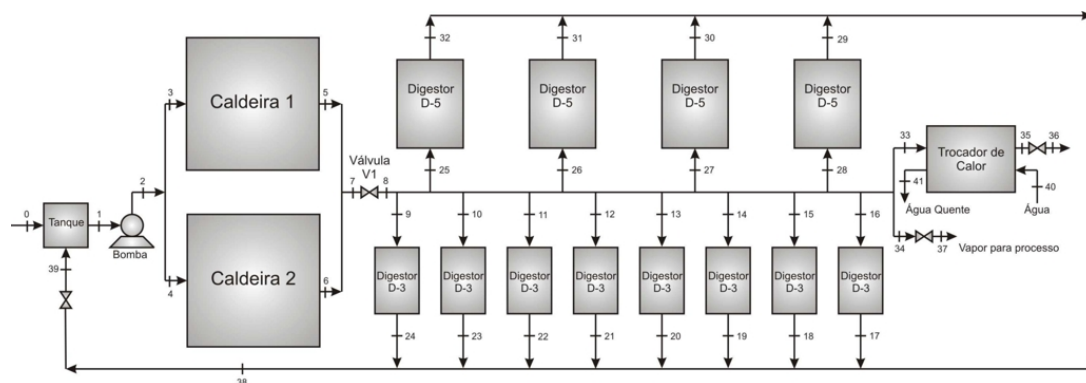


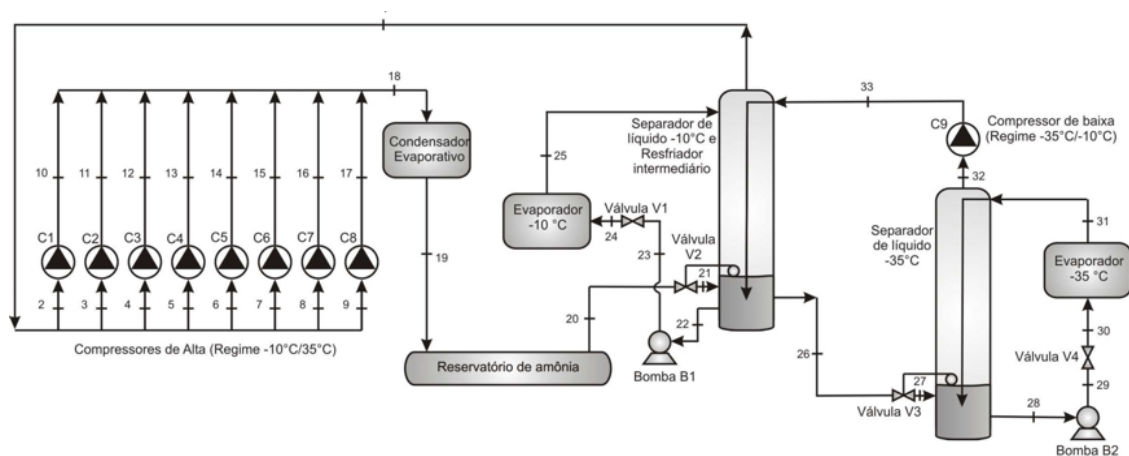
## APLICAÇÃO DO GÁS NATURAL EM INDÚSTRIAS FRIGORÍFICAS.

Fernando Henrique Dib, Ricardo Alan Verdú Ramos, Alessandro Tomio Takaki. – Ciências Térmicas - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

O trabalho em questão consiste em analisar a viabilidade de utilização do gás natural em indústrias frigoríficas. Hoje em dia a maioria dos frigoríficos utiliza lenha e/ou óleo como combustível para suprir a sua demanda de energia térmica e compra energia elétrica da concessionária. Um exemplo típico trata-se da indústria frigorífica do grupo FRIBOI, localizada na cidade de Campo Grande - MS, cujas plantas de vapor e de refrigeração são mostradas nas Figs. 1 e 2, respectivamente. A indústria possui caldeiras a lenha que operam diariamente, das 4:00 às 18:00 horas para suprir a demanda de vapor, e para as necessidades de refrigeração e congelamento, as instalações possuem ciclos de refrigeração por compressão de amônia.

