

## **Estudo de Caso de Redução de Perdas de Energia por Vazamentos Provocados por Excesso de Corrosão e Temperaturas Elevadas no Sistema de Ar Comprimido de uma Fábrica de Biscoitos em Serra Espírito Santo**

**Osiel S. Luiz\***, **Flavio B. B. Silva\*\***

\* *Federal Institute of Espírito Santo - professional master's student in Control and Automation Engineering Campus Serra-ES. (e-mail: engenheirosiel@gmail.com)*

\*\* *Federal Institute of Espírito Santo - professional master's advisor in Control and Automation Engineering Campus Serra-ES. (e-mail: flaviobarcelos@ifes.edu.br)*

---

**Abstract:** Faced with the growing increase in industrial activity, cost reduction becomes a preponderant factor, given the fierce competition in this sector. In this context, the reduction of energy costs appears as a strong ally in the search for more efficient means of production from an economic and environmental point of view. This study shows that it is possible to obtain excellent results by implementing methodologies to control losses caused by leakage and temperature. Although the main objective of the implementations is to increase productivity, reduce energy and operational costs, the reduction of energy losses also contributes significantly to the environment, allowing a better use of available resources. The study was carried out in a small biscuit factory, located in the municipality of Serra-ES, with the objective of presenting a technical, economic and environmental feasibility study to reduce energy losses in the compressed air system, considering which company uses large-scale pneumatic equipment, driven by air compressors. Maintenance reports pointed out that in the last three years, there have been consecutive increases in maintenance costs resulting from leaks, arising from the corrosion process, generating numerous unscheduled stops in production in the compressed air system. Based on this information, it was proposed to replace the pipe with a new one, so as not to stop production during the execution of the project. It was also proposed to use anti-corrosion protection to increase the useful life of the new pipeline. These measures proved to be quite effective, allowing a reduction of R\$ 9,566.53 per year in electricity. An increase in efficiency was also sought after, by reducing the temperature of the air admitted by the compressor, since the excess energy consumed by the equipment, due to the high temperatures inside the engine room, in relation to the external environment generates an extra energy cost of BRL 3,148.98 per year.

**Resumo:** Diante do crescente aumento da atividade industrial, a redução de custos torna-se fator preponderante, dada a acirrada concorrência neste setor. Nesse contexto, a redução dos custos de energia aparece como um forte aliado na busca por meios de produção mais eficientes do ponto de vista econômico e ambiental. Este estudo mostra que é possível obter excelentes resultados implementando metodologias de controle de perdas causadas por vazamento e temperatura. Embora o objetivo principal das implementações seja aumentar a produtividade, reduzir os custos energéticos e operacionais, a redução das perdas energéticas também contribui significativamente para o meio ambiente, permitindo um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. O estudo foi realizado em uma pequena fábrica de biscoitos, localizada no município de Serra-ES, com o objetivo de apresentar um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental para redução das perdas energéticas no sistema de ar comprimido, tendo em vista que empresa utiliza em larga escala equipamentos pneumáticos, acionados por compressores de ar. Os relatórios de manutenção, apontaram que nos últimos três anos, houve aumentos consecutivos nos custos de manutenção decorrentes de vazamentos, oriundos do processo de corrosão, gerando inúmeras paradas não programadas na produção no sistema de ar comprimido. Com base nestas informações, foi proposto a substituição da tubulação por uma nova, de modo a não paralisar a produção, durante a execução do projeto. Também foi proposto o uso de proteção anticorrosiva para aumentar a vida útil da nova tubulação. Estas medidas mostraram-se bastante eficaz, permitindo uma redução de R\$ 9.566,53 por ano em energia elétrica. Buscou-se ainda um aumento da eficiência, pela redução da temperatura do ar admitido pelo compressor, visto que o excesso de energia consumida pelo equipamento, devido as elevadas temperaturas dentro da casa de máquinas, em relação ao ambiente externo gera um custo energético extra de R\$ 3.148,98 por ano.

*Keywords:* Compressor; pneumatic; maintenance; energy efficiency.

*Palavras-chaves:* Compressor; pneumático; manutenção; eficiência energética.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente os inúmeros problemas enfrentados pelo setor energético, como as crises de abastecimento energéticos que se tem percebido nos últimos anos, vem despertando cada vez mais no setor industrial um forte interesse por um gerenciamento mais racional, dos recursos energéticos disponíveis. A energia economizada com a redução das perdas, permite o investimento em inovações tecnológicas, aumentando a competitividade no setor. Devido os elevados custos de manutenção e as constates necessidades de paradas não programadas para correção, foi proposto um estudo de redução de perdas baseado na substituição da tubulação de ar comprimido, devido ao avançado estado de corrosão, por uma nova tubulação. Propôs-se ainda a mudança no local de instalação do compressor de forma a reduzir a temperatura do ar admitido durante a compressão, com objetivo de reduzir o custo energético e melhorar a produtividade da fábrica. Os resultados se comprovaram pelo aumento na produtividade e ótima redução dos custos operacionais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Ar comprimido industrial

