

ANÁLISE TERMOGRÁFICA DO COMPORTAMENTO DE UM MOTOR TRIFÁSICO

Daniel Santos Lima¹, Ladjane Coelho dos Santos², Iraí Tadeu Ferreira de Resende³

¹Discente de graduação em Automação Industrial - IFS. e-mail: dsldaniel@hotmail.com; ²Professora do Curso de Automação Industrial - IFS. e-mail: ladcoelho@hotmail.com; ³Professor do curso de Automação Industrial - IFS. e-mail irairesende@gmail.com.

RESUMO: Os motores elétricos são máquinas que tem como função transformar energia elétrica em energia mecânica, sendo o principal meio de conversão eletromecânica existente. A medida que qualquer motor funciona a sua temperatura se eleva, tendo dissipação de calor no ar ambiente, para não chegarem em valores extremos. No entanto, temperaturas acima da faixa de trabalho especificada pelos fabricantes dos mesmos, indicam a existência de um problema, que pode ser gerado por vários fatores, nos quais acarretam prejuízos no rendimento do motor, levando eventualmente à queima dos seus componentes. A termografia é um importante aliado na análise da elevação da temperatura dessa máquina elétrica, pois, permite calcular e estimar a temperatura superficial a distância sem a necessidade de desmontar ou tirá-lo do local de operação no momento da inspeção, por meio da radiação infravermelha emitida pelo motor. Utilizando a câmera termográfica THT47 da HT instrumentos, o presente trabalho mostra análises térmicas do funcionamento, em quatro diferentes situações, duas com problema de desequilíbrio de fase nas ligações delta e estrela, uma com comportamento incomum e outra com a forma padrão de funcionamento, de um motor trifásico de 1cv, que através da geração de imagens térmicas e de gráficos, mostram que esse motor com desequilíbrio de fase, ligado em delta, apresenta temperaturas mais elevadas do que na ligação estrela, chegando a uma temperatura superficial de 46,9°C nessa situação.

Palavras-chave: Desequilíbrio de fase; Motor trifásico; Termografia.

INTRODUÇÃO

Segundo CRUZ e BERWANGER (2015) a área eletromagnética sofreu diversas descobertas e desenvolvimentos entre os séculos XVIII e XIX, e foi através desse meio de conversão de energia elétrica em mecânica que surgiu os motores elétricos, mediante os quais, KOSOW (2005) cita que num campo magnético, condutores são atravessados por corrente elétrica, sofrendo a ação de uma força mecânica, chamada de torque. CRUZ e BERWANGER (2015) argumentam ainda que os motores têm grande parte no processo e desenvolvimento tecnológico da humanidade dos dias atuais, NARROL e STIVER (2008) reforçam esse argumento citando que na indústria sua importância é inquestionável, já que cerca de 75% do consumo energético industrial mundial é destinado as suas inúmeras aplicações, sendo os trifásicos os mais utilizados em aplicações de potência na indústria, necessitando por isso, manutenções preditivas e análises rápidas e eficazes.

Todavia, a principal evidência de um problema em motores é apresentada em forma de elevados valores de temperatura, que podem ser gerados por vários fatores, onde dentre eles, comumente, está o desequilíbrio em sistemas trifásicos, que acarretam prejuízos significativos no rendimento do motor, levando a queima de seus componentes. Segundo ALMEIDA *et al.* (2010) a elevação da temperatura pode ser analisada e monitorada por alguns métodos de medições, tais como: termopar, pirômetro de radiação, termômetro, câmeras termográficas e termovisores.

BUSTAMENTE (2005) cita que a temperatura do meio refrigerante influencia diretamente na elevação de temperatura no motor, e para um melhor rendimento essa deverá estar na faixa ambiente de (-15) a 40°C, e seus valores em altitude inferior a 1000 metros, que

são estabelecidos pela NBR-7034, com edição em 1981. As partes internas do enrolamento são as que mais sofrem influência da temperatura, em suas ranhuras, tanto no rotor quanto no estator, se nesse sentido a temperatura máxima dos condutores é ultrapassada, a deterioração do seu isolamento pode ocorrer, gerando posteriormente a manifestação de curto-circuito.

A Norma Brasileira classifica os materiais isolantes por meio de letras, e assim os motores recebem a mesma classificação térmica, que podem ser A, E, B, F ou H, e indicam valores máximos de elevação de temperatura com base na NBR-7034. Segundo BUSTAMANTE (2005) os materiais que comumente são usados na fabricação de motores elétricos industriais são os da classe A, B e F. Contudo no presente trabalho se focará a classe B, que é a qual o motor trifásico utilizado nos experimento pertence, onde de uma forma resumida, é composto pelos seguintes materiais: mica, amianto e fibras de vidro aglomeradas por substâncias orgânicas. Esses materiais permitem à classe B, trabalhar a uma temperatura máxima de operação a 80°C, ter uma diferença entre a temperatura mais quente e a média de no máximo 10°C e seu isolamento suportar a temperatura máxima de 130°C.

A Termografia, segundo YAMACHITA (2013) é baseada na estimulação térmica de imagens, isso se dá através da radiação infravermelha emitida pelos objetos com temperatura acima do zero absoluto (0° K ou -273,16°C) que é derivada da agitação de átomos e moléculas que constituem esse determinado objeto. ÁLVARES (2008) cita que esse processo de radiação ocorre em transferência de energia de uma superfície com altas temperaturas para outra superfície de temperatura mais baixa, quando tais superfícies estão separadas no espaço, ainda que exista vácuo entre eles, através de ondas eletromagnéticas denominadas calor radiante, predominando os raios infravermelhos que viajam na velocidade da luz, a energia assim transferida é chamada de radiação térmica, e a capacidade de um corpo emitir energia infravermelha é chamada de emissividade (ϵ).