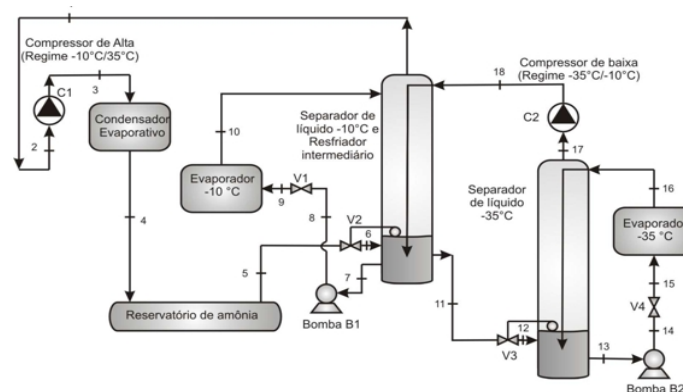


**Figura 1** – Planta atual de vapor do frigorífico.

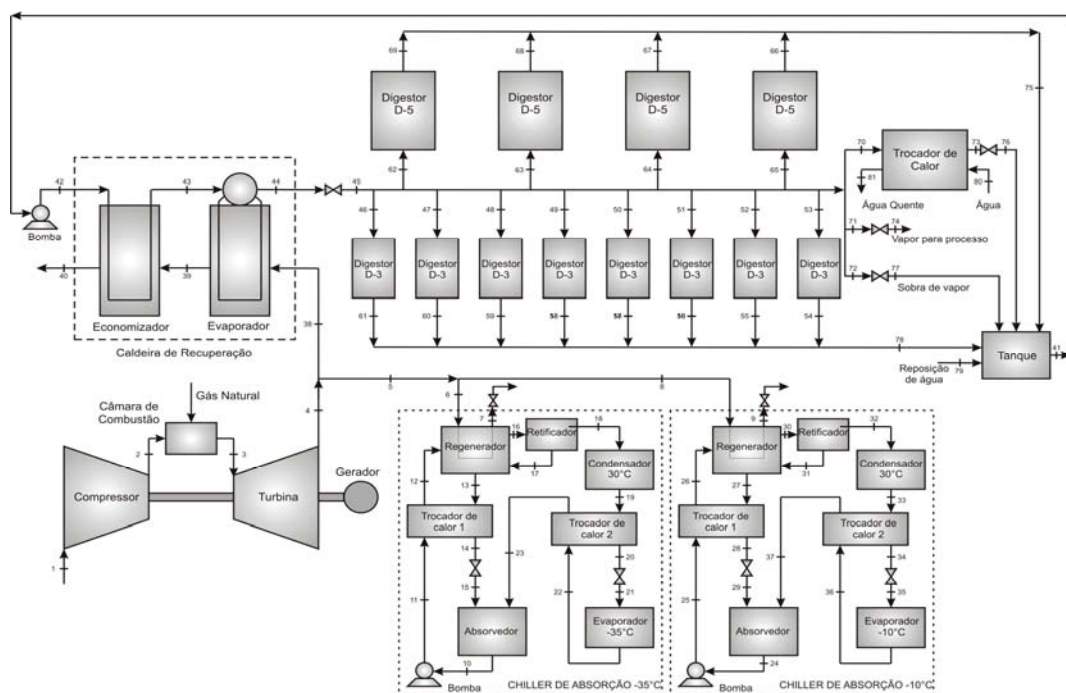


**Figura 2** – Planta atual de refrigeração do frigorífico.

Esta configuração permite com que o frigorífico atenda a uma demanda de produção de carne bovina, equivalente ao abate de 1.500 animais. Porém, a indústria tem interesse em ampliar as instalações, com capacidade para o abate de aproximadamente 2.500 animais. Contudo, o frigorífico dispõe de duas maneiras: A primeira, denominada por Caso 1, consiste em ampliar o regime de operação da planta de vapor para, aproximadamente 24 horas e em construir novas instalações à base de compressores de amônia, além de depender da concessionária para fornecer energia elétrica; A segunda, denominada por Caso 2, propõe uma nova planta, capaz de gerar de forma simultânea, vapor, refrigeração e eletricidade, através da queima do gás natural. Nesta proposta, o gás é queimado na câmara de combustão de uma turbina e, em seguida, distribuído aos trocadores de calor de uma caldeira de recuperação e de chillers de absorção. O reaproveitamento destes gases de exaustão pelos trocadores de calor destinar-se-á à produção de vapor para processos industriais e de refrigeração para estocagem de carne. As Figs. 3 e 4 mostram, respectivamente, as propostas para os casos de expansão.