A compressão pneumática é um ramo da engenharia mecânica, que estuda os gases comprimidos, e suas aplicações em processos industriais. O ar comprimido é utilizado em atividades de limpeza, movimentação de cargas, seleção de mercadorias, organização de produtos, posicionamento de itens em setores de logística. Além disso, é amplamente utilizado em atividades de marcação, corte de peças, prensa, embalagem e etiquetagem de produtos. Um compressor gera o ar comprimido através de um processo de captação do ar atmosférico e eleva a sua pressão, de acordo com a necessidade dos equipamentos. Os principais subsistemas de ar comprimido, incluem compressores, motores, controles, equipamentos de tratamento de ar e reservatório, a partir daí são direcionados por meio de tubulação até aos pontos de consumo, onde é utilizado em uma variedade de aplicações, como cilindros, motores ou ferramentas pneumáticas Eletrobrás/PROCEL (2005).

Os sistemas de ar comprimido, são responsáveis por uma grande parte do consumo energético nas indústrias. A ausência de manutenção ou a manutenção inadequada, provoca um elevado crescimento nos custos e indisponibilidade dos equipamentos envolvidos neste processo, além disso, entre as mais diversas variáveis que corrobora para tal situação, está a ausência de projetos ou o mal dimensionamento destes, visto que a escolha do sistema de ar comprimido exige um planejamento detalhado, prevendo o maquinário mais adequado para cada tipo de indústria e os custos benefícios de sua aplicação. Um projeto ideal deve contemplar todas as etapas, desde a escolha do compressor, bem como as ramificações das tubulações de ar comprimido, até ao ponto de consumo PARKER (2006).

De acordo com Eletrobrás/PROCEL (2005), em algumas instalações industriais as perdas no sistema de ar comprimido, ocasionados por vazamentos nas tubulações podem chegar a

20%, no entanto em alguns casos, devido a precariedade de manutenção em plantas com mais de 15 anos de uso estes números, podem ser ainda maiores, gerando desperdícios que impactam diretamente nos custos energéticos da empresa.

Quando mal dimensionados e ou mantidos os sistemas de ar comprimido industrial, representa uma grande forma de desperdícios tanto em energia elétrica quanto em manutenções corretivas, visto que durante as paradas indesejadas para corrigir algum problema, há necessidade de paralisação total ou parcial da produção. Por este motivo é necessário implementações de novas tecnologias de controle e automação, com abjetivo de minorar tais desperdícios, visto que o potencial elétrico dispendido em ar comprimido, pode variar em cada ramo da indústria Fig. 1 ou ainda de acordo com o tipo de aplicação, apresentando assim níveis diferenciados de perdas e eficiência CAVALCANTI (2003).

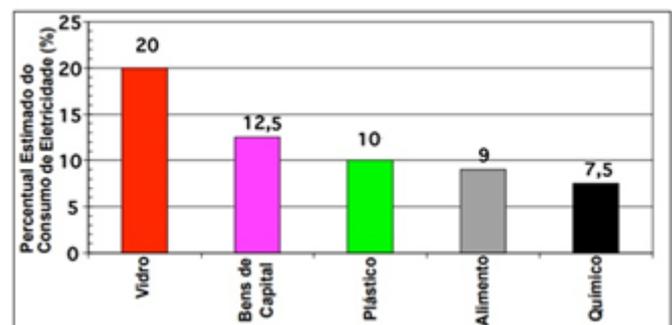


Fig. 1 Consumo de eletricidade na geração de ar comprimido, por cada tipo de indústria. Fonte: XVII SNPTEE CAVALCANTI (2003).

A compressão de ar industrial consiste basicamente na captação do ar ambiente por um equipamento pneumático, este ar posteriormente é armazenado em alta pressão para ser utilizado nas mais diversas atividades no setor industrial, porém a implantação de um sistema de ar comprimido não pode ser baseada apenas no custo inicial de implantação pois uma decisão errada pode trazer graves consequências. Os custos com a geração de ar comprimido, podem ser divididos da seguinte forma: Custo de implantação do sistema 12%, custo com manutenção ao longo da vida útil 12% e custos com o consumo de energia elétrica 76% Eletrobrás/PROCEL (2005).

