

ARTIGO

**MANUTENÇÃO CORRETIVA DE CONDICIONADORES DE AR EM AMBIENTES
INDUSTRIAIS**

Ubiracy Gomes
Paulo Sérgio Pádua de Lacerda
Rafaela da Silva Pinto

RESUMO

Os sistemas de climatização industrial desempenham papel fundamental na garantia do conforto térmico, da qualidade do ar e da continuidade operacional em ambientes produtivos. Entretanto, observa-se que muitos desses sistemas ainda são geridos sob uma abordagem reativa, baseada predominantemente na manutenção corretiva, o que compromete indicadores de confiabilidade e eleva custos operacionais. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnico-econômica das estratégias de manutenção em sistemas de climatização, comparando os cenários de manutenção planejada (“manter”) e manutenção corretiva predominante (“não manter”). A metodologia adotada baseia-se em pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando análise documental, estudo de caso e indicadores de desempenho como MTBF, MTTR e disponibilidade operacional. Os resultados indicam que a manutenção preventiva contribui significativamente para a redução de falhas, aumento da confiabilidade, melhoria da eficiência energética e redução de custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Conclui-se que a estratégia de manutenção planejada é tecnicamente superior e economicamente mais viável, fornecendo subsídios relevantes para a tomada de decisão na engenharia de manutenção.

Palavras-chave: manutenção preventiva; climatização industrial; engenharia de manutenção.

ABSTRACT

Industrial air conditioning systems play an essential role in ensuring thermal comfort, air quality, and operational continuity in production environments. However, many of these systems are still managed using a reactive approach, predominantly based on corrective maintenance, which compromises reliability indicators and increases operational costs. This study aims to evaluate the technical and economic feasibility of maintenance strategies in air conditioning systems by comparing planned maintenance (“maintain”) and predominantly corrective maintenance (“not maintain”) scenarios. The methodology is based on applied research with qualitative and quantitative approaches, using document analysis, case study, and performance indicators such as MTBF, MTTR, and operational availability. The results indicate that preventive maintenance significantly contributes to reducing failures, increasing reliability, improving energy efficiency, and lowering lifecycle costs. It is concluded that planned maintenance is technically superior and economically more viable, providing relevant support for decision-making in maintenance engineering.

Keywords: preventive maintenance; industrial air conditioning; reliability; MTBF; MTTR; maintenance engineering.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de climatização industrial desempenham um papel essencial na garantia do conforto térmico, da qualidade do ar interior e, sobretudo, da continuidade operacional em ambientes produtivos. Em setores industriais e comerciais, esses sistemas não apenas contribuem para o bem-estar dos usuários, mas também são fundamentais para a estabilidade de processos produtivos que dependem de condições térmicas controladas. Equipamentos como sistemas split, unidades piso-teto, cassete, sistemas de fluxo de refrigerante variável (VRF) e chillers são amplamente utilizados devido à sua capacidade de atender diferentes demandas operacionais, níveis de carga térmica e complexidade de aplicação.

Sob a perspectiva da Engenharia Mecânica, tais sistemas envolvem a aplicação integrada de princípios de termodinâmica, transferência de calor e mecânica dos fluidos, operando predominantemente por meio do ciclo de compressão de vapor. O desempenho adequado desses sistemas está diretamente relacionado à integridade de seus componentes e à eficiência de sua operação ao longo do tempo, sendo fortemente influenciado pelas estratégias de manutenção adotadas.

Entretanto, na prática, observa-se que a gestão desses sistemas ainda é frequentemente conduzida de forma reativa, com intervenções predominantemente corretivas, realizadas apenas após a ocorrência de falhas. Essa abordagem, conhecida como estratégia de “não manter”, reflete uma cultura operacional que prioriza a redução de custos imediatos em detrimento da confiabilidade e da previsibilidade do desempenho dos equipamentos. Como consequência, essa prática impacta negativamente indicadores fundamentais da engenharia de manutenção, como o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e o Tempo Médio de Reparo (MTTR), resultando em aumento da indisponibilidade operacional, elevação de custos de manutenção e maior incidência de paradas não programadas (KARDEC; NASCIF, 2009).

Além dos impactos técnicos, a predominância da manutenção corretiva também acarreta consequências econômicas e operacionais relevantes. A ocorrência de falhas inesperadas pode provocar interrupções em processos produtivos, perdas de eficiência energética, desgaste acelerado de componentes e aumento de custos indiretos, como retrabalhos, perdas produtivas e desconforto térmico em ambientes ocupados. Em sistemas mais complexos, como VRF e chillers, a falha de um único componente pode comprometer múltiplas áreas simultaneamente, ampliando significativamente os efeitos da indisponibilidade.