ÁLVARES (2008) ainda ressalta que a emissividade é uma grandeza adimensional que varia entre 0 e 1, e o corpo que emite esse valor máximo é chamado de corpo negro, todavia, a emissividade não é uma propriedade muito simples de ser determinada. Dessa forma, YAMACHITA (2013) cita que quando não é possível fazer o ajuste da emissividade a melhor opção é a estimativa da emissividade, que se dá através de tabelas predefinidas pelos fornecedores das câmeras térmicas.

Uma importante vantagem da termografia citada por TARPANI (2008), é a rapidez na inspeção e na prévia da análise, já que é um método não destrutivo e as imagens são geradas em tempo real. Além disso, JUNIOR (2012) menciona que esse método é seguro tanto para o equipamento quanto para o inspetor, já que a câmera termográfica, que é o meio de geração das imagens térmicas, não emite radiação prejudicial à saúde do mesmo.

Como desvantagem, segundo MALDAGUE (2002), está a dificuldade em imagens de grandes equipamentos, já que as câmeras apresentam capacidade limitada e a partir de uma faixa máxima dada pelo fabricante a paleta de cores, que é a faixa de temperatura do instrumento, pode sofrer variações, o que dificulta a interpretação. Outra desvantagem são os elevados valores de aquisição das câmeras. (SOUMATRI *et al.*, 1997)

A termografia se mostra muito útil tanto para localizar a área onde está o problema, assim como na indicação da causa do sobreaquecimento dos motores, já que JÚNIOR (2010) cita que mesmo essa área não sendo visível, o calor é dissipado através do material e se apresenta na superfície do motor, e os câmeras termográficas o detecta.

O objetivo desse trabalho é realizar análises coletando dados do motor em quatro diferentes situações: com desequilíbrio de fase em ligação estrela e triângulo, com uma anomalia e em situação padrão, afim de identificar a região mais afetada do motor, o problema e se a termografia é um bom método para monitoramento e análises em motores.

Segundo a HT (2014) a aplicação típica das câmeras termográficas é a de detectar uma diferença de temperatura entre dois ou mais objetos adjacentes, porém essa análise não

necessita de uma medição precisa da temperatura e a emissividade pode ser configurada igual a 1, assim como não é preciso considerar a superfície do objeto, a distância do mesmo e o campo visual, pois sem esses parâmetros é possível identificar anomalias nesses casos, mas quando é necessário melhores medições, como no caso dos motores, todos os parâmetros devem ser configurados devidamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Câmera termográfica THT47 da HT instrumentos;
- Motor trifásico de 1cv da KOHLBACH, que detém classe de isolamento B;
- Bancada trifásica;
- Termômetro da Fluke;
- Trena.

Esses materiais podem ser observados na Figura 1.

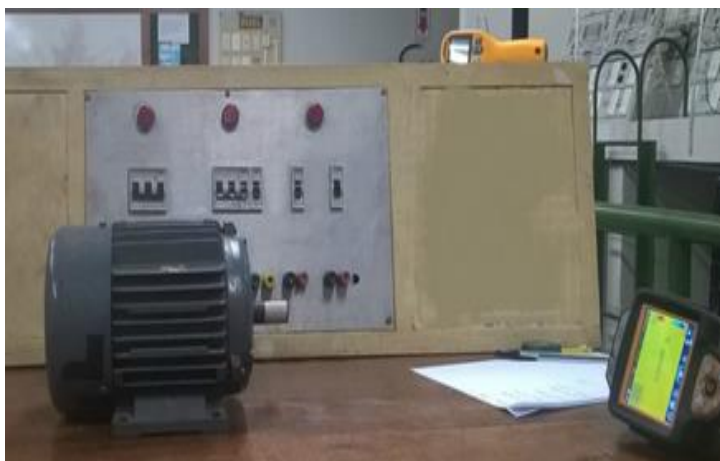


Figura 1: Materiais utilizados no trabalho.

Os dados do motor em questão estão ilustrados na tabela abaixo.

Tabela 1: Dados de placa de identificação do motor trifásico de 1cv.

Modelo	80	Ligação	Delta/Estrela
Fabricante	KOHLBACH	Número de serie	8896
Classe de isolamento	B	Temperatura ambiente	—
Potência	1cv	Emissividade	0,95
Frequência	60 HZ	Tensão	220/380
Categoria de conjugado	N	Rotação	1720RPM

O instrumento de medição utilizado neste trabalho é a câmera termográfica profissional THT47 da HT instruments, que utiliza resolução de 160x120pxl, auxiliada com uma tela LCD 3.5” sensível ao toque, que facilita na captura de imagens e vídeos infravermelhos. A câmera termográfica possibilita a configuração de um indicador de faixa de temperatura de interesse, a

configuração automática de emissividade com a tabela pré-programada dos materiais e o software THTLink fornecido pela HT que facilita a análise dos objetos capturados.



