

INSPEÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDE DE AR COMPRIMIDO UTILIZANDO ULTRASSOM: ESTUDO DE CASO E ANÁLISE CRÍTICA

Carlos de Souza Almeida⁽¹⁾

Cleiton Moya de Almeida ⁽²⁾

RESUMO

Na abordagem contemporânea da manutenção, vazamentos em redes de ar comprimido podem gerar custos significativos e problemas de desempenho em sistemas pneumáticos, o entendimento destes fatores são fundamentais para a elaboração da estratégia de manutenção dos ativos. Neste contexto, o objetivo deste artigo será apresentar uma visão geral do estado da arte de inspeção de vazamentos em redes de ar comprimido utilizando ultrassom, bem como verificar sua aplicabilidade e viabilidade no contexto da manutenção. Assim, pretende-se apresentar um estudo de caso, com a aplicação da técnica em uma planta industrial farmacêutica, permitindo verificar na prática as vantagens e limitações desta ferramenta, da mesma forma e não menos importante, apresentar uma estimativa de custos dos vazamentos identificados e a análise crítica dos resultados finais.

Palavra chave: ar comprimido, preditiva, custos, desempenho, pneumático.

1. INTRODUÇÃO

Já há algum tempo, a busca por excelência, para a maioria das corporações, deixou de ser algo desejável e passou a ser algo essencial, sem a qual não se sobrevive no atual mercado globalizado. Kardec, et al, (2002, p. 44) nos lembra da dura realidade, atualmente, enfrentada pelas empresas:

(...) Elas têm que enfrentar grandes dificuldades e preocupações em suas rotinas de atuação – como a concorrência extremamente acirrada, as sempre crescentes exigências dos clientes e consumidores, os problemas energéticos, os requisitos ambientais e as constantes mudanças ocorridas em “real time” – em busca de sua sobrevivência e da manutenção e ampliação de seu espaço no mercado.

Segundo dados da Eletrobrás (2005), cerca de 80% das instalações de

¹ Gestalent Consultoria e Treinamento Ltda, Coordenador Executivo do ENGEMAN - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenheiro de Manutenção, Diretor Técnico.

² Laboratórios Roche - Pós graduação em Engenharia de Manutenção - ENGEMAN - Universidade Federal do Rio de Janeiro - Engenheiro de Controle e Automação.

sistemas de ar comprimido no Brasil possuem oportunidades de ganhos com a redução de vazamento, sendo que estes ganhos podem representar até 20% na redução do consumo anual de energia elétrica do sistema. Além disso, a empresa ressalta que, em instalações com mais de 15 anos de idade nas quais a manutenção é precária, mais de 20% do ar comprimido gerado pode se perder em vazamento.

Assim, a inspeção de vazamentos em redes de ar comprimido pode ser uma ferramenta importante para a busca da excelência e eficiência nas operações, seja por empresas especialistas em prestação de serviços de manutenção, seja por empresas de produção que realizam a manutenção e gestão de ativos.

1.1. Inspeções de vazamentos no contexto da Manutenção

A inspeção de vazamento de ar comprimido pode ser vista tanto como uma atividade de manutenção preventiva, como também, uma ferramenta para a gestão dos ativos das organizações.

1.1.1. ABORDAGEM CLÁSSICA DA MANUTENÇÃO

Segundo Tavares (2015), a manutenção preventiva pode ser definida como:

Todo serviço de inspeções sistemáticas, ajustes e conservação e eliminação de defeitos, buscando evitar falhas.

Os vazamentos de ar comprimido podem ser considerados defeitos nos sistemas ou máquinas pneumáticas, os quais podem ocasionar a falhas nestes sistemas ou equipamentos. Se as manutenções das redes de ar comprimido forem realizadas somente com bases em intervalos de tempo pré-definidos e os vazamentos não forem inspecionados regularmente, pode acontecer de existirem vazamentos não observados, gerando um defeito. Entretanto, se forem efetuadas medições regulares na rede de ar comprimido e, desta forma, verificado a perda de pressão na rede ou a vazão de ar comprimido desperdiçado, os defeitos podem ser transformados em números e, desta forma, gerenciados.

Neste contexto, a inspeção de vazamentos de ar comprimido pode ser considerada uma técnica de manutenção preventiva por estado, também denominada por alguns autores de “manutenção preditiva”.

1.1.2. MANUTENÇÃO DA PRODUTIVIDADE TOTAL (TPM)

Conforme Nakajima (1991, apud ARCURI FILHO, 2005), a Manutenção da Produtividade Total é uma filosofia de manutenção que tem por objetivo a

obtenção da efetividade global máxima (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*) das instalações, ao longo do seu ciclo de vida, envolvendo todas as pessoas da organização.

O TPM se baseia em 8 pilares, bastante conhecidos e discutidos na literatura de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2015). Neste contexto, as inspeções de vazamentos de ar comprimido, neste tipo de atividade se relaciona sobretudo com 2 pilares:

- Melhoria focada: A inspeção de vazamento permite a redução de consumo de energia aumento de desempenho dos sistemas e equipamentos.
- Manutenção autônoma: Pode-se considerar a possibilidade e viabilidade das inspeções de vazamentos de ar comprimido com ultrassom serem realizadas pelos próprios operadores das máquinas e processos, visto que a aplicação da técnica é relativamente simples.