### 2.2 Custo do ar comprimido industrial

De acordo com a Eletrobrás/PROCEL (2005). O custo específico do ar comprimido é difícil de ser calculado, devido a influência de vários fatores que vão muito além da eletricidade, como: manutenção, local de instalação (aluguel, impostos, etc), amortização do capital, e muitos outros. No entanto, é possível efetuar estimativas aproximadas e conservadoras de economia, desprezando-se algumas destas variáveis, desta forma o custo de geração do ar comprimido pode ser obtido através da Equação (1).

$$C_{ar} = \frac{c_{aa}}{60 \sum_{i=1}^c (Q_{ci} \times t_{cci})} \quad (1)$$

Onde:

$C_{ar}$  = Custo específico do ar comprimido ( $R\$/m^3$ );  
 $C_{aa}$  = Custo anual de geração do ar comprimido ( $R\$/ano$ );  
 $Q_{ci}$  = Vazão do compressor ( $m^3/min$ );  
 $t_{cci}$  = Tempo de funcionamento em carga ( $h/ano$ );  
 $c$  = Número de compressores no sistema (*Unid.*)

O custo da geração de anual de ar comprimido, pode ser obtido através da soma do custo do compressor, em regime de carga plena e trabalhando em vazio (2).

$$C_{ar} = C_{ac} + C_{av} \quad (2)$$

Onde:

$C_{ac}$  = Custo anual de geração, compressor em regime de carga plena ( $R\$/ano$ );  
 $C_{av}$  = Custo anual de geração, compressor trabalhando em vazio ( $R\$/ano$ );

O Custo anual do compressor trabalhando em regime de carga plena, pode ser obtido pela Equação (3).

$$C_{ac} = \sum_{i=1}^c (P_{cci} \times t_{cci}) \times C_{kwh} \quad (3)$$

Onde:

$P_{cci}$  = Potência do compressor em carga plena ( $Kw$ );  
 $C_{kwh}$  = Custo específico da energia elétrica ( $R\$/kWh$ )

O custo anual do compressor trabalhando em regime vazio, pode ser obtido pela Equação (4).

$$C_{av} = \sum_{i=1}^c (P_{cvi} \times t_{cvi}) \times C_{kwh} \quad (4)$$

Onde:

$P_{cvi}$  = Potência do compressor operando em vazio ( $Kw$ );  
 $t_{cvi}$  = Tempo de funcionamento do compressor, operando em vazio ( $h/ano$ ).

### 2.3 Influência da temperatura no custo do ar comprimido

De acordo com lei dos gases ideais, uma das formas derivadas da Equação de Clapeyron (5) define que em um sistema de compressão politrópica, o trabalho realizado na compressão é diretamente proporcional a temperatura inicial, ou de admissão, visto que a pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta, desta forma é possível comprovar que ao reduzir a temperatura de admissão do ar usado na compressão, reduz-se consequentemente o trabalho realizado pelo compressor.

$$W = \int_{v_1}^{v_2} p dV = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1 - n} \quad (5)$$

Onde:

$W$  = Trabalho realizado ( $J$ );  
 $p$  = Pressão ( $Pa$ );  
 $m$  = Massa do gás ( $g$ );  
 $V$  = Volume ( $m^3$ );  
 $m$  = Massa ( $kg$ );  
 $n$  = número de mol (*quantidade de matéria do gás*);  
 $T_1$  = Temperatura inicial do ar ( $k$ );  
 $T_2$  = Temperatura final do ar ( $k$ );  
 $R$  = Constante universal dos gases perfeitos.

O cálculo do percentual e custo de perdas, podem ser obtidos por meio das Equações (6) e (7).

$$T\% = 1 - \frac{T_2 + 273,2}{T_1 + 273,2} \times 100 \quad (6)$$

$$R\$_{Temp} = R\$_{Ger} \left( \frac{T\%}{100} \right) \quad (7)$$

Onde:

$T\%$  = Percentual das perdas de ar (%);  
 $R\$_{Temp}$  = Custo das perdas por temperatura ( $R\%$ );  
 $R\$_{Ger}$  = Custo da geração de ar ( $R\%$ ).

## 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A planta de ar comprimido industrial da fábrica de biscoitos, abordada nesta pesquisa está em operação há 06 anos, e funciona 18 horas por dia e 300 dias por ano, sendo este um total de aproximadamente 5.400 horas por ano, para efeitos de cálculos foram considerados neste estudo, o compressor trabalhando com carga plena em 85% do tempo, neste regime de operação a eficiência do motor é de aproximadamente 95%, no resto do tempo o compressor opera em vazio com eficiência em torno de 90%. O custo da energia elétrica na fábrica durante o período da pesquisa foi de 0,55 R\$/kWh.

### 3.1 Compressor Puma PSBR20B

Atualmente a fábrica dispõe de apenas um compressor da marca PUMA PSBR20B, tipo parafuso Tabela 1, com versão de transmissão direta entre o motor e a unidade, possui ainda um sistema integrado de válvula termostática, válvula de segurança, válvula de pressão mínima, separador e conexões para otimizar o funcionamento coligados diretamente ao reservatório separador ar/óleo, dotado de resfriador de ar e óleo com eletro ventilador.

