

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
VII CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO INDUSTRIAL  
PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO**

**ALTAIR SOBCZAK JUNIOR**

**ESTUDO DA TERMOGRAFIA COMO UMA FERRAMENTA  
COMPLEMENTAR PARA ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE  
COMPRESSORES ALTERNATIVOS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2012**

**ALTAIR SOBCZAK JUNIOR**

**ESTUDO DA TERMOGRAFIA COMO UMA FERRAMENTA  
COMPLEMENTAR PARA ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE  
COMPRESSORES ALTERNATIVOS**

Trabalho de Monografia apresentada  
como requisito parcial à obtenção do  
título de Especialista em Gestão  
Industrial: Produção e Manutenção  
da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M Sc. Prof. Flavio  
Trojan,

**PONTA GROSSA**

**2012**



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS PONTA GROSSA**  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Título da Monografia

**ESTUDO DA TERMOGRAFIA COMO UMA FERRAMENTA COMPLEMENTAR PARA  
ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE COMPRESSORES ALTERNATIVOS**

por

**Altair Sobczak Junior**

Esta monografia foi apresentada no dia 10 de março de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM GESTÃO INDUSTRIAL: PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de Resende**  
(UTFPR)

**Prof. Dr. Luiz Alberto Pilatti (UTFPR)**

**Prof. Msc. Flavio Trojan (UTFPR)**  
Orientador

Visto do Coordenador:

---

**Prof. Dr. Guataçara dos Santos Junior**  
Coordenador ESPGI-PM  
UTFPR – Campus Ponta Grossa

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Secretaria**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, pela oportunidade de realização desse trabalho na minha área de pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Flavio Trojan, M Sc, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala e trabalho que me auxiliaram e apoiaram nos momentos que precisei.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Sobczak, Altair Junior. **Título do trabalho:** Estudo Da Termografia Como Uma Ferramenta Complementar Para Análise Das Condições De Compressores Alternativos. Ano de defesa 2012. Número total de folhas 54. Monografia do curso de Especialização em Gestão Industrial, do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa, ano de defesa 2012.

O atual desenvolvimento tecnológico direciona as indústrias das mais diversas áreas a desenvolverem técnicas eficazes para a correta aplicação da manutenção em seus processos produtivos. Este trabalho explora uma técnica, que pode ser considerada de manutenção preditiva aplicada à um equipamento essencial ao seu processo de produção, dentro do setor industrial petrolífero. A técnica utilizada no estudo é a termografia infravermelha, que apresenta como vantagens a monitoração de elementos vitais dentro de um equipamento igualmente essencial, no que diz respeito a sua função no processo a que ele está inserido. É realizada uma verificação e monitoramento de componentes internos de compressores alternativos, utilizados em um processo da indústria de petróleo, através da análise termográfica. A partir dos dados coletados, apresenta-se uma análise e discussão dos resultados da aplicação dessa técnica como ferramenta para o apoio à decisão na gestão da manutenção, no que diz respeito às oportunidades de realização de manutenção por oportunidade. Como conclusão pode-se afirmar que a termografia, apesar de ser uma técnica relativamente nova e aplicada mais frequentemente no setor elétrico, é uma ferramenta abrangente e eficaz para a aplicação nas diversas áreas que envolvem a manutenção de equipamentos, que apresentam variações de temperatura.

**Palavras-chave:** Termografia Infravermelha. Manutenção Preditiva. Compressores Alternativos

## ABSTRACT

SOBCZAK, Altair Junior. Studies of the Thermography as a Complementary Tool To Analyze The Conditions of the Alternative Compressors. Ano de defesa 2012. Número total de folhas 54. Monografia do curso de Especialização em Gestão Industrial, do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, ano de defesa 2012.

The current technological development directs the industries from various areas to develop effective techniques for the correct application of maintenance in their production processes. This paper explores a technique that can be considered predictive maintenance applied to essential equipment to its production process, within the petroleum company. The technique used in the study is referred to thermography, which shows the advantages of monitoring vital elements within a device also essentially as regards its function in the process that it is inserted. It performed verification and monitoring of internal components of reciprocating compressors, used in a process in the petroleum industry, by thermographic analysis. From the collected data, is presented an analysis and discussion of results of applying this technique as a tool for decision support in maintenance management, with regard to opportunities for performance of maintenance of opportunity. In conclusion it can be said that thermography, despite being a relatively new technique and applied more often in the electricity sector, is a comprehensive and effective tool for application in different areas involving equipment maintenance, which shows variation in temperature.

**Keywords:** Infrared Thermography. Predictive Maintenance. Reciprocating Compressor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Termograma e fotografia de uma construção afetada por infiltração de água. ....	6
Figura 2 - Termograma do superaquecimento de uma das fases e de relés. ....	6
Figura 3 - Termograma de uma polia em operação com correias ressecadas e após a substituição. ....	6
Figura 4 – Espectro de comprimento de onda.....	14
Figura 5 - Rotor e estator de um compressor axial. ....	24
Figura 6 - Compressor centrífugo.....	25
Figura 7 - Unidade compressora de um compressor de parafusos.....	26
Figura 8 - Compressor de lóbulos em manutenção.....	26
Figura 9 – Compressor alternativo horizontal de dois cilindros opostos.....	27
Figura 10 – Gráfico de tendência de um ponto do motor do compressor.....	31
Figura 11 - Câmera termográfica Thermocom V52. ....	32
Figura 12 - Esquema de funcionamento de uma câmera termográfica. ....	33
Figura 13 – Termograma das válvulas de descarga do compressor.....	34
Figura 14 – Termograma das válvulas de descarga do compressor apresentando aquecimento.....	34
Figura 15 - Foto de uma válvula quebrada, após desmontagem, e acima o termograma indicando que ela estava aquecida. ....	35
Figura 16 – Termograma do cilindro de compressão. ....	36
Figura 17 – Termograma do motor do compressor.....	37
Figura 18 – Termograma da bomba de óleo acoplada.....	37
Figura 19 – Termograma da região externa a cruzeta. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de emissividade para metais .....	17
Tabela 2 - Valores típicos de emissividade para não metais .....	18
Tabela 3 - Máxima Temperatura Admissível (°C).....	21
Tabela 4 - Critérios de prioridade de intervenção.....	21
Tabela 5 - Limites de temperatura recomendados pelo manual do compressor (°C)	29



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 Objetivo Geral .....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 JUSTIFICATIVA .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 MANUTENÇÃO E A TERMOGRAFIA.....	5
2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA .....	8
2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	9
2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	10
2.5 FERRAMENTAS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	11
2.5.1 Análise de vibração.....	11
2.5.2 Análise de óleo .....	12
2.5.3 Termografia.....	12
2.5.3.1 Termografia infravermelha .....	12
2.5.4 Aspectos físicos .....	13
2.5.5 Radiação infravermelha: .....	14
2.5.6 Radiação térmica: .....	14
2.5.7 Emissividade.....	15
2.5.8 Corpo negro .....	15
2.5.9 Determinação da emissividade .....	16
2.6 TIPOS DE TERMOGRAFIA .....	18
2.6.1 Termografia ativa .....	18
2.6.2 Termografia passiva .....	19
2.7 PRINCÍPIOS DE ANÁLISE .....	19
2.7.1 Método qualitativo.....	19
2.7.2 Método quantitativo.....	19
2.8 CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS.....	20
2.9 CÂMERAS TERMOGRÁFICAS .....	22
2.9.1 Tipos de câmeras .....	22
2.10 TIPOS DE COMPRESSORES .....	23
2.10.1 Compressores dinâmicos .....	23
2.10.2 Compressor axial .....	24
2.10.3 Compressor centrífugo .....	24
2.10.4 Compressores de deslocamento positivo .....	25
2.10.5 Compressor de parafuso .....	25
2.10.6 Compressor de lóbulos .....	26
2.10.7 Compressor alternativo de pistão .....	27

2.11 COMPRESSOR ALTERNATIVO EM ESTUDO .....	27
2.11.1 Componentes básicos .....	28
2.11.1.1 Conjunto de acionamento .....	28
2.11.1.2 Conjunto de compressão .....	28
2.11.1.3 Sistemas auxiliares .....	29
<b>3 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>30</b>
3.1 outras ANÁLISES REALIZADAS NO COMPRESSOR .....	31
3.2 Câmera utilizada .....	32
3.2.1 Princípio de funcionamento.....	32
3.3 VÁLVULAS DE SUCÇÃO E DESCARGA .....	33
3.4 CILINDRO .....	35
3.5 MOTOR .....	36
3.6 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO .....	37
3.7 CRUZETAS E GUIA DA CRUZETA .....	38
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção de processos industriais tem uma função importante para a produção industrial, no que tange à disponibilidade de máquinas e equipamentos e da garantia da confiabilidade no processo produtivo.

Podem ocorrer vários problemas decorrentes da constante operação de equipamentos dentro de uma planta industrial, se o planejamento e a gestão da manutenção não estiverem focados em aplicar técnicas avançadas de manutenção em seus processos.

A decisão sobre qual o tipo de manutenção a ser adotada estará sempre vinculada às análises econômicas e de criticidade que o setor de manutenção deve considerar. Dentre os principais tipos de manutenção existentes, manutenção corretiva, preventiva e preditiva, encontram-se algumas das modernas técnicas e métodos de monitoramento e controle de intervenções para manutenção. Uma dessas técnicas que é abordada neste trabalho é a termografia infravermelha, técnica que tem sido amplamente difundida e utilizada com perspectivas positivas para resultados mais eficientes para a manutenção dos processos produtivos críticos.

A termografia infravermelha se utiliza da análise da radiação térmica emitida por um corpo. A abordagem dentro deste trabalho tem o objetivo de estudar aplicações de manutenção preditiva, através do monitoramento de equipamentos e as respectivas anomalias decorrentes da operação ininterrupta dentro de um processo de produção.

As aplicações e análises do uso da termografia são comumente utilizadas em edificações, onde se podem por exemplo, identificar pontos de ocorrência de reformas, modificações, fissuras e infiltrações, etc.

No processo produtivo a termografia pode ser utilizada para verificação e monitoramento de pontos quentes em painéis elétricos, transformadores, conexões, fios e cabos. Também para analisar as condições de sistemas mecânicos, tais como correias, devido ao aquecimento das polias, Ainda essas análises podem ser estendidas para os casos de tubulações que apresentam incrustações, que impedem a passagem de produtos, assim como válvulas e conexões danificadas, interligadas nessas tubulações.

Esses exemplos demonstram a diversidade da aplicação dessa técnica para estudos aprofundados de aplicação industrial, onde cada caso exigirá experiência sobre o comportamento dos componentes avaliados para tomada de decisões, adquirida automaticamente com o acompanhamento freqüente desses componentes.