1.1.3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Segundo Slack, Chambers e Jhonston (2008), a filosofia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) pode ser resumida como “se as falhas não podem ser evitadas, é melhor evitar que elas tenham importância”. Neste sentido, a MCC propõe uma série estudos no sistema modo minimizar o custo do ciclo de vida da instalação (LCC), atuar conforme os modos de falha e realizar apenas as atividades que precisam ser feitas (SIQUEIRA, 2014).

No contexto da Manutenção Centrada em Confiabilidade, as inspeções de vazamentos de ar comprimido devem ser analisadas criticamente, de forma a verificar se ela realmente irá agregar para otimizar a disponibilidade, o custo do ciclo de vida ou preservar as funções dos equipamentos. Para isso, um estudo dos modos de falha e efeitos (FMEA) dos equipamentos e sistemas é essencial.

1.1.4. GESTÃO DE ATIVOS

Conforme descrito na norma ABNT NBR ISO 55000 (2014, p. 3):

A gestão de ativos envolve o equilíbrio de custos, oportunidades e riscos contra o desempenho desejado dos ativos, para alcançar os objetivos organizacionais. Pode ser necessário considerar este equilíbrio em diferentes escalas de tempo.

Ou seja, do ponto de vista da abordagem da gestão de ativos, é fundamental que se leve em consideração os custos nas diversas etapas do ciclo de vida dos ativos, incluindo as fases de operação e manutenção. Esta nova abordagem preconiza que o item deve ser medido, avaliado, mantido e

descartado quando os seus padrões já não mais atendem as necessidades da organização.

Neste contexto, a inspeção de vazamentos de ar comprimido pode ser considerada como uma ferramenta para se minimizar os custos da operação e manutenção dos sistemas de geração, distribuição e utilização de ar comprimido, contribuindo assim para os objetivos da gestão de ativos.

2. VISÃO GERAL DO ESTADO DA ARTE

2.1. Princípio de funcionamento dos detectores acústicos

Os instrumentos atualmente disponíveis no mercado para a detecção de vazamentos de ar comprimido utilizando ultrassom possuem todos, basicamente, a mesma tecnologia e princípios, sendo poucas as variações construtivas.

A medição do ultrassom é realizada através de uma matriz de transdutores do tipo piezelétricos os quais convertem as variações de pressão da onda sonora em sinais elétricos.

Um circuito heteródino converte então o ultrassom captado em uma onda sonora com frequência audível, o qual o operador do instrumento pode escutar através de um fone de ouvido conectado ao instrumento, conforme ilustrado nas figuras 1 e 2.

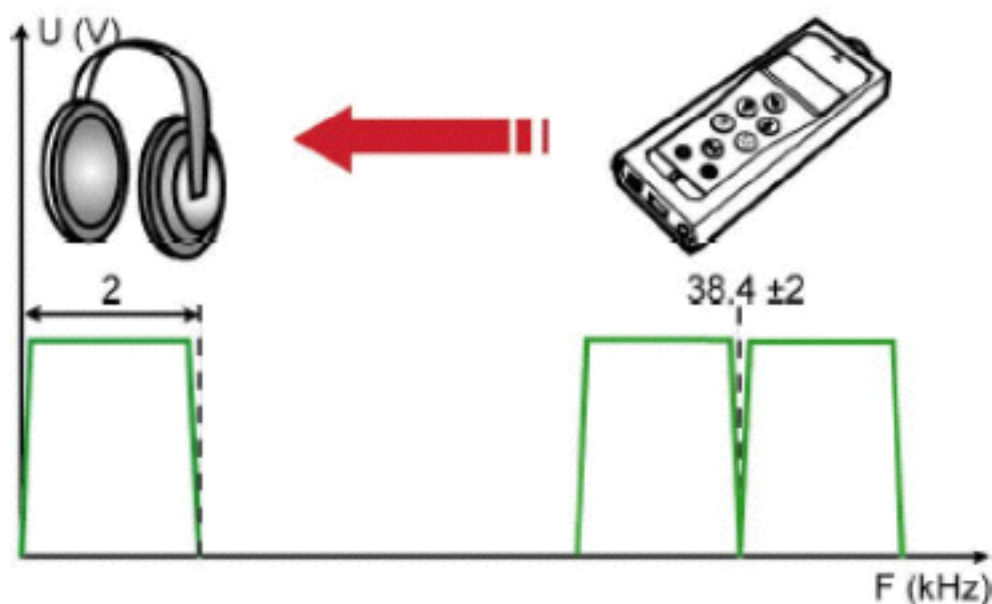


Figura 1: Condicionamento de sinal em um detector de ultrassom
Fonte: SDT (2014b)



Figura 2: Inspeção de vazamentos com um detector de ultrassom
Fonte: UE Systems (2014)

2.2. Fontes de influências em medições experimentais

A fim de compreender melhor quais são as principais influências nas inspeções de vazamentos de ar comprimido com ultrassom, Wolstencroft (2008) realizou uma série de experimentos de vazamentos / escoamentos de ar comprimido com condições.

Com relação à direcionalidade, Wolstencroft (2008) recomenda que, sempre que possível, devem-se realizar medições em diversas direções a fim de se medir e registrar o maior valor possível da intensidade de ultrassom. Caso não for possível medir em realizar a medição em diversos ângulos, recomenda a aplicação de fatores de correção apresentados no trabalho.