Figura 2: Câmera termográfica THT47 da HT instrumentos. (HT, 2014)

O instrumento em questão conta com uma ampla faixa de temperatura de atuação que varia entre -20 a 400°C e pode ser utilizado em ambientes com temperatura entre -20 a 50°C. A sensibilidade da câmera é superior a 0,08°C e sua precisão é de $\pm 2\%$ na leitura ou $\pm 2^\circ\text{C}$.

A câmera termográfica auxilia a análise das medições com três cursores dinâmicos, que são os identificadores associados a temperatura e aparecem na parte superior esquerda do display, como P1, P2, P3 e P4.

Foi necessário em primeira instância verificar os parâmetros iniciais da câmera termográfica para certificar que esta não apresentava possíveis anomalias. Caso existissem problemas nos parâmetros é necessário configurar e repor as condições, que estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de reposição para solução de desconfiguração da Câmera termográfica THT47 da HT instrumentos.

Parâmetro	Configurações globais
Emissividade	0.95
Distância	5m
Temperatura ambiente	25°C
Humidade relative	60%HR
Temperatura reflexa	25°C
Offset	0,0°C

Os parâmetros globais, ilustrados na Tabela 3, são estabelecidos pelo fornecedor do equipamento, essas configurações são usadas, normalmente, em objetos que não necessitem de muito detalhamento na estimação da temperatura, porém quando esse não é o intuito os parâmetros personalizados são as soluções, nesse caso os valores de configurações são definidos pelo usuário do equipamento.

Em relação a emissividade, a THT47 conta com o auxílio de uma tabela fornecida pelo fabricante, pela qual quando o usuário desejar estimar a temperatura de um material comum pode utilizá-la ou simplesmente definir um valor personalizado. Vale salientar que segundo a HT instruments, a maior parte das superfícies pintadas ou oxidadas apresentam valor de emissividade aproximadas a 0.95, e como os valores de alguns materiais que compõem o motor de classe B, tais como o vidro e o amianto se aproximarem desse valor, que será o adotado para a emissividade na geração das imagens.

A distância, espaçamento entre a câmera termográfica e o objeto a ser medido, é outro importante parâmetro para estimativa térmica, isso porque na THT47 para distâncias superiores a 300m é possível ter variações na paleta de cores do instrumento, com 1°C nos níveis de temperatura. Por outro lado, quando se analisa um objeto é necessário observar a dimensão do mesmo, afim de não ficar distante, devido ao motivo destacado acima, e nem muito próximo, para que o objeto possa ser destacado inteiramente na imagem. Observando o motor utilizado neste trabalho a distância adequada as suas dimensões estão entre 1,33 e 0,7 metros, com base nas imagens capturadas.

Com esses parâmetros de configurações da câmera termográfica, iniciou-se o processo de geração das imagens, na qual a princípio o motor trifásico de 1cv utilizado foi ligado, nos dias 10 e 11 de outubro de 2017, a uma bancada que fornece as três fases necessárias para a alimentação do mesmo, todavia com um desequilíbrio nessas fases, que já havia sido observado, mas sem saber a causa, e qual das fases estava com tal problema, nem as consequências práticas iniciais ao conectar o motor em delta ou estrela.

A fim de descobrir esses fatores o motor foi ligado a um tempo máximo em que o sistema de isolamento dos condutores suportasse a temperatura sem queimar, isso nos dois diferentes tipos de ligações trifásicas, e observou-se que esse tempo máximo mudava de acordo com cada ligação, ou seja, nesse momento não se sabia o tempo exato.

O motor trifásico foi submetido a mais duas situações, uma com comportamento incomum no motor e outra em sua forma padrão, de início esperava-se que o motor funcionasse em sua forma padrão nas duas situações, mas isso só foi possível na ligação estrela, na qual o motor ficou ligado durante 1 minuto e 3 segundos, mas na ligação delta o motor só funcionou durante aproximadamente 15 segundos.

Em todas as situações, observou-se o comportamento do motor através da câmera termográfica, respeitando e seguindo as recomendações já citadas nesse trabalho, afim de evitar erros na geração das imagens termográficas.

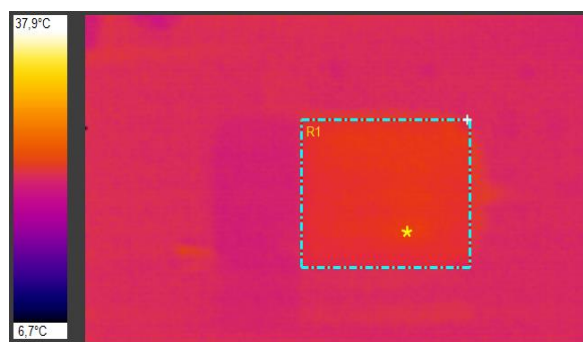
As inspeções realizadas deram origem a uma série de imagens térmicas, que posteriormente foram analisados no software THTlink. Utilizando esse procedimento digital nas imagens, que detém a integração numérica de toda a superfície do motor, foram destacados os pontos de origem de aquecimento, os pontos máximos e sua posterior consequência nos demais componentes, tudo a nível termográfico, uma vez que essa integração numérica destaca claramente o ponto mais quente quando requisitado pelo usuário.