Por outro lado, a adoção de estratégias de manutenção planejada, baseadas em inspeções periódicas, monitoramento de desempenho e intervenções preventivas, apresenta-se como alternativa para aumentar a confiabilidade dos sistemas, reduzir falhas e otimizar o ciclo de vida dos equipamentos. Apesar disso, ainda há uma lacuna na literatura aplicada e na prática industrial no que se refere a análises comparativas

objetivas que evidenciem, de forma mensurável, os impactos técnicos e econômicos entre as estratégias de “manter” e “não manter”, especialmente considerando indicadores como MTBF, MTTR, custo total anual e tempo de indisponibilidade. Diante desse cenário, torna-se relevante investigar, de forma sistemática, a relação entre as estratégias de manutenção e o desempenho dos sistemas de climatização industrial.

1.1 Problematização

Os sistemas de climatização industrial são fundamentais para garantir conforto térmico, qualidade do ar e continuidade operacional em ambientes produtivos. Equipamentos como splits, sistemas VRF e chillers desempenham papel crítico em processos industriais e comerciais, sendo sua indisponibilidade capaz de gerar impactos operacionais, financeiros e produtivos relevantes.

Entretanto, observa-se que muitos sistemas ainda são geridos sob uma abordagem reativa, baseada predominantemente na manutenção corretiva, realizada após a ocorrência de falhas. Essa prática, conhecida como estratégia de “não manter”, compromete indicadores fundamentais da engenharia de manutenção, como o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e o Tempo Médio de Reparo (MTTR), resultando em aumento da indisponibilidade operacional e elevação de custos (KARDEC; NASCIF, 2009).

Diante desse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: a manutenção predominantemente corretiva é tecnicamente e economicamente viável quando comparada à manutenção planejada em sistemas de climatização industrial?

1.2 Justificativa

A relevância deste estudo está associada à importância estratégica da manutenção na engenharia mecânica, especialmente em sistemas térmicos industriais. A

predominância de falhas não planejadas pode comprometer a eficiência energética, aumentar custos operacionais e reduzir a vida útil dos equipamentos (LAFRAIA, 2001).

Do ponto de vista técnico, os sistemas de climatização envolvem fundamentos de termodinâmica, transferência de calor e mecânica dos fluidos, exigindo gestão eficiente para garantir desempenho adequado. Sob a perspectiva econômica, a manutenção corretiva emergencial tende a elevar custos diretos e indiretos, incluindo perdas produtivas.

Além disso, normas como a ABNT NBR 13971 (2014) e a Portaria nº 3.523/1998 reforçam a necessidade de manutenção sistematizada, evidenciando a importância de estudos que apoiem a tomada de decisão técnica.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnico-econômica da manutenção em sistemas de climatização, comparando os cenários “manter” e “não manter”.

Objetivos Específicos

- Caracterizar os sistemas de climatização e suas aplicações industriais;
- Identificar falhas recorrentes e seus impactos operacionais;
- Analisar indicadores de confiabilidade (MTBF e MTTR);
- Comparar custos diretos e indiretos entre estratégias de manutenção;
- Propor recomendações técnicas para gestão da manutenção;
- Apoiar a tomada de decisão baseada em dados e criticidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de climatização na engenharia mecânica

Os sistemas de climatização industrial desempenham papel estratégico no controle térmico, na qualidade do ar interior e na estabilidade de processos produtivos, sendo amplamente utilizados em ambientes comerciais e industriais. Sob a ótica da Engenharia Mecânica, esses sistemas baseiam-se, predominantemente, no ciclo de compressão de vapor, que envolve as etapas de compressão, condensação, expansão e evaporação do fluido refrigerante, responsáveis pela transferência de calor entre o ambiente interno e externo (STOECKER; JONES, 1985).

O desempenho desses sistemas está diretamente associado à eficiência dos componentes principais, tais como compressores, condensadores, evaporadores e dispositivos de expansão. Qualquer alteração no funcionamento desses elementos compromete o equilíbrio termodinâmico do ciclo, reduzindo a eficiência energética e aumentando o esforço operacional do sistema.

Além disso, a crescente complexidade dos sistemas de climatização modernos, como VRF (*Variable Refrigerant Flow*) e chillers, exige uma abordagem integrada de projeto, operação e manutenção, considerando variáveis como carga térmica, consumo energético e confiabilidade operacional.

No contexto normativo, a ABNT NBR 16401 (2008) estabelece parâmetros para conforto térmico, qualidade do ar e eficiência energética em sistemas de climatização. Complementarmente, a Portaria nº 3.523/1998 institui o Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), tornando obrigatória a implementação de rotinas de manutenção periódica. Essas diretrizes evidenciam a importância de uma gestão sistemática dos sistemas de climatização, visando garantir seu desempenho adequado e reduzir riscos à saúde e à operação (BRASIL, 1998).

2.2 Engenharia de manutenção e estratégias operacionais

A engenharia de manutenção tem como objetivo assegurar a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos ativos industriais, contribuindo diretamente para a continuidade operacional e a eficiência produtiva. Nesse contexto, as estratégias de manutenção podem ser classificadas em preventiva, preditiva e corretiva.

A manutenção preventiva baseia-se na realização de intervenções programadas, com o objetivo de evitar a ocorrência de falhas. Já a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento e análise de condição, permitindo identificar falhas potenciais antes que se tornem críticas. Por sua vez, a manutenção corretiva consiste na intervenção após a ocorrência da falha, podendo ser planejada ou emergencial (KARDEC; NASCIF, 2009).