Outro grande fator de influência observado por Wolstencroft (2008) é a distância de medição, entre o detector e a fonte de vazamento. Como resultado, concluiu-se que, para distâncias superiores a 0,4 m, as leituras apresentaram flutuações / baixa repetibilidade, sendo que o trabalho recomenda padronizar as inspeções em campo utilizando a distância de 15cm. Caso esta distância não puder ser medida, o trabalho fornece alguns coeficientes de correção.

2.3. Método de inspeção e detecção

Uma metodologia geral inspeção e detecção de vazamentos e ar comprimido, baseada em procedimentos e recomendações dos fabricantes de detectores de

ultrassom é apresentada em (ALMEIDA, 2016). Esta metodologia consiste em 5 etapas, este método será melhor detalhado no estudo de caso.

- 1. Pré-identificação e correção dos vazamentos audíveis;**
- 2. Definição de rotas e zonas de inspeção;**
- 3. Inspeção em campo;**
- 4. Estimativa de custos;**
- 5. Planejamento e reparo dos vazamentos.**

3. ESTUDO DE CASO

O objetivo do estudo de caso foi verificar, em termos técnicos e financeiros, a viabilidade da aplicação da técnica inspeção de ultrassom propagado em ar, com finalidade de detecção de vazamentos de ar, nos processos e linhas de produção de uma fábrica de medicamentos.

3.1. Processo estudado

Para o estudo da viabilidade de aplicação da técnica de inspeção de vazamentos de ar comprimido com ultrassom, foi escolhido como “piloto” (primeiro processo em que a técnica foi aplicada) o processo denominado Granulação. Os principais equipamentos e tubulações deste processo ficam instalados em uma área técnica, mostrada na figura 3.



Figura 3: Área técnica do processo sob estudo
Fonte: O autor

A pressão de operação dos componentes pneumáticos deste sistema está na faixa de 6,0 bar a 6,5 bar (pressão manométrica). Para fins de estimativas neste trabalho, considerou-se a pressão de operação como sendo constante em todo o sistema e igual a 6,0 bar (manométrica).

3.2. Instrumento utilizado

O detector de ultrassom utilizado neste estudo de caso foi o Ultraprobe® 10.000 do fabricante UE Systems®, mostrado na Figura 4.



Figura 4: Detector de Ultrassom Ultraprobe® 10.000
Fonte: Adaptado de UE Systems (2014)

3.3. Metodologia de inspeção

A metodologia de inspeção deste trabalho foi elaborada com base em recomendações dos fabricantes dos detectores de ultrassom e foi dividida em 5 etapas, explicadas nas subseções abaixo.

3.3.1. PRÉ-IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DOS VAZAMENTOS AUDÍVEIS

O primeiro passo, antes de iniciar as inspeções com o detector de ultrassom, é caminhar pela planta e identificar os vazamentos audíveis, ou seja, os que não necessitam de auxílio de um detector de ultrassom para serem identificados. Estes vazamentos devem ser registrados e reparados porque, além de apresentarem elevado potencial de custos, também podem dificultar a localização de vazamentos menores

Neste estudo de caso, não foram identificados nas áreas técnicas do processo de Granulação vazamentos audíveis. Porém, é importante ressaltar que foram analisadas somente as tubulações e componentes nestas áreas. Não foram inspecionadas tubulações e os componentes desde a origem da instalação (compressores de ar).

3.3.2. DEFINIÇÃO DE ROTAS E ZONAS DE INSPEÇÃO

A definição e registro das rotas é importante para garantir uma sistematização da inspeção. Ela diminui a probabilidade de componentes importantes não

serem verificados devido a esquecimento e evita inspeções duplicadas (retrabalho).

Neste estudo de caso, a rota de inspeção foi definida de em campo considerando-se a premissa de que, em princípio, todos os componentes pneumáticos do processo localizados na referida área técnica do processo seriam inspecionados. Dentre estes componentes, tem-se:

- **Tubulações de ar comprimido;**
- **Válvulas reguladoras de pressão;**
- **Relés pneumáticos;**
- **Manômetros;**
- **Conexões.**

3.3.3. INSPEÇÃO EM CAMPO

A inspeção em campo pode ser subdividida em três etapas:

- **Localização e delimitação de regiões com prováveis vazamentos;**
- **Detecção dos componentes com vazamento;**
- **Identificação e registro dos vazamentos.**

a) Localização e Delimitação de Regiões com Prováveis Vazamentos

A localização e delimitação de regiões com prováveis vazamentos é realizada através da aplicação do método de varredura “grosso-fino”, ilustrado na Figura 5. Este método consiste em andar pela rota de inspeção pré-determinada e realizar movimentos de varredura em diversas direções, e em ambos sentidos, utilizando o módulo de detecção de ultrassom de longa distância. O objetivo é localizar possíveis regiões com a presença de vazamentos de ar comprimido.

Para a localização das regiões, recomenda-se ajustar a sensibilidade do detector de ultrassom para o máximo valor. Após a detecção da região, o valor de sensibilidade deve ser reduzido gradualmente a fim delimitar a região e seus e prováveis componentes com vazamento.