Todavia os valores dos cursores dinâmico onde a temperatura se apresentava mais elevada, utilizando a câmera termográfica, foram os dados utilizados para os gráficos de relação da temperatura com o tempo do processo, já que o THTlink não foi capaz de analisar todas as imagens térmicas, isso pois algumas delas, quando adicionadas no software, ficaram disconfiguradas, de forma que o motor não estava centralizado na imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 3 é ilustrado o motor no seu estado de torque inicial, onde a região selecionada pelo quadrado é nomeada como R1, e representa a área na imagem térmica onde a elevação da temperatura mais se efetiva, contudo, o ponto onde está a estrela representa o local mais quente

do motor, apresentado pelo próprio software no momento em que o usuário marca o quadrado na imagem, no qual, nessa figura, está direcionado internamente a região inferior do enrolamento do estator, quando analisado com base nas estruturas de um motor trifásico com mesmo porte.



Ligação: Estrela

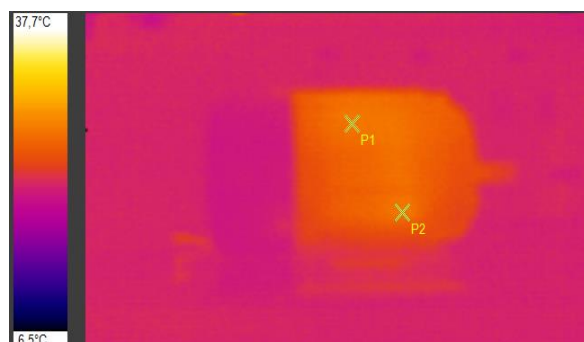
Arquivo: 171011_0002T

Distância: 0,9 m **ε:** 0,95

T. Amb.: 23,6°C **R1:** 25,8°C

Figura 3: Dados e comportamento inicial do motor com desequilíbrio de fase, em ligação estrela.

Na Figura 4, nota-se que o fluxo de calor dentro de um motor não ocorre somente do seu interior para a carcaça que está em contato com o ambiente refrigerado, isso é, a temperatura mais quente no motor provoca a dissipação interna nos componentes de isolamento que gera novos focos de calor, e assim a temperatura mais elevada em P2, gerou a elevação no ponto P1, onde se encontra a área próxima ao núcleo do estator, de acordo com a carcaça do motor em questão.



Ligação: Estrela

Arquivo: 171011_0004T **ε:** 0,95

Distância: 0,9 m **T. Amb.:** 23,6°C

P1: 28,8°C **P2:** 28,9 °C

Figura 4: Imagem térmica e dados do motor com dissipação do calor.

Nessa ligação, estrela, nota-se ainda que a temperatura se espalha bastante por toda as partes em questão, pois o sistema desequilibrado na ligação estrela é normalmente apresentado em duas fases pode leva a queima dos componentes do motor, já que o campo girante sofrerá deformação, e surgirá corrente de sequência negativa, que são responsáveis pela produção do torque contrário.

Vale ressaltar que a tensão e a corrente de sequência positiva fazem o rotor girar no sentido normal. Com essa elevação do calor, gerada pela sequência negativa, no rotor ocorreu o superaquecimento dos enrolamentos do estator, isso se deu principalmente porque o motor é fechado e possui ventilação, e assim uma proporção grande do calor gerado no rotor foi dissipada através do estator.

A Figura 5, que ilustra o gráfico da temperatura em relação ao horário do processo em ligação estrela, no dia 11/10/2017, mostra ainda que o aumento na temperatura não aconteceu de uma forma rápida com máxima de 40,9°C em 7 minutos e 4 segundos, mas vale ressaltar que o motor foi desligado quando sua temperatura apresentava cerca de 26°C em cerca de 1 minuto

e 15 segundos, pois o desequilíbrio na fase provocou um elevado valor da temperatura da caixa de ligação, que definiu o tempo máximo de funcionamento do motor nessa situação. Depois do desligamento, a dissipação de calor começou a ficar intensa com a parada do ventilador, e foi evidenciado que os esforços mecânicos axiais foram mais influentes no motor, na região do núcleo do estator, onde deteve a temperatura mais elevada durante todo o tempo de parada do motor.

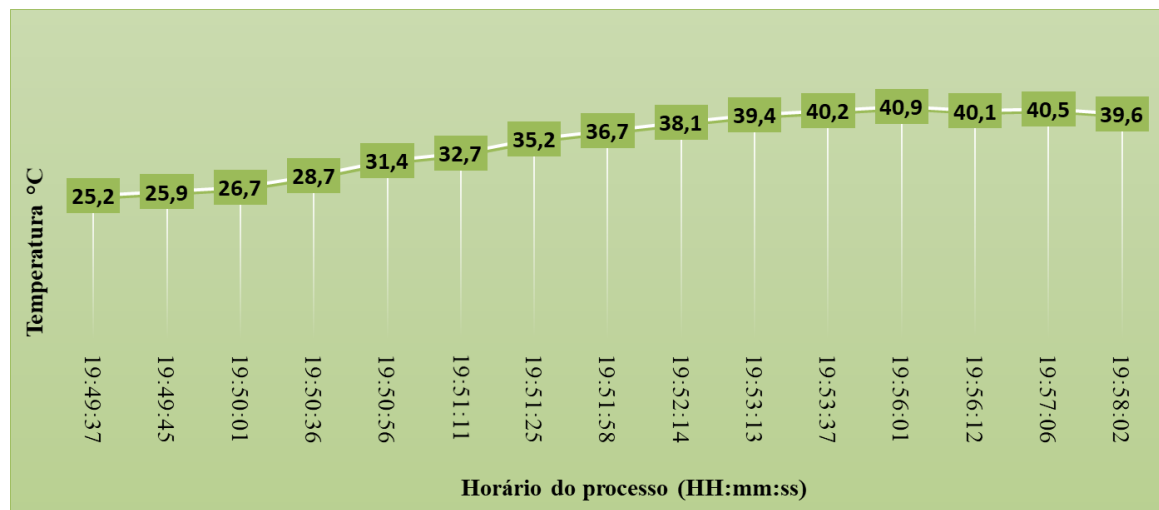
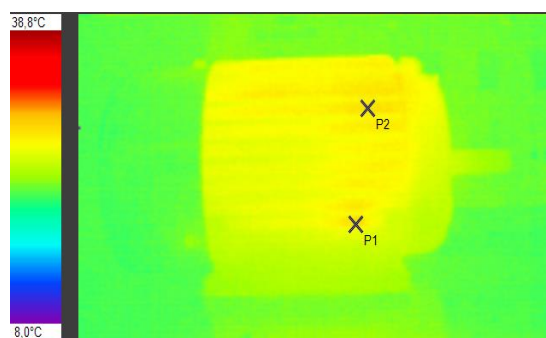