A técnica utilizada neste trabalho é a termografia passiva, onde se deve avaliar o equipamento na condição de regime operacional permanente, pois neste modo é que a distribuição de temperatura poderá ser visualizada e o comportamento dos componentes avaliados. A partir daí serão tecidas algumas análises e conclusões, derivadas da aplicação desta técnica em compressores alternativos, que apresentam função vital dentro de um processo industrial do setor petrolífero. Serão coletados e analisados dados decorrentes da aplicação da termografia, para resolver os problemas relacionados ao desgaste e deterioração desses equipamentos. Posteriormente, esses dados servirão de base para considerações e conclusões sobre os equipamentos dentro do contexto estudado.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar um estudo sobre a termografia infravermelha e a sua contribuição na análise das condições de compressores alternativos dentro dos processos da indústria petrolífera, devido sua característica de mapear termicamente os objetos estudados.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Monitorar a evolução do comportamento de um equipamento piloto, mediante a aferição da radiação térmica emitida em condições de operação normal ou em condições de limites operacionais.
- ✓ Levantar os principais componentes a serem avaliados termicamente, e apresentar quais as temperaturas em que se

deve ter uma avaliação aprofundada, seguindo referências contidas em manuais técnicos, normas e estudos realizados em trabalhos correlatos.

- ✓ Apresentar referências de criticidade de aquecimento de válvulas dentro do compressor, por comparação do diferencial de temperaturas das mesmas, uma vez que elas são responsáveis pelas maiores perdas de produção, com custo alto de manutenção.
- ✓ Reduzir custos com manutenções evitando paradas não programadas e ou paradas pré-definidas e garantir a confiabilidade com a máxima operacionalidade dos compressores alternativos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A termografia é um meio de inspeção que está em constante evolução, sendo empregado na medicina e veterinária, pelas forças armadas como visão noturna, na indústria em geral para equipamentos mecânicos, elétricos, para avaliação de estruturas em construções civis, para inspeções das carenagens de aviões e carros da fórmula 1, em laboratórios para realização de pesquisa com materiais, portanto tem uma ampla área de utilização.

Devido as perdas de produção por baixa eficiência do sistema de compressão, justifica-se este estudo para implantação da termografia, a fim de analisar a condição das válvulas componentes dos compressores alternativos. Uma vez que o aumento de temperatura de uma delas é uma sinalização de mau funcionamento, otimizando a manutenção, restringindo a substituição a apenas um componente.

Para substituição de uma dessas válvulas é necessário uma série de procedimentos para liberação do compressor, por se tratar de um equipamento que opera com gás altamente perigoso,

- ✓ deve ser purgado;
- ✓ instalado raquetes para isolar o cilindro,

Essa manutenção deve ser cuidadosa e é de risco. Com o correto diagnóstico da falha esse tempo de reparo pode ser reduzido, conseqüentemente o custo da intervenção também.

Com essa técnica não só a avaliação das válvulas poderá ser realizada, pois elas são um dos principais componentes do equipamento, porém para o mapeamento térmico geral do equipamento serão considerados também o motor, cilindros, guia das cruzetas, enfim, as principais áreas afetadas durante uma rotina de produção.

A termografia complementa de forma simples e econômica os trabalhos preditivos, pois para sua execução não há necessidade de paradas, permissões especiais e é realizada de forma oportunista, possibilitando um diagnóstico criterioso e atuando em partes monitoradas do equipamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MANUTENÇÃO E A TERMOGRAFIA

Nas empresas modernas, o setor de manutenção vai desde o planejamento até a execução dos serviços, com o objetivo de manter a funcionalidade dos equipamentos e atender as solicitações dos clientes internos.

Segundo Nóbrega (2011) a manutenção envolve custos elevados e normalmente perdas de produção, pois geralmente é solicitada quando apresenta alguma divergência operacional de algum equipamento, assim deve ser bem planejada para que seja feito aquilo que realmente é necessário.

Atualmente, há uma crescente preocupação das empresas quanto à segurança dos funcionários e disponibilidade de seus equipamentos, a fim de evitar que tenham paradas inesperadas. Assim, os métodos de avaliação precisam ser cada vez mais eficazes para determinação do melhor momento de uma intervenção para manutenção. Então, destes procedimentos, que procuram reduzir gastos com substituição de peças que não apresentam defeitos, surgem novas ferramentas que podem auxiliar na determinação dessas tarefas (FERREIRA, 2010).

Al-Kassir et al (2005) mostram algumas aplicações dessas ferramentas, uma delas é o uso da termografia para análise de edificações, onde se podem identificar pontos onde ocorreram reformas, modificações, fragilidades, fissuras e infiltrações. No caso da infiltração, apresentada na figura 1, ocorre uma relação entre a quantidade de água presente nos poros e a temperatura aparente, evidenciado através das imagens, que a presença de água altera a emissividade do material utilizado na construção. Isso pode ser facilmente visualizado por um inspetor e para a indústria pode ser aplicado na análise de problemas estruturais de bases para equipamentos, e que podem estar influenciando no aumento da vibração.

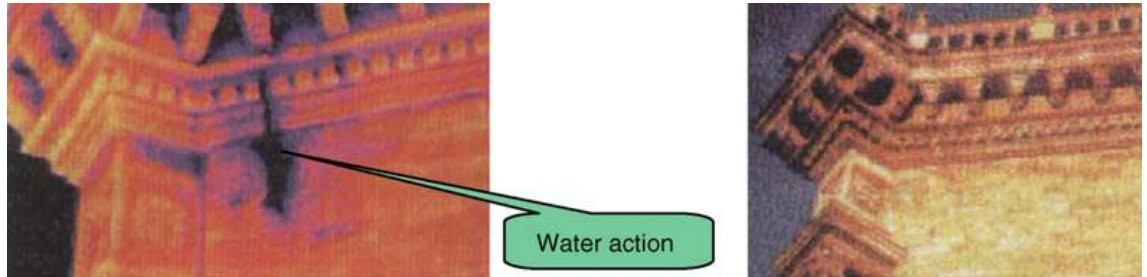


Figura 1 - Termograma e fotografia de uma construção afetada por infiltração de água.  
Fonte: Al-Kassir et al (2005).

Na indústria em geral, a termografia pode ser utilizada para verificação de pontos quentes em painéis elétricos, transformadores, conexões, fios e cabos, conforme Figura 2. Também para analisar as condições de correias, devido ao aquecimento das polias, exemplo ilustrado na Figura 3, ou ainda em tubulações que apresentam incrustações, que podem dificultar a passagem de produtos assim como válvulas danificadas ou que não abrem totalmente. Todas essas avaliações podem ser feitas à distância, sem o contato físico através desta técnica termográfica.

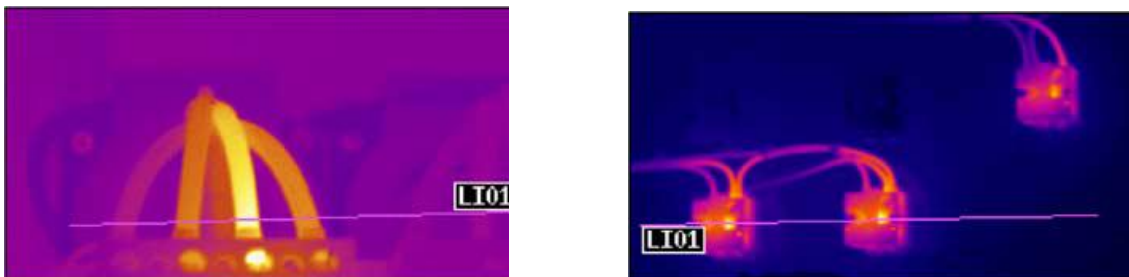


Figura 2 - Termograma do superaquecimento de uma das fases e de relés.  
Fonte: Al-Kassir et al (2005).

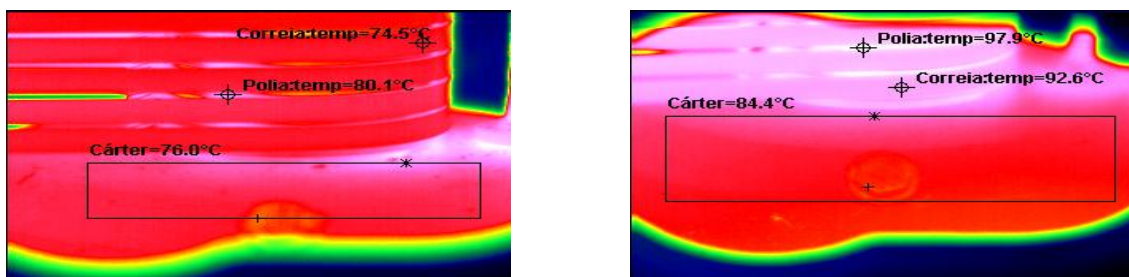


Figura 3 - Termograma de uma polia em operação com correias ressecadas e após a substituição.



Cortizo (2007) realizou um estudo confrontando a termografia sem contato, utilizando câmera, com a termografia de contato, utilizando termopares. Ambas para verificação de alterações na construção civil, envolvendo o emprego de madeira e outras formas ocultas de diferentes materiais com diversas composições. Onde, pela comparação entre as duas formas de aplicação da termografia, o diferencial se deu pela facilidade e rapidez na inspeção com a utilização de câmeras, frente à instalação de termopares acoplados a estrutura. A principal desvantagem dessa última utilização está no maior tempo de instalação e na possibilidade de ocorrência de erros se esses sensores forem mal instalados.

Melo (2009) cita duas formas de realização da termografia:

- ✓ uma com contato, onde serão utilizados acabamentos com tintas especiais. Ao passo que a cor varia, existe alteração na temperatura. Essa forma também pode ser realizada com a instalação de termopares em série, mais utilizada em vasos de pressão, caldeiras, câmaras de combustão, trocadores de calor. Em geral em equipamentos estáticos e,
- ✓ outra forma é a termografia infravermelha, com utilização de câmeras que captam diferentes frequências dos raios infravermelhos, emitidos por um corpo e formam uma imagem denominada termograma.

Pacholok (2010) realizou testes utilizando a termografia para analisar desalinhamentos entre eixos de máquinas acopladas através de diferentes tipos de acoplamentos, Concluiu que o uso dessa técnica, paralelamente a análise de vibração, permite verificar desalinhamentos, porém com limites bem acima dos toleráveis pelas normas. Veratti (1997) verificou que o aquecimento nos acoplamentos pode ser devido ao desalinhamento ou à falta de lubrificação (no caso de acoplamentos auto-compensados). Em ambos os casos adota-se um aquecimento de 20 °C em relação ao ambiente como limite crítico. Acima desse valor recomenda-se um procedimento de verificação e manutenção, se necessário.

Palácios (2010) utilizou a termografia para analisar cordões de solda do processo GTAW (*Gas-Shielded Tungsten Arc Welding*), também conhecido como TIG (*Tungsten Inert Gas*), para evitar aparecimento de *humping*, que são saliências e imperfeições no cordão de solda, resultantes de ajustes mal executados no processo. O teste foi realizado em tempo real durante uma operação, um processo

automatizado e com velocidade de avanço constante. Os resultados obtidos auxiliaram no ajuste dos parâmetros para corrigir tais defeitos.

Almeida (2010) fez um comparativo para inspeção termográfica ativa, com aquecimento por lâmpadas e por sopro, onde a sopragem de ar mostrou melhor nitidez para os defeitos inseridos num laminado compósito sólido de matriz polimérica reforçada. Esse laminado normalmente é utilizado para fabricação de fuselagem de aviões.