A predominância da manutenção corretiva, especialmente em sua forma emergencial, está associada a maiores riscos operacionais e custos elevados, uma vez que as intervenções ocorrem de forma não programada, impactando diretamente a disponibilidade dos sistemas. Segundo Lafraia (2001), sistemas operando sob regime corretivo apresentam maior variabilidade de desempenho, redução da confiabilidade e aumento significativo do custo do ciclo de vida.

Nesse sentido, a escolha da estratégia de manutenção deve considerar não apenas os custos imediatos, mas também os impactos a longo prazo sobre a confiabilidade, a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas.

2.3 Confiabilidade e indicadores de desempenho

A confiabilidade dos sistemas industriais é um dos principais pilares da engenharia de manutenção, sendo avaliada por meio de indicadores quantitativos que permitem mensurar o desempenho dos equipamentos ao longo do tempo.

Entre os principais indicadores, destacam-se:

- MTBF (*Mean Time Between Failures*) – Tempo Médio Entre Falhas, que representa o intervalo médio de operação entre falhas consecutivas;
- MTTR (*Mean Time To Repair*) – Tempo Médio de Reparo, que indica o tempo necessário para restabelecer o funcionamento do sistema após uma falha;

- Disponibilidade Operacional (A) – que expressa a probabilidade de o sistema estar em funcionamento em determinado momento.

A disponibilidade operacional pode ser expressa pela seguinte relação:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

A partir dessa equação, observa-se que o aumento do MTBF e a redução do MTTR contribuem diretamente para o aumento da disponibilidade do sistema. Por outro lado, a predominância de falhas e o aumento do tempo de reparo resultam em redução da disponibilidade e aumento dos custos operacionais.

Além disso, a análise desses indicadores permite avaliar o desempenho do sistema ao longo do seu ciclo de vida, contribuindo para a tomada de decisões estratégicas relacionadas à manutenção, substituição de componentes e otimização de recursos.

2.4 Falhas em sistemas de climatização

Os sistemas de climatização estão sujeitos a diferentes tipos de falhas, que podem ser classificadas em mecânicas, elétricas e termodinâmicas. A compreensão dos mecanismos de falha é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manutenção mais eficientes.

Entre as falhas mais recorrentes, destacam-se:

- Falha de compressor: considerada uma das mais críticas, pode ocorrer devido a sobrecarga térmica, falhas de lubrificação, retorno de líquido ou problemas elétricos, resultando na interrupção total do ciclo frigorífico;
- Vazamento de fluido refrigerante: reduz a capacidade de troca térmica, aumenta o consumo energético e pode causar superaquecimento do sistema;
- Falhas elétricas: incluem problemas em relés, contadores, capacitores e placas eletrônicas, provocando desligamentos inesperados;
- Obstrução de filtros e serpentinas: compromete a eficiência da troca de calor, elevando a pressão de operação e o consumo energético.

Em sistemas de maior complexidade, como VRF e chillers, essas falhas podem apresentar efeito sistêmico, afetando múltiplas zonas simultaneamente e ampliando os impactos operacionais.

2.5 Impactos da manutenção corretiva

A predominância da manutenção corretiva, especialmente quando realizada de forma emergencial, pode gerar impactos significativos nos sistemas de climatização industrial.

Entre os principais efeitos, destacam-se:

- Paradas não programadas e interrupção de processos produtivos;
- Aumento do consumo energético devido à operação ineficiente dos equipamentos;
- Redução da vida útil dos componentes, decorrente de esforços operacionais elevados;
- Elevação dos custos diretos e indiretos de manutenção;
- Comprometimento da confiabilidade e da previsibilidade operacional.

Além disso, a manutenção corretiva tende a resultar na substituição de componentes em estágios avançados de falha, o que eleva os custos e reduz a eficiência das intervenções.

Por outro lado, a adoção de estratégias de manutenção planejada contribui para a redução de falhas inesperadas, aumento da confiabilidade dos sistemas e otimização dos custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos. Dessa forma, a manutenção preventiva e preditiva apresenta-se como alternativas mais eficientes para a gestão de ativos industriais, promovendo maior controle operacional e sustentabilidade dos sistemas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a manutenção preventiva desempenha papel essencial na confiabilidade e eficiência dos sistemas de climatização

industrial. A comparação entre as estratégias evidenciou que a abordagem reativa resulta em maiores custos, menor disponibilidade e maior incidência de falhas.

A adoção de manutenção planejada permite reduzir falhas inesperadas, melhorar o desempenho dos sistemas e prolongar a vida útil dos equipamentos. Dessa forma, conclui-se que a estratégia de “manter” é tecnicamente superior e economicamente mais viável.

O estudo contribui para a engenharia de manutenção ao fornecer subsídios técnicos para tomada de decisão, reforçando a importância de uma gestão baseada em indicadores e análise de confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13971**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16401**. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Aprova regulamento técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do sistema de climatização. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 31 ago. 1998.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar-condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.