**Tabela 1. Dados do compressor (PUMA PSBR20B0)**  
**Fonte: Adaptada pelo autor**

Motor		Pressão Trabalho		Deslocamento Nominal		Dimensões	Peso	Reservatório	Ruído
cv	kW	Bar	Psi	l/Seg	m³/h	(LxCxH) cm	Kg	Litros	dBa
20	15	8	116	38	136,20	59 x 158 x 155	360	270	67

O modelo utilizado Fig. 2 possui um inversor de frequência para otimizar o consumo de energia, fator que possui efeito direto nos custos energéticos, durante a produção de ar comprimido, no entanto se usados de forma errada, os

variadores de frequência não ajudam a reduzir o consumo de energia, visto que a instalação dos mesmos somente se justifica em compressores utilizados para atender as cargas variáveis, e não em compressores de carga básica Eletrobrás/PROCEL (2005).



Fig. 2 Compressor: PUMA PSBR20B. Fonte: Autor.

### 3.2 Demanda de ar comprimido na fábrica

De acordo com SAULO (2021). A análise dos dados sobre a demanda de ar comprimido consumido pelos equipamentos pneumáticos de uma determinada fábrica é de primordial importância para uma escolha correta do compressor, que irá atender às necessidades do setor produtivo principalmente em horários de pico, portanto com base na Tabela 2, foi efetuada uma análise com base na pressão de trabalho e vazão de cada equipamento da linha de produção.

**Tabela 2. Consumo de ar comprimido. Fonte: Autor**

Área	Descrição da Máquina	Psig	Barg	m³/h
Pré produção	Máquina de fermentação química	58	4,00	16,00
	Recuperador de farinha	84	5,79	13,55
Produção	Forno Rosquinhas	75	5,17	15,00
	Desenformador de biscoitos	87	6,00	25,45
Pós produção	Esteiras Transportadoras	87	6,00	51,95
	Embaladora	82	5,65	13,05
Total				135,00

O sistema de ar comprimido da fábrica foi determinado pelo somatório do consumo dos equipamentos pneumáticos, e projetado para atender com folga a demanda do setor produtivo, levando-se em conta o fator de carga e a vazão de cada equipamento, desta forma a capacidade de geração de ar comprimido do compressor atual, atende de forma satisfatória a demanda da fábrica Fig. 3.

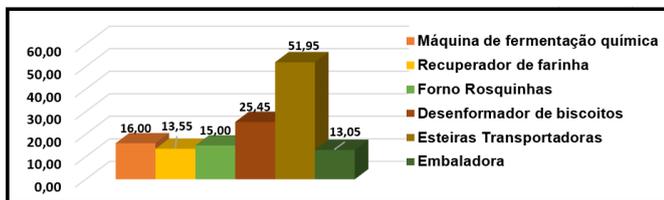


Fig. 3 Vazão em m³/h por equipamento. Fonte: Autor

### 3.3 Perdas no sistema de geração de ar comprimido

Em uma planta industrial, os custos com energia correspondem a 73% do custo total de um sistema de ar comprimido, o restante é devido as perdas pneumáticas Fig. 4 contribuindo na maioria das vezes para um grande aumento nos custos operacionais, elevando juntamente os custos de produção e

consequentemente dos produtos e bens de consumos produzido por estas empresas, reduzindo drasticamente a competitividade ABRAMAN (2008).

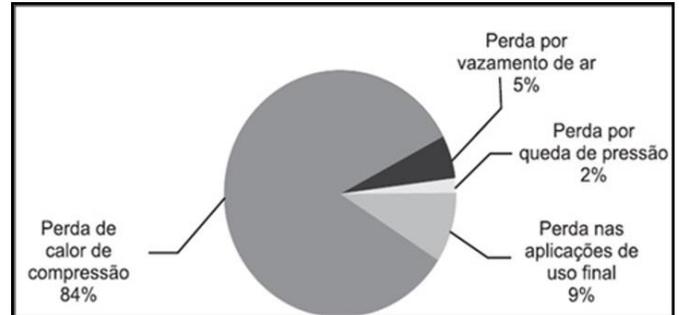


Fig. 4 Perdas características: Sistemas de ar comprimido. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (2005).

Em algumas indústrias de bens de consumo, os custos com energia elétrica nas plantas de ar comprimido, representam um dos mais elevados custos do setor produtivo, podendo chegar a 70% dos custos anuais. Portanto é necessário, uma gestão mais rigorosa neste tipo de processo dentro das organizações, de forma a reduzir as perdas e ampliar o faturamento RGI (2020).

### 3.4 Perdas inerente a temperatura de admissão do ar

Quanto menor a temperatura de aspiração do ar ambiente, menor será o consumo de energia na compressão do mesmo, este conceito pode ser claramente explicado, pela lei dos gases ideais em uma das formas derivadas da Equação de Clapeyron.

