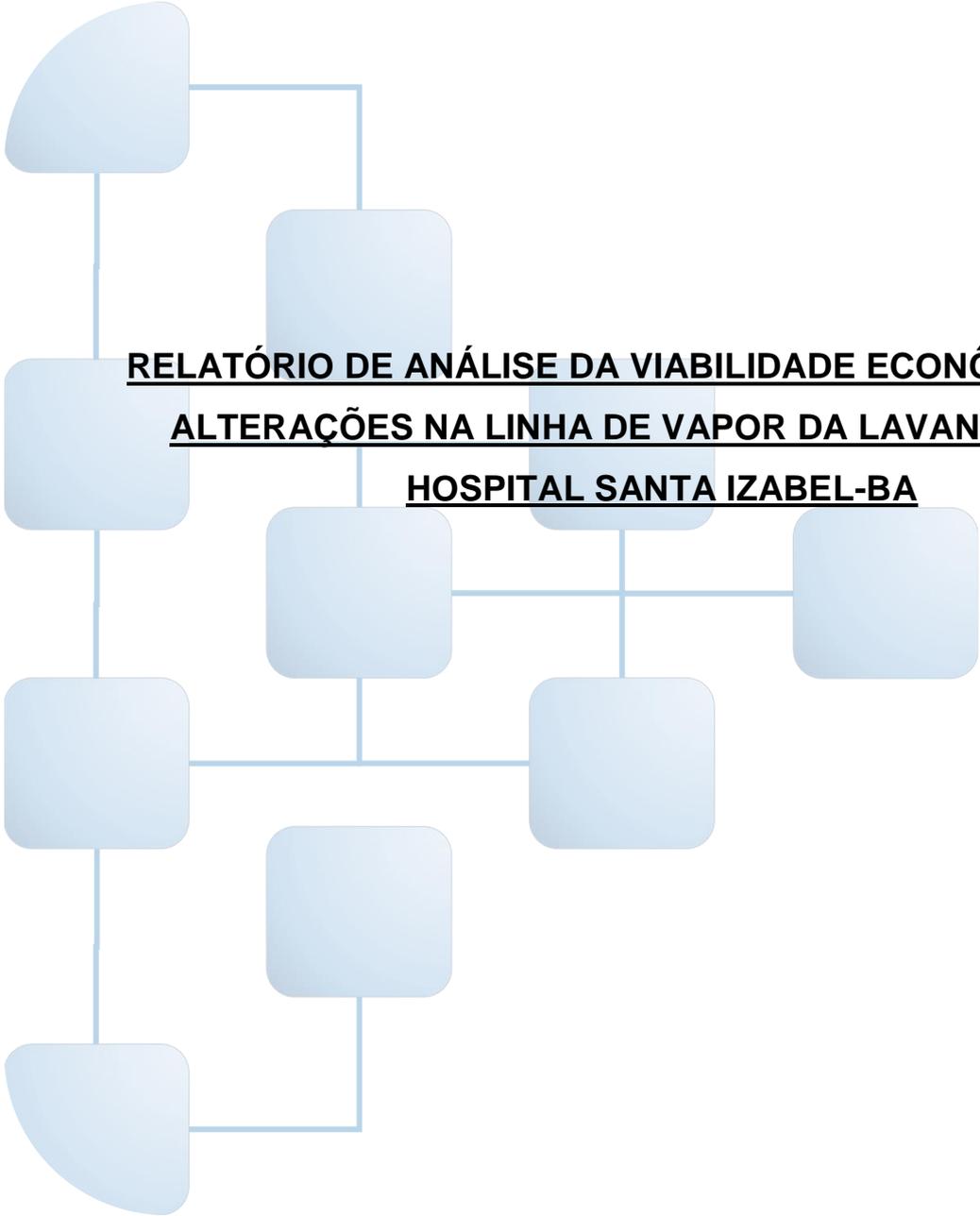
Alfa Laval Aalborg. **Poder Calorífico Inferior**. Petrópolis - RJ. Disponível em: <http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf> . Acessado em 08 de Julho de 2020.