Figura 5: Relação temperatura (°C) sobre horário do processo (HH:mm:ss), em ligação estrela com sistema trifásico desequilibrado.

Na ligação Delta, nota-se que nos primeiros instantes de funcionamento a temperatura do motor se eleva de uma forma diferente da ligação estrela, isso é evidenciado na Figura 6, onde o ponto P2, na região do enrolamento superior direito, se destaca como a mais elevada do motor, juntamente com o ponto P1, enrolamento inferior direito, que aparentemente é onde normalmente, em qualquer condição, a elevação da temperatura é iniciada no motor em questão.



Ligação: Delta

Arquivo: 171010_0004T ϵ : 0,95

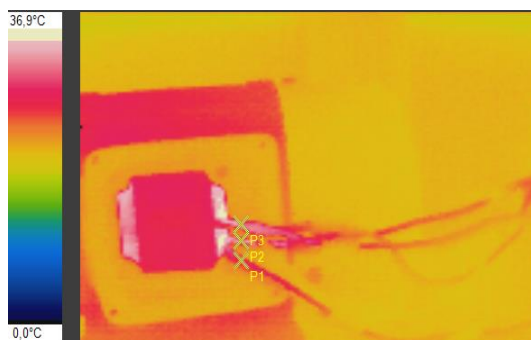
Distância: 0,9 m **T. Amb.:** 24°C

P1:29,6°C **P2:**29,6°C

Figura 6: Dados e dissipação de calor do motor com desequilíbrio de fase, em ligação delta.

Em delta, o desequilíbrio de fase ocasionou a falta de fase em uma das três fases, como ilustra a Figura 7, nota-se que nos pontos P2 e P3 as temperaturas são bem próximas, porém isso não ocorre no ponto P1, onde a diferença para o mais próximo da sua temperatura é de 3,6°C, que representa uma anomalia, ou seja, um desequilíbrio na fase, esse problema no motor foi causa de um fusível queimado na bancada, e ele gera tensão de correntes negativas, que pode ocasionar a queima. Na figura 7, nota-se ainda que o ponto mais quente do motor é na caixa de ligação com 37°C, que é a região mais clara na figura em questão, essa elevada temperatura superficial definiu o tempo máximo de funcionamento do motor com um

desequilíbrio de fase, com cerca de 1 minuto e 34 segundos, já que ao se aproximar desse período deu início a um superaquecimento interno nos bornes de contato e na caixa de ligação.



Ligação: Delta

Arquivo: 171010_0005T **ε:** 0,95

Distância: 0,8 m **T. Amb.:** 24°C

P1:30,5°C **P2:**34,1°C **P3:**34,6°C

Figura 7: Dados e evidência do desequilíbrio de fase no motor, em ligação delta.

Nessa situação o software THTlink desconfigurou a maioria das imagens térmicas que eram adicionados a ele, descentralizando e impossibilitando as análises das mesmas, todavia a Figura 8 ilustra a relação da temperatura com horário do processo, com base nos dados dos cursores dinâmicos que a câmera possui, na figura é possível notar que a elevação da temperatura foi maior que na ligação estrela, entretanto com a falta de uma análise mais detalhada com o software não foi possível definir porquê. Ainda assim o motor foi desligado aproximadamente no mesmo período, com diferença de cerca de 15 segundos, contudo, a temperatura se aproximava de 28,7°C e a dissipação do calor levou, posteriormente, o motor a ter uma temperatura superficial de 46,9°C, um valor elevado para classe B de motores, focando essa temperatura principalmente no núcleo do rotor.