Para cada 4°C de aumento na temperatura do ar o consumo de energia aumenta em 1% para gerar o mesmo volume de ar comprimido. Porém a cada 3% na redução da temperatura de admissão, observa-se um aumento de 1% na eficiência do compressor. Visto que como ar frio tem uma densidade maior, quanto mais baixa for a temperatura do ar aspirado, maior será a massa de ar aspirada pelo compressor com a mesma vazão volumétrica, na mesma potência e trabalho VIDAL (2020).

O compressor abordado na pesquisa é acondicionado em um compartimento com pouca ventilação natural, destinado a abrigar diversos equipamentos eletromecânicos. Este fator contribui significativamente para aumento da temperatura do ar no ambiente, mantendo o local com uma temperatura muito elevada em cerca de 53°C.

A influência da temperatura na eficiência do compressor da fábrica, verificou-se pela maior quantidade de rearme do sistema, nas mesmas condições de operações do sistema. Porém quando parte dos equipamentos da casa de máquina estão desligados a quantidade de rearme diminui de forma proporcional com a redução da temperatura. No entanto a redução ocorre de forma lenta de gradual visto que não há circulação de ar dentro do ambiente. Além disso, os demais equipamentos não podem ser desligados totalmente, pois a produção da fábrica depende integralmente de todas as máquinas funcionando, durante o expediente da fábrica.

Partindo do princípio de aumento da eficiência pela redução da temperatura, efetuou-se o cálculo do excedente de energia consumida pelo equipamento, relacionando a temperatura da casa de máquinas, com a temperatura ambiente do lado externo, onde observou-se, a possibilidade de redução da temperatura média de admissão do ar em cerca de 50% da temperatura atual, sendo este valor obtido por meio das Equações (6) e (7).

Para efeitos de cálculo instantâneo da redução de perdas por temperaturas, utilizou-se a temperatura média, no interior da casa de máquinas em comparação com a temperatura do ambiente externo. Porém os dados reais podem ser obtidos ao utilizar a temperatura ambiente local, ao longo do ano. Os dados reais de temperatura anual local, foram obtidos no site Clima tempo, de acordo com o mapa de calor na região da fábrica, desta forma foi possível avaliar de forma mais precisa a redução ao longo do ano.

Para obter o percentual real de redução de perdas por ajustes na temperatura, correlacionou-se as temperaturas do ar aspirado com os percentuais de potência economizados, através das Equações (6) e (7), utilizando como parâmetros as informações do histórico de temperatura anual Fig. 5 e observou-se que ao utilizar o mapa de temperaturas, a redução das perdas é ainda maior.

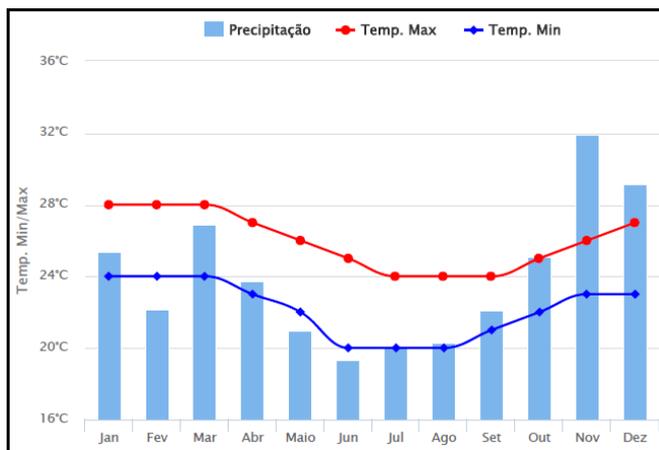


Fig. 5 Histórico de temperatura: Cidade de Serra-ES. Fonte: CLIMA TEMPO (2021).

Com base nestes dados, notou-se que a elevada temperatura de 53°C no atual local de instalação do compressor, contribui significativamente para a sua perda de sua eficiência instantânea, se comparado com a temperatura ambiente em torno de 29°C. Com base apenas neste resultado percebe-se que a alta temperatura, da casa de máquinas, gera um custo anual de aproximadamente R\$ 3.148,98. Porém ao utilizar como base o mapa de temperatura real ao longo do ano na região, o valor destas perdas pode chegar a R\$ 4.414,68 Tabela 3 impactando diretamente nos custos energéticos da empresa.

A instalação correta do compressor em uma área externa com uma boa circulação de ar, possibilita a redução na temperatura na admissão, gerando uma redução de até 7,9% nas perdas por temperaturas, na geração do ar comprimido, este valor foi obtido a partir da Equação (6).