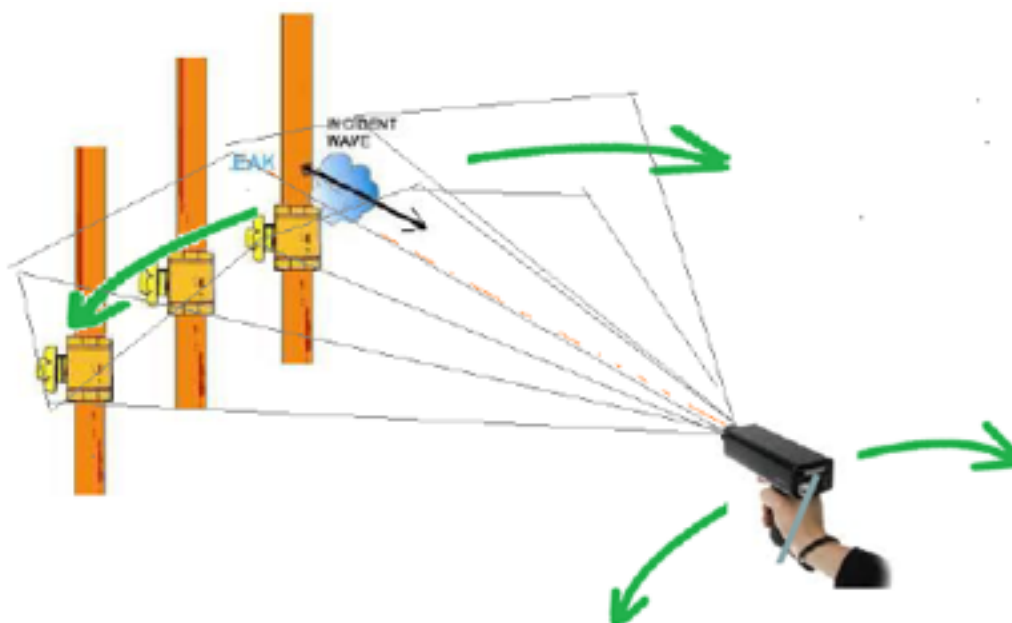


Figura 5: Método de varredura grosso-fino
 Fonte: Instronic (2015)

Para a etapa de localização e delimitação das regiões com prováveis vazamentos, utilizou-se o módulo de detecção de faixa ampla do instrumento. Este módulo, mostrado na figura 6, permite detectar em qual região do processo há presença de ultrassom. Porém, ele não é adequado para definir qual componente específico está gerando o ultrassom.



Figura 6: Módulos de detecção de faixa ampla e focal
 Fonte: Adaptado de UE Systems (2014)

A figura 7, ilustra o processo de detecção de regiões com prováveis vazamentos.



Figura 7: Detecção da região com provável vazamento
Fonte: o autor

b) Identificação de componentes com prováveis vazamentos

Após a identificação de uma região com provável vazamento, os componentes específicos foram inspecionados através de um módulo de detecção focal, também mostrado na Figura 5. Este módulo permite restringir o volume e direção a qual o ultrassom é detectado. A Figura 8 ilustra o processo de detecção focal.



Figura VIII: Detecção de componente com provável vazamento
Fonte: O autor

Após a identificação dos componentes com prováveis vazamentos, os valores de nível sonoro foram medidos e registados a uma distância entre 15cm e 30cm, conforme recomendado na seção 2.2. Os resultados são apresentados na seção 3.4.

c) Identificação e registro dos vazamentos.

Além disso, aplicou-se no componente uma solução de água e sabão neutro (substância tenso-ativa) com o objetivo de verificar a formação de bolhas e, desta forma, identificar e comprovar a ocorrência de vazamento, A Figura 9 mostra um exemplo de regulador pressão no qual foi utilizado esta técnica.



Figura 9: Identificação visual de vazamentos
Fonte: O autor

3.4. Resultado das Inspeções

Após as inspeções nas áreas técnicas do processo de estudado, foram identificados um total de nove fontes de vazamento de ar comprimido, listados na Tabela I.

Tabela I: Vazamentos identificados

Número	Equipamento	Instrumento / componente	Intensidade
1	Vaso "VG"	Válvula reguladora V9320	37 dB
2	Vaso "VG"	Bloco <i>manifold</i> 12PF	35 dB
3	Painel 7317 PNS1	Válvula reguladora V2650	57 dB
4	Painel 7317 PNS 1	Atuador K5520	56 dB
5	Painel AK01	Conexão 21PB 6Y2	30 dB
6	Painel 7318 AK10	Conexão de entrada de ar (N/I)	20 dB
7	Painel 7315	Válvula direcional 52EL 1Y2	65 dB
8	Painel 7315	Válvula direcional 12FK 1Y2	43 dB
9	Painel 7315	Válvula reguladora V2650	59 dB

Fonte: O autor

3.5. Estimativa de Custos

Para estimar os custos dos vazamentos de ar, é necessário correlacionar a vazão de ar com o nível sonoro de ultrassom medido no vazamento. Entretanto, esta estimativa é uma tarefa bastante complicada. Além da dificuldade teórica em se correlacionar as turbulências com os sons gerados (audíveis e ultrassons), diversos fatores influenciam na geração de e propagação do ultrassom:

- **Pressão do fluido;**
- **Tipo de tubulação / componente;**
- **Geometria do orifício de vazamento;**
- **Tipo do ambiente (local aberto / fechado);**
- **Distância da medição (fenômeno de atenuação);**
- **Ângulo de medição (influência da refração no jato);**
- **Fenômenos de refração, reflexão, reverberação e interferências;**

Não obstante a estas influências, alguns fabricantes de detectores de ultrassom fornecem tabelas ou planilhas, as quais permitem estimar a vazão volumétrica de um vazamento a partir do nível sonoro de ultrassom detectado.