**Figura 3** – Planta de refrigeração convencional para ampliação da capacidade de produção.



**Figura 4** – Planta de cogeração para produção de vapor, refrigeração e eletricidade.

Através de análises energéticas e exergéticas, foram estudadas as taxas de potência consumida, de irreversibilidade e de calor gerado, proveniente dos principais natural, equipamentos. Para as análises termodinâmicas, foi considerado um volume de controle (VC) para cada equipamento, conforme é mostrado em Bejan *et al.* (1996), com destaque para o cálculo das entalpias de formação dos elementos do gás natural (Szargut *et al.*, 1988). Posteriormente, foram aplicadas algumas noções de termoeconomia, com o objetivo de verificar a viabilidade de implantação do uso de gás natural no frigorífico, de acordo com o modelo proposto por Lozano & Valero (1993). Para a resolução do sistema de equações é utilizado o programa EES® (*Engineering Equation Solver*), desenvolvido por Klein & Alvarado (1995), que permite determinar as propriedades termodinâmicas sem a necessidade de recorrer a tabelas termodinâmicas, tendo sido considerado como referência o estado definido por  $T_0 = 298,15^\circ\text{C}$  e  $P_0 = 1\text{ atm}$ .

Nas Tabs. 1 a 3 são apresentadas as eficiências, potências consumidas ou produzidas, taxas de geração e transmissão de calor e taxas de irreversibilidades nos principais equipamentos das plantas mostradas nas Figs. 1 a 4. Os custos de investimento, de operação e manutenção, e anual de amortização, para os equipamentos novos e atuais estão apresentados na Tab. 4. Para a análise termoeconômica, foram considerados os custos de aquisição de eletricidade, lenha e gás natural como sendo, respectivamente, R\$ 0,24/kWh, R\$ 22,00/m<sup>3</sup> e R\$ 0,50/m<sup>3</sup>. Foi considerado também que os custos exergéticos unitário da eletricidade, lenha e gás natural são iguais a 1.

**Tabela 1** – Dados das plantas de vapor e refrigeração atuais (Figs. 1 e 2).

Planta de Vapor					
Equipamentos	$\eta$	$\psi$	$\dot{W}_{cons}$ (kW)	$\dot{Q}$ (kW)	$\dot{i}$ (kW)
Bomba	0,70	0,74	2,9	-	0,8
Caldeira 1	0,75	0,23	-	6.866,0	7.064,0
Digestores D3	0,75	-	-	248,5	82,8
Digestores D5	0,75	-	-	347,9	116,0
Trocador de Calor	0,75	0,26	-	1.242,0	364,7
Planta de refrigeração convencional					
Equipamentos	$\eta$	$\psi$	$\dot{W}_{cons}$ (kW)	$\dot{Q}$ (kW)	$\dot{i}$ (kW)
Compressores C1 a C7	0,75	0,62	110,3	-	42,3
Compressor C8	0,75	0,64	368,0	-	132,3
Compressor C9	0,62	0,58	220,6	-	93,08
Condensador Evaporativo	-	-	-	4.089,0	-
Evaporador -10°C	-	-	-	1.956,0	-
Evaporador -35°C	-	-	-	1.025,0	-

**Tabela 2** – Dados da planta de refrigeração convencional adicionada (Fig. 3).

Equipamentos	$\eta$	$\psi$	$\dot{W}_{cons}$ (kW)	$\dot{Q}$ (kW)	$\dot{i}$ (kW)
Compressor C1	0,75	0,81	583,2	-	109,9
Compressor C2	0,62	0,66	129,3	-	44,3
Condensador Evaporativo	-	-	-	2.723,0	-
Evaporador -10°C	-	-	-	1.304,0	-
Evaporador -35°C	-	-	-	683,3	-

**Tabela 3** – Dados da planta de cogeração, substituta das instalações convencionais (Fig. 4).

Equipamentos	$\eta$	$\psi$	$\dot{W}_{cons}$ (kW)	$\dot{W}_{prod}$ (kW)	$\dot{Q}$ (kW)	$\dot{i}$ (kW)
Turbina a gás						
Compressor	0,87	0,94	22.162	-	-	1.221
Câmara de combustão	0,80	0,82	-	-	-	13.177
Expansor	0,82	0,93	-	37.925	-	3.001
Gerador	0,95	-	-	15.450	-	813
Conjunto total	0,41	0,46	-	15.450	-	18.212
Caldeira de recuperação						
Evaporador	0,75	0,44	-	-	6.258,0	2.460
Economizador	0,75	0,57	-	-	390,6	1.915
Conjunto total	0,75	0,44	-	-	6.648,6	4.375
Chiller de absorção -35°C						
Bomba	0,70	0,97	20,04	-	-	0,20
Trocador de calor 1	0,85	0,99	-	-	1.678	7,74
Regenerador	0,85	-	-	-	3.110	-
Retificador	-	-	-	-	1.751	-
Condensador	-	-	-	-	722,9	-
Trocador de calor 2	0,85	0,99	-	-	128,1	0,97
Evaporador	-	-	-	-	683,3	-
Absorvedor	-	-	-	-	1.327	-
Chiller de absorção -10°C						
Bomba	0,70	0,97	33,44	-	-	0,33
Trocador de calor 1	0,85	0,99	-	-	2.429	10,18
Regenerador	0,85	-	-	-	3.455	-
Retificador	-	-	-	-	1.114	-
Condensador	-	-	-	-	1.362	-
Trocador de calor 2	0,85	0,99	-	-	126,7	0,32
Evaporador	-	-	-	-	1.304	-
Absorvedor	-	-	-	-	2.296	-