Avdelidis (2003) comenta sobre a termografia ativa, quando um estímulo térmico é aplicado em um material e a partir do aquecimento ou resfriamento do mesmo, seu comportamento é observado. A análise é realizada com um corpo recebendo temperatura igualmente distribuída e constante, ou seja, no seu estado transiente.

## 2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva foi o primeiro tipo de manutenção a surgir e é o mais comum, fruto da necessidade de reparar o que estava operando e quebrou, para que volte à normalidade. A filosofia é utilizar o equipamento até quebrar. Depois disso é que se procura realizar qualquer tipo de intervenção. Os equipamentos que se incluem neste tipo de manutenção são aqueles que são utilizados até a ocorrência de uma falha. O principal motivo desta prática é que esses equipamentos não impactam diretamente no processo produtivo das organizações, e cujo tipo de manutenção aplicada se mostra o mais viável do ponto de vista econômico.

Não é uma técnica muito desejada atualmente, pelo fato de que o equipamento fica indisponível, por paradas inesperadas e que podem causar perdas de produção. Dependendo da manutenção a ser executada, pode-se demorar muito tempo a ponto de não evitar maiores perdas para a produção. É executada quando verificada pela operação ou manutenção, alguma perda de função parcial ou total de um item.

Empresas adotam indicadores para evitar que se utilize a manutenção corretiva, principalmente em equipamentos que não trabalham com redundância, Assim a parada destes equipamentos influencia em toda planta operacional.

## 2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Consiste em estudar o equipamento e seus componentes, conhecendo a sua vida útil, podendo programar e planejar ajustes, verificações, ou troca de componentes em tempos determinados.

A manutenção preventiva é um método muito empregado pelas empresas, abrange cronogramas de paradas para substituição de componentes desgastados, inspeção geral do equipamento, comandada por um período que pode ser recomendado pelo próprio fabricante, ou pelo histórico de paradas devido a alguma particularidade que o processo impõe ao regime de trabalho.

O desenvolvimento da manutenção preventiva se dá em alguns pontos a serem discutidos, tais como:

- ✓ como decidir em quais equipamentos que deverá ser aplicada;
- ✓ verificar o histórico de intervenções;
- ✓ sobre custos de manutenção;
- ✓ custo de sobressalentes;
- ✓ custo do equipamento parado (quanto esta afeta a produção);
- ✓ realizar o levantamento dos recursos materiais e humanos que serão utilizados na intervenção, treinar e preparar a equipe que atuará nos equipamentos.

O planejamento e organização são pontos fundamentais para que a manutenção preventiva se torne economicamente viável; quando falamos em substituição de componentes em tempos determinados, esses componentes devem estar em estoque, e o controle de peças de reposição, deve-se de tal forma que as datas de entrega estejam próximas do momento de tal intervenção, evitando assim custos com estoques desnecessários.

A manutenção preventiva é executada no compressor em estudo periodicamente a cada 8000 horas de operação. O período é controlado por horímetro. As atividades para os dois estágios são:

- ✓ Abertura da tampa do cárter para inspeção e substituição, se necessário, de casquilhos do virabrequim e das bielas;
- ✓ Inspeção e substituição, se necessário, das vedações, raspador da haste e haste;

- ✓ Inspeção e substituição, se necessário, das vedações e anel guia do êmbolo;
- ✓ Inspeção e substituição, se necessário, das válvulas de admissão e descarga;
- ✓ Troca de óleo no motor;
- ✓ Teste do sistema de lubrificação forçada.

## 2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Consiste em monitorar regularmente a condição mecânica, através de indicadores operacionais, o desempenho do equipamento, a fim de identificar falhas em seu processo de trabalho. Prever a falha antecipadamente é uma das várias atribuições deste tipo de manutenção. A equipe de manutenção, atuando de forma preditiva poderá realizar medições com a máquina em operação, com objetivo de detectar anormalidades incipientes, que possam ser corrigidas antecipadamente para garantir o funcionamento, sem que se efetive uma falha, ou que ela se propague (NÓBREGA, 2011).

O investimento inicial para implantação da manutenção preditiva é alto, envolve mão de obra especializada, treinamento do pessoal envolvido, compra de equipamentos e *softwares*. A manutenção preditiva é uma ferramenta complexa, que se desenvolve com o tempo, e terá seu retorno de acordo com a eficiência da equipe de manutenção envolvida.

Este investimento pode gerar um alto retorno para empresa, vai depender da qualidade na geração de informações, e de como essas informações serão tratadas. O aperfeiçoamento do conhecimento dos técnicos e envolvidos com a manutenção preditiva também é destacado como uma vantagem, pois com o conhecimento aperfeiçoado do técnico em manutenção sobre o equipamento e as condições de uso deste equipamento, amplia a eficiência sobre a situação de trabalho para cada equipamento.

A continuidade operacional é a principal característica da confiabilidade nas plantas industriais, ou seja, significa a diminuição de paradas não programadas. A manutenção industrial deixou de ser um trabalho de intervenções corretivas e sim uma técnica para garantir que os equipamentos fiquem disponíveis na maior parte do tempo de produção. Para isso, é preciso inspecionar sobre a possibilidade de

ocorrência de que um defeito, situação em que um componente que está com características de funcionamento diferentes do padrão, seja detectado antecipadamente antes de evoluir para uma falha. Isso pode impedir a operação do equipamento, impactando na produção resultante da planta, ou seja, produtos com qualidade comprometida (SANTOS, 2008).

## 2.5 FERRAMENTAS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Para ser realizada a manutenção preditiva, diversas análises deverão ser realizadas, tais como:

- ✓ análise de vibração das máquinas,
- ✓ análise de pressões de trabalho,
- ✓ análise da temperatura de operação,
- ✓ análise de desempenho e
- ✓ análise da lubrificação.

Uma variedade de ferramentas pode ser utilizada para a execução dessas análises. Algumas delas são descritas a seguir:

### 2.5.1 Análise de vibração

Realizada através de equipamentos especiais tais como, coletores de vibrações, compostos por acelerômetros que registram a que frequência o equipamento está vibrando. Com o auxílio de *softwares*, é possível identificar a condição normal e a probabilidade de ocorrência de possíveis defeitos. Com o armazenamento de dados históricos em banco de dados, pode-se assim avaliar qual a tendência operacional para cada equipamento.

Com essa técnica pode-se identificar qual o defeito do equipamento em seu estado inicial. Isto exige experiência do analista, que poderá até operar máquinas que apresentem pequenos defeitos, dentro de uma faixa de risco, a fim de reduzir as intervenções corretivas. Com isso pode-se realizar um planejamento com folga de tempo para execução de qualquer intervenção (NÓBREGA, 2011).

### 2.5.2 Análise de óleo

É a avaliação das condições de máquinas por meio da identificação, classificação e quantificação das partículas presentes em lubrificantes de qualquer tipo (óleos ou graxas). São partículas de desgaste, contaminantes e produtos de degradação do lubrificante que permitem a diagnose de eventuais problemas identificando as causas do desgaste (VERATTI, 1992).

Através da coleta de óleo, realizada periodicamente de acordo com os manuais de equipamentos, é verificada a condição do óleo com equipamentos especiais, que são os analisadores de óleo. Verificam-se como estão as propriedades lubrificantes, se existe contaminação por água, qual a quantidade de partículas metálicas, índice de acidez, etc.

A análise de óleo é uma técnica que determinará a condição do óleo do equipamento e se este deve ser substituído ou não.

### 2.5.3 Termografia

A termografia é uma técnica que possibilita a medição de temperaturas e a obtenção de imagens de um componente, equipamento ou processo a partir da radiação infravermelha que um corpo emite, em função da sua temperatura (ABNT, 2006).

#### 2.5.3.1 Termografia infravermelha

Essa técnica permite estabelecer um mapeamento térmico dos objetos observados, originando assim os termogramas. É um método que serve de alternativa para realizar um estudo mais aprofundado de um determinado defeito complementando as técnicas usuais de manutenção preditiva como a análise de vibração e análise de óleo lubrificante, que consistem em monitorar os equipamentos em busca de defeitos os quais devem ser detectados de forma antecipada, acompanhando as suas evoluções, determinando a vida útil de seus componentes e o melhor momento para uma intervenção (MANGADO; 1993).

Tarpani (2009) cita algumas vantagens da termografia por ser um método não destrutivo, confiável, com rapidez de inspeção. As imagens são geradas em tempo real, possibilitando que a prévia da avaliação do objeto seja instantânea. Não mantém contato com o equipamento durante a inspeção, que poderá estar em operação normal para avaliação, e a radiação de trabalho não é prejudicial à saúde do inspetor. Descrito por Madalque (2002) como um método seguro tanto para o equipamento quanto para o inspetor, que obtém resultados de fácil interpretação, e uma vasta área de aplicação, utilizada em diagnósticos precoces da ocorrência de falhas.

Como desvantagem, os autores apontam o alto custo das câmeras infravermelhas.

Madalque (2002) comenta sobre a dificuldade em obter imagens de grandes estruturas, pois os efeitos termais devido à radiação do objeto podem induzir a erros, além de apresentar capacidade limitada de inspecionar a espessura dos materiais, o que geram dificuldades de interpretação devido à emissividade.

#### 2.5.4 Aspectos físicos

As principais faixas de comprimento de onda são:

- Gama;
- Raios-X;
- Ultravioleta;
- Luz visível;
- Infravermelha;
- Microondas;
- Ondas de rádio.

A termografia infravermelha é classificada de acordo com o espectro apresentado na Figura 4:

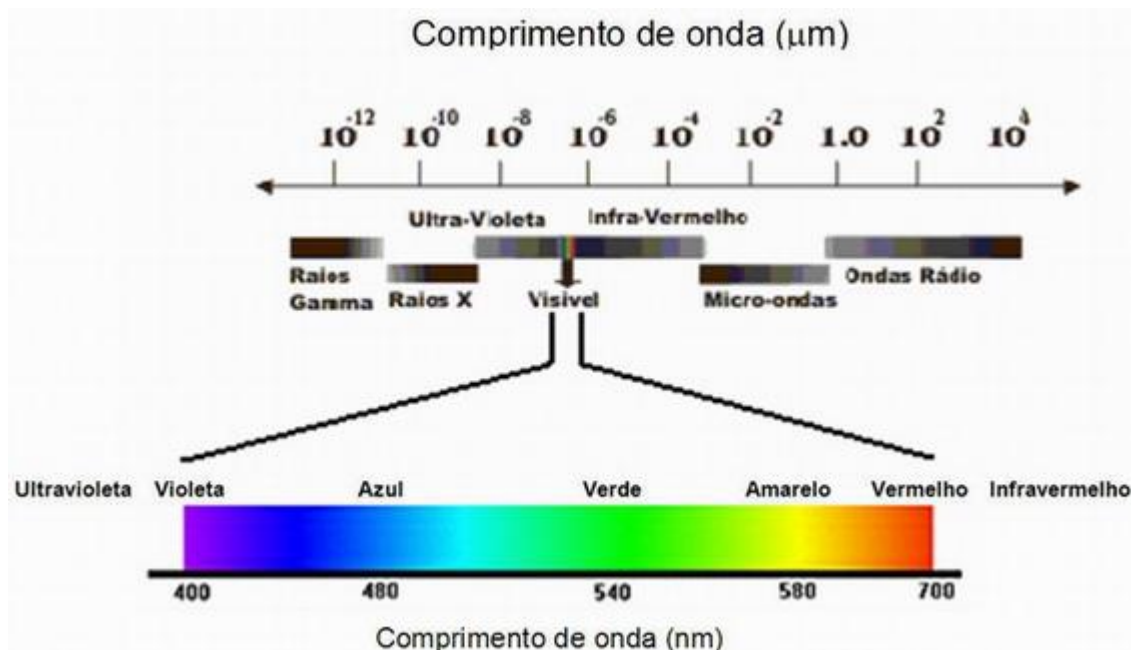


Figura 4 – Espectro de comprimento de onda.  
Fonte: ITC, 2007

#### 2.5.5 Radiação infravermelha:

A radiação infravermelha está localizada após a luz visível, ou seja, a frente da faixa de comprimento de onda visível ao olho humano, entre 0,75 a 1000 *microns*, e seu limite superior se confunde com as microondas.