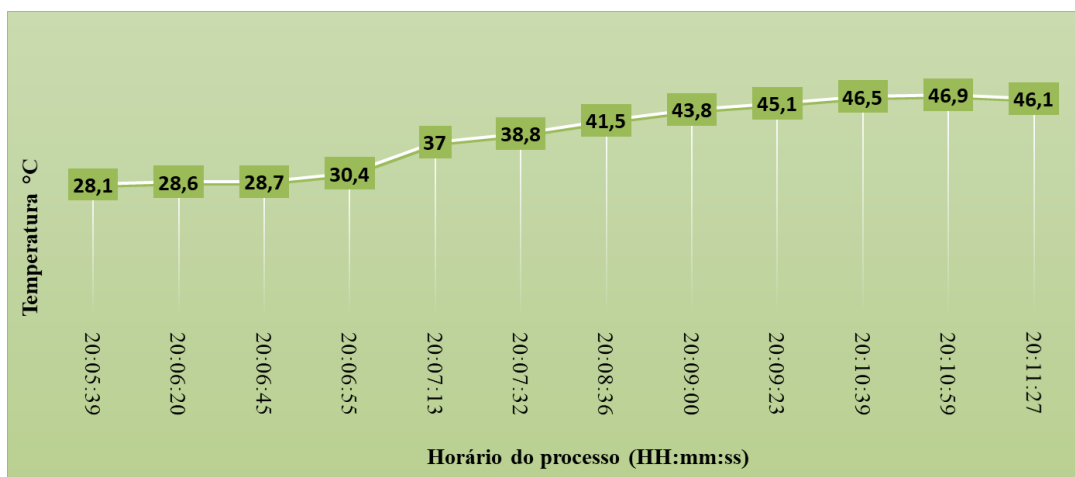
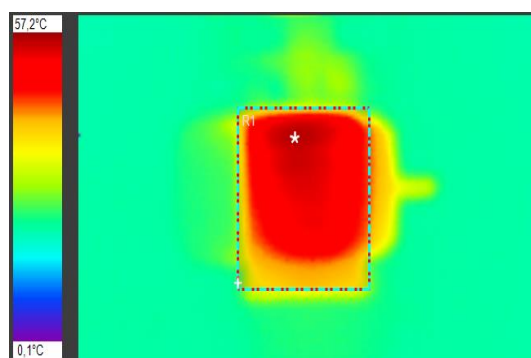


Figura 8: Relação temperatura (°C) sobre horário do processo (HH:mm:ss), em ligação delta com sistema trifásico desequilibrado.

Em um novo teste, onde o problema do desequilíbrio da fase já havia sido resolvido, foi ligado novamente o motor em Delta, onde observou-se novamente o seu comportamento.

A Figura 9 ilustra uma das imagens térmicas do gráfico ilustrado na Figura 11, nessa situação o motor foi desligado com 34,8°C e a dissipação do calor continuou aumentando até 58°C, mostrando uma temperatura externa muito elevada. Todavia na Figura 9 a temperatura máxima em R1:57,5°C, indica uma anomalia na região do núcleo do estator, que está indicada na figura com uma estrela, dada pela análise matemática do software, esse problema poderia acarretar na queima do motor, no caso de o mesmo ter permanecido mais tempo ligado, pois a

temperatura superficial ilustrada não indica a interna, que está mais quente, e poderia facilmente se aproxima da temperatura máxima de operação da classe B de isolamento de motores.



Ligação: Delta

Arquivo: 171114_0011T ϵ : 0,95

Distância: 0,9 m **T. Amb.:** 27°C

P1: 57,5°C

Figura 9: Análise e dados da principal região afetada pela anomalia em ligação delta.

Na figura 10 nota-se toda região R1 da imagem térmica da Figura 9 em forma de gráfico estatístico, onde se pode desconsiderar os dois primeiros valores já que o retângulo não está selecionando adequadamente todo o motor, todavia para a análise que se deseja fazer essa área já é satisfatória, pois quando tirado a média dos outros três valores o resultado é igual a 45,64°C, enquanto que o valor da região com temperatura máxima é de 57,5°C, demonstrando que a diferença entre o valor médio do motor e o máximo é superior a 10°C como indica a NBR-7034. Se fosse considerado outras áreas essa diferença seria ainda maior.

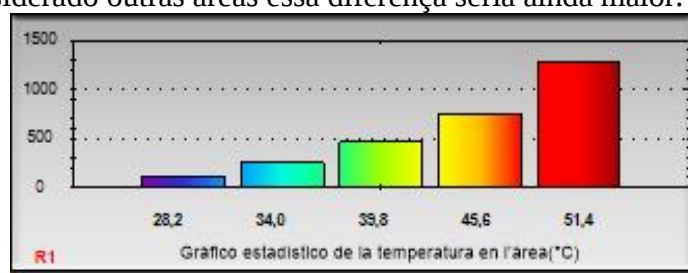


Figura 10: gráfico estatístico da região R1 da Figura 9, da área proporcional a temperatura sobre a temperatura.

Na Figura 11, ilustra o gráfico da relação da temperatura sobre o período do processo na ligação delta, aonde o motor foi ligado por 15 segundos e apresentou valores elevados na sua temperatura, com foco no núcleo do estator e no enrolamento superior esquerdo.