3.5.1. ESTIMATIVA DE CUSTO DO AR COMPRIMIDO

O sistema de ar comprimido da fábrica na qual se realizou este trabalho é composto por dois compressores, um de potência de 75 kW (compressor 1) e

outro de potência de 110 kW (compressor 2). A instalação é mostrada na Figura 10. As características técnicas destes compressores são mostradas na Tabela II.



Figura 10: Compressores
Fonte: O autor

Tabela II: Características dos compressores

Características	Compressor 1	Compressor 2
Fabricante:	Atlas Copco	Atlas Copco
Modelo:	ZR 75	ZR 110
Ano de fabricação:	2003	2005
Pressão manométrica máxima na saída (bar):	7,25	9,8
Descarga livre efetiva (m ³ /min) @ 1 bar (abs.), 20 °C:	12,8	21,1
Potência do motor (kW):	75	110
Tensão de alimentação (V):	380	380

Fonte: Dados de placa e manuais dos compressores

Ambos os compressores estão interligados em paralelo ao reservatório de ar comprimido e ao sistema de distribuição. A estratégia de operação dos mesmos depende da demanda de ar comprimido da fábrica. Existem 3 cenários possíveis de operação:

- **Cenário 1: Operação somente com o compressor 1;**
- **Cenário 2: Operação somente com o compressor 2;**
- **Cenário 3: Operação com os compressores 1 e 2 em paralelo.**

A partir dos dados obtidos do sistema de supervisão e gerenciamento de energia elétrica da fábrica, foi possível constatar que, no período de maio de 2015 a maio de 2016, o cenário 1 ocorreu em aproximadamente 74% do tempo; o cenário 2 em 24% do tempo; e o cenário 3 em apenas 1% do tempo, conforme mostrado no gráfico da Figura 11.

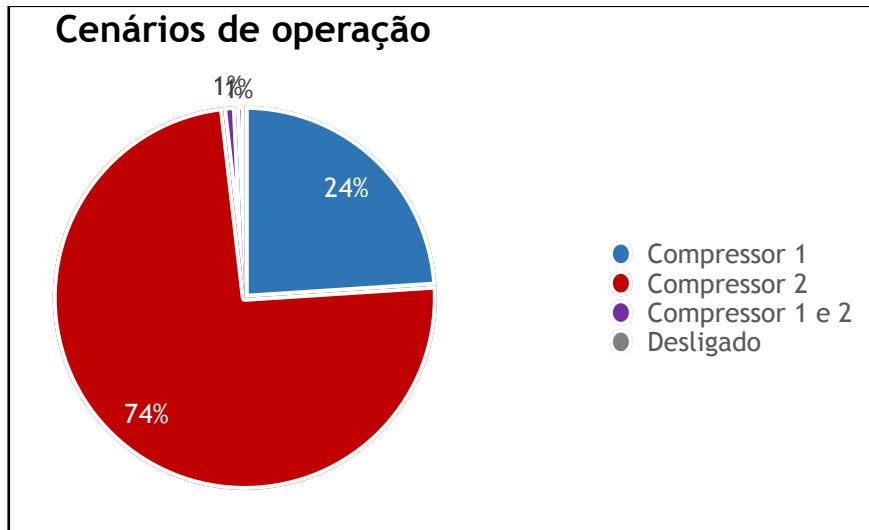


Figura 11: Cenários de operação
Fonte: O autor

O custo específico do ar comprimido pode ser calculado através da seguinte equação (ELETROBÁS, 2005):

$$C_{ar} = \frac{C_{aa}}{60 \sum_{i=1}^n (Q_{c_i} \times t_{cc_i})} \quad (3.1)$$

em que:

- : Custo estimado do metro cúbico do ar comprimido ();
- : Custo de geração anual do ar comprimido ();
- : Vazão do volumétrica de descarga do compressor ();
- : Tempo de funcionamento do compressor em carga ();
- : Número de compressores instalados no sistema.

O custo de geração de anual do ar comprimido, por sua vez, pode ser estimado através da soma da parcela de custo do compressor trabalhando em carga e da parcela de custo do compressor trabalhando a vazio (ELETROBÁS, 2005):

$$C_{aa} = C_{ac} + C_{av} \quad (3.2)$$

em que:

- : Custo anual de geração de ar comprimido ();
- : Custo anual de geração, compressor trabalhando em carga ();
- : Custo anual de geração, compressor trabalhando a vazio ().