#### 2.5.6 Radiação térmica:

Radiação térmica é a radiação eletromagnética que um corpo emite quando está a uma temperatura acima do zero absoluto. Ela é transmitida através de ondas eletromagnéticas e não precisa de um meio para se propagar.

Todo corpo emite radiação de acordo com a temperatura absoluta em que se encontra. A capacidade de emitir essa radiação está em função da sua emissividade, que pode variar de 0 a 1 (OLIVEIRA, 2010).



### 2.5.7 Emissividade

É a capacidade que um corpo tem em emitir radiação, e depende de vários fatores como: tipo de material, acabamento, influência de fatores externos (raios solares, oxidação, chuva, pintura). Essa radiação emitida é que estabelece a relação com a temperatura em que se encontra o objeto.

De um modo geral, há três tipos de corpos, distintos na maneira pela qual sua emissividade varia com o comprimento de onda:

- ✓ Corpo Negro: emissividade constante e igual a 1 ( $e = 1$ ).
- ✓ Corpo Cinza: emissividade constante e menor que 1 ( $e < 1$ ).
- ✓ Radiador Seletivo: caso mais próximo da realidade, no qual a emissividade varia com o comprimento de onda.

Segundo o modo como interagem com a radiação em um mesmo comprimento de onda, os corpos podem ser classificados da seguinte forma:

- ✓ Corpo Negro: emissividade constante e igual a 1 ( $e = 1$ ).
- ✓ Corpo Opaco: transmissão igual a zero ( $t = 0$ ).
- ✓ Corpo Transparente: permite os mecanismos de absorção, reflexão e transmissão.

É interessante salientar a influência da emissividade na troca térmica de um equipamento. Normalmente o aumento do valor da emissividade do revestimento externo de um forno ou linha isolada provoca uma queda da temperatura externa do equipamento, mas em contradição, há um aumento na quantidade de calor trocado com o ambiente. Por outro lado, a aplicação de uma pintura de baixa emissividade ou a instalação de chapas de alumínio na face externa do equipamento aumenta a temperatura externa do mesmo, com diminuição do calor trocado com o ambiente (VERATTI, 1997).

### 2.5.8 Corpo negro

É o objeto que tem o fator de radiação igual a 1, ou seja, ele ao mesmo tempo absorve toda a energia, irradia o máximo de energia também, é o radiador ideal, serve como parâmetro para cálculo da emissividade dos corpos através da fórmula da equação 1:

$$E = \frac{W'}{W} \quad (1)$$

Onde:

$W'$  - corpo qualquer.

$W$  - corpo negro.

### 2.5.9 Determinação da emissividade

Existem vários métodos de se medir a emissividade de um objeto, quando um valor mais preciso é requerido pelo analista. Seguem alguns desses métodos:

- 1) Aquece-se a peça ou uma amostra do material a uma temperatura, se possível próxima aquela em que serão realizadas as medições de campo. Com um sensor termopar de resistência, determina-se a temperatura real do objeto. Ajusta-se a emissividade do sensor de radiação (termovisor) até se obter valor idêntico de temperatura.
- 2) Reveste-se uma pequena área da superfície do objeto com tinta preta fosca ou fita adesiva tipo isolante. Mede-se a temperatura desse revestimento considerando-se uma emissividade de 0,90. Seleciona-se uma área próxima e segue ajustando a emissividade até se obter a mesma temperatura da área recoberta pela fita ou tinta. O valor obtido será a emissividade do material analisado.
- 3) Caso seja possível, perfura-se no objeto um orifício com profundidade entre 5 e 7 vezes seu diâmetro. Ao ser aquecido esse orifício atua praticamente como um corpo negro (considerar emissividade 0,98), servindo de referência para o ajuste de emissividade em uma área ao redor do furo. (VERATTI, 1992).

Alguns valores de típicos para verificação de emissividade podem ser utilizados, porém considerados apenas como referência, são fatores externos tais como: pintura, tratamento superficial, e a própria degradação do material podem influenciar na obtenção desse valor.

As tabelas 1 e 2 apresentam referências para valores típicos de emissividade em metais e não metais:

**Tabela 1 - Valores típicos de emissividade para metais**

Materiais	Comprimento de Onda 8 - 14 microns
Aço laminado a frio	0,7-0,9
Aço chapa áspera	0,4-0,6
Aço chapa polida	0,1
Aço oxidado	0,7-0,9
Aço inoxidável	0,1-0,8
Alumínio não oxidado	0,02-0,2
Alumínio oxidado	0,2-0,4
Bronze polido	0,01-0,05
Bronze áspero	0,3
Bronze oxidado	0,5
Chumbo polido	0,05-0,1
Chumbo áspero	0,4
Chumbo oxidado	0,2-0,6
Cobre polido	0,03
Cobre áspero	0,05-0,1
Cobre oxidado	0,4-0,8
Cromo	0,02-0,2
Estanho	0,05
Ferro oxidado	0,5-0,9
Ferro não oxidado	0,05-0,2
Ferrugem	0,5-0,7
Ferro fundido oxidado	0,6-0,95
Ferro fundido	0,2
Ferro fundido líquido	0,2-0,3
Níquel oxidado	0,2-0,5
Níquel eletrolítico	0,05-0,15
Ouro	0,01-0,1
Platina oxidada	0,9
Prata	0,02
Titânio polido	0,05-0,2
Titânio oxidado	0,5-0,7
Tungstênio polido	0,03-0,1
Zinco oxidado	0,1
Zinco polido	0,02

**Fonte: Veratti, 1997.**

**Tabela 2 - Valores típicos de emissividade para não metais**

Materiais	Comprimento de Onda 8 – 14 microns
Água	0,93
Areia	0,9
Argila	0,95
Asfalto	0,95
Basalto	0,7
Borracha	0,95
Calcário	0,98
Carborundum	0,9
Cascalho	0,95
Cerâmica	0,95
Concreto	0,95
Gelo	0,98
Gesso	0,8-0,95
Grafite	0,7-0,8
Madeira	0,9-0,95
Neve	0,9
Papel (qualquer cor)	0,95
Solo	0,9-0,98
Tecidos	0,95
Tintas (exceto alumínio)	0,9-0,95
Vidro - placa	0,85

**Fonte: Veratti, 1997.**

## 2.6 TIPOS DE TERMOGRAFIA

A inspeção termográfica pode ser dividida em dois métodos; Passivo e ativo.

### 2.6.1 Termografia ativa

O objeto em estudo deve receber um estímulo externo que facilitará a visualização do defeito (MALDAGUE; 2002).

Em estudo realizado por Tarpani (2009) o aquecimento de um laminado que foi submetido a um ensaio de impacto, mostra que as visualizações dos defeitos ficaram mais destacadas. Este método é aplicado a casos especiais, como inspeções em estruturas de aviões, que não podem ser feitas em tempo real.

### 2.6.2 Termografia passiva

O objeto em estudo já está com temperatura diferente da temperatura ambiente. É o caso de equipamentos em operação e sistemas energizados onde a passagem de corrente elétrica gera calor. Nesse caso uma distribuição de temperatura é analisada, devido a não estar recebendo um estímulo externo que mantenha o corpo todo na mesma condição (MALDAGUE; 2002).

## 2.7 PRINCÍPIOS DE ANÁLISE

### 2.7.1 Método qualitativo

Termografia qualitativa é utilizada quando os valores obtidos não são os resultados desejados, o que interessa é o mapeamento térmico apresentado, que fornecerá laudos de forma instantânea. Faz-se isso através de uma varredura na imagem em busca de defeitos, se eles realmente existem e onde eles estão.

Essa análise, normalmente é a primeira a ser executada, sempre que se busca pontos suspeitos na imagem, e assim que encontrados serão analisados, sem a necessidade da aplicação do método quantitativo.

Deve-se considerar que numa primeira medição não se pode concluir com tanta exatidão sobre a existência de algum defeito. Através de um histórico, ou por comparação com outro equipamento com características construtivas e operacionais semelhantes, as conclusões serão mais precisas.

Segundo Rezende, a aplicação da termografia pode detectar falhas potenciais ainda em seu estágio inicial, que não são perceptíveis aos sensores, por eles serem pontuais, enquanto a inspeção dá uma visão macro da distribuição das temperaturas.

### 2.7.2 Método quantitativo

Através do método quantitativo se pode analisar qual a gravidade que uma anomalia apresenta, sempre será um segundo método a ser aplicado, senão trata-se apenas de uma análise por comparação (REZENDE).

Este método é utilizado assim que o defeito é encontrado, para classificar a seriedade da anomalia, aferir a temperatura, e se ela está fora dos padrões, qual a gravidade desse ponto quente e se o equipamento realmente precisa de uma intervenção imediata, ou apenas ficará sob observação.

Para Tarpani (2009), a integridade de um material está ligada à resistividade térmica dele, portanto, cada ponto que apresentar divergência de temperatura, sendo analisado um mesmo tipo de material, poderá ser um determinado defeito a ser acompanhado.

## 2.8 CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS

Estabelecer critérios para classificar as anomalias encontradas nas inspeções é relevante para auxiliar na tomada de decisões, traçar prioridades e quantificar o estado do defeito, para isso referências podem ser utilizadas.

Valores de referência deverão ser tomados como bases para análises e são encontrados em manuais de fabricantes, históricos de manutenção, *check-lists*, informações operacionais. A partir do momento que as inspeções começam a ser realizadas periodicamente, uma referência importante está sendo criada, que é a tendência.

Com um conjunto de valores lidos em um mesmo local, podemos verificar o comportamento normal de um equipamento e traçar pontos de alarmes, para chamar atenção e alertar, que algo pode estar saindo da normalidade.

Não basta apenas inspecionar um equipamento aleatoriamente, construir um calendário de inspeções periódicas dos equipamentos ampliando o conhecimento do mesmo. É preciso manter a confiabilidade operacional, onde esse intervalo de inspeção seja de acordo com a identificação de que uma falha potencial não esteja evoluindo a ponto de o equipamento chegar à uma condição inoperante (ASSIS, 2009).