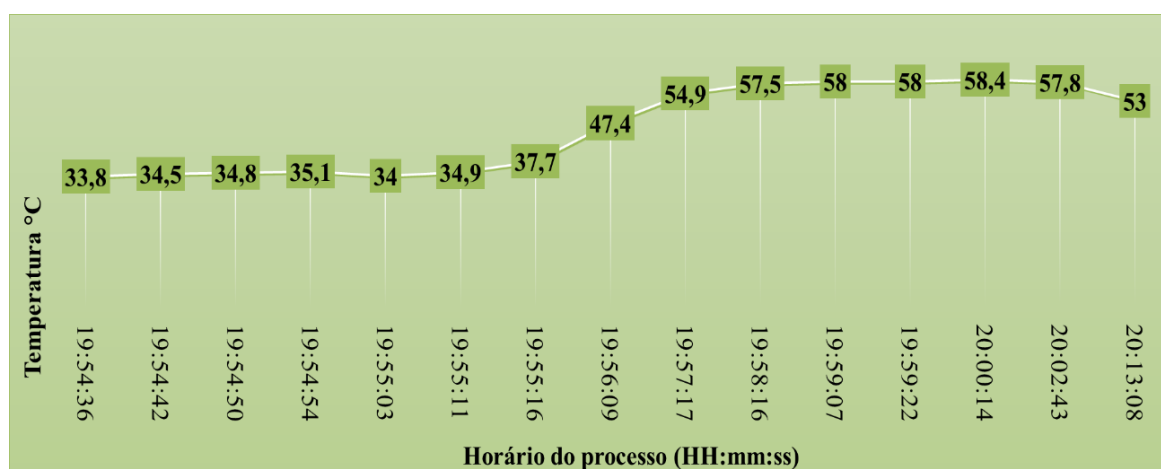
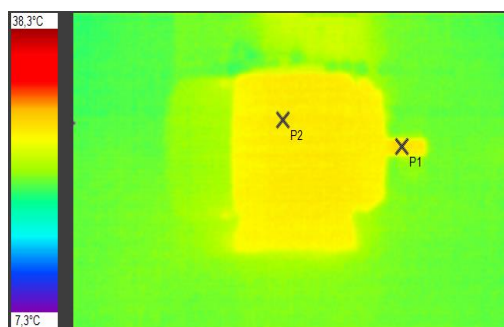


Figura 11: Relação temperatura (°C) sobre horário do processo (HH:mm:ss), em ligação delta com anomalia no motor.

Depois que o motor passou por todos esses testes em diferentes situações e mesmo assim todos com anomalias, realizou-se uma inspeção no seu funcionamento padrão, a fim de comparar e analisar se existe grandes diferenças.

De início, notou-se que a região do enrolamento inferior direito não foi a parte mais afetada depois do torque inicial do motor, o que houve foi um aquecimento que se propagou por principalmente duas regiões uma no rotor e a outra no eixo, com essa parte do eixo com uma temperatura maior que as demais, como é possível visualizar na Figura 12.



Ligação: Estrela

Arquivo: 171114_0023T **ε:** 0,95

Distância: 0,9 m **T. Amb.:** 26°C

P1: 28,9°C **P2:** 28,6°C

Figura 12: Dados e comportamento padrão inicial do motor, em ligação estrela.

Já que o motor não apresentou nenhum problema nessa ligação, ele só foi desligado após aproximadamente 1 minutos e 3 segundos de funcionamento, apresentado neste momento uma temperatura máxima de 30°C bem distribuídos, com ênfase no rotor. Depois do desligamento e sem influência do ventilador a temperatura máxima do motor subiu a 40,3°C, isso com 3 minutos 37 segundos, todas essas evidências podem ser notadas na Figura 13, que ilustra um gráfico de temperatura com relação ao tempo. Nessa situação o motor já iniciou com uma temperatura de 30°C, efetuando uma oscilação em torno dessa temperatura, isso ocorreu porque o motor já estava funcionando em delta e foi colocado em estado de dissipação de calor por cerca de 1 hora e 15 minutos, porém esse tempo não foi o suficiente para o motor chegar no seu estado de equilíbrio térmico. Foi possível notar com os gráficos que a mudança de temperatura foi muito menor em relação as demais situações, mesmo com o motor funcionado mais por mais tempo.

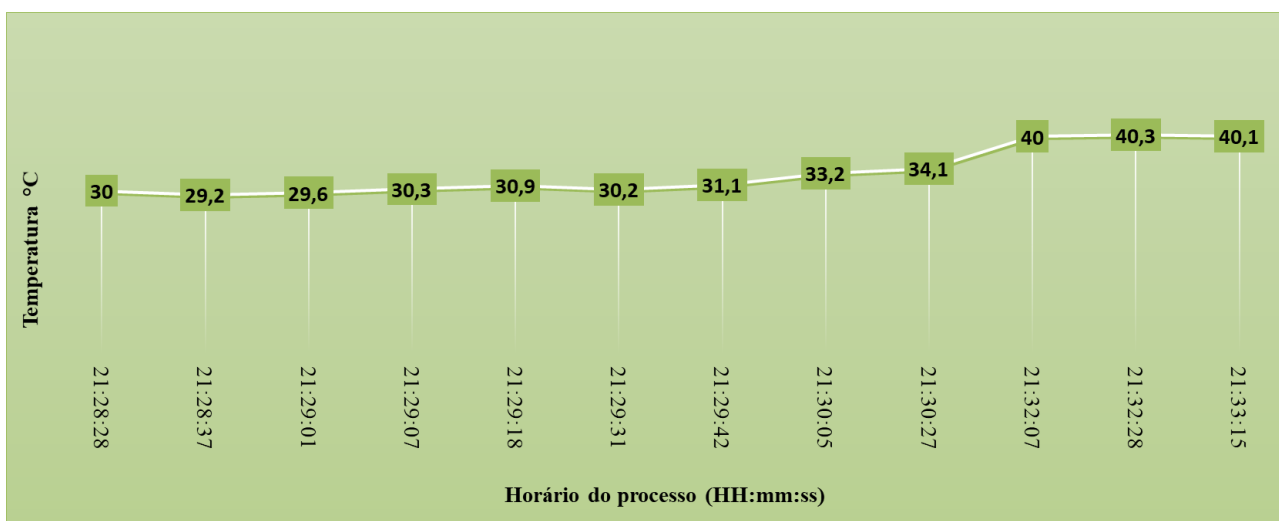
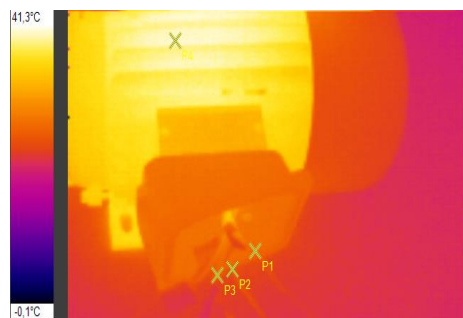


Figura 13: Relação temperatura (°C) sobre horário do processo (HH:mm:ss), do motor com comportamento padrão em ligação estrela.