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Preços Médios Ponderados Semanais Praticados Pelos Produtores E Importadores De Derivados De Petróleo**. Disponível em <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-produtores> Acesso em: 10 de Julho de 2020.

MELLO, Mauro; GAS+. **Gás natural em caldeiras é um aliado do meio ambiente**. Disponível em: <http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/images/gas-mais/gasmais-9.pdf> .Acesso em: 28 de Outubro. 2019.

MIRANDA, Lúcia Falcão N. Miranda. **Análise do uso de gás natural como combustível de caldeira**. 2019. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019

PETROBRAS. **N-442-REV.-P - Pintura Externa de Tubulação em Instalações Terrestres**. p. 8. 2019.



**RELATÓRIO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA**  
**ALTERAÇÕES NA LINHA DE VAPOR DA LAVANDERIA DO**  
**HOSPITAL SANTA IZABEL-BA**



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## SUMÁRIO

<b>1.0 OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 CONTEXTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3.0 ENTREGAS.....</b>	<b>3</b>
<b>4.0 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....</b>	<b>4</b>
4.1 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO EM VÁLVULAS.....	4
4.2 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOS TRECHOS NÃO ISOLADOS .....	4
4.3 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOVO EM TODA A LINHA.	5
4.4 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOVO EM TODA A LINHA E PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO.....	6
<b>5.0 CONCLUSÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>7</b>
<b>7.0 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>8</b>

## 1.0 OBJETIVO

Consiste em integrar todos os orçamentos do projeto, para que seja escolhida a proposta com o melhor custo benefício para o cliente.

## 2.0 CONTEXTO

Nas duas etapas anteriores deste projeto foram realizadas análises das instalações físicas da linha de vapor e condensado da lavanderia do Hospital Santa Izabel a fim de propor um retrofit para estas linhas. Na primeira etapa do projeto foi feita uma análise técnica desta linha de vapor com relação a perdas térmicas da estrutura atual, o que levou a uma proposta de substituição do isolamento térmico das linhas. Na segunda etapa, foi realizado um estudo sobre as perdas de carga da linha atual e foram feitas recomendações acerca da operação das linhas.

Com isso, realizou-se a compilação dos orçamentos para as diferentes recomendações com objetivo de facilitar a escolha da proposta mais adequada a realidade do Hospital Santa Izabel.

## 3.0 ENTREGAS

- Orçamento e *payback* para isolamento das válvulas;
- Orçamento e *payback* para isolamento dos trechos não isolados;
- Orçamento e *payback* para isolamento de toda a linha;
- Orçamento e *payback* para isolamento de toda a linha com proteção para corrosão

## 4.0 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar a análise de viabilidade econômica a equipe dividiu os resultados em 4 propostas.

- Instalação do isolamento em válvulas;
- Instalação do isolamento nos trechos não isolados;
- Instalação do isolamento novo em toda linha;
- Instalação do isolamento novo em toda a linha e proteção contra corrosão da tubulação.

### 4.1 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO EM VÁLVULAS

As válvulas e acessórios possuem uma seção transversal em sua extensão que facilitam a troca de calor com o ambiente, além das trocas pela parede, reduzindo a eficiência do conjunto.

O isolamento de válvulas e acessórios assegura a estabilidade térmica dos mesmos, aumentando o desempenho do produto, além da economia de energia do sistema.

Sendo assim, a equipe realizou o orçamento de jaquetas térmicas de lã de rocha para a proteção das válvulas presentes na linha de vapor que alimenta a lavanderia do hospital, este orçamento está presente no Apêndice I.

O valor total foi de R\$ 7.350,00.

### 4.2 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOS TRECHOS NÃO ISOLADOS

O cenário atual a linha de vapor presente no hospital conta com 21,54 metros de tubulação sem isolamento, resultando em perdas energéticas provenientes que geram um custo anual de R\$ 26.230,91.