**Tabela 3. Redução de perdas por temperaturas.**

Fonte: Autor

MÊS	MÉDIA (°C)	T%	R\$Temp
Janeiro	26	10,4	R\$ 344,16
Fevereiro	26	10,4	R\$ 344,16
Março	26	10,4	R\$ 344,16
Abril	25	10,7	R\$ 356,45
Mai	24	11,1	R\$ 368,83
Junho	22,5	11,7	R\$ 387,55
Julho	22	11,9	R\$ 393,83
Agosto	22	11,9	R\$ 393,83
Setembro	22,5	11,7	R\$ 387,55
Outubro	23,5	11,3	R\$ 375,05
Novembro	24,5	10,9	R\$ 362,63
Dezembro	25	10,7	R\$ 356,45
<b>Anual</b>	<b>24,08</b>	<b>11,08</b>	<b>R\$ 4.414,68</b>

### 3.5 Perdas inerente aos vazamentos por corrosão

De acordo com PROCEL (2009) Todos os sistemas de ar comprimido podem conter vazamentos e são comuns perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido. Portanto, identificar, eliminar e reduzir os vazamentos é uma das maneiras mais simples e eficientes de economizar a energia necessária para a compressão do ar.

A corrosão é um dos principais responsáveis por vazamentos nas tubulações, o processo de corrosão surge em tubulações antigas, porém com o passar dos anos danificam toda a estrutura das instalações. A corrosão pode ser definida, como a degradação a partir da superfície de um metal, ocasionada pelo meio no qual o mesmo está submetido. Para o surgimento deste processo ocorre reações de oxidação e de redução (redox) que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal SILVA M. (2014).

O custo causado pela corrosão é alto, chegando a 4% do PIB do Brasil em 2015, um valor equivalente a mais de 200 bilhões de reais. Sendo que o problema ainda se torna mais prejudicial em regiões litorâneas. O aumento nos custos de manutenção torna-se cada vez mais expressivos pois a maioria das empresas só se preocupam com o problema no momento em que processos e equipamentos já foram prejudicados FIEP (2019).

Identificou-se, processos de corrosão acelerado em diversos pontos da tubulação de ar comprimido da fábrica, principalmente nos trechos exposto a altos índices de umidade. Devido ao avançado processo de corrosão a execução de uma nova tubulação, impactam diretamente nos custos de projetos, acrescidos dos custos inerentes a paralização da produção durante a realização dos serviços.

De acordo com Eletrobrás/PROCEL (2005). O teste nas tubulações deve ser realizado colocando o compressor em carga plena, até a pressão da rede atingir o desarme, após o

desarme, aciona-se o primeiro cronômetro, deixando-o funcionar durante todo tempo do teste. Quando a pressão da linha diminui e o compressor entra em regime de compressão, aciona-se o segundo cronômetro que será interrompido após ao atingir a pressão de desligamento.

O procedimento foi repetido durante cinco vezes na tubulação da fábrica e ao final da última repetição, quando os cronômetros foram desligados, observou-se que o volume de ar deslocado ao longo do tempo de compressão efetiva, foi de aproximadamente 0,55 m<sup>3</sup>/min, sendo este o equivalente ao ar que atravessa os orifícios com vazamento, este valor foi obtido somando-se os tempos de compressão e calculados pela Equação (8).

$$Q_{vaz} \times T = Q_{comp} \times t \quad Q_{vaz} = \left( \frac{Q_{comp} \times t}{100} \right) \quad (8)$$

Onde:

$Q_{comp}$  = capacidade nominal de produção do compressor usado no teste (m<sup>3</sup>/min);

$T$  = tempo total (alívio + compressão) registrado no primeiro cronômetro (min);

$Q_{vaz}$  = vazão atribuída aos vazamentos (m<sup>3</sup>/min);

$t$  = tempos do compressor em carga (compressão) registrado pelo segundo cronômetro (min).

O percentual de 24% de vazamento em relação a vazão total do sistema durante o teste, gera um total de perdas equivalentes a 9.566,53 R\$/ano, que pode ser obtido pela Equação (9).

$$\%_{Perdas} = \left( \frac{Q_{vaz}}{Q_{total}} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde:

$Q_{total}$  = Vazão total dos compressores que funcionam em simultaneidade (m<sup>3</sup>/min).

Para eliminar as perdas referente aos vazamentos no sistema, evitando as constantes intervenções de reparo nos trechos danificados. Propôs-se a substituição da tubulação antiga por uma nova rede em paralelo, tendo em vista que a mesma poderá ser executada sem a necessidade de paralização da produção. A nova tubulação deverá ser submetida a um tratamento anticorrosivo, com objetivo de aumentar a vida útil da instalação.

Dentre os diversos meios de tratamentos para proteção anticorrosiva, destaca-se a pintura, por ser uma técnica relativamente simples, e com uma excelente relação custo benefício. Possibilitando dentre as suas diversas vantagens uma melhor identificação visual, estética, impermeabilização, redução das incrustações e outros SILVA M. L. (2016).