Por último, as parcelas do custo anual de geração devido ao compressor trabalhar em carga e devido ao compressor trabalhar a vazio pode ser estimada pelas equações (3.3) e (3.4), respectivamente (ELETROBÁS, 2005):

$$C_{ac} = \left[\sum_{i=1}^n (P_{cc_i} \times t_{cc_i}) \right] C_{kWh} \quad (3.3)$$

$$C_{av} = \left[\sum_{i=1}^n (P_{cv_i} \times t_{cv_i}) \right] C_{kWh} \quad (3.4)$$

em que:

- : Custo anual de geração, compressor trabalhando em carga ();
- : Custo anual de geração, compressor trabalhando a vazio ();
- : Potência média do compressor i trabalhando em carga ();
- : Potência média do compressor i trabalhando a vazio ();
- : Tempo de funcionamento do compressor em carga ();
- : Tempo de funcionamento do compressor a vazio ();
- : Custo específico da energia elétrica (R\$);
- : Número de compressores instalados no sistema.

Utilizando estas equações, o custo de geração do ar comprimido para cada compressor (de maneira individual) e para o sistema (considerando a operação dos dois compressores) foram estimadas, conforme resultados mostrados na Tabela III. Convém comentar que os dados de consumo de energia anual foram estimados através do sistema de supervisão e gerenciamento de energia elétrica da fábrica.

Tabela III: Estimativa de custo do ar comprimido

Dados levantados e calculados	Compressor 1	Compressor 2	Total
Vazão volumétrica de descarga (m ³ /h):	12,8	21,1	-
Tempo em operação (h/ano):	2203,25	6615,75	-
Percentual de tempo com carga:	60%	50%	-
Consumo de energia anual (kWh):	145.434	510.629	656.063
Consumo de energia anual (R\$/ano):	R\$ 72.074,18	R\$ 253.057,52	R\$ 325.131,70
Custo específico do ar comprimido (R\$/m ³):	R\$ 0,071	R\$ 0,060	R\$ 0,0625
Tarifa média da energia elétrica (R\$/kWh):	R\$ 0,49558		

Fonte: O autor

Para o cálculo do custo de geração anual de ar comprimido, um valor fundamental para a estimativa deste custo é a tarifa média de energia elétrica. Neste estudo de caso, estimou-se esta tarifa através da seguinte metodologia:

- I. Verificou-se no sistema de supervisão e gerenciamento de energia elétrica da fábrica o consumo de energia elétrica (em kWh) da fábrica no período de um ano (de maio/2015 a maio/2016).
- II. Somou-se todas as contas de energia elétrica recebidas neste período. Estas contas incluem: tarifa de consumo, tarifa de demanda, encargos, tarifa de comercialização no mercado livre, etc.
- III. A tarifa média (em R\$/kWh) foi calculada dividindo-se o somatório do custo de todas as contas de energia elétrica com o somatório da energia consumida no período.

3.5.2. ESTIMATIVA DO CUSTO ANUAL DOS VAZAMENTOS

A partir do resultado das inspeções (Tabela I), os quais identificaram os pontos de vazamentos e os respectivos níveis sonoros medidos, a vazão de ar comprimido para cada ponto de vazamento pode ser estimada a partir dos dados de correlação fornecidos pelos fabricantes de detectores de ultrassom. Neste trabalho, o custo anual foi estimado utilizando dados de correlação entre ruído/vazão de dois fabricantes diferentes de detectores de ultrassom: UE Systems® (2012) e SDT® (2014a).

Utilizando o custo específico estimado para o ar comprimido (Tabela III), foi possível estimar o custo de vazamento de cada ponto levantando e, por conseguinte, estimar o custo anual de todos os vazamentos. Para isto, utilizou-se a premissa que, se não fossem eliminados, estes vazamentos ocorreriam de forma constante e ininterrupta durante todo o ano (8.760 horas). Os valores de

custo estimado são mostrados na Tabela IV.

Observa-se que o custo anual estimado utilizando dados do fabricante UE Systems® foi superior a 60% do valor estimado com dados do fabricante SDT®.

Tabela IV: Custo anual estimado dos pontos de vazamentos

Ponto	Nível sonoro (dB)	UE System®		SDT®	
		Vazão estimada (m3/h)	Custo (R\$/ano)	Vazão estimada (m3/h)	Custo (R\$/ano)
1	37	3,48	R\$ 1.903,06	1,37	R\$ 751,40
2	35	3,22	R\$ 1.760,71	1,22	R\$ 669,64
3	57	6,38	R\$ 3.495,19	4,34	R\$ 2.377,83
4	56	6,23	R\$ 3.408,30	4,10	R\$ 2.244,74
5	30	2,59	R\$ 1.418,24	0,92	R\$ 502,07
6	20	1,44	R\$ 790,81	0,52	R\$ 282,24
7	65	7,70	R\$ 4.217,89	6,89	R\$ 3.769,67
8	43	4,29	R\$ 2.348,50	1,94	R\$ 1.061,61
9	59	6,71	R\$ 3.671,26	4,87	R\$ 2.668,16
<i>Média:</i>		4,67	R\$ 2.557,10	2,91	R\$ 1.591,93
<i>Custo anual aproximado:</i>			R\$ 23.000,00	-	R\$ 14.000,00

Fonte: O autor

3.6. Análise crítica

A partir da Tabela IV, verifica-se que o custo estimado dos vazamentos, caso os mesmos não fossem corrigidos, seria da ordem de R\$ 14.000,00 (SDT®) a R\$23.000,00 (UE Systems®). Fora o impacto na produção, o qual é medido com a avaliação do planejado e produzido em comparação com as horas de produção. Em termos de ordem de grandeza, este custo representa em torno

de 4% a 7% do valor total de energia gasto pelos compressores no período de um ano, ou seja, um valor bastante significativo.