Além disso, foram estimadas uma vida útil de 20 anos para a planta e uma taxa de juros de 12 % ao ano. A Tab. 5 mostra uma análise comparativa entre os custos específicos de refrigeração, de energia elétrica e da produção de vapor, além dos gastos anuais, para as configurações propostas para ampliação.

**Tabela 4** – Custos de investimento, operação e manutenção e amortizações dos equipamentos.

Equipamentos	Custo de Investimento (R\$)	Custo de operação e manutenção (R\$/ano)	Custo de amortização (R\$/ano)
Plantas em operação (Figs. 1 e 2)			
Planta de vapor	-	36.000,00	-
Planta de refrigeração	-	132.000,00	-
Planta adicional de refrigeração (Fig. 3)			
Planta de refrigeração	3.710.960,00	88.000,00	584.819,00
Planta de cogeração para produção de vapor, refrigeração e eletricidade (Fig. 4)			
Turbina a gás c/gerador	51.633.476,00	1.224.413,00	12.612.411,00
Chillers de absorção	41.902.923,00	993.667,00	6.603.579,00
Caldeira de Recuperação	2.189.976,00	51.932,00	345.123,00

**Tabela 5** – Custos de refrigeração, eletricidade e de produção de vapor das configurações expandidas.

Custos e Gastos	Caldeira a Lenha e Refrigeração por Compressores (Figs. 1, 2 e 3)	Caldeira de Recuperação, Turbina a Gás e Refrigeração por Chillers (Fig. 4)
Custo do vapor (R\$/t)	25,90	45,97
Custo da refrigeração (R\$/MWh)	107,10	879,80
Custo da eletricidade (R\$/MWh)	240,00	137,10
Gastos com Lenha (R\$/ano)	1.731.667,72	-
Gastos com Eletricidade (R\$/ano)	8.400.000,00	-13.350.225,00
Gastos com Gás Natural (R\$/ano)	-	18.676.811,87
Amortizações anuais (R\$)	584.819,00	15.085.742,00
Investimento total (R\$/ano)	10.716.486,72	20.412.328,87

Os primeiros resultados apresentam altas eficiências e, consequentemente, baixas taxas de irreversibilidades na planta de cogeração a gás natural, em relação à planta com instalações convencionais. Porém, apesar de gerar um excedente de energia que reverteria ao frigorífico, à quantia monetária de R\$ -13.350.225,00, a indústria recorreria em um alto custo de investimentos e manutenções, que inviabilizaria a implantação das novas tecnologias, isso sem contar os custos relacionados à interligação com o gasoduto Bolívia-Brasil. Embora não tenham sido feito os balanços termodinâmicos e termoeconômicos em todos os equipamentos, pode-se concluir que a configuração do Caso 1 é a mais viável para a expansão da indústria.

Em trabalhos futuros serão testadas novas configurações de plantas frigoríficas que possibilitem uma maior viabilidade para o uso do gás natural.

## Referências Bibliográficas

- BEJAN, A., TSATSARONIS, G., MORAN, M. Thermal design & optimization, John Wiley & Sons, Inc., NY, USA, 1996. 542 p.
- KLEIN, S.A.; ALVARADO, F.L. EES - Engineering Equation Solver, F-Chart Software, Middleton, WI, USA. 1995.
- LOZANO, M.A.; VALERO, A. Theory of the exergetic cost. In: ENERGY, v.18, n.9, 1993. p. 939-960.
- SZARGUT, J., MORRIS, D.R., STEWARD, F.R. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical process, Hemisphere Publishing Corporation, NY, USA, 1988. 332 p.

**Bolsa:** CNPq/PIBIC