Na maioria dos casos, as falhas não são declaradas imediatamente, elas dão sinais potenciais, com o tempo, aumentam esses sinais e sua manifestação final poderá ter conseqüências negativas (ASSIS, 2009).

No caso de equipamentos dinâmicos, verificar um ponto somente depois de um aquecimento elevado pode ser tardio, por isso utilizaremos a termografia como

ferramenta complementar, e não como principal para análise das condições operacionais.

Para componentes elétricos uma variável é utilizada como parâmetros de temperatura, chamada MTA (máxima temperatura admissível), encontrada nas normas ABNT, NBR 5410 conforme Tabela 3:

**Tabela 3 - Máxima Temperatura Admissível (°C)**

Componente	MTA (°C)
Condutor Encapado (PVC)	70 - 100
Condutor Encapado (EPR)	65 - 95
Condutor Encapado (XLP)	60 - 85
Régua de Bornes	38 - 45
Conexões Mediante Parafusos	34 - 40
Conexões e Barramentos de Baixa Tensão	110 - 114
Conexões Recobertas de Prata ou Níquel	85 - 98
Fusível (corpo)	24

**Fonte: Brito, 2002.**

Brito (2002), adota um critério de classificação de falhas em 3 classes:

- ✓ Classe 1: custo elevado e toda unidade é afetada por essa falha.
- ✓ Classe 2: a parada de produção é restrita a uma unidade local.
- ✓ Classe 3: quando identificada a falha ainda tem recursos para evitar a parada de produção.

Após classificada a falha, então é traçada a prioridade de intervenção conforme a Tabela 4.

**Tabela 4 - Critérios de prioridade de intervenção**

Classificação	Comentários
Rotina	Reparar conforma data do plano de manutenção
Intermediária	Pequena possibilidade de falha ou danos físicos ao componente. Reparar quando possível. Verifique a possibilidade de falha do componente
Séria	Reparar o mais rápido possível. Se necessário troque o componente e inspecione os adjacentes a procura de danos físicos. Há possibilidades de falha nos componentes.
Emergencial	Reparar imediatamente. Troque o componente, inspecione os adjacentes e troque-os se necessário. É grande a possibilidade de falha do componente.

**Fonte: Brito, 2002.**

## 2.9 CÂMERAS TERMOGRÁFICAS

Os termovisores são sistemas geradores de imagens dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas. São compostos por duas unidades, que podem ou não estar reunidas em um mesmo conjunto: a unidade de câmera e a unidade de vídeo.

A unidade de câmera encerra o receptor óptico, mecanismos de varredura vertical e horizontal, detector e sistema de resfriamento do mesmo. Normalmente cobrem as faixas espectrais de 3 a 5 *microns* (para sistemas industriais) e de 8 a 12 *microns* (para sistemas militares e de pesquisa) (VERATTI, 1992).

A unidade de vídeo contém o processador de imagens, monitor de vídeo e controles. As imagens são apresentadas em branco e preto, podendo ser convertidas em imagens coloridas pela substituição da escala de cinza por uma paleta de cores.

### 2.9.1 Tipos de câmeras

As câmeras são classificadas de acordo com o comprimento de onda do componente onde se deseja realizar a inspeção, os metais são enquadrados entre 0,8 a 1,0 *microns*, vidros podem variar de 1,0 até 14,0 *microns* (VERATTI, 1992).

O limite máximo de temperatura também é um critério para escolha de uma câmera, por exemplo: para análise de interiores de fornos, onde se tem a observação de fontes geradoras de calor, como a chama do fogo, câmeras com diferentes níveis de temperaturas deverão ser empregadas, pois existem limites da faixa de trabalho para cada uma.

Existem vários recursos para a medição de temperaturas e análise das imagens térmicas, disponíveis nos termovisores, são eles:

- ✓ Temperatura Pontual: consiste de um ou mais marcadores, que permitem a leitura direta da temperatura do ponto da imagem onde estão posicionados, e algumas câmeras ainda possuem a opção de mostrar além da temperatura pontual, onde está o ponto mais quente da imagem.



- ✓ Isoterma: através da qual uma determinada faixa de temperatura é selecionada, a fim de excluir uma determinada área que não se tem interesse em verificar.
- ✓ Perfil térmico: mede a variação de temperatura ao longo de uma linha selecionada. São sistemas geradores de imagem dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas.
- ✓ Seleção de amostra: permite a delimitação de amostras na imagem, as quais podem variar na forma e tamanho, de acordo com as características da área a ser coberta para estudo.
- ✓ Amplitude térmica: realiza a medição dos valores máximo, médio e mínimo de intensidade de sinal na imagem ou amostra selecionada.

## 2.10 TIPOS DE COMPRESSORES

Compressores são equipamentos mecânicos que captam ar, ou gases em uma determinada pressão, com a função de comprimi-los até uma pressão desejada, de grande utilização em indústrias automatizadas para circuitos de ar comprimido, e em refinarias de petróleo como processo de produção de gases.

### 2.10.1 Compressores dinâmicos

O princípio de funcionamento desses compressores é fazer com que o gás ganhe velocidade conforme passa pelos estágios de palhetas ou rotores, partes do elemento rotativo, e com essa velocidade uma pequena quantia dessa energia recebida como forma de pressão, com essa característica, são mais utilizados para processos que exigem grandes quantidades de vazão e pressões baixas, os mais utilizados são os compressores axiais e centrífugos (NÓBREGA, 2011).

### 2.10.2 Compressor axial

Muito utilizado em refinarias e siderúrgicas, por apresentarem altas rotações, conseqüentemente alta capacidade de vazão, ele supera todos os compressores nessa característica, porém é o que menos comprime (Nóbrega, 2011). O gás é conduzido pelas palhetas rotativas (Figura 5) que faz com que ele ganhe velocidade, e quando entra em contato com as palhetas estacionárias transforma essa energia em uma pequena quantidade de pressão.



**Figura 5 - Rotor e estator de um compressor axial.**

**Fonte: O autor.**

### 2.10.3 Compressor centrífugo

Assim como o compressor axial, compressores centrífugos (Figura 6) fazem com que o gás ganhe velocidade para gerar vazão e pressão, porém o ar é impelido por rotores, e após essa passagem o gás é recebido pelos difusores que são componentes fixos a carcaça do equipamento, atravessando por mais de um estágio de compressão, a transformação da energia se dá pelo aumento da área de passagem, e com redução da velocidade (NÓBREGA, 2011).



**Figura 6 - Compressor centrífugo.**  
**Fonte: O autor.**

#### 2.10.4 Compressores de deslocamento positivo

São compressores que tem por característica vazões baixas, porém alto poder de compressão, trabalhando com pressões elevadas. Seu princípio de funcionamento se traduz em admitir uma quantidade de gás através de válvulas, que se fecham após essa etapa, e ficará enclausurado numa câmara, a qual terá seu espaço reduzido pela ação dos componentes móveis do equipamento, elevando a pressão do gás, forçando para que seja descarregado (NÓBREGA, 2011).

#### 2.10.5 Compressor de parafuso

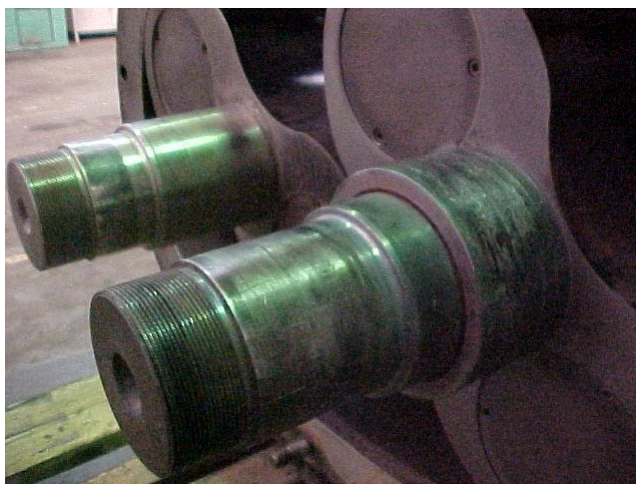
Dois rotores com formato de parafuso giram em sincronismo, admitindo o gás, e transportando para uma câmara seguinte que está fechada até que uma pressão de trabalho desejada seja atingida e a descarga realizada (Figura 7).



**Figura 7 - Unidade compressora de um compressor de parafusos.**  
**Fonte: O autor.**

#### 2.10.6 Compressor de lóbulos

Após a admissão, o gás passa entre dois ou mais rotores, que giram em sincronismo sem se tocarem, esses rotores tem um espaçamento maior no início, que vai diminuindo ao longo que o gás é conduzido para a descarga, aumentando sua pressão (Figura 8).



**Figura 8 - Compressor de lóbulos em manutenção.**  
**Fonte: O autor.**

### 2.10.7 Compressor alternativo de pistão

Uma quantidade de gás é admitida para dentro de um cilindro, equipado com válvulas de sucção e descarga, tais válvulas possuem molas que as mantêm fechadas, até que através do movimento alternativo de pistões, a região onde o gás se encontra é diminuída, sua pressão aumentada vencendo as molas e seguindo para um estágio seguinte, aumentando ainda mais a pressão, ou para a linha de descarga.

## 2.11 COMPRESSOR ALTERNATIVO EM ESTUDO

Compressores alternativos são máquinas complexas com vários componentes submetidos ao desgaste, devido seu regime de trabalho ser de alto impacto para sua estrutura geral. É um equipamento crítico com passagem de gás, podendo ter vazamentos, prejudiciais a saúde, e se não realizado acompanhamento da preditiva uma falha catastrófica também poderá ser resultante desse tipo de equipamento.

O equipamento a ser estudado trata-se de um compressor alternativo horizontal de dois cilindros opostos (Figura 9), de duplo efeito, chamado assim, pois existem duas câmaras de compressão, de configuração oposta, uma de cada lado do pistão, com funcionamento paralelo, neste caso é empregado como componente de uma unidade de tratamento de gases de uma refinaria de petróleo, foi fabricado em 1970, e está em operação há quase 40 anos.



**Figura 9 – Compressor alternativo horizontal de dois cilindros opostos.  
Fonte: Dresser-rand**

O compressor está instalado em uma planta de tratamento de gases de processos, cuja finalidade da unidade é a remoção de compostos sulfurosos visando à especificação do produto final (gás combustível).

O gás de processo é originado em outra unidade, oriundo da descarga de um compressor centrífugo, que tem alta vazão e descarga com baixa pressão, sendo essa insuficiente para movimentar o circuito de tratamento, uma vez que o mesmo passa por torres com fluxo contracorrente, e com o objetivo de promover absorção do enxofre presente no gás (SANTOS, 2010).

Considerando que esse processo gera uma perda de carga muito grande, é necessário elevar a pressão do gás. O processo de compressão pelo equipamento analisado, cumpre duas funções, efetuar a circulação do gás pela unidade, e promover a condensação de compostos pesados.

Dentro dessa circulação de gás, há pressão mínima requerida para atender o abastecimento um tronco de gás combustível, da planta industrial e cliente externo, no caso fornos de uma indústria de cerâmica, sendo que falhas em válvulas que vamos analisar pela termografia, geram perdas e até paradas de produção.