Devido à pouca quantidade de pontos de vazamentos identificados, porém com grande impacto no percentual de gasto de energia dos compressores, e devido também, à discrepância de valores encontrados nas curvas de correlação de ambos fabricantes, pode-se questionar o quão confiáveis são os dados estimados e, deste modo, se eles podem ser levados em consideração ou não em um estudo ou projeto de eficiência energética.

3.6.1. ANÁLISE DO PERFIL DAS CURVAS DE CORRELAÇÃO

Para a análise crítica dos valores estimados de vazão, primeiramente comparou-se o perfil das curvas de correlação de ruído e vazão dos dois fabricantes. Com base nos dados dos fabricantes (UE SYSTEMS, 2012; SDT, 2014a), foi gerado um gráfico com as curvas de correlação de vazão *versus* ruído de ambos fabricantes, mostrado na Figura 12. Nesta figura é possível verificar uma diferença no perfil das curvas, sendo que os dados do fabricante UE Systems® segue uma parábola e os dados do fabricante SDT® seguem uma exponencial.

Estas discrepâncias nas curvas de ambos fabricantes geram dúvidas quanto à confiabilidade dos dados, visto que, teoricamente, as curvas de ambos fabricantes deveriam ter o mesmo perfil, ainda que os valores numéricos pudessem apresentar variações.

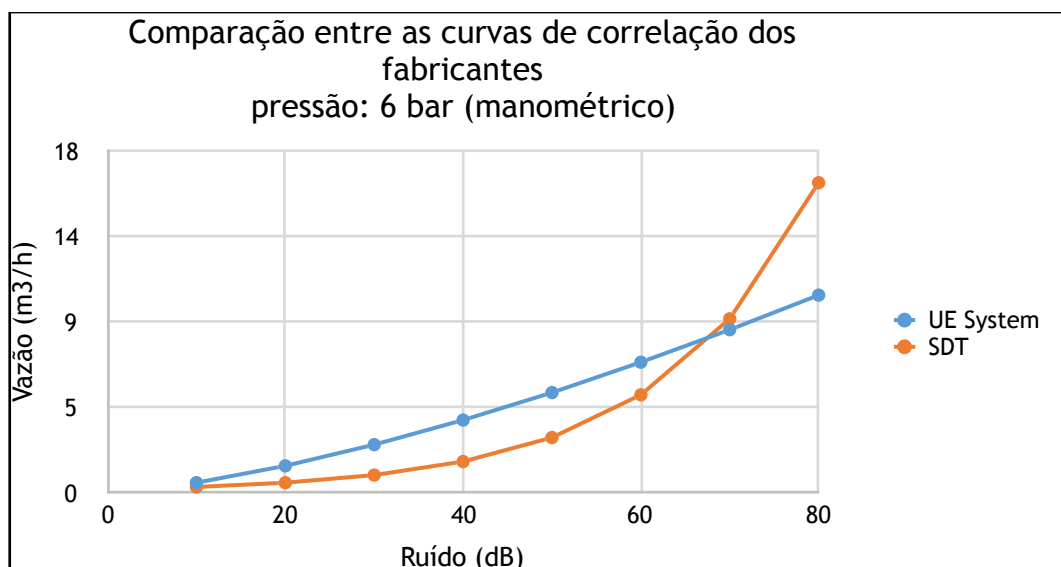


Figura 12: Comparação entre as curvas de correlação dos fabricantes
Fonte: Elaborado pelo autor com base em (UE SYSTEMS, 2012; SDT, 2014a).

3.6.2. CORRELAÇÃO COM ORIFÍCIOS EQUIVALENTES

Para analisar se vazões estimadas na Tabela IV estão factíveis com a realidade, em termos de ordem de grandeza, verificou-se quais seriam os

diâmetros hipotéticos dos vazamentos considerando que o orifício destes fosse circular e considerando os dados de vazão de ar comprimido em orifícios. Os princípios de cálculo de vazão de ar comprimido em orifícios são mostrados em (FOX; McDONALD; PRITCHARD, 2016) e (BARBER, 1997).

Na Tabela IV, verifica-se que o menor e o maior valor de vazão estimada foram e , respectivamente. A partir de uma tabela de correlação entre diâmetros de orifícios e vazão de ar comprimido, apresentada por exemplo em (ALMEIDA, 2016), verifica-se que estes valores correspondem a vazamentos em orifícios circulares equivalentes com diâmetros de 0,5 a , respectivamente (valores aproximados). Considerando as dimensões dos componentes nos quais os vazamentos foram identificados, pode-se concluir que estes valores são factíveis, pois apresentam coerência na ordem de grandeza dos diâmetros dos orifícios de vazamento.

3.6.3. RECOMENDAÇÃO E SUGESTÃO SOBRE A ANÁLISE CRÍTICA

A partir dos dados desta análise crítica, conclui-se que os dados de correlação de vazão *versus* ruído fornecidos pelos fabricantes de detectores de ultrassom são capazes de fornecer uma estimativa do vazamento; porém, esta estimativa possui elevada incerteza. Isto porque, apesar da vazão volumétrica estimada ser em princípio factível (em termos de ordem de grandeza), diversos fatores podem influenciar nesta estimativa.