### 3.6 Análise econômica

O tipo de análise adotada neste estudo, apresenta os resultados de acordo com as necessidades e condições financeira da fábrica, neste caso pretende se determinar: O tempo de retorno

(simples e capitalizado), a economia mensal gerada pelas reduções e o custo da energia economizada com as mudanças propostas. O custo referente as novas implementações serão calculadas com base nas implementações necessárias para a redução das perdas abordadas neste estudo de caso.

### 3.7 Implementações devido a temperatura

O custo das implementações para redução de perdas devido à redução de temperatura, foram orçados na ordem de R\$ 11.345,00 referentes a realocação do compressor para a área externa, ao lado da atual casa de máquinas, bem como a construção de um abrigo que possibilite, uma melhor circulação do ar ambiente. O valor economizado com esta implementação será R\$ 3.148,98 por ano, obtido pelas Equações (6) e (7).

### 3.8 Implementações devido aos vazamentos por corrosão

O custo das implementações para redução de perdas devido à eliminação de vazamentos por corrosão, foram orçados em R\$ 24.280,00, sendo este valor, referente a substituição da tubulação antiga por uma nova, incluindo a realização de tratamentos para proteção anticorrosiva, com objetivo de aumentar a vida útil da nova instalação. O valor anual economizado com esta implementação será R\$ 9.566,53 obtido pelas Equações (8) e (9).

### 3.9 Tempo de retorno simples

O tempo de retorno simples, foi definido como o tempo necessário para que a diferença entre o capital investido nas implementações retorne, na forma de parcelas mensais que deixarão de ser pagos na conta de energia gerando uma economia mensal ao empreendedor. O tempo de retorno simples não considera a capitalização do valor da economia mensal, portanto a taxa de juros é zero, e tempo de retorno simples, pode foi obtido pela Equação (10).

$$T_{rs} = \frac{C_{imp}}{E \cdot E_{R\$/Ano}} \quad T_{rs} = 2,8 \text{ meses} \quad (10)$$

Onde:

$E \cdot E_{R\$/Ano}$  = Valor economizado com as implementações (R\$);

$T_{rs}$  = Tempo de retorno simples (meses);

$C_{imp}$  = Custo de implementações (R\$).

### 3.10 Tempo de retorno capitalizado

No tempo de retorno capitalizado, determinou-se uma taxa de juros e obteve-se o resultado de como o valor do investimento retornará, em parcelas mensais este prazo, foi obtido pela Equação (11) aplicando se uma taxa de 13%.

$$T_{rc} = \frac{\log \left( \frac{E \cdot E_{R\$/Ano}}{E \cdot E_{R\$/Ano} - C_{imp} \left( \frac{1}{100} \right)} \right)}{\log \left( 1 + \frac{1}{100} \right)} = 3,7 \text{ meses} \quad (11)$$

Onde:

$i$  = Taxa de retorno em percentual (13%).

### 3.11 Retorno líquido simples ao longo da vida útil

De acordo com API ENERGY (2014) os equipamentos dinâmicos ou rotativos, fabricados de acordo com a normas American Petroleum Institute, o fabricante deve projetar e construir os equipamentos com uma vida útil de serviço mínima de 20 anos. O retorno ao longo da vida útil, advém do fato de que, após amortização dos custos as novas implementações continuarão proporcionando retornos financeiros mensal até o final da sua vida útil, o compressor atual está em operação há 06 anos. Portanto para efeito de cálculos, considerou-se mais 14 anos de vida útil, este valor foi determinado considerando-se a capitalização das parcelas mensais, para este cálculo utilizou-se a Equação (12).

$$R_s = (E \cdot E_{R\$/Anual} \times V_u) - C_{imp} \quad R\$ 142.391,49 \quad (12)$$

Onde:

$R\$$  = Valor total do retorno líquido Simples ( $R\$$ ).

### 3.12 Retorno capitalizado ao longo da vida útil

Para descobrir capitalização do valor retornado ao longo da vida útil do equipamento, considerou-se uma taxa de juros de 13% nos cálculos, aplicados em cada parcela que retornarão todos os meses, desta forma obteve-se um valor presente do retorno capitalizado pela Equação (13).

$$R_{cap} = \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{V_u} - 1}{\frac{i}{100} \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{V_u}} \times (E \cdot E_{R\$/Anual} - C_a) \quad (13)$$

$R\$ 156.119,25$

Onde:

$R_{cap}$  = Valor total do retorno líquido Simples ( $R\$$ ).