### 2.11.1 Componentes básicos

#### 2.11.1.1 Conjunto de acionamento

O conjunto de acionamento é formado por vários componentes da máquina, responsável por transformar o movimento rotativo do eixo acionador em movimento alternativo da haste, composto pelos mancais, carcaça, bielas, virabrequim, cruzeta, volante etc. (NÓBREGA; 2011).

#### 2.11.1.2 Conjunto de compressão

O conjunto de compressão é formado por componentes como: pistão, haste, cilindro, válvulas, anéis de compressão e tampas, todos esses componentes se encontram alojados no cilindro, que são ligados ao conjunto de acionamento e conectados as linhas de sucção e descarga (NÓBREGA; 2011).

### 2.11.1.3 Sistemas auxiliares

São itens essenciais para o funcionamento da máquina, compõe os sistemas auxiliares: sistema de refrigeração, lubrificação, garrafas de pulsação, tubulações, sistemas de monitoração e proteção, onde de acordo com o grau de importância para o processo, é definida sua complexidade (NÓBREGA; 2011).

A maioria desses componentes podem ser analisados com a termografia, compressores alternativos são complicados para serem analisados pela vibração, devido suas várias frequências apresentadas nos gráficos, com essa ferramenta de apoio estaremos trabalhando em paralelo, devido a termografia não ser aplicada como única ferramenta para analisar um equipamento desse porte. A tabela 5 apresenta os limites recomendados para temperatura nos compressores estudados.

**Tabela 5 - Limites de temperatura recomendados pelo manual do compressor (°C)**

	Alerta	Máximo
Lubrificação a base de graxa	70 - 100	>100
Lubrificação a banho de óleo	65 - 95	>95
Circuito de óleo	60 - 85	>85
Temperatura de sucção 1 estágio	50	60
Temperatura de sucção 2 estágio	50	60
Temperatura de descarga 1 estágio	110 – 114	
Temperatura de descarga 2 estágio	85	100
Temperatura da água de resfriamento entrada	20	25
Temperatura da água de resfriamento saída	40	45

### 3 DESENVOLVIMENTO

O estudo realizado neste trabalho visa atender os objetivos da manutenção, que são maximizar a disponibilidade dos equipamentos e instalações, ou seja, a continuidade operacional e a capacidade de operação, preservando a confiabilidade, a segurança e o meio ambiente, de forma econômica.

Através da verificação e da análise termográfica de um equipamento compressor situado em um processo de produção de uma planta industrial, o presente estudo apresenta algumas vantagens e aplicações da termografia infravermelha no auxílio às decisões de manutenção, atuando de forma preditiva.

A termografia infravermelha através da captação de imagens é uma técnica moderna, em constante evolução. Esta relação entre calor e anomalia, vem da Grécia antiga como Platão, Aristóteles, Hipócrates, e Galeno, já estudavam os efeitos da temperatura no corpo humano. Hipócrates praticava um tipo de termografia com contato, quando espalhava lama pelo corpo do paciente e observava qual região secaria primeiro, indicando um estado febril, que deveria ser analisado com maior atenção (BRIOSCHI, 2003).

Nesse estudo é abordada a termografia passiva, onde se deve avaliar o equipamento na condição de regime permanente, ou seja, em operação, pois é nesta condição que os defeitos poderão ser visualizados, através da termografia. O equipamento até apresenta termopares para detecção de temperatura em alguns pontos, porém não dará uma visão abrangente do sistema para identificação de falhas.

Primeiramente foram identificados alguns pontos que serão de grande importância para análise termográfica nesse tipo de equipamento, que são onde ocorrem atritos, ou aquecimentos devido à configuração de trabalho, e regiões onde possam ocorrer aquecimento maior que o recomendado pelo fabricante.

Algumas recomendações são importantes para a realização de uma inspeção, observar as condições ambientais, tais como; umidade, reflexos, vento, temperatura, entre outros, são essenciais, pois se a variação for muito alta deve-se ressaltar no relatório que esses fatores influenciam na aquisição da imagem térmica, não se tratando de um defeito.

A princípio será realizada a geração de imagens termográficas com o objetivo de obter um banco de dados para válvulas de sucção e descarga para os



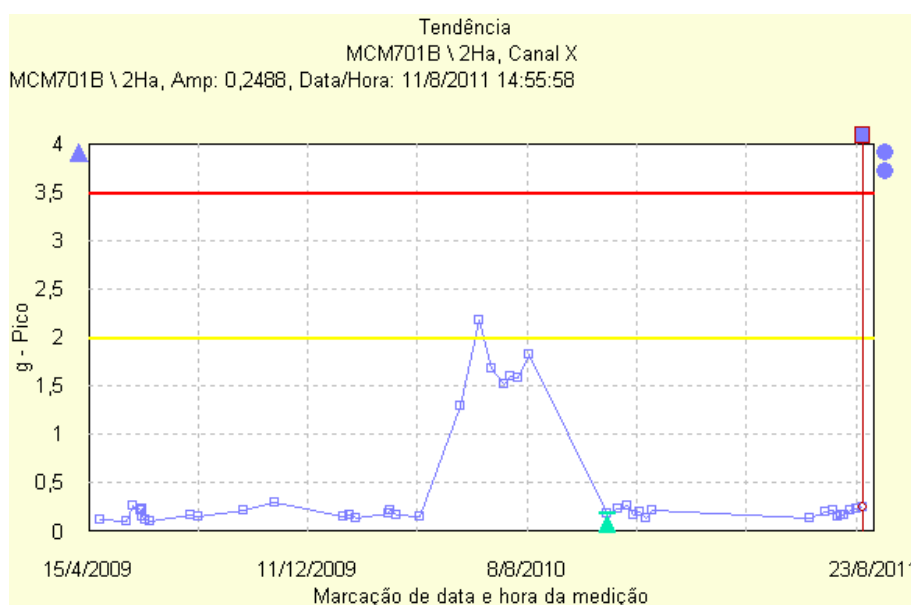
compressores alternativos foram implementadas, resolvemos estender para os demais componentes do equipamento conforme seguiremos abaixo.

### 3.1 OUTRAS ANÁLISES REALIZADAS NO COMPRESSOR

A análise de vibração no compressor em estudo é executada com o sistema de monitoramento *off line* com acelerômetro e coletor de dados marca SKF. Os pontos monitorados com periodicidade quinzenal são:

- ✓ Extremidade dos cabeçotes do 1º estágio – direção axial, deslocamento com alarme de alerta 440  $\mu\text{m}$  e alarme de falha 500  $\mu\text{m}$ ;
- ✓ Extremidade do cabeçote do 2º estágio – direção axial, deslocamento com alarme de alerta 440  $\mu\text{m}$  e alarme de falha 500  $\mu\text{m}$ ;
- ✓ Mancal lado oposto do motor – direções horizontal, vertical e axial, deslocamento e velocidade;
- ✓ Mancal lado acoplado do virabrequim – direções horizontal, vertical e axial, deslocamento e velocidade;

Abaixo segue um gráfico de tendência dos dados coletados em análise de vibração, extraído do programa da SKF, de um dos pontos medidos horizontalmente no lado acoplado no motor do compressor.



**Figura 10 – Gráfico de tendência de um ponto do motor do compressor.**  
Fonte: o autor

Nesse caso está o histórico desde o mês 04/2004 até a última medição em 23/08/2011, observa-se que num período da metade do ano de 2010, foi verificado um aumento na vibração, e após intervenção para substituição dos rolamentos o motor voltou nas condições normais, caso antecipado à quebra do rolamento, pré-definindo uma intervenção, sem perda de produção, pois existe máquina reserva.

A análise de óleo no compressor é realizada por comparação com um analisador da marca CSI, modelo *oil view*, com periodicidade mensal e análise química para verificação de corrosividade somente, com periodicidade quinzenal.

### 3.2 CÂMERA UTILIZADA

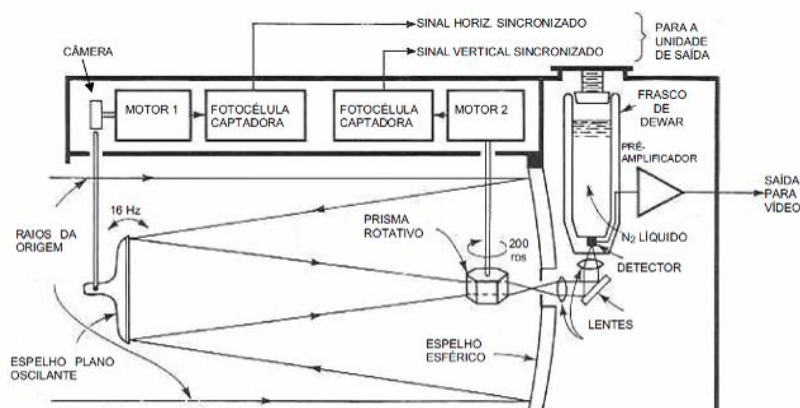
Neste trabalho, para realização das inspeções no compressor alternativo, foi utilizada a câmera portátil, com alta resolução, Thermocom modelo V52 (Figura 11), com detector de 384 x 288 pixels, 25  $\mu\text{m}$ , que trabalha numa faixa espectral de 7 a 14  $\mu\text{m}$ , com campo de visão de  $14^\circ \times 10^\circ / 40\text{mm}$ , e sensibilidade térmica que varia entre 0 a  $30^\circ\text{C}$ .



Figura 11 - Câmera termográfica Thermocom V52.

#### 3.2.1 Princípio de funcionamento

A função da câmera termográfica é de captar a radiação eletromagnética que um corpo está emitindo, e conforme ilustrado no esquema da Figura 12, transformar numa imagem visualmente nítida.



**Figura 12 - Esquema de funcionamento de uma câmera termográfica.**  
**Fonte: Pacholock, 2004.**

### 3.3 VÁLVULAS DE SUCÇÃO E DESCARGA

Válvulas de sucção e descarga de gás (Figura 13), são muito exigidas durante a operação desse equipamento, trata-se de um componente crítico, onde uma falha pode diminuir a capacidade de carga do compressor, gerando perda de produção. A relevância em ser analisadas deve-se a quantidade de abertura e fechamento dessas válvulas, a cada ciclo, e requerem um cuidado especial.

Com a rotação do motor em 585 RPM, as válvulas se abrem e fecham no mesmo ciclo que a rotação, isso gera um aquecimento normal, além de ficarem localizadas numa região de compressão de gases, que passando por um cilindro gera um diferencial de temperatura entre sucção e descarga de 70 graus celsius.

Cada válvula é composta por componentes como sede, guarda, obturador e molas fazendo um sistema de retenção, que trabalham em atrito continuamente, além de estarem localizadas no caminho do gás, que carrega com eles partículas sólidas, corpos estranhos que se desprendem durante o processo, condensados do sistema etc. (NÓBREGA; 2011).

Segundo Nóbrega (2011) as válvulas determinam a periodicidade de manutenção do compressor, sendo um dos componentes que mais causa paradas para intervenção, com a termografia, consegue-se verificar nitidamente qual válvula está com problema devido a diferença de temperatura com as outras.

Uma válvula com algum disco quebrado ou com molas fadigadas, estará aquecendo mais, pois não trocam calor com o gás mais frio de sucção, recirculando o que está no cilindro, aquecido em função da compressão.