Com isso, a equipe apresenta uma proposta de isolamento deste trecho com mantas de lã de rocha, que é um excelente isolante térmico, suportando temperaturas de operação de até 750°C.

Além deste isolamento de lã de rocha também é proposto o isolamento das válvulas, já que estas não apresentam isolamento térmico. O valor orçado para as jaquetas térmicas que realizam a proteção destes acessórios está presentes no custo total de isolamento deste trecho.

O orçamento dos materiais e instalação deste isolamento estão presentes no Apêndice I.

Para realizar o isolamento deste trecho o custo é de 9.979,84 com *payback* de 5 meses para a proposta que apresenta custo de instalação e dos materiais.

#### 4.3 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOVO EM TODA A LINHA

A linha de vapor instalada no hospital apresenta aproximadamente 272,13 metros que são isolados com lã de vidro.

Em alguns trechos foi possível visualizar a influência de intempéries do clima diretamente no isolamento, o que justifica a substituição deste isolamento por um novo, além da instalação em trecho que não são isoladas. As perdas energéticas nestes trechos geram um custo anual de R\$ 29.887,30.

Além deste isolamento de lã de rocha também é proposto o isolamento das válvulas, já que estas não apresentam isolamento térmico. O valor orçado para as jaquetas térmicas que realizam a proteção destes acessórios está presentes no custo total de isolamento deste tópico.

O orçamento dos materiais e da instalação de um novo isolamento neste trecho de tubulação estão presentes no Apêndice I.

Para realizar o isolamento deste trecho o custo é de R\$ 37.058,82 com *payback* de 15 meses para a proposta que apresenta custo de instalação e dos materiais.

#### 4.4 INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO NOVO EM TODA A LINHA E PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

A instalação do novo isolamento sem uma proteção contra a corrosão é uma prática que não trará problemas para o sistema, de acordo com a N-442. Mas por ser um local que possui um dos pontos de salinidade mais altos do Brasil, é recomendável a pintura nas partes isoladas e não isoladas para que se tenha uma proteção extra da linha e, por consequência, uma maior vida útil da mesma.

O orçamento dos materiais e da instalação da pintura da linha estão presentes no Apêndice I.

#### 5.0 CONCLUSÃO

Segue tabela abaixo com os valores de orçamento do isolamento das linhas para os diferentes segmentos da tubulação. Sabendo que, os trechos isolados referem-se a retirada do isolamento atual e instalação do isolamento novo. A jaquetas são referentes ao isolamento das válvulas.

Quadro 1: Custos e *payback* para todas as propostas.

Segmentos da tubulação	Economia esperada com perdas energéticas após instalação das soluções (R\$)	Custo para instalação (R\$)	Payback (Meses)
Trechos não isolados	23.013,73	2.629,94	2
Trechos não isolados + Jaquetas	26.230,91	9.979,84	5
Todas tubulações	26.270,18	29.708,82	13
Todas tubulações+ Jaquetas	29.887,30	37.058,82	15
Todas tubulações + Pintura	26.270,18	51.879,73	24
Todas tubulações + Pintura + Jaquetas	29.887,30	59.229,73	24

Fonte: Próprio autor

## 6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório foram apresentadas as propostas de isolamento das partes não isoladas, válvulas, acessórios e troca total do isolamento da tubulação em questão.

A visualização geral do panorama das modificações é de extrema importância para o gestor da área do HSI, assim é possível analisar e considerar qual seria a melhor escolha de proposta, de acordo com as necessidades da empresa, visando conseguir um melhor custo benefício.



Sistema FIEB

SENAI  
CIMATEC

PELO FUTURO DA INOVAÇÃO

Hospital  
SANTA IZABEL



## 7.0 REFERÊNCIAS

Projeto de *Retrofit* de tubulações de vapor do CME do Hospital Santa Izabel-BA

PETROBRAS. **N-442-REV.-P - Pintura Externa de Tubulação em Instalações Terrestres.** p. 8. 2019.