## 4 CONCLUSÃO

O presente estudo atende de forma positiva as necessidades da fábrica. Visto que as reduções de perdas referente a altas temperatura de compressão, comprova-se pelo aumento de eficiência do compressor após a implementações, visto que este ajuste permite a compressão de uma maior massa de ar com a mesma potência consumida anteriormente. Comprovou-se ainda que as implementações para redução de perdas devido aos vazamentos, permite uma considerável redução na tarifa de energia elétrica, visto que o ar comprimido antes desperdiçado, será utilizado, na produção de uma maior quantidade de biscoitos, gerando novas receitas.

A substituição da tubulação de ar comprimido, por uma nova, mostrou-se uma forma eficiente de solução, para o problema de vazamentos, ocasionados pela corrosão, visto que o novo

projeto, não paralisa a produção durante a execução. O uso de proteção anticorrosiva, permite um aumento na vida útil da tubulação, reduzindo assim os custos com manutenções.

Como a mudança de local de instalação do compressor, reduz a temperatura do ar admitido na compressão em até 50%, esta implementação, mostra-se como uma excelente forma de redução do consumo energético e operacional, gerando aumento na produtividade.

De acordo com este estudo de caso, pode-se afirmar que o tempo de retorno é um muito reduzido frente aos resultados apresentados, uma vez que o valor retornado ao longo da vida útil, é sete vezes maior que os investimentos propostos. Com base no levantamento de campo, pesquisa bibliográfica e cálculos mostrados, pode se afirmar que o projeto é viável.

Durante o estudo percebeu-se, uma grande necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas ao tema, visto que as constantes perdas energéticas, ocasionadas por vazamento em sistemas de ar comprimido, mal geridos ou mantidos, representam um grande prejuízo econômico e ambiental.

Destaca-se ainda a importância de se estabelecer procedimentos de manutenção preventiva com base nos resultados de laudos de estanqueidades. Recomenda-se, portanto, que trabalhos futuros, considerem a implementação de sistemas de inteligência artificial de Machine Learning, que possibilite uma análise de perdas em tempo real baseado em cálculos matemáticos que relacione a vazão gerada pelo compressor ao longo da sua vida útil, com o histórico da produção e dados de custos de demandas anteriores, permitindo aos gestores uma rápida tomada de decisão.

Sugere-se também a incorporação de sensores de temperatura interligado ao sistema, de forma a otimizar o funcionamento dos compressores para que as maiores demandas ocorram em horários com menores índices de temperaturas.

## 5 REFERÊNCIAS

- ABRAMAN. Associação Brasileira de Manutenção. *Eficiência energética em sistemas de ar comprimido*. VIII Seminário Paranaense de manutenção. CURITIBA - PR 2008.
- API ENERGY, P. I. *American Petroleum Institute*. API Standard 617 - Axial and Centrifugal Compressors and Expander compressors - Canadá 2014. Disponível em: <www.api.org/pubs> acesso em 10 de jan. 2022.
- CAVALCANTI, E. S. *Uso do ar comprimido no setor industrial* (17 ed. Uberlândia-MG 2003: SNTPEE (Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica).
- CLIMA TEMPO. (s.d.). *Climatologia em Serra, BR*. Fonte: Histórico de previsão do tempo em Serra-ES. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br> acesso em 05 de jan. 2022.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Eficiência energética em sistemas de ar comprimido*. Rio de Janeiro, RJ 2005.

FIEP. *Efeitos da corrosão no PIB de um país*: AGÊNCIA SISTEMA FIEP Curitiba PR 2019 Disponível em: < <https://agenciafiiep.com.br/2019/03/18/efeitos-da-corrosao-afetam-o-pib-de-um-pais/>> acesso em 20 de jun 2021.

PARKER. (2006). *Dimensionamento de redes de ar comprimido*. Jacareí, SP: Parker Training Brasil - M1004 BR.

PROCEL. (2009). *Compressores guia básico*. Rio de Janeiro RJ: CNI – Confederação Nacional da Indústria / PROCEL INDÚSTRIA – Eficiência Energética Industrial.

RGI. Redução dos custos na geração de ar comprimido. Ponta Grossa, PR 2020. *Revista Gestão Industrial* - Universidade Federal de Santa Catarina.

SAULO, A. Como projetar e avaliar um sistema de ar comprimido. Fonte: *CBA Central Brasileira de Automação* 2021: Disponível em: < <https://cba-automacao.com.br/boas-praticas-em-ar-comprimido/>> acesso em 17 de dez 2021.

SILVA, M. Corrosão do aço-carbono: *Uma abordagem do cotidiano no ensino de química*. Química Nova 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140313>> acesso em 17 de jan. 2022.

SILVA, M. L. (2016). *Tratamento Anticorrosivo da Superfície Interna Tanques de Armazenamento*. Coordenação de curso de Engenharia Química, p. 04.

VIDAL, J. Redução dos custos na geração de ar comprimido em instalações industriais. *Revista Gest. Industrial* 2020, v. 16, n. 3, p. 175-193, p. 193. doi:10.3895/gi.v16n3.954