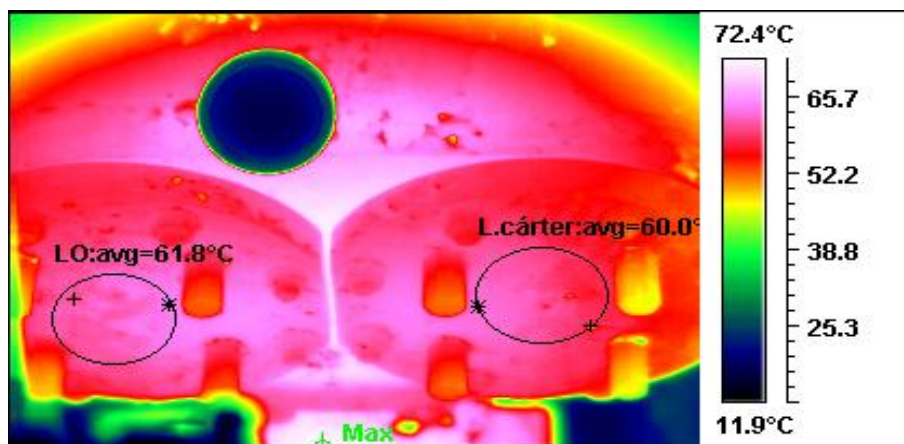


Figura 13 – Termograma das válvulas de descarga do compressor  
Fonte: o autor

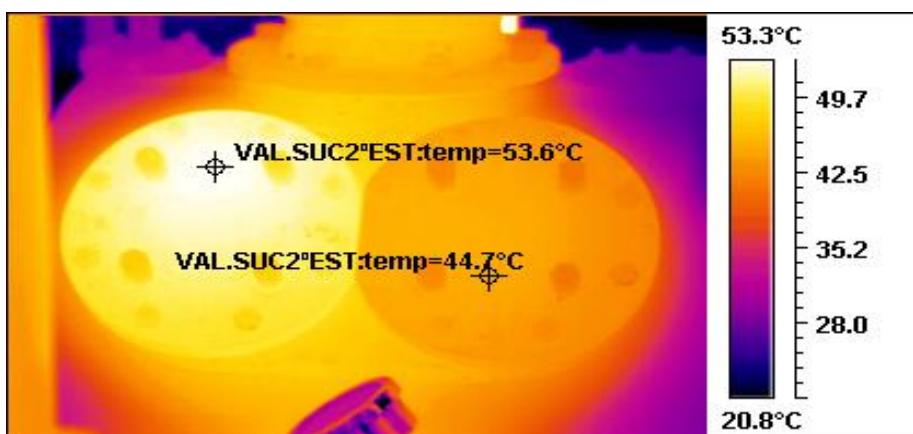


Figura 14 – Termograma das válvulas de descarga do compressor apresentando aquecimento  
Fonte: o autor



**Figura 15 - Foto de uma válvula quebrada, após desmontagem, e acima o termograma indicando que ela estava aquecida.**

**Fonte: o autor**

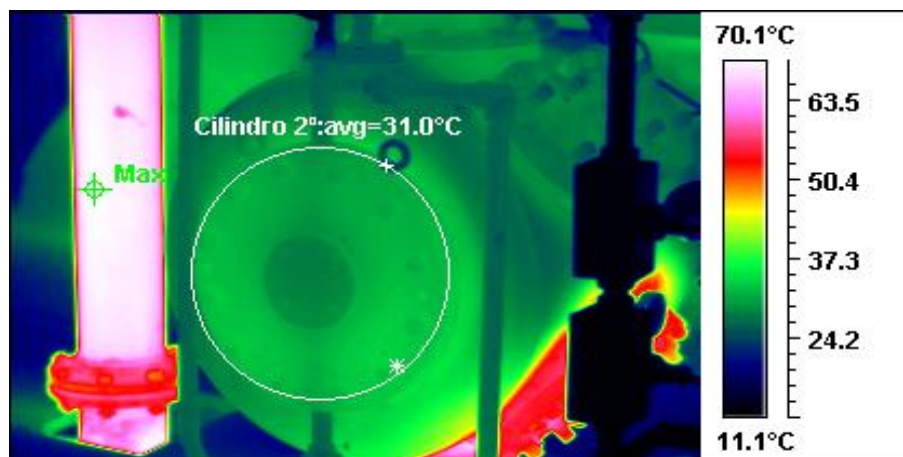
A técnica de imagens termográficas nos possibilita, por exemplo, analisar a condição de funcionamento das válvulas de compressores alternativos de modo individualizado. Desta maneira podemos atuar também de modo individualizado, substituindo apenas as válvulas com problemas e não a substituição das 12 válvulas da máquina como feito nas manutenções preventivas.

A redução de custo na intervenção somente tomando por base o custo da válvula fica evidenciado que será proporcional ao número de válvulas identificadas com possibilidade de falha, ao invés de realizar preventiva geral com substituição de todas as válvulas.

### 3.4 CILINDRO

É onde o pistão está trabalhando para comprimir o gás, onde estão instaladas as válvulas de sucção e descarga, sistema de selagem, sistema de refrigeração e lubrificação, podemos afirmar que é onde tudo acontece, devido o trabalho conjunto de todos esses componentes (NÓBREGA; 2011).

No cilindro (Figura 16), há possibilidade de gerar uma imagem global, assim analisar como está a circulação da água de refrigeração e o mapeamento do aquecimento geral, como está o sistema de lubrificação, e a eficiência do sistema de selagem, conforme o trabalho é executado por ele.



**Figura 16 – Termograma do cilindro de compressão.**

Fonte: o Autor

### 3.5 MOTOR

Em motores elétricos pode ser aplicado a termografia de forma correlacionada a outras técnicas, como análise de vibração, ultra-som, ferrografia uma integração desses métodos para termos multiparâmetros, onde o usuário acompanha a evolução, envelhecimento da máquina, até mesmo diagnosticar algumas falhas como curto circuito entre espiras, verificar a eficiência do sistema de refrigeração, falha parcial de isolamento, deficiências estruturais e infiltrações (REZENDE; s/d).

No motor (Figura 17) fica visível como está a região dos mancais de rolamento, a eficiência da refrigeração da carcaça pela ventoinha, verifica-se a caixa de ligação elétrica e cabeamento, que influenciado pela vibração provoca o desgaste do isolamento, pelo atrito com a estrutura da caixa, gerando em últimos casos, quando não detectado, curto circuito.

O limite de temperatura ao qual um motor elétrico pode ser submetido depende dos materiais empregados em sua construção. Os materiais isolantes utilizados são especificados segundo Classes de Isolamento, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura que o material pode suportar continuamente sem que sua vida útil seja afetada.

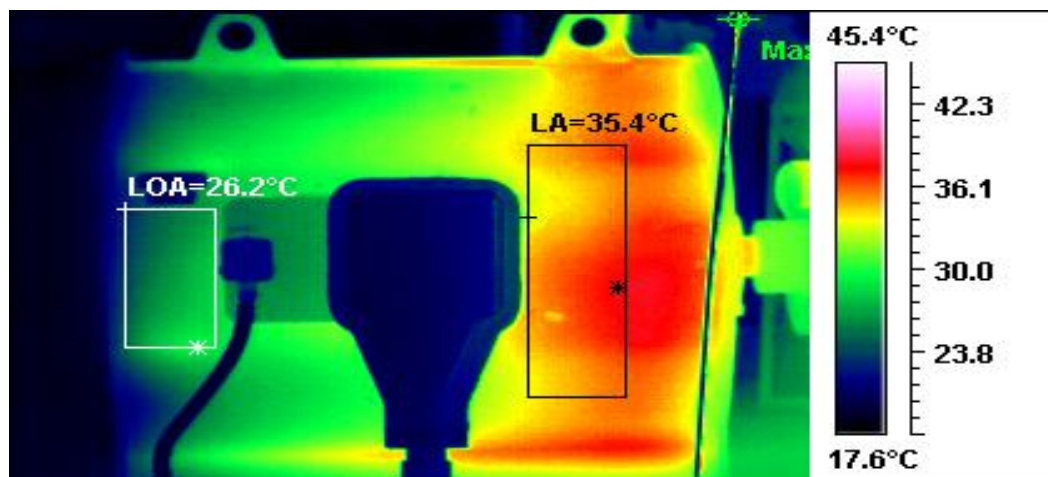


Figura 17 – Termograma do motor do compressor  
Fonte: O autor.

### 3.6 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Na região onde fica o sistema de lubrificação (Figura 18), a bomba de óleo está acoplada ao virabrequim, sendo possível analisar como está a temperatura do óleo, e o aquecimento do mancal do lado oposto ao acoplamento.

Nesse mesmo local tem o trocador de calor que resfria o óleo do cárter que abastece todos os pontos de lubrificação dos mancais, cruzetas, sua eficiência é evidenciada nas imagens termográficas, assim como possíveis obstruções, visto que muitas incrustações se formam nessa região, fazendo com que a pressão do óleo diminua podendo causar danos ao equipamento.

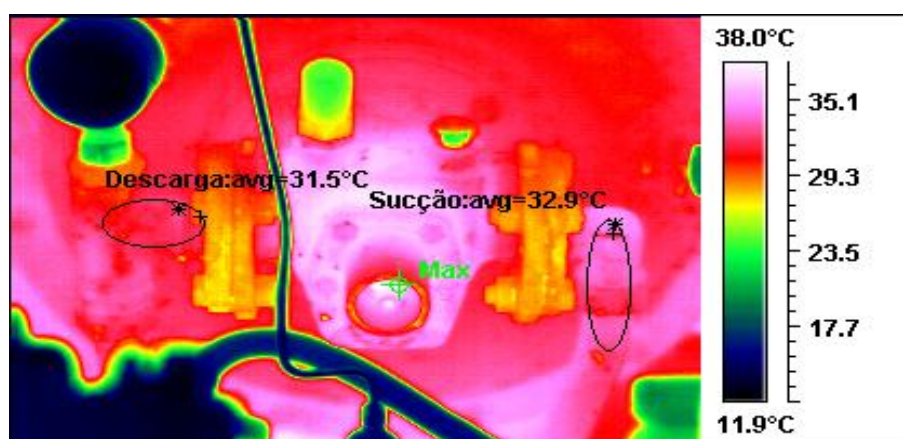
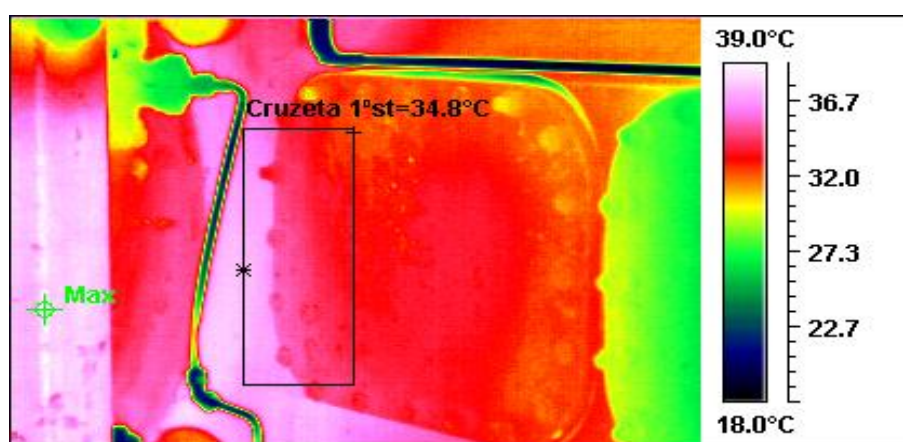


Figura 18 – Termograma da bomba de óleo acoplada.  
Fonte: o autor

### 3.7 CRUZETAS E GUIA DA CRUZETA

A cruzeta é a ligação entre a biela e a haste do pistão (Figura 19), é onde o movimento giratório do virabrequim será repassado horizontalmente ao pistão, com o constante atrito entre as guias da cruzeta, devido a folga ser reduzida para formação do filme de óleo, se torna uma parte importante a ser analisada, quando do aquecimento demasiado, podendo ser ineficiência de lubrificação, a após manutenção geral para verificar como ficou o alinhamento do da guias.