Desta forma, os dados estimados devem ser utilizados com bastante parcimônia em estudos de eficiência energética, apenas como uma estimativa grosseira (ou, um “chute consciente”) da ordem de grandeza de custos dos vazamentos identificados.

4. CONCLUSÕES

O estudo de caso, realizado em uma planta industrial farmacêutica, possibilitou um melhor entendimento das vantagens e dificuldades da técnica de inspeção de vazamentos em redes de ar comprimido utilizando ultrassom. Primeiramente, constatou-se que as inspeções em campo são relativamente simples. Uma dificuldade que ocorre na prática é em relação a componentes localizados em regiões de difícil acesso. Embora os instrumentos de detecção de ultrassom geralmente disponham de módulos especiais para inspeções em maiores distâncias, a confirmação de qual componente de fato está originando o ultrassom (e assim, provavelmente, apresentando um vazamento) é bastante prejudicada se não for possível realizar medições em curtas distâncias. Além disso, concluiu-se neste trabalho, tanto na parte teórica quanto prática que medições em distâncias superiores a 30cm apresentam menor repetibilidade (e, portanto, maior incerteza) de medição.

Utilizou-se o estudo de caso também, para tentar se obter uma estimativa de custos associados aos vazamentos identificados nas inspeções, utilizando-se

para isso as tabelas de correlação de vazão e ruído fornecida pelo fabricante do instrumento utilizado no estudo e também, dados de correlação de outro fabricante (para fins de comparação).

A conclusão que se chegou é que, apesar de relativamente poucos pontos de vazamento terem sido identificados nas inspeções (nove pontos), os custos estimados associados a estes pontos foram significativos, representando mais de 4 a 7% do gasto. Além disso, a diferença de valores das estimativas dos dois fabricantes foi da ordem de 40%, mostrando uma grande discrepância nestas estimativas. Desta forma, após uma análise crítica dos resultados encontrados, concluiu-se que as estimativas realizadas a partir dos dados de correlação entre ruído e vazão disponibilizados pelos fabricantes dos instrumentos devem ser usadas com bastante parcimônia em estudos de eficiência energética. Eles podem ser úteis para a estimativa de uma ordem de grandeza dos custos, porém, por apresentarem elevada incerteza, não podem ser utilizados para estimativas com grande exatidão.

Por fim, conclui-se que, apesar da técnica de inspeção de vazamentos com ultrassom apresentar a desvantagem de não permitir medições com a exatidão muitas vezes desejada, a sua simplicidade e agilidade de execução, aliada ao significativo impacto financeiro que vazamentos em redes de ar comprimido podem representar, faz com que esta técnica mereça a atenção do gestor de manutenção. Trata-se de mais uma das ferramentas disponíveis para a elaboração das estratégias de manutenção dos ativos e para a busca da excelência nas operações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALMEIDA, Cleiton Moya. *Inspeção de Vazamentos em Rede de Ar Comprimido Utilizando Ultrassom: Aspectos Teóricos e Estudo de Caso*. 2016. 74 f. TCC (Especialização) – Poli, UFRJ, RJ, 2016.
- ARCURI FILHO, R. *Medicina de sistemas: Uma abordagem holística, estratégica e institucional para a gestão da manutenção*. Niterói, RJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – UFF.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 55000: *Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia*. Rio de Janeiro, 2014.
- ELETROBRÁS. *Eficiência energética em sistemas de ar comprimido: Manual prático*. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281>. [2005].
- FOX, Robert W.; McDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. Tradução e revisão técnica de Ricardo Nicolar Nassar Koury e Luiz Machado. 8 ed. RJ: LTC, 2016.
- KARDEC, Alan; ARCURI, Rogério; CABRAL, Nelson. *Gestão Estratégica e Avaliação de Desempenho*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora / Abraman: 2002.
- Field Leak Estimator*. 2014. Planilha eletrônica. Disponível em: <ftp://ftp.sdt.eu/pub/Field_Leak_Estimator/Field_Leak_Estimator.zip>. Acesso em: 05/06/2016.
- SLACK, Nigel.; CHAMBERS, Stuart.; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveria e Fábio Alher. 2. ed. 8 reimpr. São Paulo: Atlas, 2008.
- SIQUEIRA, Iony Patriota. *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação*. Rio de Janeiro, Qualimark Editora, 2014.
- TAVARES, Lourival A. *Curso de Pós-Graduação MBA em Engenharia de Manutenção: Módulos 1 e 2*. Slides do curso. 2015
- UE SYSTEMS. *Ultrabope 10000-SD Manual Instruction*. Versão 1.20. Elmsford, NY, EUA, 2014. Disponível em: <<http://www.uesystems.com/wp-content/uploads/2014/12/Ultrabope-10000>>.
- _____. *Compressed air Ultrasonic leak detection guide*. NY, EUA, 2012. Disponível em: <http://www.uesystems.com/wp-content/uploads/2012/08/compressed_air_guide.pdf>. Acesso em: 09/02/2016.
- WOLSTENCROFT, Hamish R. *Ultrasonic Air Leak Detection: An Investigation to Improve Accuracy of Leak Rate Estimation*. Waikato, Austrália, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Waikato. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10289/6780>>. Acesso em: 10/05/2016.