Na Figura 14 é possível notar que as temperaturas das três fases são muito próximas, na ligação estrela, isso constata que o desequilíbrio foi resolvido. A imagem térmica ilustra ainda que a temperatura máxima neste instante está no rotor.



Ligação: Estrela

Arquivo: 171114_0031T ϵ : 0,95

Distância: 0,8 m **T. Amb.:** 26°C

P1: 27,8 °C **P2:** 27,6°C **P3:** 27,5°C **P4:** 40,2°

Figura 14: Dados e comportamento equilibrado do sistema trifásico em ligação estrela.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas análises termográficas do comportamento de um motor trifásico em quatro situações diferentes, duas com problema de desequilíbrio de fase nas ligações delta e estrela, uma com comportamento incomum e outra com a forma padrão de funcionamento do motor. Foi possível notar pelas imagens térmicas e gráficos, que em todas as situações o motor se comportou, termicamente, diferente.

Com o desequilíbrio de fase em ligação delta, a câmera termográfica capturou uma imagem térmica que nitidamente expunha que o motor estava apresentando um superaquecimento interno nos bornes de contato e na caixa de ligação. Se o mesmo continuasse ligado iria provavelmente queimar, todavia com a dissipação de calor o ponto de aquecimento maior foi no núcleo do rotor.

O desequilíbrio de fase agiu na ligação estrela de uma forma menos intensa, termicamente falando, apesar do surgimento de valores elevados na caixa de ligação e enrolamento inicialmente, que ao desligar o motor rapidamente produziu dissipação de calor focado no núcleo do estator.

A causa da anomalia na segunda utilização da ligação delta do motor não foi possível ser interpretada via termográfica, estipulando-se pelas causas, ainda um possível problema na bancada, que provocou outro desequilíbrio de fase, mas foi a situação em que a temperatura do motor mais se elevou, e levando em consideração que a na NBR-7034 ilustra que o motor dessa classe tem um valor máximo de operação de 80°C e a temperatura superficial dele se aproximou de 58°C.

Conclui-se que a utilização da termografia, com as câmeras termográficas que geram imagens através da radiação infravermelha, permite realizar análises do motor sem a necessidade de parada do mesmo, comprovando a praticidade da metodologia. Com esse método é possível ainda identificar, através do software THTlink, a região mais afetada pelo problema, assim como suas possíveis causas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B.; CORREA, J.; OSCLARLAN, C. **Análises Termográficas Utilizando Termovisores**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 199-201, 2010.

ÁLVARES, R. C. **Diagnóstico de falhas em pára-raios utilizando termografia**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008.

BUSTAMANTE, Éderson; SILVA, Márcio José de. – Apostila – **Acionamento elétrico**. Curso de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia de Controle e Automação – IPUC, Belo Horizonte, 2006.

CRUZ, Adelson Martins; BERWANGER, Diego. **Sistema automatizado para teste em motores elétricos de indução trifásicos de baixa potência**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

EISBERG, R. M. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Editora Campus. Rio de Janeiro, 1994.

FLUKE. **Aplicações para Câmeras Termográficas: Inspeção de motores elétricos**. Estados Unidos da América. 2011.

HT, Copyright. **THT47-THT60: Manual de Instruções**. Versão PT 1.01, Italia, 2014.

JUNIOR, Altair S., **Estudo da Termografia como uma Ferramenta Complementar para Análise das Condições de Compressores Alternativos**. Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação em Gestão Industrial Produção E Manutenção: Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

JÚNIOR, Helso. F. de O. **Uso Da Termografia na Inspeção Preditiva**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 169-174, 2010

JONES, B. F.; PLASSMANN, P. **Digital infrared thermal Imaging of Human Skin**. IEER Engineering in Medicine and Biology, pp.41-48, 2002.

KOSOW, Irving L., **Máquinas Elétricas e transformadores** / 15. ed. São Paulo: Globo, 2005

NARROL, M.; STIVER, W. **Quantitative Thermography for Electric Motor Efficiency Diagnosis**. University of Guelph, 2008.

NBR 7034. **Materiais isolantes elétricos: classificação térmica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, Dez. 1981.

MALDAGUE, X. **Introduction to NDT by Active Infrared Thermography**. Materials Evaluation, Quebec City, Canadá, v. 60, n. 9, p. 1060–1073, 2002.

PALUCHOWSKI, C.; STEFFENELLO, F.; STEFFENELLO, M.; FRANKEN, T.; SPOHR, C. B. **Bases teóricas de inspeção termográfica para aplicação em componentes elétricos.** Semana Internacional das Engenharias da FAHOR: Inovação tecnológica – Faculdade Horizontina – FAHOR. 2011.

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.

YAMACHITA, Roberto. A. **Determinação de Perdas e Rendimento em Motores Elétricos Empregando Termografia Infravermelha.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Doutorado. Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.