**Figura 19 – Termograma da região externa a cruzeta.**  
 Fonte: o autor

Um termograma eficiente dependerá da câmera utilizada, dentro dos parâmetros corretos de medição, e de uma boa imagem obtida pelo operador, que deve ter conhecimento do que está sendo analisado e de como se comporta o equipamento.

Para que os resultados globais de um programa de termografia sejam compensadores, as inspeções devem fazer parte de um ciclo que permita a melhoria contínua e o máximo aproveitamento do tempo empregado e das informações coletadas, não só para a correção dos defeitos detectados, mas também para o aperfeiçoamento dos equipamentos ou dos processos monitorados.



## 4 RESULTADOS

Abaixo segue a tabela com os valores padrões de temperatura, ou referências, e as encontradas durante o estudo:

**Tabela 6 – Comparação de valores máximos admissíveis e os coletados (°C)**

	Máximo	Encontrado*
Temperatura de sucção 1 estágio	50	53,5
Temperatura de sucção 2 estágio	50	30,2
Temperatura de descarga 1 estágio	100	76,5
Temperatura de descarga 2 estágio	114	82,8
Mancal do motor lado oposto	100	26,2
Mancal do motor lado acoplado	100	35,4
Circuito de óleo	85	32,9
Circuito de óleo nas cruzetas	85	34,8
Temperatura da água de resfriamento entrada	25	18,3
Temperatura da água de resfriamento saída	45	31,5

\* nos valores encontrados, trata-se da maior temperatura encontrada nos componentes com a mesma característica.

A termografia mostrou-se uma ferramenta importante nos compressores alternativos para verificação do aquecimento das válvulas como apresentado no caso da figura 13, a diferença de maior relevância foi a válvula encontrada com 53,5 °C, onde foi encontrada a divergência entre temperatura de duas válvulas, quando desmontada uma pequena fissura em um dos discos de vedação, um problema detectado de forma antecipada ao rompimento total da válvula, podendo planejar a substituição de uma só peça, que antes gerava uma manutenção completa.

Os ganhos gerados com a aplicação da técnica são evidentes, a recuperação de um conjunto completo de válvulas gera um custo de R\$ 7019,30, a manutenção de uma única válvula gera um custo de R\$ 584,94, o prejuízo da unidade parada, aproximadamente R\$ 200.000,00 p/dia.

Confirmou o estudo de Cortizo (2007), sobre a agilidade em que se tem com a geração da imagem térmica comparada com pontos locais de medição de temperatura como por termopares, ou outros sensores de temperatura pontuais, nos dois se obtém resultados semelhantes, porém a instalação desses sensores são somente para uma máquina e em série, com a câmera podemos realizar em diversos equipamentos a análise, mas não temos o acompanhamento online da situação.

Mostra que durante uma inspeção termográfica, o operador busca por anomalias térmicas que evidenciem a ocorrência de alterações operacionais nos

equipamentos observados. (VERATTI, 1997) Essas anomalias térmicas podem ter diferentes causas:

**Elétrica:** a anomalia deriva da produção de calor por efeito Joule, como em conexões elétricas aquecidas ou regiões de indução.

**Mecânica:** a anomalia é causada por atrito ou vibração decorrente de desgaste ou falta de lubrificação, em aquecimento em mancais, acoplamentos, atrito com estruturas.

**Fluxo de Produto:** a anomalia é produzida por um movimento indevido de massa, provocado por um vazamento ou obstrução do fluxo de produto, em purgadores dando passagem, filtros de óleo obstruídos, trocadores de calor em más condições.

**Fluxo de Calor:** a anomalia está associada a uma troca anormal de calor devido a uma anormalidade no revestimento isolante ou refratário, como em queda de revestimento em linhas de vapor, desgaste de isolamentos de vasos de pressão.

Mostrando a diversidade industrial de aplicação da técnica, como estudada por Al-Kassir et al (2005), foi o princípio desse trabalho, não se atendo apenas as válvulas do compressor, mas como um mapeamento geral do equipamento em busca de anomalias.

Como apresentado no caso da válvula, até o momento foi a única anomalia detectada por meio da termografia nesse compressor, conhecemos casos de motores elétricos como identificado com Rezende (s/d), e nesse trabalho apresentado com a identificação pela análise de vibração, outra ferramenta importante para antecipação de ocorrências de paradas de equipamentos por falta de manutenção.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação da termografia infravermelha para análise de compressores alternativos se torna uma ferramenta importante para auxílio de tomadas de decisões, mostrando que o comportamento térmico de um equipamento e não apenas o monitoramento por sensores pontuais, dá uma visão ampla sobre o que está ocorrendo.

A técnica de imagens termográficas deve ser aliada a outras técnicas preditivas. Há necessidade de um grande conhecimento do equipamento e uma qualificação específica dos técnicos de termografia para se estabelecer parâmetros e critérios para manutenção. Os ganhos gerados com a aplicação da técnica são evidentes

A maioria das bibliografias encontradas a respeito da aplicação da termografia são voltadas para os setores da elétrica onde realmente se torna como uma das mais importantes técnicas de prever falhas, porém nos equipamentos dinâmicos, e principalmente em compressores alternativos, como fonte de uma melhor localização do defeito, evitando gastos demasiados com atuações da manutenção em regiões que estão em boas condições.

Neste trabalho foi realizado o levantamento térmico da máquina escolhendo os pontos principais a serem analisados, um desafio para trabalhos futuros será, de acordo com o histórico relatado, promover um estudo das temperaturas, principalmente da região das válvulas para obtenção do melhor momento de intervenção para substituição, antecipando a perda de eficiência, por motivo de quebra de válvula.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.G.R.: **Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados Compósitos Sólidos de Matriz Polimérica Reforçada com Fibras de Carbono**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

AI-KASSIR, A.R.; et. al Thermographic study of energetic installations. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, p. 183–190, 2005.

ASSIS, R. Calendário de inspeções em Manutenção Preventiva Condicionada com base na Fiabilidade – In: **3º. Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade**, 2009, Rio de Mouro, Portugal. Disponível em: <[http://www.rassis.com/artigos/Artigo%20ENRSF\\_RA\\_1.pdf](http://www.rassis.com/artigos/Artigo%20ENRSF_RA_1.pdf)> Acesso em: 16 jun 2011.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15424**: Ensaio não destrutivo – Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

AVDELIDIS N.P et al.: X. Transient thermography in the assessment of defects of aircraft composites. **NDT & E International**, University of Bath, Bath. v. 36, n. 6, p 433–439, Reino Unido, 2003.

BRIOSCHI, M. L.; **A História da Termografia: Conceitos Antigos da Produção de Calor**. 2003. Disponível em: <<http://www.la.if.sc.usp.br/art/ahistoriadatermografia.pdf>> Acesso em 25 nov 2011.

BRITO, J.N.: **Desenvolvimento de um Sistema Inteligente Híbrido para Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade estadual de Campinas. Campinas, 2002.

CORTIZO, E. C.: **Avaliação da Técnica de Termografia infravermelha para Identificação de Estruturas Ocultas e Diagnóstico de anomalias em Edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica: Calor e Fluidos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

FERREIRA, R. J. P.: et. al Aplicação de Modelo Multicritério para Manutenção Preditiva com Uso de Técnicas de Termografia. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2010, São Carlos, São Paulo.

ITC, Infrared Training Center.: **Manual do curso de termografista nível I**, rev. 1 Danderyd, Suécia, 2007.

MALDAGUE, X. Introduction to NDT by Active Infrared Thermography. **Materials Evaluation**, Quebec City, Canadá, v. 60, n. 9, p. 1060–1073, 2002. Disponível em: < [http://w3.gel.ulaval.ca/~maldagx/r\\_1221t.pdf](http://w3.gel.ulaval.ca/~maldagx/r_1221t.pdf)> Acesso em: 16 jun 2011.

MANGADO, T. V. Aplicacion de la termografia de infrarrojos a la mecânica vibratória. **Revista Dyna**, n. 2, p. 31-32, mar. 1993.

MELO, A. G. B.: **Inspeção em juntas coladas de tubos feitos por compósitos por termografia ativa pulsada**. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Modalidade Profissional, Especialidade Engenharia de Inspeção de Equipamentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

NÓBREGA, P. R. L. **Compressores**: manutenção de compressores alternativos e centrífugos. Rio de Janeiro: Synergia, IBP, 2011.

OLIVEIRA, J. H. E.: **Inspeção Automatizada Utilizando Termografia**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA P. R. X.: **Termografia- Preditiva em compressores alternativos**. VIII Seminário Paranaense de Manutenção, Associação Brasileira de Manutenção, ABRAMAN. Curitiba, 2008.

PACHOLOK, M.: **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas**: Uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Pontifca Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2004.

PALACIOS, A.M.G.: **Uso de Técnicas de Termografia para Detecção de Discontinuidades no Processo GTAW Através do Monitoramento da Poça de Fusão**. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Universidade de Brasília. Brasília, 2010.

REZENDE C. F. O. Aplicações termográficas na manutenção; Onde geralmente erramos. **Nova Manutenção y Qualidade**, v. 62, p. 28-32, s/d. Disponível em: <<http://www.myq.com.br/html/revistas/62/MyQ62ter.pdf>> Acesso em: 16 jun 2011.

SANTOS, C. H. A. **Termografia**: Ferramenta de Manutenção, 2008. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/caaml/Revista/2008/Portugues/19-Pag60.pdf>> Acesso em: 11 jun 2011.

SANTOS, M. M. dos. **Xisto**: Um estudo de viabilidade econômica para o Brasil. 2010. Tese de Doutorado em Energia - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-13062011-115719/>>. Acesso em: 04 jan 2012,

TARPANI, J. R. Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 318-328, 2009.

VERATTI, Bruno A. **Termografia: princípios aplicações e qualidade**. São Paulo: ICON Tecnologia e Serviços LTDA, 1992.

VERATTI, Bruno A. **Termografia: CD interativo**. São Paulo: 1997. Disponível em: <<http://www.termonautas.com.br>> Acesso em: 12 jan 2012,